

# **MANUAL DE FÍSICA MODERNA**

Ingeniería en Nanotecnología en Competencias Profesionales

Universidad Tecnológica

26 de junio de 2025

---

# Índice general

<b>Prefacio</b>	<b>IX</b>
<b>1. Teoría Básica del Electromagnetismo</b>	<b>1</b>
1.1. Campos Eléctricos y Magnéticos . . . . .	1
1.1.1. Saber - Conocimientos Teóricos . . . . .	1
1.1.2. Saber Hacer - Habilidades Prácticas . . . . .	2
<b>2. Modelo Nuclear del Átomo</b>	<b>3</b>
2.1. El Descubrimiento del Núcleo Atómico . . . . .	3
2.1.1. Saber - Conocimientos Teóricos . . . . .	3
2.1.2. Saber Hacer - Habilidades Prácticas . . . . .	3
2.2. Experimento de Rutherford . . . . .	3
2.2.1. Saber - Conocimientos Teóricos . . . . .	4
2.2.2. Saber Hacer - Habilidades Prácticas . . . . .	4
2.3. Modelo Atómico de Bohr y la Interacción Radiación-Materia . . . . .	4
2.3.1. Saber - Conocimientos Teóricos . . . . .	4
2.3.2. Saber Hacer - Habilidades Prácticas . . . . .	5
<b>3. Dualidad Onda-Partícula</b>	<b>7</b>
3.1. Postulado de Planck y Radiación de Cuerpo Negro . . . . .	7
3.1.1. Saber - Conocimientos Teóricos . . . . .	7
3.1.2. Saber Hacer - Habilidades Prácticas . . . . .	7
3.2. Efecto Fotoeléctrico . . . . .	8
3.2.1. Saber - Conocimientos Teóricos . . . . .	8
3.2.2. Saber Hacer - Habilidades Prácticas . . . . .	8
3.3. Hipótesis de De Broglie . . . . .	8
3.3.1. Saber - Conocimientos Teóricos . . . . .	8
<b>4. Solución de la Ecuación de Schrödinger</b>	<b>11</b>
4.1. Ecuación de Onda Cuántica . . . . .	11
4.1.1. Saber - Conocimientos Teóricos . . . . .	11
4.1.2. Saber Hacer - Habilidades Prácticas . . . . .	11
4.2. Pozo de Potencial . . . . .	12
4.2.1. Saber - Conocimientos Teóricos . . . . .	12
4.2.2. Saber Hacer - Habilidades Prácticas . . . . .	12
4.3. Efecto Túnel . . . . .	12
4.3.1. Saber - Conocimientos Teóricos . . . . .	12
4.3.2. Saber Hacer - Habilidades Prácticas . . . . .	13
4.4. Potenciales Periódicos . . . . .	13

4.4.1. Saber - Conocimientos Teóricos . . . . .	13
4.4.2. Saber Hacer - Habilidades Prácticas . . . . .	13
4.5. Estructura de Bandas . . . . .	14
4.5.1. Saber - Conocimientos Teóricos . . . . .	14
4.5.2. Saber Hacer - Habilidades Prácticas . . . . .	14
4.6. Definición Microscópica de Conductores, Semiconductores y Aislantes .	14
4.6.1. Saber - Conocimientos Teóricos . . . . .	14
4.6.2. Saber Hacer - Habilidades Prácticas . . . . .	15
<b>5. Ejercicios y Problemas Resueltos</b>	<b>17</b>
5.1. Problemas de Electromagnetismo . . . . .	17
5.2. Problemas de Mecánica Cuántica . . . . .	17
<b>A. Constantes Físicas Fundamentales</b>	<b>19</b>
<b>B. Fórmulas de Mecánica Cuántica</b>	<b>21</b>
B.1. Operadores Cuánticos Fundamentales . . . . .	21
<b>C. Materiales Nanoestructurados</b>	<b>23</b>
C.1. Propiedades Cuánticas en Nanomateriales . . . . .	23

# Índice de figuras

4.1. Estructura de bandas en diferentes tipos de materiales . . . . .	15
---	----



# Índice de cuadros

A.1. Constantes físicas fundamentales . . . . .	19
B.1. Operadores cuánticos fundamentales . . . . .	21





# Prefacio

Este manual ha sido desarrollado para la asignatura de Física Moderna del noveno cuatrimestre de la carrera de Ingeniería en Nanotecnología en Competencias Profesionales, conforme al programa académico vigente desde septiembre de 2021.

El objetivo principal es que el alumno describa el comportamiento de los materiales nanoestructurados con base en los conceptos, teorías y principios de física moderna para determinar sus características y propiedades.



# Capítulo 1

## Teoría Básica del Electromagnetismo

El estudio del electromagnetismo es fundamental para comprender el comportamiento de los materiales nanoestructurados, ya que las propiedades electromagnéticas determinan muchas de las características únicas que exhiben estos materiales a escala nanométrica.

### 1.1 Campos Eléctricos y Magnéticos

#### 1.1.1 Saber - Conocimientos Teóricos

##### SABER - Conocimientos Teóricos

- Explicar las magnitudes electromagnéticas fundamentales
- Definir los campos eléctricos y magnéticos y sus propiedades
- Comprender su efecto en las propiedades de los materiales nanoestructurados
- Identificar las características fundamentales de cada tipo de campo

El campo eléctrico  $\vec{E}$  es una magnitud vectorial que describe la fuerza que experimentaría una carga de prueba positiva en un punto dado del espacio. Se define matemáticamente como:

##### ECUACIÓN FUNDAMENTAL

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

donde  $\vec{F}$  es la fuerza sobre la carga de prueba  $q_0$ .

### 1.1.2 Saber Hacer - Habilidades Prácticas

#### SABER HACER - Habilidades Prácticas

- Calcular la longitud de onda de una partícula
- Aplicar la relación de De Broglie en diferentes sistemas
- Predecir efectos de difracción de partículas
- Resolver problemas de mecánica ondulatoria

# Capítulo 2

## Modelo Nuclear del Átomo

### 2.1 El Descubrimiento del Núcleo Atómico

#### 2.1.1 Saber - Conocimientos Teóricos

##### **SABER - Conocimientos Teóricos**

- Explicar el origen de las teorías atómicas que dieron lugar al modelo actual del átomo
- Comprender la evolución histórica de los modelos atómicos
- Identificar las contribuciones de los diferentes científicos
- Conocer las limitaciones de los modelos anteriores

#### 2.1.2 Saber Hacer - Habilidades Prácticas

##### **SABER HACER - Habilidades Prácticas**

- Elaborar modelos atómicos comparativos
- Representar la evolución de los conceptos atómicos
- Analizar experimentos históricos fundamentales
- Evaluar la validez de diferentes modelos

### 2.2 Experimento de Rutherford

### 2.2.1 Saber - Conocimientos Teóricos

#### SABER - Conocimientos Teóricos

- Reconocer el modelo atómico de Rutherford y su importancia en la física moderna
- Identificar el experimento de Rutherford y sus implicaciones
- Comprender el concepto de núcleo atómico
- Entender la distribución de carga en el átomo

#### EXPERIMENTO CLAVE

##### Experimento de Rutherford (1909):

- **Procedimiento:** Bombardeo de lámina de oro con partículas alfa
- **Observación:** La mayoría pasaban sin desviarse, pero algunas se desviaban significativamente
- **Conclusión:** El átomo tiene un núcleo pequeño y denso

### 2.2.2 Saber Hacer - Habilidades Prácticas

#### SABER HACER - Habilidades Prácticas

- Representar el modelo atómico de Rutherford
- Analizar los resultados del experimento de dispersión
- Calcular trayectorias de partículas alfa
- Interpretar datos experimentales de dispersión

## 2.3 Modelo Atómico de Bohr y la Interacción Radiación-Materia

### 2.3.1 Saber - Conocimientos Teóricos

#### SABER - Conocimientos Teóricos

- Comprender las líneas espectrales de los elementos con el modelo atómico de Bohr
- Describir la interacción Radiación-Materia
- Reconocer la interacción de partículas cargadas con la materia
- Entender los procesos de emisión y absorción atómica

### ECUACIÓN FUNDAMENTAL

#### Postulados de Bohr:

1. Los electrones orbitan en órbitas estacionarias:  $L = n\hbar$
2. Energía cuantizada:  $E_n = -\frac{13,6 \text{ eV}}{n^2}$
3. Emisión/absorción:  $h\nu = E_i - E_f$

### 2.3.2 Saber Hacer - Habilidades Prácticas

#### SABER HACER - Habilidades Prácticas

- Calcular las series espectrales de los elementos
- Determinar las características y propiedades estructurales del material en función de su espectro de emisión
- Analizar espectros atómicos experimentales
- Relacionar niveles energéticos con transiciones espectrales





# Capítulo 3

## Dualidad Onda-Partícula

### 3.1 Postulado de Planck y Radiación de Cuerpo Negro

#### 3.1.1 Saber - Conocimientos Teóricos

##### SABER - Conocimientos Teóricos

- Reconocer el postulado de Planck y la ley de Stefan-Boltzmann de radiación de cuerpo negro
- Comprender la cuantización de la energía electromagnética
- Identificar las características del espectro de cuerpo negro
- Entender la crisis de la física clásica

##### ECUACIÓN FUNDAMENTAL

Ley de Planck:

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda k_B T} - 1}$$

Cuantización de Planck:  $E = h\nu$

#### 3.1.2 Saber Hacer - Habilidades Prácticas

##### SABER HACER - Habilidades Prácticas

- Calcular la energía emitida por un material por radiación
- Aplicar la ley de distribución de Planck
- Resolver problemas de radiación térmica
- Analizar espectros de emisión de cuerpos reales

## 3.2 Efecto Fotoeléctrico

### 3.2.1 Saber - Conocimientos Teóricos

#### SABER - Conocimientos Teóricos

- Describir la diferencia entre electrones y fotones
- Describir el efecto fotoeléctrico y sus características
- Comprender la naturaleza cuántica de la luz
- Identificar los parámetros del efecto fotoeléctrico

#### EXPERIMENTO CLAVE

##### Efecto Fotoeléctrico:

- **Observación:** Emisión de electrones al iluminar una superficie metálica
- **Ecuación de Einstein:**  $h\nu = \phi + K_{max}$
- **Implicación:** La luz tiene naturaleza corpuscular (fotones)

### 3.2.2 Saber Hacer - Habilidades Prácticas

#### SABER HACER - Habilidades Prácticas

- Reproducir en laboratorio el efecto fotoeléctrico
- Calcular energías de fotones y electrones
- Determinar funciones de trabajo de materiales
- Analizar experimentos fotoelectrónicos

## 3.3 Hipótesis de De Broglie

### 3.3.1 Saber - Conocimientos Teóricos

#### SABER - Conocimientos Teóricos

- Describir el comportamiento dual de la materia onda-partícula
- Comprender la hipótesis de De Broglie
- Identificar las condiciones para observar efectos ondulatorios
- Entender la generalización de la dualidad onda-partícula

**ECUACIÓN FUNDAMENTAL****Hipótesis de De Broglie:**

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda de De Broglie y  $p$  es el momento de la partícula.



# Capítulo 4

## Solución de la Ecuación de Schrödinger

### 4.1 Ecuación de Onda Cuántica

#### 4.1.1 Saber - Conocimientos Teóricos

##### SABER - Conocimientos Teóricos

- Explicar la solución de la ecuación de Schrödinger para el átomo de Hidrógeno
- Reconocer los niveles de energía cuantizados
- Describir la paradoja del gato de Schrödinger
- Comprender los fundamentos de la mecánica cuántica

##### ECUACIÓN FUNDAMENTAL

Ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo:  $i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H}\Psi$

Ecuación de Schrödinger independiente del tiempo:  $\hat{H}\psi = E\psi$   
donde  $\hat{H}$  es el operador Hamiltoniano y  $\Psi$  la función de onda.

#### 4.1.2 Saber Hacer - Habilidades Prácticas

##### SABER HACER - Habilidades Prácticas

- Representar gráficamente los niveles de energía del átomo de hidrógeno
- Resolver la ecuación de Schrödinger en casos simples
- Interpretar funciones de onda
- Calcular probabilidades cuánticas

## 4.2 Pozo de Potencial

### 4.2.1 Saber - Conocimientos Teóricos

#### SABER - Conocimientos Teóricos

- Definir los conceptos de pozo de potencial y barreras de potencial
- Comprender el confinamiento cuántico
- Identificar diferentes tipos de potenciales
- Entender la cuantización energética en sistemas confinados

Para una partícula en un pozo de potencial infinito unidimensional:

#### ECUACIÓN FUNDAMENTAL

**Función de onda:**  $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$

**Niveles de energía:**  $E_n = \frac{n^2\pi^2\hbar^2}{2mL^2}$

### 4.2.2 Saber Hacer - Habilidades Prácticas

#### SABER HACER - Habilidades Prácticas

- Determinar la magnitud de las fuerzas de una partícula confinada en una barrera de energía
- Calcular niveles energéticos en pozos de potencial
- Resolver problemas de confinamiento cuántico
- Analizar sistemas nanoestructurados

## 4.3 Efecto Túnel

### 4.3.1 Saber - Conocimientos Teóricos

#### SABER - Conocimientos Teóricos

- Explicar el comportamiento de una partícula en un pozo de potencial
- Definir la zona prohibida para el electrón
- Comprender el efecto túnel cuántico
- Identificar aplicaciones tecnológicas del efecto túnel

**EXPERIMENTO CLAVE****Efecto Túnel:**

- **Fenómeno:** Penetración de partículas a través de barreras de potencial
- **Probabilidad de transmisión:**  $T \approx e^{-2\kappa a}$  donde  $\kappa = \sqrt{2m(V - E)/\hbar^2}$
- **Aplicaciones:** Microscopio de efecto túnel, diodos túnel

**4.3.2 Saber Hacer - Habilidades Prácticas****SABER HACER - Habilidades Prácticas**

- Establecer el comportamiento de una partícula en una barrera de potencial
- Calcular probabilidades de transmisión túnel
- Analizar dispositivos basados en efecto túnel
- Resolver problemas de tunelaje cuántico

**4.4 Potenciales Periódicos****4.4.1 Saber - Conocimientos Teóricos****SABER - Conocimientos Teóricos**

- Explicar la distribución de cargas propuesto por Kronig-Penney de un cristal unidimensional
- Explicar la diferencia entre cristal perfecto y real
- Comprender la periodicidad en sólidos cristalinos
- Entender las aproximaciones en física del estado sólido

**4.4.2 Saber Hacer - Habilidades Prácticas****SABER HACER - Habilidades Prácticas**

- Aplicar el modelo de Kronig-Penney
- Analizar estructuras cristalinas periódicas
- Calcular bandas de energía en cristales
- Resolver problemas de física del estado sólido

## 4.5 Estructura de Bandas

### 4.5.1 Saber - Conocimientos Teóricos

#### SABER - Conocimientos Teóricos

- Reconocer los sólidos cristalinos, no cristalinos y cuasi cristalinos de acuerdo a la teoría de bandas
- Comprender los modelos de amarre fuerte
- Identificar diferentes tipos de sólidos según su estructura electrónica
- Entender la formación de bandas energéticas

### 4.5.2 Saber Hacer - Habilidades Prácticas

#### SABER HACER - Habilidades Prácticas

- Seleccionar un sólido cristalino y un cuasicristal de acuerdo a la teoría de bandas
- Determinar el comportamiento como conductor de diferentes materiales
- Calcular estructuras de bandas simplificadas
- Clasificar materiales según su estructura electrónica

## 4.6 Definición Microscópica de Conductores, Semiconductores y Aislantes

### 4.6.1 Saber - Conocimientos Teóricos

#### SABER - Conocimientos Teóricos

- Reconocer los materiales conductores, semiconductores y aislantes de acuerdo a la teoría de bandas
- Comprender las diferencias energéticas entre tipos de materiales
- Identificar la banda de valencia y banda de conducción
- Entender el concepto de banda prohibida



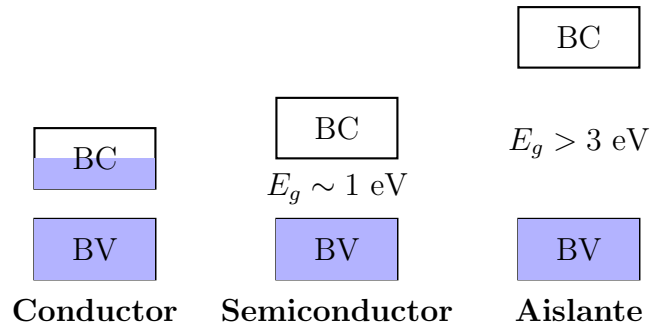


Figura 4.1: Estructura de bandas en diferentes tipos de materiales

#### 4.6.2 Saber Hacer - Habilidades Prácticas

##### SABER HACER - Habilidades Prácticas

- Calcular las energías de la banda prohibida entre un conductor, un semiconductor y un aislante
- Clasificar materiales según sus propiedades eléctricas
- Predecir comportamientos eléctricos basándose en estructura de bandas
- Diseñar aplicaciones basadas en propiedades semiconductoras



# Capítulo 5

## Ejercicios y Problemas Resueltos

### 5.1 Problemas de Electromagnetismo

**Problema 1:** Calcular el campo eléctrico generado por una distribución de carga puntual en materiales nanoestructurados.

**Solución:** Para una carga puntual  $q$  en el vacío:  $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$

En materiales nanoestructurados, debemos considerar la permitividad relativa  $\epsilon_r$ :  
 $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q}{r^2} \hat{r}$

### 5.2 Problemas de Mecánica Cuántica

**Problema 2:** Determinar los niveles de energía de un electrón confinado en un punto cuántico esférico.

**Solución:** Para una partícula en una esfera de radio  $R$ :  $E_{nl} = \frac{\hbar^2}{2mR^2} \alpha_{nl}^2$   
donde  $\alpha_{nl}$  son las raíces de las funciones esféricas de Bessel.



# Apéndice A

## Constantes Físicas Fundamentales

Constante	Símbolo	Valor
Velocidad de la luz	$c$	$2,998 \times 10^8$ m/s
Constante de Planck	$h$	$6,626 \times 10^{-34}$ J·s
Constante de Planck reducida	$\hbar$	$1,055 \times 10^{-34}$ J·s
Carga elemental	$e$	$1,602 \times 10^{-19}$ C
Masa del electrón	$m_e$	$9,109 \times 10^{-31}$ kg
Constante de Boltzmann	$k_B$	$1,381 \times 10^{-23}$ J/K

Cuadro A.1: Constantes físicas fundamentales



# Apéndice B

## Fórmulas de Mecánica Cuántica

### B.1 Operadores Cuánticos Fundamentales

Observable	Operador
Posición	$\hat{x} = x$
Momento	$\hat{p} = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$
Energía cinética	$\hat{T} = \frac{\hat{p}^2}{2m} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2$
Hamiltoniano	$\hat{H} = \hat{T} + V$

Cuadro B.1: Operadores cuánticos fundamentales





# Apéndice C

## Materiales Nanoestructurados

### C.1 Propiedades Cuánticas en Nanomateriales

Los materiales nanoestructurados exhiben propiedades únicas debido al confinamiento cuántico:

- **Puntos cuánticos:** Confinamiento en las tres dimensiones
- **Hilos cuánticos:** Confinamiento en dos dimensiones
- **Pozos cuánticos:** Confinamiento en una dimensión



# Bibliografía

- [1] Griffiths, D.J. *Quantum Mechanics*. Cambridge University Press, USA, 2016.
- [2] Sánchez, M. *Física Cuántica*. Piramide, México, 2015.
- [3] Bauer, W. & Westfall, G.D. *Física para ingeniería y ciencias con física moderna*. McGraw Hill, China, 2014.
- [4] Eisberg, R. & Resnick, R. *Física cuántica*. Limusa Wiley, España.
- [5] Searway, R.A., Moses, C.J. & Moyer, C.A. *Física moderna*. Cengage Learning Editores S.A. de C.V., América Latina, 2005.
- [6] Tipler, P.A. *Física Moderna*. Reverte, Madrid, España, 2012.
- [7] Peraza Álvarez, A. *Elementos de Física Moderna*. Trillas, México D.F., 2010.
- [8] Ohanian, H.C. *Modern Physics*. Prentice-Hall, London, Inglaterra, 2005.
- [9] Beiser, A. *Concepts of Modern Physics*. McGraw Hill, London, Inglaterra, 2003.
- [10] de la Peña, L. & Villavicencio, M. *Problemas y Ejercicios de Mecánica Cuántica*. Fondo de Cultura Económica, México D.F., 2003.
- [11] Reitz, J.R., Milford, F.J. & Christy, R.W. *Fundamentos de la Teoría Electromagnética*. Addison-Wesley Iberoamericana, Madrid, España, 1995.