



INSTITUTO SUPERIOR
TECNOLÓGICO PELILEO

CIENCIA Y DISEÑO: TECNOLOGÍA DE MATERIALES Y RESISTENCIA MECÁNICA



CIENCIA Y DISEÑO: TECNOLOGÍA DE MATERIALES Y RESISTENCIA MECÁNICA

Directorio editorial institucional

Dr. Rodrigo Mena Mg.

Rector

Mg. Sandra Cando

Coordinadora Institucional

Mg. Oscar Toapanta

Coordinador de I+D+i

Ing. Johanna Iza

Líder de Publicaciones

Diseño y diagramación

Mg. Belén Chávez

Mg. Santiago Mayorga

Revisión técnica de pares académicos

Ing. Jhonatan Vistin Mg.

IST PELILEO

Correo: jdvisitin@institutos.gob.ec

Ing. Francisco Jara

IST PELILEO

Correo: fjjara@institutos.gob.ec

ISBN:978-9942-686-25-1

DOI: <https://doi.org/10.59602/re.73>

Primera edición

Agosto 2024

<https://istp.edu.ec>

Usted es libre de compartir, copiar la presente guía en cualquier medio o formato, citando la fuente, bajo los siguientes términos: Debe dar crédito de manera adecuada, bajo normas APA vigentes, fecha, página/s. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma arbitraria sin hacer uso de fines de lucro o propósitos comerciales; debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original. No puede aplicar restricciones digitales que limiten legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia

Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).





Ing. Christian Martínez, Mg.

DOCENTE



Ing. César Pinto.

DOCENTE



Ingeniero mecánico con una sólida formación académica y una especialización en estructuras metálicas, respaldada por una maestría en esta área. Su trayectoria profesional incluye una notable experiencia en el diseño, análisis y optimización de estructuras metálicas, combinada con una pasión por la investigación y la enseñanza.

Actualmente, se desempeña como docente investigador en la educación superior, donde se dedica a formar a futuros profesionales mediante una metodología pedagógica innovadora y basada en la experiencia práctica.

Ingeniero industrial con experiencia en la supervisión de proyectos civiles como hidroeléctricas y bloques petroleros, siempre atento a que todo se realice bajo las normas de seguridad y calidad. Ha trabajado como técnico de ingeniería en la construcción de una hidroeléctrica, participando activamente en el control de obra y en la instalación de sistemas eléctricos y mecánicos. Ahora, como docente en la carrera de electromecánica en el Instituto Superior Tecnológico Pelileo, disfruta compartiendo su experiencia en mantenimiento industrial y seguridad. En sus clases, mezcla la teoría con ejemplos prácticos, creando un ambiente cercano y motivador para que los estudiantes aprendan de manera dinámica y divertida.



PRÓLOGO

La tecnología de materiales desempeña un rol crucial en el campo de la electromecánica, ya que la selección adecuada de materiales es fundamental para garantizar la eficiencia, durabilidad y seguridad de los sistemas y equipos electromecánicos. A medida que los avances tecnológicos demandan soluciones más sofisticadas y sostenibles, el conocimiento de las propiedades de los materiales, así como su comportamiento bajo diversas condiciones de operación, se vuelve indispensable para los futuros tecnólogos.

Cada sección ha sido estructurada para proporcionar una combinación de teoría, ejemplos prácticos y cálculos, que permitirán a los estudiantes aplicar estos conceptos en situaciones reales dentro del ámbito industrial.

La Resistencia de Materiales es una rama de la ingeniería mecánica que se encarga de estudiar el comportamiento de los sólidos deformables cuando se les aplican cargas externas. En otras palabras, nos ayuda a entender cómo reaccionan los materiales (como metales, cerámicas, polímeros) ante fuerzas como la tensión, compresión, flexión, torsión, etc., y a predecir si una pieza o estructura fallará bajo esas condiciones.

Esta materia como parte de la formación académica del futuro profesional, es fundamental en el diseño de cualquier estructura o componente mecánico, desde edificios y puentes hasta máquinas y herramientas. Permite garantizar la seguridad de que una estructura o pieza pueda soportar las cargas a las que estará sometida sin colapsar.



**INSTITUTO SUPERIOR
TECNOLÓGICO PELILEO**

Tomo 1:

Tecnología y

procesamiento de

materiales

Ing. Cesar E. Pinto B.

CONTENIDOS

01

CAPÍTULO UNO PROPIEDADES DE LA MATERIA

- 1.1. Propiedades físicas y químicas de la materia.
- 1.2. Estados de la materia
- 1.3. Cambios de estado
- 1.4. Densidad
- 1.5. Peso específico

02

CAPÍTULO DOS FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DE ALEACIONES

- 2.1. Fundamento teórico.
- 2.2. Formación del acero y clasificación
- 2.3. Metales no ferrosos y sus aleaciones

03

CAPÍTULO TRES POLÍMEROS

- 3.1. Fundamento teórico
- 3.2. Estructura y clasificación
- 3.3. Métodos de polimerización y aplicaciones.

04

CAPÍTULO CUATRO FUNDICIÓN Y PROCESOS DE FUNDICIÓN

- 4.1. Arenas para fundición
- 4.2. Clasificación por tipo de material, por tamaño y por forma
- 4.3. Aplicaciones en la industria de la fundición
- 4.4. Pasos para el proceso de fundición en arena
- 4.5. Pasos para el proceso de fundición en moldes.
- 4.6. Inspecciones de control de calidad

05

CAPÍTULO CINCO ENSAYOS Y ANÁLISIS DE MATERIALES

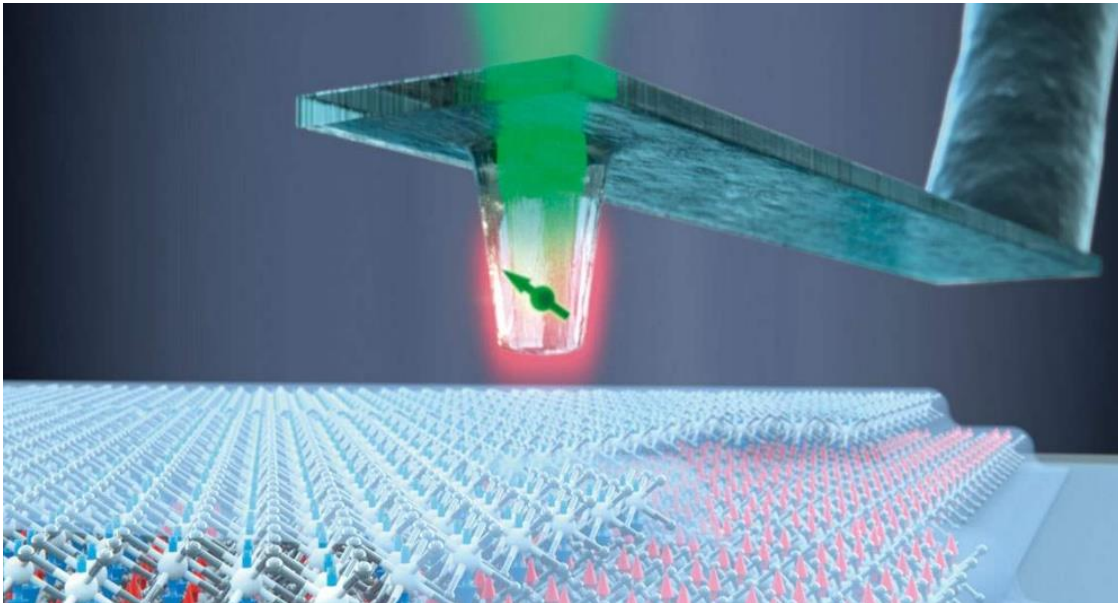
- 5.1. Métodos de ensayo y caracterización de materiales.
- 5.2. Ensayos mecánicos y pruebas de dureza.
- 5.3. Análisis microestructural y técnicas de observación de materiales.
- 5.4. Interpretación y uso de resultados de ensayos en aplicaciones prácticas.
- 5.5. Selección de materiales para componentes electromecánicos

BIBLIOGRAFÍA ANEXOS



01

PROPIEDADES DE LA MATERIA



PROPIEDADES DE LA MATERIA

1.1. Propiedades físicas y químicas de la materia.

Las propiedades físicas de la materia son aquellas características que pueden ser observadas o medidas sin alterar la identidad química de una sustancia. Estas propiedades son esenciales para identificar y clasificar los materiales, así como para determinar su idoneidad en diferentes aplicaciones.

Ejemplos de Propiedades Físicas

Masa: Cantidad de materia en un objeto, medida en kilogramos (kg) o gramos (g).

Volumen: Espacio ocupado por un objeto, medido en metros cúbicos (m³) o litros (L).

Densidad: Relación entre la masa y el volumen de un objeto, medida en kg/m³ o g/cm³.

Estado físico: Sólido, líquido o gas, según la organización y movimiento de las moléculas.

Punto de fusión: Temperatura a la cual un sólido se convierte en líquido.

Punto de ebullición: Temperatura a la cual un líquido se convierte en gas.

Conductividad térmica: Capacidad de un material para conducir calor.

Conductividad eléctrica: Capacidad de un material para conducir electricidad

Ejemplo 1: Cálculo de la Densidad

Problema: Un bloque de metal tiene una masa de 300 gramos y un volumen de 100 cm³. ¿Cuál es su densidad?

Fórmula	Sustitución	Resultado
Densidad = $\frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$	$\frac{300 \text{ g}}{100 \text{ cm}^3}$	3 g/cm ³

Ejemplo 2: Determinación de la Masa



Un cubo de material tiene un volumen de 50 cm^3 y una densidad de 2 g/cm^3 . ¿Cuál es su masa?

Masa = Densidad $\times$ Volumen	$2 \text{ g/cm}^3 \times$ 50 cm^3	100 g
--	--	-------

Propiedades Químicas

Las propiedades químicas describen el comportamiento de una sustancia durante una reacción química, es decir, cómo una sustancia puede transformarse en otra diferente. Estas propiedades son cruciales para entender cómo los materiales reaccionan con otros, lo que afecta su durabilidad y uso en diferentes aplicaciones.

Reactividad: Capacidad de una sustancia para reaccionar con otras, como el hierro que reacciona con el oxígeno para formar óxido.

Inflamabilidad: Capacidad de una sustancia para arder en presencia de oxígeno.

Corrosión: Degradación de un material debido a una reacción química, como la oxidación de metales.

pH: Medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia.

Cálculos Práctico

Cálculo del Cambio de Masa Después de una Reacción Química

Problema: Se oxidan 50 g de hierro (Fe) para formar óxido de hierro (Fe_2O_3). Si se sabe que la masa del oxígeno combinado es 21,4 g, ¿cuál

es la masa total del óxido de hierro formado?

Fórmula	Sustitución	Resultado
Masa total del óxido de hierro = Masa del hierro + Masa del oxígeno	50 g + 21,4 g	71,4 g

1.2. Estados de la materia

La materia existe en diferentes estados físicos, que dependen de la organización y energía de las partículas que la componen. Los estados más comunes de la materia son sólido, líquido y gas, aunque también existen otros como el plasma y el condensado de Bose-Einstein bajo condiciones extremas.

1.2.1 Estado Sólido

Características:

Las partículas están muy juntas y organizadas en un patrón fijo.

Tienen forma y volumen definidos.

Baja energía cinética de las partículas.

Ejemplo: Metales como el hierro y el cobre, hielo, madera.

1.2.2 Estado Líquido

Características:

Las partículas están más separadas que en los sólidos y pueden moverse, pero aún están relativamente cercanas.

Tienen volumen definido, pero adoptan la forma del recipiente que los contiene.

Energía cinética intermedia de las partículas.



Ejemplo: Agua, aceite, mercurio.

1.2.3 Estado Gaseoso

Características:

Las partículas están muy separadas y se mueven libremente.

No tienen forma ni volumen definidos; ocupan todo el espacio disponible.

Alta energía cinética de las partículas.

Ejemplo: Oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua.

1.2.4 Otros Estados (Avanzado)

Plasma: Gas ionizado con propiedades conductoras de electricidad, encontrado en estrellas y lámparas fluorescentes.

Condensado de Bose-Einstein: Estado de la materia a temperaturas cercanas al cero absoluto, donde las partículas se agrupan en el menor estado de energía.

1.3. Cambios de estado



Transiciones entre Estados

Las transiciones entre los estados de la materia se conocen como

cambios de estado y ocurren cuando se añade o elimina energía en forma de calor. Estas transiciones incluyen:

- **Fusión:** Cambio de sólido a líquido.
- **Solidificación:** Cambio de líquido a sólido.
- **Evaporación:** Cambio de líquido a gas.
- **Condensación:** Cambio de gas a líquido.
- **Sublimación:** Cambio directo de sólido a gas.
- **Deposición:** Cambio directo de gas a sólido.

1.4. Densidad

La **densidad** es una propiedad física de la materia que se define como la masa por unidad de volumen de una sustancia. Es una medida de cuán compacta está la materia en un objeto. La fórmula para calcular la densidad es:

$$\text{Densidad}(\rho) = \frac{\text{Masa}(m)}{\text{Volumen}(V)}$$

Donde:

- ρ es la densidad (en kg/m^3 o g/cm^3),
- m es la masa (en kg o g),
- V es el volumen (en m^3 o cm^3).

5.2 Ejemplos y Cálculos de Densidad



Ejemplo 1: Cálculo de la Densidad de un Material

Problema: Se tiene un cubo de metal con una masa de 500 g y un volumen de 200 cm³. ¿Cuál es la densidad del metal?

Solución:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{500 \text{ g}}{200 \text{ cm}^3}$$

$$\rho = 2.5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Ejemplo 2: Determinación del Volumen a partir de la Densidad y Masa

Problema: Un líquido tiene una densidad de 0.8 g/cm³ y una masa de 400 g. ¿Cuál es el volumen que ocupa?

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{400 \text{ g}}{0.8 \text{ g/cm}^3}$$

$$V = 500 \text{ cm}^3$$

1.5. Peso específico

El peso específico es una propiedad relacionada con la densidad, pero se define como el peso por unidad de volumen de una sustancia. La fórmula para calcular el peso específico es:

$$\text{Peso Especifico}(\gamma) = \frac{\text{Peso}(W)}{\text{Volumen}(V)}$$

Otra forma común de expresarlo es:

$$\gamma = \rho \times g$$

Donde:

γ es el peso específico (en N/m³),

ρ es la densidad (en kg/m³),

g es la aceleración debida a la gravedad (aproximadamente 9.81 m/s²).

Ejemplo 1: Cálculo del Peso Específico

Problema: Una sustancia tiene una densidad de 1,000 kg/m³. ¿Cuál es su peso específico?

Solución:

$$\gamma = \rho \times g$$

$$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$$

Ejemplo 2: Determinación de la Densidad a partir del Peso Específico

Problema: Si una sustancia tiene un peso específico de 7,850 N/m³, ¿cuál es su densidad?

Solución:

$$p = \frac{\gamma}{g}$$

$$p = \frac{7850 \text{ N/m}^3}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$p = 800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$



AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Cuál de las siguientes opciones es un ejemplo de propiedad física de la materia?

- a) Reactividad
- b) Inflamabilidad
- c) Densidad
- d) Corrosión

2. ¿Qué ocurre durante el proceso de fusión?

- a) Un sólido se convierte en líquido.
- b) Un líquido se convierte en sólido.
- c) Un gas se convierte en líquido.
- d) Un sólido se convierte en gas.

3. ¿Cuál es la fórmula para calcular la densidad de un material?

- a) $\text{Densidad} = \text{Volumen} / \text{Masa}$
- b) $\text{Densidad} = \text{Masa} \times \text{Volumen}$
- c) $\text{Densidad} = \text{Masa} / \text{Volumen}$
- d) $\text{Densidad} = \text{Masa} + \text{Volumen}$

4. ¿Cuál es el estado de la materia en el que las partículas están más separadas y se mueven libremente?

- a) Sólido
- b) Líquido
- c) Gas
- d) Plasma

5. El peso específico de una sustancia es:

- a) Su peso dividido por su volumen.
- b) Su masa multiplicada por la gravedad.
- c) Su densidad dividida por la gravedad.

d) Su volumen dividido por su peso.

6. ¿Qué cambio de estado ocurre cuando un sólido se convierte directamente en gas?

- a) Sublimación
- b) Fusión
- c) Condensación
- d) Deposición

7. Si una sustancia tiene una densidad de 2.5 g/cm^3 y un volumen de 100 cm^3 , ¿cuál es su masa?

- a) 250 g
- b) 40 g
- c) 25 g
- d) 400 g

8. ¿Cuál de las siguientes es una propiedad química de la materia?

- a) Punto de ebullición
- b) Conductividad térmica
- c) Reactividad con ácidos
- d) Densidad

9. ¿Qué ocurre durante el proceso de condensación?

- a) Un líquido se convierte en gas.
- b) Un gas se convierte en líquido.
- c) Un sólido se convierte en gas.
- d) Un líquido se convierte en sólido.

10. ¿Cuál es la aceleración debida a la gravedad que se usa comúnmente en los cálculos de peso específico?

- a) 9.81 m/s^2
- b) 10 m/s^2
- c) 8.9 m/s^2
- d) 9.8 m/s^2



02

FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DE ALEACIONES



FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DE ALEACIONES

2.1. Fundamento teórico.

Las aleaciones son materiales compuestos por dos o más elementos, de los cuales al menos uno es un metal. Las aleaciones se diseñan para mejorar las propiedades de los metales puros, como su resistencia, dureza, ductilidad, o resistencia a la corrosión. La combinación de diferentes elementos en una aleación afecta su estructura cristalina y, por lo tanto, sus propiedades mecánicas y físicas.

Solución Sólida: Cuando los átomos de un elemento se disuelven en la red cristalina de otro elemento, formando una fase única.

Compuestos Inter metálicos: Aleaciones donde los elementos se combinan en proporciones definidas, formando estructuras cristalinas específicas y distintas.

Fases y Diagramas de Fases: Un diagrama de fases representa las relaciones entre temperatura, composición y fases presentes en una aleación, siendo esencial para comprender la formación y transformación de las aleaciones.

Un diagrama de fases es una representación gráfica que muestra las fases presentes en un sistema material en función de variables como la temperatura, la composición y, en algunos casos, la presión. Estos diagramas son esenciales para entender cómo se comportan las aleaciones y otros materiales bajo diferentes condiciones.

Fase: Una fase es una porción homogénea de un sistema material con propiedades físicas y químicas uniformes. En los diagramas de fases, cada fase se representa como una región distinta.

Composición: La cantidad relativa de los componentes en una aleación o mezcla, usualmente expresada en porcentaje.

Temperatura: Una variable crítica en los diagramas de fases que afecta la solubilidad y la estabilidad de las fases.

Elementos de un Diagrama de Fases

Líneas de Solubilidad:

Línea de Liquidus: Indica la temperatura por encima de la cual el material está completamente en estado líquido.

Línea de Solidus: Indica la temperatura por debajo de la cual el material está completamente en estado sólido.

Línea de Solvus: Marca los límites de solubilidad de un componente en otro en estado sólido.

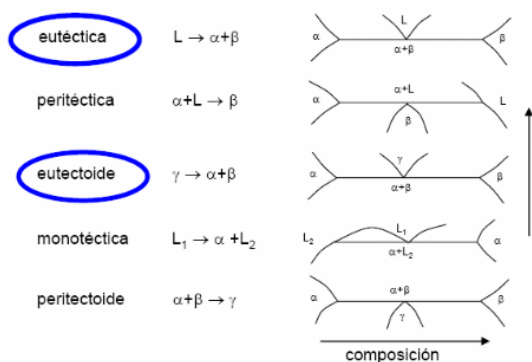
Regiones de Fases:

- **Fase Sólida (α , β , γ):** Áreas del diagrama donde el material es completamente sólido. Las letras griegas suelen representar diferentes tipos de estructuras cristalinas.
- **Fase Líquida (L):** Región donde el material está en estado líquido.
- **Fase Bifásica:** Zonas donde coexisten dos fases, como sólido

y líquido o dos sólidos diferentes ($\alpha + \beta$).

Puntos y Líneas Críticas:

- **Punto Eutéctico:** Donde tres fases coexisten en equilibrio (líquido y dos fases sólidas) a una temperatura específica, con la composición específica.
- **Punto Peritéctico:** Donde un líquido y una fase sólida se transforman en una segunda fase sólida al enfriarse.



Reacciones de Fase:

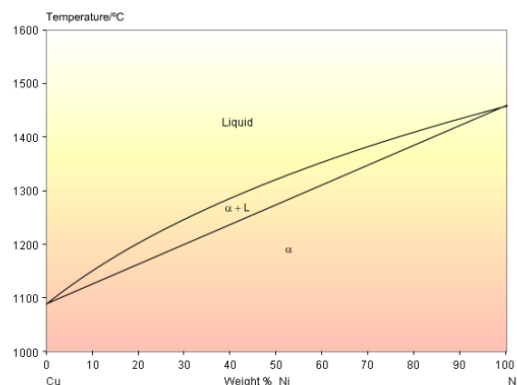
- **Reacción Eutéctica:** Una fase líquida se transforma simultáneamente en dos fases sólidas al enfriarse.
- **Reacción Peritéctica:** Una fase sólida y una fase líquida se transforman en una segunda fase sólida al enfriarse.

Tipos de Diagramas de Fases

1. Diagrama Tipo I Dos elementos son completamente solubles en los estados líquido y sólido

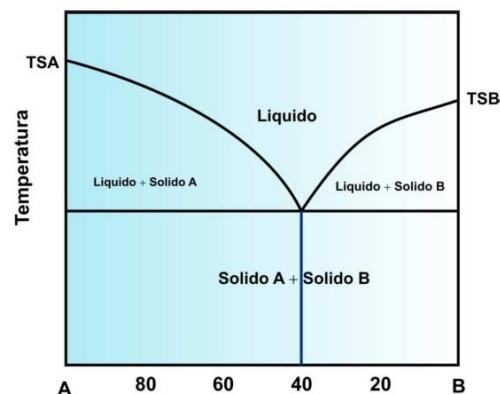
Describe sistemas con dos componentes que forman una solución sólida completa en todo el rango de composiciones y temperaturas.

Ejemplo: Sistema cobre-níquel (Cu-Ni), donde ambos metales son solubles entre sí en todas las proporciones.



2. Diagrama Tipo II Solubilidad total en el estado líquido e insolubles en estado sólido

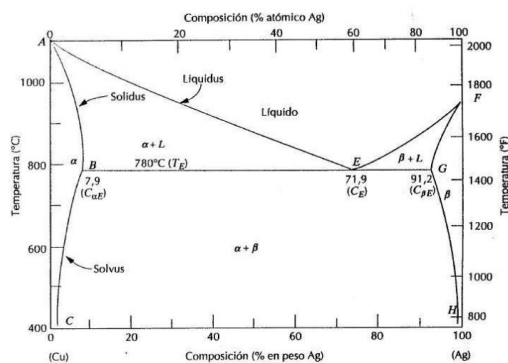
Describe sistemas con dos componentes que tienen solubilidad limitada en estado sólido y presentan una reacción eutéctica. Ejemplo: Sistema plomo-estaño (Pb-Sn), común en aleaciones de soldadura.



3. Diagrama Tipo III. Dos elementos son completamente solubles en el estado líquido, pero sólo parcialmente solubles en estado sólido.

Presenta una reacción peritéctica, donde una fase sólida y una fase líquida se transforman en una segunda fase sólida.

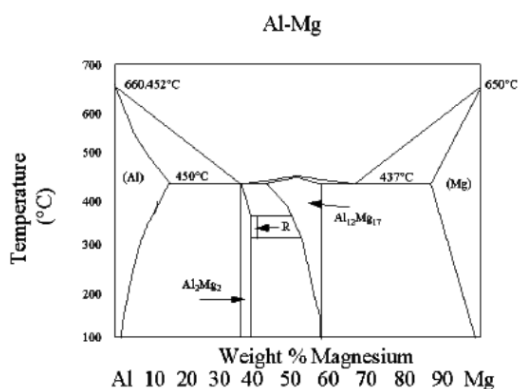
Ejemplo: Sistema hierro-carbono (Fe-C) en la formación de ciertas fases del acero.



4. Diagrama tipo IV Diagrama Ternario:

Involucra tres componentes y se representa en un diagrama triangular, mostrando cómo se combinan las diferentes fases en función de las composiciones de los tres componentes.

Ejemplo: Sistema aluminio-cobre-magnesio (Al-Cu-Mg), utilizado en aleaciones avanzadas de aluminio.



Cálculos y Fórmulas en los Diagramas de Fases

Los diagramas de fases no solo proporcionan información cualitativa sobre las fases presentes en un sistema, sino que también permiten realizar cálculos cuantitativos importantes para entender mejor las propiedades y el

comportamiento de las aleaciones. A continuación, se presentan los cálculos y fórmulas más comunes asociados con los diagramas de fases.

Regla de la Palanca (Lever Rule)

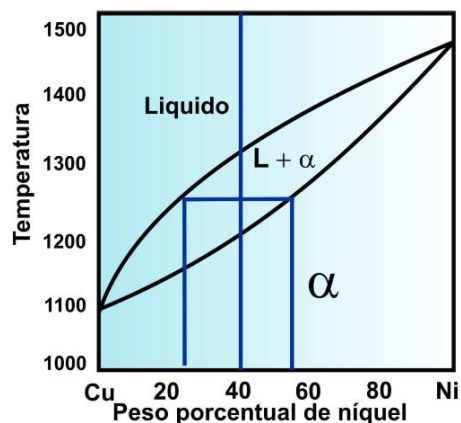
La regla de la palanca se utiliza para determinar las fracciones de las fases presentes en una aleación a una temperatura específica dentro de una región bifásica (es decir, donde coexisten dos fases).

1) Fases presentes

Para identificar las fases presentes basta con localizar el punto definido por la temperatura y la composición, y el diagrama suministra, directamente, las fases presentes en dicho punto.

2) Determinación de composiciones de fases

Cuando sólo existe una fase, su composición es la misma que la de la aleación. Cuando se encuentran presentes dos fases: se traza una recta horizontal por el punto que indica la temperatura de la aleación (línea vínculo) y se lee la composición de cada una de ellas en las intersecciones de esta línea con las líneas de liquidus y de solidus (CL y Ca)





3) Cantidades relativas de cada fase

Si llamamos W_L y W_α a las proporciones relativas de las fases líquida y sólida, la deducción de la regla de la palanca se fundamenta en dos expresiones de conservación de la masa:

En primer lugar, tratándose de una aleación bifásica, la suma de las fracciones de las fases presentes debe ser la unidad:

$$W_\alpha + W_L = 1$$

En segundo lugar, las masas de los componentes (Cu y Ni) deben coincidir con la masa total de la aleación

$$W_\alpha C_\alpha + W_L C_L = C_0$$

Las soluciones simultáneas de estas dos ecuaciones conducen a la expresión de la regla de la palanca para esta situación particular

$$W_\alpha = \frac{C_0 - C_L}{C_\alpha - C_L}$$

$$W_L = \frac{C_\alpha - C_0}{C_\alpha - C_L}$$

Por lo tanto, la famosa Regla de la Palanca se puede escribir así:

$$\text{Porcentaje de fase} = \frac{\text{brazo de palanca opuesto}}{\text{longitud total de la línea de enlace}} \times 100$$

La cual tiene las características siguientes:

Se puede aplicar la regla de la palanca en cualquier región de dos fases de un diagrama de fases binario.

Se utiliza para calcular la fracción relativa o porcentual de una fase en una mezcla de dos fases.

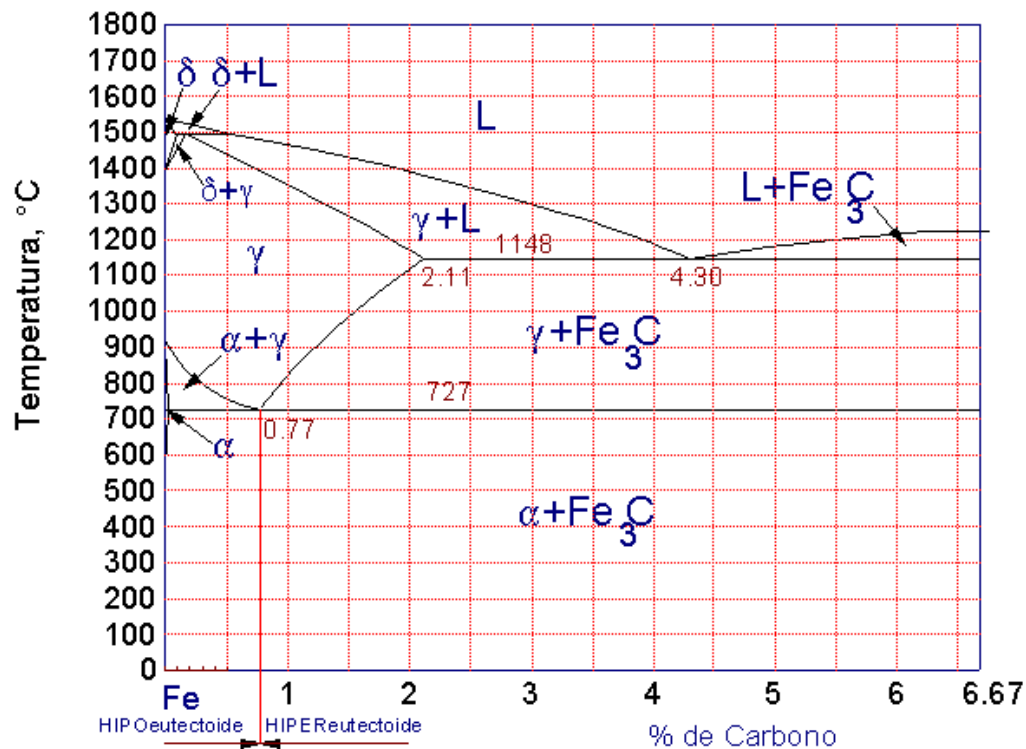
Los extremos de la palanca indican la composición de cada fase (es decir, la concentración química de los distintos componentes)

Ejemplo de Aplicación:

Considera una aleación de 40% de componente B en un diagrama eutéctico, con fases α y β a 600°C. Supongamos que, a esta temperatura, $C_\alpha = 20\%$ de B y $C_\beta = 80\%$ de B.



fundiciones, ya que muestra las fases presentes en función de la temperatura y la composición de carbono. Este diagrama es crucial para ingenieros y metalurgistas



$$\text{Fracción de } \alpha = \frac{80 - 40}{80 - 20} = \frac{40}{60} = 0.67$$

$$\text{Fracción de } \beta = \frac{40 - 20}{80 - 20} = \frac{20}{60} = 0.33$$

Esto significa que, a 600°C, la aleación tendrá 67% de la fase α y 33% de la fase β .

2.2. Formación del acero y clasificación

El diagrama hierro-carbono es fundamental para comprender el comportamiento de los aceros y las

porque permite predecir las microestructuras y propiedades del material bajo diferentes condiciones de enfriamiento y composición.

Descripción del Diagrama Hierro-Carbono

El diagrama hierro-carbono se extiende desde el 0% al 6.67% de carbono en peso, aunque el acero se limita generalmente a composiciones de carbono menores al 2.11%. Las fases y microestructuras más importantes del diagrama incluyen:

Ferrita (α): Una solución sólida de carbono en hierro, con estructura



BCC (cúbica centrada en el cuerpo). Es blanda y dúctil, con un contenido máximo de carbono de 0.022% a temperatura ambiente.

Austenita (γ): Una solución sólida de carbono en hierro con estructura FCC (cúbica centrada en las caras). Se forma a temperaturas elevadas y puede disolver hasta un 2.11% de carbono.

Cementita (Fe_3C): Un carburo de hierro, extremadamente duro y frágil, con un 6.67% de carbono en peso. Es una fase intermetálica que forma parte de las microestructuras de los aceros.

Perlita: Una microestructura que se compone de láminas alternadas de ferrita y cementita. Se forma cuando el acero con 0.76% de carbono se enfría lentamente desde la región austenítica.

Ledeburita: Una mezcla eutéctica de austenita y cementita que se forma a partir de un acero con un 4.3% de carbono al solidificarse a 1147°C.

2. Puntos y Regiones Claves del Diagrama

Punto Eutectoide (0.76% C, 727°C):

A esta composición y temperatura, la austenita se transforma completamente en perlita al enfriarse lentamente.

Punto Eutéctico (4.3% C, 1147°C):

A esta composición y temperatura, el líquido se solidifica directamente

en una mezcla de austenita y cementita, llamada ledeburita.

Región Ferrítica (α):

Esta región se extiende desde 0% hasta 0.022% de carbono y desde temperatura ambiente hasta 912°C. Aquí, la ferrita es la única fase presente.

Región Austenítica (γ):

Desde 727°C hasta 1493°C, en aleaciones con contenido de carbono desde 0.022% hasta 2.11%, la austenita es la fase estable.

Región de Cementita (Fe_3C):

El cementita se forma en varias partes del diagrama, tanto como fase primaria en la solidificación de aceros ricos en carbono, como en microestructuras mixtas como la perlita y la ledeburita.

3. Microestructuras Formadas

Aceros Hipoeutectoides ($C < 0.76\%$):

Al enfriar, se forma primero ferrita y luego perlita. La cantidad de ferrita aumenta cuanto menor es el contenido de carbono.

Aceros Eutectoides ($C = 0.76\%$):

Se transforma completamente en perlita, que proporciona una mezcla equilibrada de resistencia y ductilidad.

Aceros Hipereutectoides ($0.76\% < C < 2.11\%$):

Se forma primero cementita proeutectoide y luego perlita al enfriar. Estos aceros son más duros y

frágiles debido al mayor contenido de cementita.

Fundiciones ($C > 2.11\%$):

Para composiciones superiores al 2.11% de carbono, el material solidifica en una mezcla de austenita y cementita (ledeburita). Las fundiciones contienen una cantidad significativa de cementita y son más duras y frágiles que los aceros.

Formación del Acero

El acero es una aleación compuesta principalmente de hierro y una pequeña cantidad de carbono (generalmente menos del 2.11%), junto con otros elementos de aleación que pueden ser añadidos para mejorar sus propiedades. La formación del acero implica una serie de procesos metalúrgicos que transforman el mineral de hierro en acero utilizable.

1. Proceso de Fabricación del Acero

El proceso de fabricación del acero generalmente sigue los siguientes pasos:

1. Obtención del Mineral de Hierro:

El mineral de hierro (óxidos de hierro) se extrae de la tierra y se procesa para eliminar impurezas.

2. Reducción del Mineral de Hierro:

En un alto horno, el mineral de hierro se reduce utilizando coque (carbono) y piedra caliza (CaCO_3). El coque actúa como agente reductor, transformando los óxidos de hierro en hierro fundido. La piedra caliza elimina las impurezas formando escoria.

3. Conversión del Hierro Fundido en Acero:

El hierro fundido obtenido del alto horno se convierte en acero mediante un proceso de oxidación, eliminando el exceso de carbono y otras impurezas. Este proceso se realiza en un convertidor o en un horno de arco eléctrico (EAF).

4. Afinado y Aleación:

En esta etapa, se ajustan las concentraciones de carbono y otros elementos de aleación (como cromo, níquel o manganeso) para obtener las propiedades deseadas.

5. Solidificación y Moldeo:

El acero líquido se moldea en lingotes, planchas o se envía a procesos de colada continua donde se solidifica y se corta en formas específicas.

6. Tratamientos Térmicos:





Dependiendo del uso final, el acero puede someterse a tratamientos térmicos como el recocido, temple y revenido para mejorar su dureza, ductilidad y resistencia.

2. Propiedades del Acero

El acero es conocido por su combinación de resistencia y ductilidad, lo que lo convierte en un material versátil para diversas aplicaciones industriales y de construcción. Sus propiedades pueden ajustarse ampliamente mediante la alteración del contenido de carbono y la adición de otros elementos de aleación.

6.2.2 Clasificación del Acero

Los aceros se clasifican en función de varios criterios, como su composición química, propiedades mecánicas, y aplicaciones. A continuación se presenta una clasificación comúnmente utilizada:

1. Aceros al Carbono

Los aceros al carbono son aquellos donde el elemento principal de aleación es el carbono. Se clasifican según el contenido de carbono:

- **Aceros de Bajo Carbono ($\leq 0.25\%$ C):**
Suaves y dúctiles.
Usados en construcción, fabricación de automóviles y estructuras.
- **Aceros de Medio Carbono (0.25% - 0.60% C):**
Mayor resistencia y dureza.
Usados en ejes, engranajes, y maquinaria.
- **Aceros de Alto Carbono ($\geq 0.60\%$ C):**
Muy duros y resistentes al desgaste.

Usados en herramientas de corte, resortes, y cuchillas.

2. Aceros Aleados

Los aceros aleados contienen otros elementos en adición al carbono para mejorar ciertas propiedades como la resistencia a la corrosión, dureza, y tenacidad.

- **Aceros al Cromo (Cr):**
Mejoran la resistencia a la corrosión y la dureza.
Usados en herramientas y maquinaria.
- **Aceros al Níquel (Ni):**
Aumentan la tenacidad y resistencia a bajas temperaturas.
Usados en la fabricación de piezas para motores y componentes aeronáuticos.
- **Aceros al Molibdeno (Mo):**
Mejoran la resistencia al calor y la dureza.
Usados en calderas y recipientes a presión.

3. Aceros Inoxidables

Los aceros inoxidable contienen al menos 10.5% de cromo, lo que les confiere una alta resistencia a la corrosión. Se clasifican en función de su microestructura:

- **Austeníticos:**
No magnéticos, con alto contenido de níquel.
Usados en utensilios de cocina, equipos médicos, y estructuras arquitectónicas.
- **Ferríticos:**
Magnéticos, con bajo contenido de carbono.
Usados en aplicaciones automotrices y electrodomésticos.
- **Martensíticos:**



Magnéticos y endurecibles por tratamiento térmico.

Usados en cuchillería, herramientas de corte, y válvulas.

4. Aceros para Herramientas

Estos aceros están diseñados para resistir el desgaste, la deformación, y las altas temperaturas. Contienen elementos como tungsteno, molibdeno, cobalto, y vanadio.

- **Aceros para trabajo en caliente:**
Usados en matrices de forja.
- **Aceros para trabajo en frío:**
Usados en troqueles y moldes.
- **Aceros de alta velocidad:**
Usados en herramientas de corte que operan a alta velocidad.

2.3. Metales no ferrosos y sus aleaciones

Los metales no ferrosos son aquellos metales que no contienen hierro en cantidades significativas. Estos metales y sus aleaciones son cruciales en diversas industrias debido a sus propiedades únicas como la resistencia a la corrosión, baja densidad, alta conductividad eléctrica y térmica, entre otras. A continuación, se detallan algunos de los metales no ferrosos más importantes y sus principales aleaciones.

1. Aluminio (Al) y sus Aleaciones

Aluminio es un metal ligero, dúctil y resistente a la corrosión. Es ampliamente utilizado en la industria

automotriz, aeronáutica y de construcción.

Propiedades:

Baja densidad (2.7 g/cm^3).

Buena conductividad térmica y eléctrica.

Alta resistencia a la corrosión debido a la formación de una capa de óxido protectora.

Aleaciones de Aluminio:

Serie 1000: Aluminio puro (99% Al), utilizado en aplicaciones donde se requiere alta conductividad eléctrica.

Serie 2000 (Al-Cu): Alta resistencia mecánica, utilizada en la industria aeroespacial.

Serie 3000 (Al-Mn): Buena resistencia a la corrosión, utilizada en latas de bebidas.

Serie 5000 (Al-Mg): Excelente resistencia a la corrosión, utilizada en construcciones marinas.

Serie 6000 (Al-Mg-Si): Alta resistencia y buena maquinabilidad, utilizada en estructuras y perfiles.

Serie 7000 (Al-Zn): Altísima resistencia, utilizada en aplicaciones aeronáuticas.

2. Cobre (Cu) y sus Aleaciones





Cobre es un metal conocido por su excelente conductividad eléctrica y térmica. Se utiliza en aplicaciones eléctricas, tuberías y sistemas de refrigeración.

Propiedades:

Alta conductividad eléctrica y térmica.

Resistencia a la corrosión.

Buena ductilidad y maleabilidad.

Aleaciones de Cobre:

Latón (Cu-Zn): Utilizado en válvulas, conectores, e instrumentos musicales por su buena resistencia a la corrosión y maleabilidad.

Bronce (Cu-Sn): Utilizado en cojinetes, engranajes y esculturas debido a su resistencia al desgaste y propiedades antifricción.

Cobre-Berilio (Cu-Be): Alta resistencia y dureza, utilizada en herramientas no magnéticas y resistentes a chispas.

Cobre-Níquel (Cu-Ni): Alta resistencia a la corrosión en ambientes marinos, utilizada en intercambiadores de calor y tuberías de condensadores.

3. Níquel (Ni) y sus Aleaciones

Níquel es un metal que aporta alta resistencia a la corrosión y estabilidad a altas temperaturas, lo que lo hace esencial en aplicaciones industriales y químicas.

Propiedades:

Excelente resistencia a la corrosión.

Estabilidad a altas temperaturas.

Capacidad de formar aleaciones superresistentes.

Aleaciones de Níquel:

Inconel (Ni-Cr-Fe): Alta resistencia a la corrosión y a la oxidación a altas temperaturas, utilizada en turbinas de gas y componentes de motores aeronáuticos.

Monel (Ni-Cu): Excelente resistencia a la corrosión en ambientes marinos, utilizado en válvulas y accesorios marinos.

Nimonic (Ni-Cr-Ti-Al): Resistencia a la fluencia a altas temperaturas, utilizada en componentes de motores de reacción.

4. Titanio (Ti) y sus Aleaciones

Titanio es conocido por su alta relación resistencia-peso y excelente resistencia a la corrosión, especialmente en ambientes extremos.

Propiedades:

Alta resistencia mecánica.

Baja densidad (4.5 g/cm^3).

Excelente resistencia a la corrosión, incluso en agua salada y ácidos.

Aleaciones de Titanio:

Aleaciones α (Ti-Al-V): Buena resistencia a la oxidación, utilizadas en aplicaciones aeronáuticas.

Aleaciones β (Ti-Mo-Fe): Buenas propiedades de conformabilidad y alta resistencia, utilizadas en la industria automotriz y biomédica.

Aleaciones $\alpha+\beta$ (Ti-6Al-4V): Combinan buena conformabilidad



y alta resistencia, ampliamente utilizadas en aplicaciones médicas y aeroespaciales.

5. Zinc (Zn) y sus Aleaciones

Zinc es un metal utilizado principalmente para la galvanización de acero y hierro, protegiéndolos de la corrosión.

Propiedades:

Moderada resistencia a la corrosión.

Buenas propiedades de fundición.

Baja temperatura de fusión (419.5°C).

Aleaciones de Zinc:

Zamak (Zn-Al-Mg-Cu): Utilizado en fundición a presión para piezas complejas, como componentes automotrices y hardware.

Aleaciones Zn-Cu-Ti: Utilizadas en la fabricación de monedas debido a su buena resistencia al desgaste y baja fricción.

6 Magnesio (Mg) y sus Aleaciones

Magnesio es el metal estructural más ligero y se utiliza en aplicaciones donde el peso es un factor crítico.

Propiedades:

Muy baja densidad (1.74 g/cm³).

Buena resistencia a la vibración y al impacto.

Relativamente baja resistencia a la corrosión, lo que requiere revestimientos protectores.

Aleaciones de Magnesio:

Aleaciones Mg-Al-Zn (AZ): Utilizadas en componentes automotrices y aeroespaciales debido a su baja densidad y buena resistencia.

Aleaciones Mg-Zr (MZ): Alta resistencia a la corrosión y buenas propiedades mecánicas, utilizadas en aplicaciones aeroespaciales y de defensa.



AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Cuál de las siguientes NO es una propiedad física de la materia?

- a) Densidad
- b) Conductividad térmica
- c) Reactividad química
- d) Dureza

2. ¿Cuál es el cambio de estado que ocurre cuando un sólido se convierte directamente en gas?

- a) Fusión
- b) Sublimación
- c) Vaporización
- d) Condensación

3. ¿Cuál es la fórmula correcta para calcular la densidad de un material?

- a) Densidad = Masa / Volumen
- b) Densidad = Volumen / Masa
- c) Densidad = Masa * Volumen
- d) Densidad = Masa + Volumen

4. ¿En qué punto del diagrama hierro-carbono ocurre la transformación eutectoide?

- a) 0.76% C, 727°C
- b) 4.3% C, 1147°C
- c) 2.11% C, 1493°C
- d) 0.22% C, 912°C

5. ¿Cuál de los siguientes metales es conocido por su excelente conductividad eléctrica?

- a) Aluminio
- b) Cobre
- c) Níquel
- d) Zinc

6. ¿Cuál de las siguientes aleaciones se utiliza comúnmente en la industria aeronáutica debido a su alta resistencia y ligereza?

- a) Latón
- b) Inconel
- c) Titanio-Ti-6Al-4V
- d) Bronce

7. ¿Qué aleación de cobre se utiliza para fabricar herramientas no magnéticas y resistentes a chispas?

- a) Bronce
- b) Cobre-Berilio
- c) Latón
- d) Cobre-Níquel

8. ¿Cuál es la principal aplicación del zinc en la industria?

- a) Conductores eléctricos
- b) Revestimiento anticorrosivo
- c) Componentes aeronáuticos
- d) Estructuras de construcción

9. ¿Qué microestructura se forma en un acero hipoeutectoide cuando se enfría lentamente desde la región austenítica?

- a) Ferrita
- b) Cementita
- c) Perlita
- d) Ledeburita

10. ¿Cuál es la principal característica de las aleaciones de magnesio?

- a) Alta resistencia a la corrosión
- b) Baja densidad
- c) Alta conductividad eléctrica
- d) Alta resistencia térmica



03

POLÍMEROS



POLÍMEROS

Los polímeros son materiales compuestos por macromoléculas formadas por la repetición de unidades más pequeñas llamadas

Los polímeros son materiales compuestos por macromoléculas que resultan de la repetición de unidades más pequeñas llamadas monómeros. Estas macromoléculas son esenciales en la química de materiales, dado que sus propiedades físicas y químicas pueden variar enormemente dependiendo de la naturaleza de los monómeros, la estructura de la cadena polimérica y el tipo de enlaces presentes.

3.1.1 Definición y Estructura de los Polímeros

Un polímero es una sustancia que está formada por moléculas gigantes (macromoléculas), construidas a partir de unidades repetitivas de monómeros conectados por enlaces covalentes. La palabra "polímero" proviene del griego "poly" (muchos) y "meros"

monómeros. Su estructura, clasificación, y métodos de polimerización son fundamentales en la comprensión de su comportamiento y aplicaciones en la industria.

3.1. Fundamento teórico

(partes), lo que refleja la idea de que los polímeros están compuestos por muchas partes (monómeros) unidas entre sí.

Monómero: Es la unidad básica que se repite en un polímero. Ejemplos de monómeros incluyen el etileno (C_2H_4), el propileno (C_3H_6), y el cloruro de vinilo (C_2H_3Cl).

Polimerización: Es el proceso químico mediante el cual los monómeros se unen para formar una cadena polimérica. Dependiendo del mecanismo de reacción, la polimerización puede ser de adición o de condensación.

3.1.2 Propiedades Intrínsecas de los Polímeros

Las propiedades de los polímeros están directamente relacionadas con su estructura molecular y el tipo



de fuerzas intermoleculares presentes:

Peso Molecular: El peso molecular de un polímero es la suma de las masas de todas las unidades monoméricas en una molécula. Un mayor peso molecular generalmente indica mejores propiedades mecánicas, como resistencia y dureza.

Cristalinidad: La disposición de las cadenas poliméricas puede ser amorfa (desordenada) o cristalina (ordenada). La cristalinidad de un polímero afecta su rigidez, transparencia y resistencia térmica. Polímeros con alta cristalinidad, como el polietileno de alta densidad (HDPE), tienden a ser más rígidos y menos transparentes.

Polaridad: La presencia de grupos funcionales polarizados en las cadenas poliméricas afecta las propiedades como la solubilidad y la interacción con otras sustancias. Polímeros con alta polaridad, como el poli(cloruro de vinilo) (PVC), son más resistentes a disolventes no polares.

Fuerzas Intermoleculares: Las fuerzas intermoleculares entre las cadenas de polímero, como las fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno y enlaces iónicos, juegan un papel crucial en la determinación de las propiedades físicas de los polímeros. Estas fuerzas determinan características como la elasticidad, la resistencia térmica y la solubilidad.

3.1.3 Comportamiento Térmico y Propiedades Mecánicas

El comportamiento térmico de los polímeros es crucial para determinar su uso en aplicaciones industriales:

Transición Vítrea (T_g): Es la temperatura a la cual un polímero amorfo pasa de un estado rígido y vítreo a un estado más flexible y gomoso. Los polímeros con una T_g baja, como el polietileno, permanecen flexibles a temperaturas más bajas, mientras que los polímeros con una T_g alta, como el poliestireno, son rígidos a temperatura ambiente.

Temperatura de Fusión (T_m): Es la temperatura a la cual un polímero cristalino se funde y se convierte en un líquido viscoso. Polímeros con alta T_m , como el polipropileno, requieren temperaturas más altas para fundirse, lo que los hace adecuados para aplicaciones a altas temperaturas.

Elastómeros: Estos son polímeros que exhiben elasticidad; pueden deformarse considerablemente y volver a su forma original. Los elastómeros como el caucho natural y los poliuretanos son ampliamente utilizados en aplicaciones donde la flexibilidad es esencial.

3.1.4 Polímeros y Sustentabilidad

En la actualidad, la investigación en polímeros también se enfoca en su impacto ambiental. El desarrollo de biopolímeros y polímeros biodegradables es una respuesta a



la creciente preocupación por la sostenibilidad. Estos materiales, derivados de fuentes renovables o diseñados para degradarse más fácilmente, representan una alternativa a los polímeros convencionales, que pueden persistir en el medio ambiente durante décadas.

Biopolímeros: Polímeros producidos a partir de recursos biológicos como el almidón o el ácido poliláctico (PLA). Estos materiales son cada vez más populares en la producción de envases y productos de un solo uso.

Polímeros Biodegradables: Polímeros que pueden descomponerse bajo condiciones ambientales específicas gracias a la acción de microorganismos. Ejemplos incluyen el PLA y la policaprolactona (PCL)

3.2. Estructura y clasificación

Los polímeros se pueden clasificar de diversas maneras, dependiendo de su estructura, origen, comportamiento térmico y otras características. La comprensión de estas clasificaciones es crucial para seleccionar el polímero adecuado para aplicaciones específicas.

4.2.1 Estructura de los Polímeros

La estructura de los polímeros se refiere a la disposición de las cadenas de monómeros y cómo están conectadas entre sí. Existen varias configuraciones estructurales que influyen en las propiedades físicas y químicas de los polímeros:

Polímeros Lineales:

Las cadenas de polímero están dispuestas en una estructura lineal, sin ramificaciones ni enlaces cruzados entre las cadenas.

Ejemplo: Polietileno (PE) y poli(cloruro de vinilo) (PVC).

Propiedades: Los polímeros lineales tienden a ser flexibles y pueden formar estructuras cristalinas, lo que les confiere alta densidad y resistencia a la tracción.

Polímeros Ramificados:

En este tipo de polímeros, las cadenas principales tienen ramificaciones laterales que se proyectan a partir de la cadena principal.

Ejemplo: Polietileno de baja densidad (LDPE).

Propiedades: Los polímeros ramificados son menos densos y tienen menor cristalinidad que los polímeros lineales, lo que los hace más flexibles pero menos resistentes.

Polímeros Reticulados o Entrecruzados:

Las cadenas de polímero están unidas entre sí por enlaces covalentes, formando una red tridimensional.

Ejemplo: Caucho vulcanizado y resinas epoxi.

Propiedades: Estos polímeros son rígidos, infusibles y no pueden disolverse en solventes. Tienen una alta resistencia al calor y al desgaste.

Polímeros en Red:

Son similares a los polímeros entrecruzados, pero con una estructura de red más densa y compleja.



Ejemplo: Polímeros de resinas termoendurecibles.

Propiedades: Tienen una resistencia mecánica extremadamente alta y son muy estables a temperaturas elevadas.

4.2.2 Clasificación de los Polímeros

Los polímeros pueden clasificarse de varias maneras, en función de diferentes criterios:

Según el Origen:

Polímeros Naturales:

Se encuentran en la naturaleza y son producidos por organismos vivos.

Ejemplo: Celulosa, caucho natural, proteínas.

Polímeros Sintéticos:

Son fabricados por el hombre a partir de monómeros simples mediante procesos de polimerización.

Ejemplo: Poliestireno (PS), poliuretano (PU).

Según el Comportamiento Térmico:

Termoplásticos:

Se ablandan al calentarse y pueden moldearse repetidamente sin cambiar su estructura química.

Ejemplo: Polietileno (PE), policarbonato (PC).

Propiedades: Son procesables a altas temperaturas y reciclables.

Termoestables:

Una vez que se endurecen, no se pueden fundir ni volver a moldear. Forman una red tridimensional de enlaces covalentes durante el proceso de curado.

Ejemplo: Resinas epoxi, baquelita.

Propiedades: Alta resistencia térmica y química, pero no reciclables.

Elastómeros:

Tienen la capacidad de estirarse considerablemente y regresar a su forma original.

Ejemplo: Caucho sintético, silicona.

Propiedades: Alta elasticidad, baja densidad, y resistencia al desgaste.

Según la Composición Química:

Homopolímeros:

Polímeros formados por un solo tipo de monómero.

Ejemplo: Polietileno (PE).

Copolímeros:

Polímeros formados por la combinación de dos o más tipos de monómeros diferentes.

Ejemplo: ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), copolímero de acrilonitrilo, butadieno y estireno.

Tipos de copolímeros:

Alternados: Los monómeros diferentes se alternan en la cadena.

En bloque: Grandes bloques de un tipo de monómero están presentes en la cadena.

Injertados: Un tipo de monómero se une como una ramificación a una cadena principal de otro monómero.

Según el Método de Polimerización:

Ejemplo: Nylon, poliéster.



Criterio	Tipo de Polímero	Descripción	Ejemplos
Estructura	Lineales	Cadenas de monómeros dispuestas en línea recta, sin ramificaciones ni enlaces cruzados.	Polietileno (PE), Poli(cloruro de vinilo) (PVC)
	Ramificados	Cadenas principales con ramificaciones laterales que reducen la cristalinidad y la densidad.	Polietileno de baja densidad (LDPE)
	Reticulados/Entrecruzados	Cadenas unidas por enlaces covalentes formando una red tridimensional; rígidos e infusibles.	Caucho vulcanizado, Resinas epoxi
	En Red	Estructura tridimensional densa y compleja; alta resistencia mecánica y estabilidad térmica.	Resinas termoendurecibles
Origen	Naturales	Polímeros presentes en la naturaleza, producidos por organismos vivos.	Celulosa, Caucho natural
	Sintéticos	Polímeros fabricados por el hombre a partir de monómeros simples mediante polimerización.	Poliestireno (PS), Poliuretano (PU)
Comportamiento Térmico	Termoplásticos	Se ablandan al calentarse y pueden moldearse repetidamente.	Polietileno (PE), Policarbonato (PC)
	Termoestables	Endurecen de forma irreversible al calentarse, formando una red tridimensional.	Resinas epoxi, Baquelita
	Elastómeros	Altamente elásticos; se estiran y regresan a su forma original.	Caucho sintético, Silicona
	Composiciones Químicas	Polímeros compuestos de un solo tipo de monómero.	Polietileno (PE)
	Copolímeros	Polímeros compuestos de dos o más tipos de monómeros.	ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno)

3.3. Métodos de polimerización y aplicaciones.

La polimerización es el proceso mediante el cual los monómeros se enlazan químicamente para formar



polímeros. Existen diferentes métodos de polimerización, cada uno adecuado para producir polímeros con características específicas. A continuación, se describen los principales métodos de polimerización y algunas de sus aplicaciones más comunes.

3.3.1 Polimerización por Adición

En la polimerización por adición, los monómeros se unen sucesivamente para formar una cadena polimérica sin la eliminación de subproductos. Este tipo de polimerización ocurre a través de reacciones en cadena que pueden iniciarse mediante radicales libres, iones o catalizadores específicos.

Proceso:

Iniciación: Se genera un radical libre, un ion o un complejo catalítico que inicia la reacción al romper el doble enlace de un monómero.

Propagación: El monómero activado reacciona con otros monómeros, formando una cadena polimérica en crecimiento.

Terminación: La reacción se detiene cuando dos cadenas en crecimiento se combinan, o cuando un radical se neutraliza.

Ejemplos de Polímeros:

Polietileno (PE): Usado en bolsas plásticas, envases y tuberías.

Polipropileno (PP): Aplicado en textiles, envases para alimentos, y componentes automotrices.

Poliestireno (PS): Utilizado en envases desechables, juguetes y aislamiento térmico.

Aplicaciones:

Envases plásticos: Debido a su durabilidad, flexibilidad y bajo costo.

Materiales de construcción: Como tuberías de PVC y recubrimientos.

Industria textil: Fibras sintéticas como el polipropileno se utilizan en la fabricación de ropa y alfombras.

3.3.2 Polimerización por Condensación

En la polimerización por condensación, los monómeros reaccionan entre sí, eliminando pequeñas moléculas como agua, alcohol o ácido clorhídrico, para formar la cadena polimérica. Este tipo de polimerización se caracteriza por una reducción en la masa molecular total durante la reacción.

Proceso:

Formación de enlaces: Los monómeros que contienen grupos funcionales reactivos, como $-OH$, $-COOH$, o $-NH_2$, reaccionan para formar enlaces covalentes, liberando una molécula pequeña como subproducto.

Crecimiento de la cadena: Este proceso se repite hasta que se forman largas cadenas poliméricas.

Finalización: La reacción termina cuando se agotan los grupos funcionales reactivos o se eliminan todos los subproductos.

Ejemplos de Polímeros:

Nylon (poliamida): Usado en textiles, cuerdas y componentes industriales.

Poliéster: Utilizado en fibras textiles, botellas de plástico (PET), y cintas.

Poliuretano: Aplicado en espumas, recubrimientos, y adhesivos.

Aplicaciones:

Industria textil: Fibras como el nylon y el poliéster son fundamentales en la fabricación de ropa, alfombras y redes.

Adhesivos y sellantes: Los poliuretanos se utilizan ampliamente en la construcción y en la fabricación de calzado.

Automotriz y aeroespacial: Componentes ligeros y resistentes, como los plásticos reforzados con fibra de vidrio, son cruciales en estas industrias.



AUTOEVALUACIÓN ¿Qué es un polímero?

- Un compuesto formado por la repetición de unidades monoméricas.
 - Una sustancia compuesta por una única molécula de gran tamaño.
 - Un material que siempre es rígido y cristalino.
 - Un compuesto formado únicamente por elementos metálicos.
1. ¿Cuál es la diferencia principal entre un polímero natural y uno sintético?
 - Los polímeros naturales no pueden ser degradados biológicamente.
 - Los polímeros sintéticos se encuentran naturalmente en el medio ambiente.
 - Los polímeros naturales son producidos por organismos vivos, mientras que los sintéticos son fabricados por el hombre.
 - Los polímeros naturales se sintetizan en laboratorios, y los sintéticos son producidos por plantas.
 2. ¿Cuál de las siguientes opciones describe mejor un polímero lineal?
 - Un polímero con ramificaciones que se proyectan desde la cadena principal.
 - Un polímero con cadenas dispuestas en una estructura lineal sin ramificaciones.
 - Un polímero con cadenas entrecruzadas formando una red tridimensional.
 - Un polímero que contiene múltiples tipos de monómeros en su estructura.
 3. ¿Qué tipo de polímero está compuesto de un solo tipo de monómero?
 - Copolímero
 - Homopolímero
 - Polímero en bloque
 - Polímero alternado
 4. ¿Cuál de las siguientes opciones corresponde a un polímero termoestable?
 - Polietileno (PE)
 - Policarbonato (PC)
 - Resina epoxi
 - Polipropileno (PP)
 5. ¿Cuál es la característica principal de los elastómeros?
 - Son infusibles y no reciclables.
 - Tienen una alta elasticidad y pueden regresar a su forma original después de ser estirados.
 - Son polímeros lineales con alta densidad.
 - Son rígidos y quebradizos a temperatura ambiente.
 6. En la polimerización por adición, ¿qué ocurre durante la etapa de iniciación?
 - Se eliminan pequeñas moléculas como agua o alcohol.
 - Se genera un radical libre, un ion o un catalizador que rompe el enlace del monómero para iniciar la reacción.
 - Los monómeros se agregan de manera aleatoria sin formar cadenas largas.
 - Las cadenas de polímeros se combinan para formar una estructura ramificada.
 7. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta sobre la polimerización por condensación?
 - No se eliminan subproductos durante la reacción.
 - Se forma un polímero sin ninguna reducción en la masa molecular.
 - Se eliminan pequeñas moléculas, como agua, durante la formación del polímero.



- Siempre produce polímeros ramificados.
8. ¿Qué método de polimerización se caracteriza por la apertura de un monómero cíclico para formar una cadena lineal?
- Polimerización por adición
 - Copolimerización
 - Polimerización por condensación
 - Polimerización por apertura de anillo
9. ¿Cuál de las siguientes aplicaciones está relacionada con polímeros obtenidos por polimerización por condensación?
- Botellas de PET (Polietileno Tereftalato)
 - Bolsas de polietileno
 - Componentes electrónicos de ABS
 - Envases de poliestireno expandido (EPS)



04

FUNDACIÓN Y PROCESOS DE
FUNDACIÓN

4. FUNDICIÓN Y PROCESOS DE FUNDICIÓN

4.1 Arenas para Fundición

Las arenas para fundición son cruciales en la fabricación de moldes para la fundición de metales, ya que sus propiedades determinan la calidad del producto final.



Composición:

Arena de Sílice (SiO_2): Es la más común debido a su alta resistencia térmica y estabilidad química. Contiene un mínimo de 85% de sílice y debe estar libre de impurezas como óxidos de hierro o carbonatos.

Arenas de Circón: Usadas para fundición de metales no ferrosos y aceros especiales, debido a su baja expansión térmica y alta conductividad térmica.

Arenas Olivina y Chromita: Tienen mayor resistencia al calor y se utilizan en fundiciones donde se requieren propiedades específicas como la baja dilatación térmica.

Propiedades clave:

Granulometría: Rango de tamaño de partícula de 50 a 300 micrones, con un promedio de 150 micrones. La granulometría afecta la permeabilidad y la capacidad de compactación de la arena.

Resistencia al colapso: Es crucial para facilitar el desmoldeo. Se mide en términos de resistencia a la compresión en caliente (generalmente en N/cm^2).

Permeabilidad: Debe permitir la evacuación de gases generados durante el vertido del metal. Se mide en términos de flujo de aire a través de un volumen de arena compactada (expresado en Unidades de Permeabilidad, PU).

4.2 Clasificación por Tipo de Material, por Tamaño y por Forma

Las arenas se clasifican para adaptarse a diferentes requisitos de fundición:

Por tipo de material:

Arenas naturales: Contienen una mezcla de sílice y arcillas. Son más económicas pero pueden requerir mayor procesamiento para remover impurezas.

Arenas sintéticas: Compuestas por sílice pura mezclada con aglutinantes sintéticos como resinas fenólicas o silicato de sodio, para mejorar la resistencia y la estabilidad dimensional del molde.

Por tamaño de grano:

Grano grueso (mayor a 200 micrones): Ofrece alta permeabilidad pero menor resolución en los detalles del molde.

Grano fino (menor a 100 micrones): Proporciona una excelente precisión en los detalles, pero puede provocar problemas de desgasificación si no se controlan adecuadamente los parámetros de compactación.

Por forma:



Arenas angulares: Mejora la compactación y la resistencia mecánica del molde, ideales para piezas de gran tamaño y donde se requiere alta estabilidad dimensional.

Arenas redondeadas: Ofrecen mejor permeabilidad y fluidez durante el compactado, utilizadas en moldes donde la eliminación de gases es crítica.

4.3 Aplicaciones en la Industria de la Fundición

Dependiendo del tipo de arena y proceso de fundición, las aplicaciones incluyen:

Fundición de hierro gris y nodular:

Arena de sílice de grano fino (75-150 micrones): Para lograr acabados superficiales finos en piezas de alta precisión como bloques de motor y componentes de maquinaria pesada.

Fundición de acero inoxidable:

Arena de cromita: Ideal para piezas de alta resistencia al desgaste, como válvulas y bombas, debido a su baja expansión térmica y alta conductividad térmica.

Fundición de aluminio y aleaciones ligeras:

Arena de circón: Utilizada en moldes para piezas aeronáuticas y componentes automotrices que requieren alta precisión dimensional y excelente acabado superficial.

4.4 Pasos para el Proceso de Fundición en Arena

El proceso de fundición en arena requiere una secuencia específica

para asegurar la calidad de la pieza fundida:

Preparación del modelo:

Material del modelo: Madera, metal o plástico, dependiendo del tipo de fundición. El modelo debe tener un sobre espesor conocido como contracción para compensar la reducción de tamaño del metal durante el enfriamiento.

Desmoldeantes: Se aplica una capa de desmoldeante para facilitar la extracción del modelo sin dañar el molde de arena.

Moldeado:

Compactación: La arena se compacta alrededor del modelo en la caja de moldeo con una fuerza de compactación típica de 50-70 N/cm², para asegurar la estabilidad del molde.

Aglutinantes: Se pueden añadir aglutinantes como resina fenólica o silicato de sodio para mejorar la cohesión y resistencia del molde.

Extracción del modelo:

Técnicas de desmoldeo: Uso de golpes suaves y vibraciones controladas para evitar daños al molde, asegurando que la cavidad quede limpia y precisa.

Vaciado:

Temperatura de vertido: Debe ser controlada de acuerdo al tipo de metal (por ejemplo, 1,400°C - 1,500°C para hierro fundido). El vertido debe ser continuo y sin interrupciones para evitar defectos en la pieza.

Enfriamiento:

Velocidad de enfriamiento: Se controla para evitar tensiones internas y defectos como grietas o porosidad. Piezas gruesas requieren enfriamiento lento para evitar la formación de tensiones térmicas.

Rompimiento del molde:

Técnicas de rompimiento: Puede incluir vibraciones, martillos neumáticos o chorro de arena para remover la arena residual sin dañar la pieza fundida.

Limpieza:

Arenado: Se utiliza para remover la arena adherida y mejorar la calidad superficial. Se pueden utilizar sistemas de chorro de arena con presión controlada (3-6 bar) para evitar la erosión de la superficie.

4.5 Pasos para el Proceso de Fundición en Moldes

Los moldes utilizados en la fundición pueden ser permanentes o de un solo uso, y los pasos varían según el tipo de molde:

Moldes permanentes:

Preparación del molde:

Material del molde: Aleaciones de acero o hierro fundido con recubrimientos cerámicos para resistir altas temperaturas.

Aplicación de desmoldeantes: Como grafito o silicatos, para facilitar la extracción de la pieza.

Vaciado:

Temperatura de vaciado: De acuerdo con el metal a fundir. Por ejemplo, 660°C para aluminio,

1,200°C para bronce, 1,500°C para acero.

Enfriamiento y solidificación:



Tasa de enfriamiento: Controlada mediante sistemas de enfriamiento forzado para asegurar propiedades mecánicas uniformes en la pieza.

Extracción de la pieza:

Mecanismos de extracción: Pueden incluir sistemas hidráulicos o neumáticos para retirar piezas grandes o complejas sin dañarlas.

Acabado:

Desbarbado y esmerilado: Para remover rebabas y mejorar el acabado superficial. Pueden utilizarse herramientas manuales o automáticas.

Moldes de cera perdida:

Creación del modelo de cera:

Precisión: Modelos con tolerancias dimensionales estrictas (± 0.05 mm) para asegurar la precisión de la pieza final.

Cubierta de cerámica:

Material cerámico: Con alta resistencia térmica y baja reactividad con el metal fundido.

Eliminación de la cera:



Calentamiento: A temperaturas de 150-200°C para eliminar la cera sin dañar la capa cerámica.

Vaciado:

Vaciado controlado: En cámaras de vacío para minimizar la presencia de burbujas y porosidad en la pieza final.

Enfriamiento y ruptura del molde:

Rompimiento del molde: Con herramientas vibratorias o chorro de agua a alta presión para no dañar piezas delicadas.

4.6 Inspecciones de Control de Calidad

El control de calidad en fundición es fundamental para garantizar que las piezas cumplen con las especificaciones técnicas requeridas. Las inspecciones incluyen:

Pruebas de resistencia del material:

Dureza Brinell o Rockwell: Para verificar la resistencia superficial, especialmente en piezas sometidas a desgaste.

Pruebas de tracción y compresión: Para asegurar que la pieza puede soportar las cargas especificadas sin fallar.

Inspección visual:

Lupas o microscopios de inspección: Para detectar grietas superficiales, porosidad o defectos de soldadura.

Pruebas dimensionales:

Calibres y micrómetros: Para medir dimensiones críticas y asegurar que están dentro de las tolerancias especificadas.



AUTOEVALUACIÓN

¿Cuál es la principal característica que debe tener la arena de fundición?

- A) Alta resistencia al calor
- B) Baja capacidad de compactación
- C) Alta reactividad química
- D) Alta absorción de humedad

¿Qué propiedad de la arena de fundición permite la evacuación de gases generados durante el vertido del metal?

- A) Resistencia térmica
- B) Permeabilidad
- C) Densidad
- D) Granulometría

¿Cuál de las siguientes arenas se utiliza principalmente para la fundición de metales no ferrosos debido a su baja expansión térmica?

- A) Arena de sílice
- B) Arena de circón
- C) Arena de olivina
- D) Arena de arcilla

¿Qué tipo de arena proporciona una alta definición de los detalles del molde, pero puede tener problemas de desgasificación?

- A) Arena de grano grueso
- B) Arena de grano fino
- C) Arena de grano intermedio
- D) Arena de grano mixto

Para la fundición de piezas de acero inoxidable, ¿qué tipo de arena se utiliza debido a su alta resistencia al calor?

- A) Arena de sílice
- B) Arena de circón
- C) Arena de olivina
- D) Arena de sílice recubierta

¿Cuál es el tipo de arena más comúnmente utilizado para la fundición de piezas de aluminio?

- A) Arena de circón
- B) Arena de olivina
- C) Arena de sílice
- D) Arena de arcilla

¿Qué paso en el proceso de fundición en arena implica la aplicación de una capa de desmoldeante?

- A) Preparación del modelo
- B) Moldeado
- C) Vaciado
- D) Limpieza

¿Cuál es la temperatura típica de vertido para hierro fundido en el proceso de fundición en arena?

- A) 1,200°C
- B) 1,400°C
- C) 1,600°C
- D) 1,800°C

¿En el proceso de fundición de cera perdida, qué se elimina antes de verter el metal fundido?

- A) El modelo de cera
- B) La capa de cerámica
- C) El molde de metal
- D) El recubrimiento de desmoldeante

En la fundición con moldes permanentes, ¿qué tipo de material se utiliza para fabricar el molde?

- A) Arcilla
- B) Polímeros
- C) Aleaciones de acero o hierro fundido
- D) Madera



05

**ENSAYOS Y ANÁLISIS DE
MATERIALES**



ENSAYOS Y ANÁLISIS DE MATERIALES

5.1 Métodos de Ensayo y Caracterización de Materiales

Los métodos de ensayo y caracterización de materiales son fundamentales para entender las propiedades intrínsecas de los materiales. Estos ensayos proporcionan información sobre la composición, estructura, y comportamiento bajo diferentes condiciones. A través de técnicas como la radiografía, ultrasonido, y ensayos destructivos y no destructivos, se puede evaluar la calidad y adecuación de los materiales para su uso en aplicaciones específicas.

Interpretación: Por ejemplo, si un material muestra defectos internos en un ensayo de ultrasonido, podría no ser adecuado para aplicaciones que requieran alta resistencia estructural. La radiografía puede revelar inclusiones o vacíos que afectarían la integridad del material.

Ensayos No Destructivos (NDT):

Radiografía: Utiliza rayos X o rayos gamma para examinar el interior de un material sin dañarlo. Es útil para detectar defectos internos como porosidades o inclusiones.

$$I = I_0 \exp(-\mu x)$$

- Donde:
 - I = Intensidad de la radiación transmitida
 - I_0 = Intensidad de la radiación incidente
 - μ = Coeficiente de atenuación del material
 - x = Grosor del material

Ultrasonido: Emplea ondas ultrasónicas para detectar discontinuidades internas y medir el grosor de materiales.

$$t = \frac{2d}{v}$$

- Donde:
 - t = Tiempo de vuelo del pulso ultrasónico
 - d = Distancia al defecto
 - v = Velocidad del sonido en el material

Partículas Magnéticas: Usa un campo magnético para identificar defectos superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos.

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

- Donde:
 - H = Intensidad del campo magnético
 - I = Corriente
 - r = Radio del material

Líquidos Penetrantes: Permite detectar defectos superficiales mediante la aplicación de un líquido penetrante que se adentra en las fisuras y se revela en la superficie.

Ensayos Destructivos:

Pruebas de tracción: Miden la resistencia a la deformación de un material bajo una carga axial. Permite determinar la resistencia a la tensión, el módulo de elasticidad y la elongación.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

- Donde:
 - σ = Estrés (fuerza/área)
 - ϵ = Deformación (cambio de longitud/original)



Pruebas de compresión: Evalúan la capacidad de un material para soportar cargas de compresión y se utilizan para materiales que soportan cargas axiales.

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

- Donde:
 - σ_c = Estrés de compresión
 - F = Fuerza aplicada
 - A = Área de la sección transversal

Pruebas de impacto: Como el ensayo de Charpy, mide la tenacidad del material y su capacidad para absorber energía durante un impacto.

$$E = m \cdot g \cdot h$$

- Donde:
 - E = Energía absorbida
 - m = Masa del péndulo
 - g = Aceleración debida a la gravedad
 - h = Altura desde la que se deja caer el péndulo

Caracterización Química:

Espectrometría de Masas: Identifica la composición elemental de una muestra al medir la masa de los átomos.

$$m = \frac{m_{\text{ion}}}{z}$$

- Donde:
 - m = Masa del ion
 - z = Carga del ion

Espectroscopía de Absorción Atómica (AAS): Mide la concentración de elementos

metálicos en una muestra a través de la absorción de luz.

$$A = \log \left(\frac{I_0}{I} \right) = \epsilon \cdot c \cdot l$$

- Donde:
 - A = Absorbancia
 - ϵ = Coeficiente de absorción
 - c = Concentración del analito
 - l = Longitud del camino óptico

5.2 Ensayos Mecánicos y Pruebas de Dureza

Las pruebas mecánicas y de dureza proporcionan información crucial sobre el comportamiento de un material bajo diferentes condiciones de carga y desgaste.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Ejemplo: Si un material tiene una tensión de 200 MPa y una deformación de 0.01, entonces:

$$E = \frac{200 \text{ MPa}}{0.01} = 20,000 \text{ MPa} = 20 \text{ GPa}$$

Interpretación: Si un material tiene un bajo valor de dureza Brinell, podría no ser adecuado para aplicaciones que requieran resistencia al desgaste. Los ensayos de tracción revelan el límite elástico y la resistencia máxima, lo cual es crucial para evitar fallas en componentes sometidos a cargas elevadas.

Ensayos de Tracción:

Módulo de Elasticidad: Relación entre el estrés y la deformación en la región elástica del material. Se mide en GPa.



Límite de Elasticidad: Máxima tensión que un material puede soportar sin deformarse permanentemente.

Resistencia a la Ruptura: Carga máxima que un material puede soportar antes de fracturarse.

Pruebas de Dureza:

Dureza Brinell (HB): Medida de la dureza mediante la impresión de una bola de acero en la superficie del material. Se utiliza para materiales más blandos.

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

- Donde:
 - F = Carga aplicada
 - D = Diámetro de la bola
 - d = Diámetro de la impresión

Dureza Rockwell (HR): Determina la dureza mediante la penetración de un cono de diamante o una bola de acero. Ofrece medidas rápidas y es adecuada para una variedad de materiales.

$$HR = N - \frac{E}{C}$$

- Donde:
 - N = Lectura de la escala Rockwell
 - E = Profundidad de la impresión
 - C = Coeficiente específico de la escala

Dureza Vickers (HV): Utiliza un penetrador en forma de pirámide de diamante y es adecuada para materiales duros y finos.

$$HV = \frac{1.854 \cdot F}{d^2}$$

- Donde:
 - F = Carga aplicada
 - d = Diagonal de la impresión

5.3 Análisis Microestructural y Técnicas de Observación de Materiales

El análisis microestructural es crucial para comprender las propiedades internas y el comportamiento de los materiales.

Interpretación: Un análisis microestructural que muestra un tamaño de grano fino puede indicar una mayor resistencia y dureza del material. La presencia de ciertas fases o inclusiones podría afectar negativamente la ductilidad o la resistencia a la corrosión.

Microscopía Óptica:

Microscopía de Luz Reflejada: Utiliza luz reflejada para examinar la estructura de materiales opacos.

$$d = \frac{0.61 \cdot \lambda}{NA}$$

- Donde:
 - d = Resolución
 - λ = Longitud de onda de la luz
 - NA = Número de apertura del objetivo

Microscopía de Luz Transmitida: Examina materiales transparentes y permite observar detalles finos en secciones delgadas.

Microscopía Electrónica:

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM): Proporciona imágenes de



alta resolución de la superficie de un material y permite analizar la composición química con un detector de energía dispersiva de rayos X (EDX).

Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM): Ofrece imágenes a nivel atómico y permite observar la estructura interna de los materiales.

Difracción de Rayos X (XRD):

Análisis de la Estructura Cristalina: Utiliza rayos X para identificar fases cristalinas y estructuras en materiales.

5.4 Interpretación y Uso de Resultados de Ensayos en Aplicaciones Prácticas

La interpretación adecuada de los resultados de los ensayos y análisis es esencial para seleccionar el material adecuado y asegurar el desempeño óptimo de componentes y estructuras.

Interpretación: Si los ensayos muestran que un material puede soportar cargas máximas inferiores a las esperadas, debe reconsiderarse su uso en aplicaciones críticas, como en componentes estructurales. Del mismo modo, si un material tiene una alta tasa de corrosión, podría ser inapropiado para ambientes corrosivos sin un tratamiento adecuado.

Evaluación de Propiedades Mecánicas:

Relación con el Diseño: Los resultados de los ensayos de

tracción, compresión y dureza se utilizan para determinar si un material puede soportar las condiciones de carga esperadas en su aplicación final.

Selección de Materiales: Basado en los resultados de los ensayos, se seleccionan materiales con propiedades adecuadas para aplicaciones específicas, como resistencia a la corrosión, dureza, y tenacidad.

$$P_{\max} = \sigma_{\max} \cdot A$$

Control de Calidad:

Comparación con Especificaciones: Se comparan los resultados con las especificaciones del producto para asegurar que el material cumple con los estándares requeridos.

Detección de Defectos: La interpretación de datos de ensayos no destructivos y destructivos ayuda a identificar y corregir defectos antes de la implementación en aplicaciones prácticas.

5.5 Selección de Materiales para Componentes Electromecánicos

Propiedades Mecánicas:

Resistencia Mecánica: Los componentes electromecánicos a menudo están sujetos a cargas mecánicas, como fuerzas de tracción, compresión, torsión o flexión. La resistencia del material a estas cargas es crucial para evitar fallos estructurales. Materiales como aceros de alta resistencia, aleaciones de titanio o compuestos reforzados se eligen frecuentemente



por su capacidad para soportar cargas elevadas sin deformarse.

Dureza: La dureza es importante para los componentes que están sujetos a desgaste o fricción, como rodamientos y ejes. Un material con alta dureza, como los aceros endurecidos o las cerámicas, reduce el desgaste y prolonga la vida útil del componente.

Ductilidad y Tenacidad: Estos aspectos son importantes en aplicaciones donde el material debe absorber impactos o deformarse sin romperse, como en carcasas de motores o soportes estructurales.

Propiedades Térmicas:

Conductividad Térmica: Los componentes electromecánicos generan calor durante su operación. Materiales con alta conductividad térmica, como el cobre o el aluminio, son preferidos en conductores eléctricos y disipadores de calor, ya que ayudan a disipar el calor de manera eficiente.

Coeficiente de Expansión Térmica: Es crucial seleccionar materiales con un coeficiente de expansión térmica adecuado para evitar problemas de desalineación o fallos por fatiga térmica. En componentes multicapa o ensamblados, la compatibilidad térmica entre los materiales es esencial para evitar tensiones internas.

Propiedades Eléctricas:

Conductividad Eléctrica: En componentes como bobinados de motores, conectores o barras

colectoras, la conductividad eléctrica es un factor determinante. Los materiales como el cobre, con una alta conductividad eléctrica, son generalmente la elección estándar, aunque las aleaciones de cobre o el aluminio también se utilizan en aplicaciones específicas.

Resistividad: En algunos componentes, como resistencias o elementos calefactores, se requieren materiales con resistividad controlada. Materiales como las aleaciones de níquel-cromo son comunes en estos casos.

Aislamiento Eléctrico: Los materiales aislantes, como plásticos o cerámicas, son esenciales para evitar cortocircuitos y garantizar la seguridad en componentes eléctricos y electromecánicos.

Propiedades Químicas:

Resistencia a la Corrosión: La resistencia a la corrosión es crítica en entornos agresivos, como en aplicaciones marinas o químicas. Los materiales resistentes a la corrosión, como las aleaciones de aluminio, aceros inoxidables o polímeros avanzados, se seleccionan para evitar el deterioro del componente.

Compatibilidad Química: En aplicaciones donde los componentes están en contacto con fluidos o gases específicos, es vital seleccionar materiales que no reaccionen químicamente con el entorno, garantizando la longevidad y la seguridad del sistema.

Consideraciones Económicas y de Fabricación:



Costo: El costo del material es siempre un factor limitante. Aunque materiales avanzados pueden ofrecer mejores propiedades, es necesario equilibrar su costo con el presupuesto del proyecto. En muchos casos, se busca un material que ofrezca una buena relación costo-beneficio.

Facilidad de Procesado: La facilidad de mecanizado, conformado o unión de un material afecta la selección. Materiales que pueden ser fácilmente moldeados, soldados o mecanizados suelen ser preferidos para reducir los costos de fabricación y mejorar la calidad del producto final.

Fundamentación Práctica

Motores Eléctricos:

Selección de Núcleo Magnético: Los núcleos de los motores eléctricos requieren materiales con alta permeabilidad magnética y baja histéresis para minimizar las pérdidas de energía. Los aceros al silicio y los compuestos de ferrita se utilizan ampliamente por su capacidad para mejorar la eficiencia del motor.

Bobinas de Cobre: Las bobinas de los motores eléctricos están hechas típicamente de cobre debido a su alta conductividad eléctrica, lo que reduce las pérdidas por resistencia y mejora la eficiencia energética del motor.

Carcasa del Motor: Las carcasas se fabrican comúnmente con aluminio o hierro fundido, proporcionando una buena combinación de resistencia mecánica y

conductividad térmica para disipar el calor generado durante el funcionamiento.

Generadores:

Componentes del Rotor y Estator: Los generadores requieren materiales con alta resistencia mecánica y magnética. El acero laminado se utiliza comúnmente en rotores y estatores para reducir las pérdidas por corrientes parásitas.

Sistemas de Aislamiento: Los sistemas de aislamiento en generadores deben resistir altas temperaturas y ofrecer una excelente resistencia dieléctrica. Materiales como las resinas epóxicas y los plásticos reforzados se emplean para garantizar la seguridad y durabilidad.

Transformadores:

Núcleos Laminados: En transformadores, se utilizan núcleos de acero laminado con bajo contenido de carbono para minimizar las pérdidas por corrientes de Foucault. Estos núcleos están diseñados para maximizar la eficiencia del transformador.

Bobinados de Aluminio o Cobre: Los bobinados están hechos de cobre o aluminio, con una preferencia por el cobre debido a su mejor conductividad. Sin embargo, el aluminio se usa en aplicaciones donde el peso es un factor crítico.

Actuadores Electromecánicos:

Materiales Piezoeléctricos: En actuadores piezoeléctricos, se seleccionan materiales como el



titanato de zirconato de plomo (PZT) por su capacidad de cambiar de forma bajo la aplicación de un campo eléctrico, permitiendo movimientos precisos en aplicaciones de control.

Materiales Magnetostrictivos: En actuadores magnetostrictivos, se utilizan materiales como la terfenol-D, que se expande o contrae en respuesta a un campo magnético, convirtiendo la energía eléctrica en movimiento mecánico.



AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Cuál de los siguientes métodos se utiliza comúnmente para caracterizar las propiedades mecánicas de un material?

- a) Espectrometría de masas
- b) Ensayo de tracción
- c) Difracción de rayos X
- d) Microscopía electrónica de barrido

2. ¿Qué propiedad se evalúa principalmente en un ensayo de dureza Brinell?

- a) Resistencia a la fatiga
- b) Resistencia al impacto
- c) Capacidad de deformación plástica
- d) Resistencia a la indentación superficial

3. ¿Qué tipo de ensayo mide la cantidad de energía absorbida por un material antes de la fractura?

- a) Ensayo de fatiga
- b) Ensayo de impacto Charpy
- c) Ensayo de tracción
- d) Ensayo de dureza Rockwell

4. ¿Cuál es el objetivo principal del análisis microestructural en materiales?

- a) Determinar la composición química del material
- b) Estudiar la estructura interna a nivel microscópico
- c) Medir la dureza superficial
- d) Evaluar la resistencia eléctrica del material

5. En el contexto de los ensayos de dureza, ¿qué escala se utiliza comúnmente para medir la dureza de materiales muy duros como el acero templado?

- a) Escala Mohs
- b) Escala Brinell
- c) Escala Rockwell C
- d) Escala Vickers

6. ¿Cuál de las siguientes técnicas es utilizada para observar la microestructura de un material?

- a) Microscopía óptica
- b) Difractometría de rayos X
- c) Espectrometría de infrarrojos
- d) Termogravimetría

7. ¿Qué información clave se obtiene al realizar un análisis microestructural en un acero al carbono?

- a) La presencia de impurezas químicas
- b) La distribución de fases como la ferrita y la perlita
- c) La conductividad térmica
- d) El coeficiente de dilatación

8. ¿Cuál de los siguientes métodos de ensayo se utiliza para determinar la resistencia al desgaste de un material?

- a) Ensayo de tracción
- b) Ensayo de dureza Rockwell
- c) Ensayo de abrasión
- d) Ensayo de impacto Izod

9. ¿Qué aspecto clave se debe considerar al seleccionar un material para componentes electromecánicos?

- a) Su peso específico
- b) Su resistencia mecánica y conductividad eléctrica
- c) Su color y apariencia
- d) Su capacidad de aislamiento térmico

10. ¿Qué resultado práctico puede interpretarse de un ensayo de tracción en un material metálico?

- a) La conductividad eléctrica del material
- b) El límite elástico y la resistencia máxima a la tracción
- c) La cantidad de carbono presente en el material
- d) La dureza superficial del material



BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA:

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales. Wiley.

- Van Vlack, L. H. (2005). Elementos de ciencia e ingeniería de los materiales. Pearson Educación.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2012). Física universitaria con física moderna. Pearson.
- Higgins, R. A. (1993). Metalurgia Física Aplicada: Parte 1, Metalurgia Física Aplicada. Arnold.
- Smith, W. F., & Hashemi, J. (2010). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. McGraw-Hill.
- Dieter, G. E. (2005). Metalurgia Mecánica. McGraw-Hill.
- Shackelford, J. F. (2015). Introducción a la ciencia de los materiales para ingenieros. Pearson.



**INSTITUTO SUPERIOR
TECNOLÓGICO PELILEO**

Tomo 2:

Resistencia de Materiales

Ing. Christian Martínez Mg.

CONTENIDOS

01

CAPÍTULO UNO PRINCIPIO DE LA RESISTENCIA DE MATERIALES

- 1.1. Conceptos básicos de la resistencia de materiales
- 1.2. Unidades de medida y análisis dimensional
- 1.3. Diagramas de cuerpo libre

02

CAPÍTULO DOS ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

- 2.1. Introducción
- 2.2. Tipos de esfuerzos
- 2.3. Esfuerzos y cargas permisibles
- 2.4. Tensión
- 2.5. Compresión
- 2.6. Torsión
- 2.7. Flexión

03

CAPÍTULO TRES FLEXIÓN EN VIGAS

- 3.1. Tipos de vigas
- 3.2. Fuerza cortante y momento flexionante
- 3.3. Diagramas de cortante y momento flector
- 3.4. Problemas de aplicación en vigas

BIBLIOGRAFÍA



01

PRINCIPIO DE LA RESISTENCIA DE MATERIALES



1.1 Conceptos básicos de la resistencia de materiales

Basándose en el enfoque de (Hibbeler, 2016), se proponen algunas de las definiciones básicas de la Resistencia de Materiales

Sólido deformable: Un cuerpo sólido que cambia de forma y tamaño cuando se le aplica una fuerza.

Esfuerzo: La fuerza interna por unidad de área que resiste una deformación.

Deformación: El cambio en la forma o tamaño de un cuerpo debido a un esfuerzo aplicado.

Ley de Hooke: Establece la relación lineal entre el esfuerzo y la deformación dentro del límite elástico de un material.

Módulo de elasticidad: El módulo de elasticidad, también conocido como módulo de Young, es una propiedad mecánica de los materiales que mide su rigidez o resistencia a deformarse elásticamente cuando se le aplica una fuerza. En otras palabras, indica qué tan fácilmente un material se estira o comprime bajo una carga.

La unidad estándar en el Sistema Internacional (SI) para el módulo de elasticidad es el Pascal que

equivale a un Newton por metro cuadrado (N/m^2).

Tensión: Esfuerzo que tiende a alargar un cuerpo.

Compresión: Esfuerzo que tiende a acortar un cuerpo.

Cizalladura: Esfuerzo que tiende a hacer deslizar unas partes de un cuerpo sobre otras.

Flexión: Deformación que combina tensión y compresión, típicamente en vigas.

Torsión: Deformación que produce el giro de una sección transversal alrededor de su eje longitudinal.

Diagrama tensión-deformación: Representación gráfica de la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación resultante en un material.

Límite elástico: El punto máximo hasta el cual un material puede deformarse elásticamente y recuperar su forma original al retirar la carga.

Punto de fluencia: El punto en el que el material comienza a deformarse plásticamente, es decir, de forma permanente.

Resistencia a la tracción: El esfuerzo máximo que un material puede soportar antes de fracturarse.

1.2 Cargas Estáticas

Partiendo de las definiciones de (Beer, F. P., Johnston, E. R., Jr., & DeWolf, J. T., 2018), las cargas estáticas son fuerzas que se ejercen sobre una estructura de forma constante y persistente en el tiempo, manteniendo una magnitud y dirección constantes sin fluctuaciones significativas. Estas cargas no inducen vibraciones ni movimientos oscilatorios en la estructura. Las cargas estáticas garantizan la estabilidad y la integridad estructural al ejercer una influencia constante, lo que permite a las estructuras soportar tensiones prolongadas sin comprometer su forma ni su función. Esta aplicación gradual de la fuerza subraya la importancia del diseño estructural para soportar presiones sostenidas y mantener la eficiencia operativa durante periodos prolongados.

Cargas Puntuales: Las cargas puntuales se refieren a fuerzas concentradas aplicadas en lugares específicos de una estructura, como por ejemplo el peso de la maquinaria que descansa sobre una sola viga. Esta aplicación localizada de fuerza exige una ingeniería precisa para distribuir la tensión de forma eficaz, garantizando una capacidad de carga óptima sin comprometer la integridad estructural.

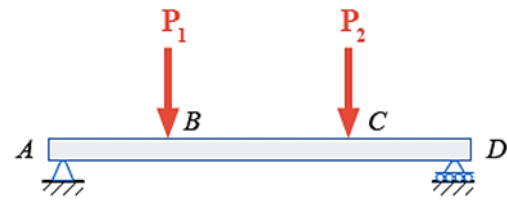


Figura 1.1. Cargas puntuales.

Fuente: (López Amador, s.f.)

Cargas Distribuidas: Las cargas distribuidas abarcan fuerzas que se extienden a lo largo de longitudes o áreas, como por ejemplo el peso de un tejado que ejerce presión sobre un muro de soporte. Estas cargas presentan variabilidad, desde distribuciones uniformes a patrones no uniformes, lo que exige una ingeniería meticulosa para gestionar eficazmente los gradientes de tensión.

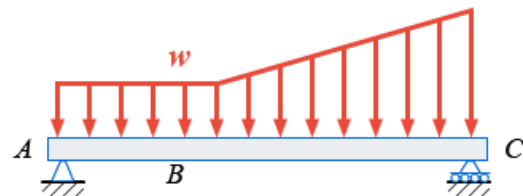


Figura 1.2. Carga distribuida no uniforme.

Fuente: (López Amador, s.f.)

1.3 Unidades de medida y análisis dimensional

En la siguiente tabla se muestra las principales unidades de medida utilizadas en Resistencia de Materiales, su análisis dimensional y una breve descripción.



Tabla 1.1. Unidades de medida y análisis dimensional

Magnitud Física	Unidad en el SI	Análisis Dimensional	Descripción
Longitud	metro (m)	L	Dimensión lineal de un objeto.
Área	metro cuadrado (m ²)	L ²	Superficie de una sección transversal.
Volumen	metro cúbico (m ³)	L ³	Espacio ocupado por un cuerpo.
Masa	kilogramo (kg)	M	Cantidad de materia en un cuerpo.
Tiempo	segundo (s)	T	Duración de un evento.
Fuerza	Newton (N)	M·L/T ²	Empuje o tracción ejercida sobre un cuerpo.
Momento	Newton metro (N·m)	M·L ² /T ²	Tendencia de una fuerza a producir rotación.
Energía	Joule (J)	M·L ² /T ²	Capacidad de realizar trabajo.
Potencia	Watt (W)	M·L ² /T ³	Tasa a la cual se realiza trabajo.
Esfuerzo	Pascal (Pa)	M/(L·T ²)	Fuerza por unidad de área.
Deformación	Adimensional	-	Cambio fraccional de una dimensión.
Módulo de elasticidad	Pascal (Pa)	M/(L·T ²)	Relación entre esfuerzo y deformación.

Fuente: Autor

Análisis dimensional:

L: Longitud

M: Masa

T: Tiempo

El análisis dimensional permite verificar la homogeneidad de las ecuaciones y detectar posibles errores en los cálculos. Por ejemplo, en la ecuación del esfuerzo:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Las dimensiones son $[M/(L \cdot T^2)]$ a ambos lados de la igualdad.

Ejemplo:

Al calcular el momento flector en una viga, la unidad resultante debe ser N·m. Esto se puede verificar utilizando el análisis dimensional:

Fuerza (N):

$$\frac{M \times L}{T^2}$$

Distancia (m):

$$L$$

Momento (N·m):

$$\frac{M \times L}{T^2} = \frac{M \times L}{T^2}$$

1.4 Diagrama de cuerpo libre

Un diagrama de cuerpo libre (DCL) es una representación gráfica de un cuerpo o estructura aislada de su entorno, donde se muestran todas las fuerzas y momentos que actúan sobre él.

Es una herramienta fundamental en la resolución de problemas de estática y dinámica, ya que permite aplicar las ecuaciones de equilibrio para determinar las reacciones en los apoyos y las



fuerzas internas en la estructura, en referencia a (Meriam & Kraige, 2012).

Elementos clave de un diagrama de cuerpo libre:

Cuerpo aislado: Se representa el cuerpo de estudio sin considerar su conexión con otros elementos.

Fuerzas externas: Se incluyen todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo, como cargas aplicadas, fuerzas de gravedad y reacciones en los apoyos.

Momentos: Se representan los momentos que tienden a rotar el cuerpo alrededor de un punto.

Sistema de coordenadas: Se establece un sistema de coordenadas para definir las direcciones de las fuerzas y momentos.

Importancia del DCL.

La construcción del DCL permite obtener los siguientes aspectos del elemento sometido a ciertas fuerzas actuantes:

Visualización clara: Permite visualizar las fuerzas y momentos que actúan sobre un cuerpo, facilitando la comprensión del problema.

Aplicación de las ecuaciones de equilibrio: Al aislar el cuerpo, se pueden aplicar las ecuaciones de equilibrio estático:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M = 0$$

Base para análisis posteriores: El diagrama de cuerpo libre es el primer paso para realizar análisis más detallados, como el cálculo de esfuerzos y deformaciones.

Problema:

Considera una viga simple apoyada de longitud “L” con un apoyo en “A” (apoyo fijo) y otro en “B” (apoyo móvil). Hay una carga puntual “P” aplicada en un punto “C” a una distancia “a” desde el apoyo “A”.

Objetivo:

Determinar las reacciones en los apoyos A y B.

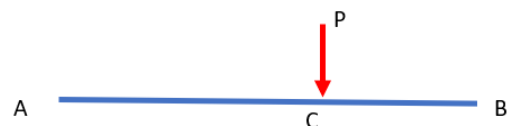
Pasos para resolver el problema:

1. Dibujar el diagrama de cuerpo libre:

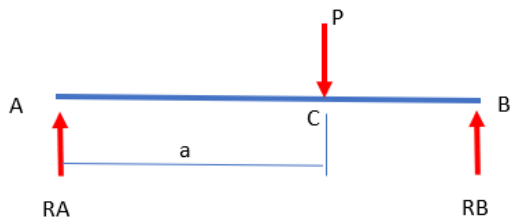
Dibujar la viga y marcar los puntos A, B, y C.



Indicar la carga puntual P en el punto C.



Añadir las reacciones en los apoyos: “RA” en “A” y “RB” en “B”.



$$R_A = P \times \left(1 - \frac{a}{L}\right)$$

La reacción en el apoyo "B" es:

$$R_B = \frac{P \times a}{L}$$

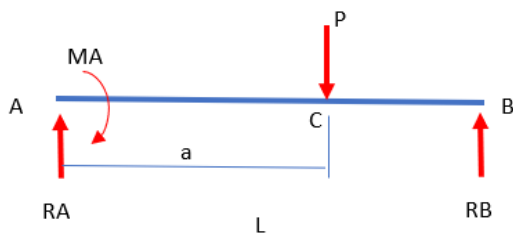
2. Aplicar las ecuaciones de equilibrio:

Suma de fuerzas en la dirección vertical:

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B - P = 0$$

Suma de momentos alrededor de A:



$$\sum M_A = 0$$

$$P \times a - (R_B \times L) = 0$$

3. Resolver las ecuaciones.

De la ecuación de momentos:

$$R_B = \frac{P \times a}{L}$$

Sustituir "RB" en la ecuación de fuerzas:

$$R_A + R_B - P = 0$$

$$R_A + \frac{P \times a}{L} - P = 0$$

$$R_A = P \times \left(1 - \frac{a}{L}\right).$$

4. Resultado:

La reacción en el apoyo "A" es:

EVALUACIÓN 01

INSTRUCCIONES:

- Con base al contenido del capítulo 1, responda cada una de las preguntas que se plantean en el cuestionario.
- Si es necesario realizar cálculos, asegúrate de utilizar las fórmulas correctas y de aplicarlas correctamente.
- Dibuja diagramas que se soliciten como apoyo para ayudarte a visualizar los problemas y a encontrar la solución

CUESTIONARIO:

1. ¿Cuál es la diferencia entre esfuerzo y deformación?

.....

.....

.....

.....



2. ¿Qué representa el módulo de elasticidad en la ley de Hooke?

.....

.....

.....

.....

3. ¿Cuáles son los principales tipos de esfuerzo que se pueden aplicar a un material? Describe cada uno y proporciona un ejemplo de cómo se produce en la vida real.

.....

.....

.....

.....

4. ¿Qué es el límite elástico y cuál es su importancia en el diseño de estructuras?

.....

.....

.....

.....

5. Explica la diferencia entre deformación elástica y plástica. ¿Bajo qué condiciones se produce cada una?

.....

.....

.....

.....



6. Si se aplica una fuerza de tracción a una barra de acero, ¿qué tipo de esfuerzo se produce? ¿Cómo se puede calcular la deformación si se conoce el módulo de elasticidad del acero?

.....

.....

.....

.....

7. ¿Cuál es la importancia del diagrama tensión-deformación en la caracterización de los materiales? ¿Qué información se puede obtener a partir de este diagrama?

.....

.....

.....

.....

8. Imagina que tienes dos alambres del mismo material, pero con diferentes diámetros. ¿Cuál de los dos alambres se deformará más si se les aplica la misma fuerza de tracción? Justifica tu respuesta.

.....

.....

.....

.....

9. ¿Por qué es importante considerar el límite elástico de un material al diseñar una estructura? ¿Qué consecuencias podría tener exceder este límite?

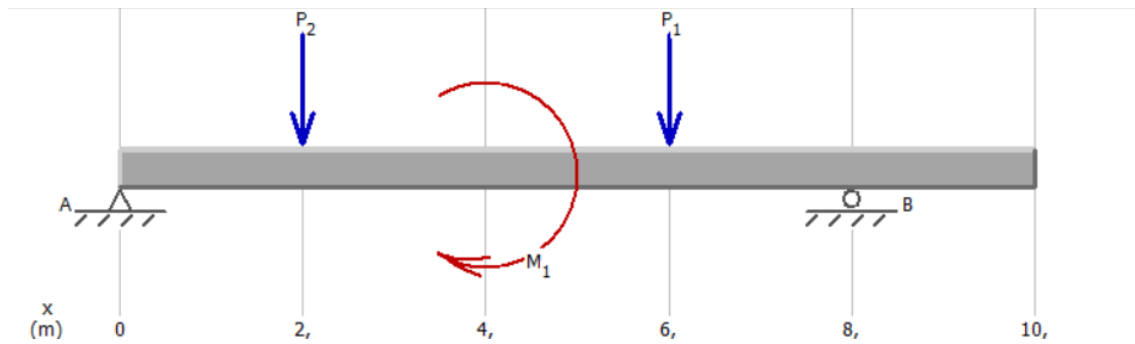
.....

.....

.....

.....

10. Determinar el valor de las reacciones para el siguiente elemento de longitud total 10m sometido a las cargas mostradas en la figura:



Considerar los siguientes valores para las cargas:

$$P_1 = 150 \text{ kN}$$

$$P_2 = 220 \text{ kN}$$

$$M_1 = 100 \text{ Nm}$$



02

ESFUERZO Y DEFORMACIÓN



2.1 Introducción

En el ámbito de la Resistencia de Materiales, el esfuerzo y la deformación son conceptos fundamentales que describen cómo los materiales responden a las fuerzas aplicadas.

Esfuerzo (Stress): La tensión o esfuerzo, la fuerza interna por unidad de superficie que resiste la deformación en un material, es un concepto fundamental de la mecánica y la ciencia de los materiales. Matemáticamente, se expresa como:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

F = fuerza aplicada

A = área sobre la cual actúa

Los esfuerzos pueden ser normales (tensión o compresión) o cortantes, dependiendo de la dirección de la fuerza respecto al área.

Deformación (Strain): Es la medida de la deformación de un material en respuesta a un esfuerzo aplicado. Se define como el cambio relativo en la forma o tamaño de un material. Para deformaciones lineales, se expresa como:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Donde:

ΔL = cambio en longitud

L_0 = longitud original

Estos conceptos son esenciales para el diseño y análisis de estructuras, ya que permiten predecir cómo se comportará un material bajo diferentes condiciones de carga.

2.2 Ley de Hooke

En resistencia de materiales, la Ley de Hooke establece que la deformación unitaria (es decir, la deformación por unidad de longitud original) de un material elástico es directamente proporcional al esfuerzo aplicado (fuerza por unidad de área), siempre y cuando no se exceda el límite elástico del material.

La expresión matemática de la Ley de Hooke en términos de esfuerzo y deformación unitaria es:

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

Donde:

σ : Esfuerzo

E: Módulo de elasticidad

ε : Deformación

Relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria.

Se representa gráficamente como una línea recta que pasa por el origen, hasta que se alcanza el límite elástico del material. Más allá de este punto,

la relación deja de ser lineal y el material puede sufrir deformaciones permanentes como se muestra en la figura:

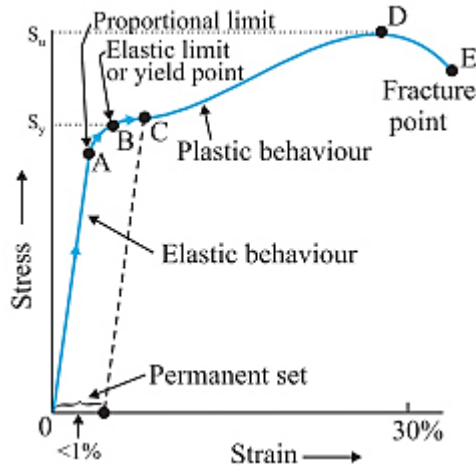


Figura 2.1. Curva característica esfuerzo vs deformación
Fuente: (Toppr, s.f.)

Las curvas de tensión o deformación presentan variabilidad en función del material de que se trate. A través de estas curvas, podemos comprender cómo se deforman los materiales bajo cargas crecientes, lo que nos permite comprender mejor su comportamiento estructural y su resistencia.

Análisis de la curva.

En la figura 2.1, la región que va de O a A muestra una curva lineal, lo que afirma el cumplimiento de la Ley de Hooke en este segmento. Sin embargo, al pasar de A a B, la tensión o esfuerzo ya no mantiene la proporcionalidad. Sin embargo, al descargarlo, el cuerpo vuelve a sus dimensiones iniciales, lo que ilustra la resistencia del material y

sus características de deformación bajo cargas variables. Esta interacción dinámica subraya el intrincado equilibrio entre la elasticidad estructural y el comportamiento no lineal observado en las relaciones tensión o esfuerzo.

En el punto B de la curva se encuentra el límite elástico, marcado por el límite de fluencia (**Sy**) del material. A medida que la carga se intensifica más allá de este punto, la tensión o esfuerzo comienza a superar el límite elástico. En consecuencia, incluso pequeños cambios en la tensión o esfuerzo desencadenan una rápida deformación, poniendo de relieve el umbral crítico en el que el comportamiento del material pasa de elástico a plástico bajo cargas crecientes.

Esto se muestra en la región de B a D de la curva. Si se retira la carga, por ejemplo, en un punto C entre B y D, el cuerpo no recupera su dimensión original. Por lo tanto, aunque la tensión o esfuerzo sea nulo, la deformación no es nula y la deformación se denomina deformación plástica.

Además, el punto D es la resistencia última a la tracción (**Su**) del material. Por lo tanto, si se produce cualquier deformación adicional más allá de este punto, puede producirse una fractura (punto E). Si,



La resistencia última y los puntos de fractura están próximos entre sí (puntos D y E), el material es frágil.

Si la resistencia última y los puntos de fractura están alejados (puntos D y E), el material es dúctil.

A continuación, se presentan los valores referenciales de los estados límite de algunos materiales de ingeniería:

Tabla 2.1. Estados límites S_u y S_y de los materiales.

Material	Límite elástico (S_y) [MPa]	Resistencia a la tracción última (S_u) [MPa]
Acero AISI 1020	340	420
Acero inoxidable AISI 304 (recocido)	205	515
Aluminio 6061-T6	275	310
Cobre electrolítico	100	220
Acero estructural ASTM A36	250	400
Acero de alta resistencia ASTM A992	345	450

Fuente: (Toppr, s.f.)

2.3 Esfuerzos y cargas permisibles

Al diseñar una estructura o un componente, es primordial garantizar la seguridad y la durabilidad. Esto implica definir los límites de las cargas que pueden aplicarse y las tensiones o esfuerzos internos que pueden desarrollarse en el material. Estos umbrales definidos, conocidos como cargas admisibles y tensiones admisibles,

respectivamente, dictan los límites operativos críticos para la integridad estructural y la longevidad.

La carga admisible denota la fuerza máxima que puede soportar un elemento estructural sin riesgo de fallo, protegiéndolo de averías catastróficas y garantizando su fiabilidad operativa. A la inversa, la tensión o esfuerzo admisible representa la mayor fuerza interna que puede soportar un material sin comprometer su integridad, lo que influye en las decisiones de diseño y las prácticas de ingeniería.

Respetando estas restricciones, los ingenieros pueden optimizar el rendimiento estructural, equilibrando la resistencia y la eficiencia operativa en una amplia gama de aplicaciones y entornos.

Los esfuerzos y cargas permisibles se determinan considerando:

Propiedades mecánicas del material: Límite elástico, resistencia a la tracción, módulo de elasticidad, etc.

Factor de seguridad: Un coeficiente que se aplica a las propiedades mecánicas del material para garantizar un margen de seguridad y compensar incertidumbres en el análisis y las cargas.



Tabla 2.2. Factores de seguridad (valores aproximados)

Tipo de componente	Rango típico de factor de seguridad
Componentes críticos para la seguridad (ascensores, puentes)	3-5
Componentes generales de maquinaria	1.5-3
Prototipos o pruebas iniciales	2-4
Componentes sometidos a cargas cíclicas	2-5

Fuente: (Toppr, s.f.)

Tipo de carga: Cargas estáticas, dinámicas, cíclicas, etc.

Condiciones de servicio: Temperatura, humedad, ambiente corrosivo, etc.

Normas y códigos de diseño: Las normas técnicas establecen los requisitos mínimos para el diseño de estructuras y componentes.

La tensión o esfuerzo admisible suele constituir una fracción del límite elástico, lo que garantiza que el material evite la deformación plástica bajo carga. A la inversa, la resistencia última a la tracción verifica la capacidad del elemento estructural para soportar cargas máximas antes de que se produzca el fallo. Este doble enfoque subraya la precisión de la ingeniería, equilibrando los márgenes de seguridad con los criterios de rendimiento óptimo en el diseño estructural.

Ejemplo:

Considera una viga de acero como ejemplo. Para determinar el esfuerzo permisible, se calcula

dividiendo el límite elástico del acero entre un factor de seguridad. Supongamos que el límite elástico del acero es de 250 MPa y se decide aplicar un factor de seguridad de 2. En este caso, el esfuerzo permisible sería de 125 MPa. Esto implica que la tensión máxima en cualquier punto de la viga no debe exceder los 125 MPa para asegurar su integridad estructural y prevenir deformaciones plásticas bajo carga operativa. Este enfoque garantiza un margen de seguridad adecuado, equilibrando la resistencia estructural con la necesidad de mantener la durabilidad y el rendimiento a lo largo del tiempo.

2.4 Tensión

En el ámbito de la mecánica de materiales, la tensión se conceptualiza como la fuerza interna distribuida por unidad de área dentro de un material. Esencialmente, representa la capacidad del material para resistir las fuerzas externas aplicadas.

Esta resistencia interna se expresa como una fuerza por unidad de área, utilizando como unidad fundamental el Pascal (Pa) en el Sistema Internacional, equivalente a un Newton por metro cuadrado (N/m²).

En la siguiente figura se muestra el esfuerzo de tensión que soporta un elemento.

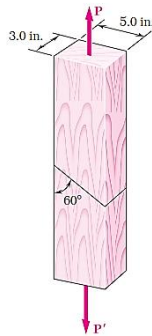


Figura 2.2. Esfuerzo de tensión en un elemento.

Fuente: (Beer, F. P., Johnston, E. R., Jr., & DeWolf, J. T, 2018)

Ejercicio:

Una barra de acero de sección circular con un diámetro de 20 mm está sometida a una fuerza de tracción de 50 kN. Calcular el esfuerzo de tensión en la barra.

Datos:

Diámetro de la barra (d) = 20 mm
= 0.02 m

Radio de la barra (r) = $d/2$ = 0.01 m

Fuerza de tracción (F) = 50 kN = 50.000 N

Solución:

1. Calcular el área de la sección transversal:

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = \pi \times 0.01^2$$

$$A = 3.14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

2. Calcular el esfuerzo de tensión:

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_t = \frac{50.000 \text{ N}}{3.14 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_t = 159.16 \text{ MPa}$$

2.5 Compresión

La compresión se refiere al tipo de esfuerzo que experimenta un material cuando se aplican fuerzas opuestas que tienden a reducir su longitud o volumen. En este estado de tensión, las partículas del material se acercan entre sí, generando una resistencia interna que se opone a la compresión y afecta la forma y las propiedades del material.

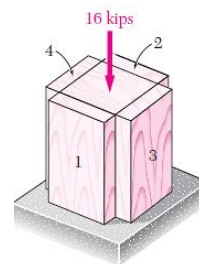


Figura 2.3. Esfuerzo de compresión.

Fuente: (Beer, F. P., Johnston, E. R., Jr., & DeWolf, J. T, 2018)

Las pruebas de compresión son fundamentales para que los fabricantes evalúen la integridad y seguridad de materiales, componentes y productos en distintas etapas del proceso de fabricación. Por lo tanto, las aplicaciones potenciales pueden abarcar desde la evaluación de la resistencia de parabrisas de automóviles hasta la verificación de la resistencia de vigas de concreto utilizadas en construcción, según (Metalinspec, 2020).

Las pruebas de compresión se realizan de la siguiente manera:



Viste el sitio web: (Metalinspec, 2020)

Ejercicio:

Una columna de concreto de sección cuadrada de 30 cm por 30 cm soporta una carga de compresión de 1200 kN. Calcular el esfuerzo de compresión en la columna.

Datos:

$$L = 30 \text{ cm} = 0.3 \text{ m}$$

$$F = 1200 \text{ kN} = 1200000 \text{ N}$$

Solución:

1. **Calcular el esfuerzo de compresión:**

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

$$A = L^2 = (0.3\text{m})^2 = 0.09 \text{ m}^2$$

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_c = \frac{1200000 \text{ N}}{0.09 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_c = 13.33 \text{ MPa}$$

La compresión de la compresión juega un papel crucial en la ingeniería estructural y el diseño de componentes mecánicos. Un análisis preciso de las tensiones de compresión proporciona varios beneficios significativos:

1. **Prevención de fallas:** Permite identificar áreas críticas bajo

compresión y tomar medidas para reforzarlas, evitando así posibles fallos estructurales.

2. **Optimización del diseño:** Facilita el uso eficiente de material al diseñar estructuras que soporten cargas de compresión, reduciendo el peso sin comprometer la seguridad ni la funcionalidad.
3. **Selección del material adecuado:** Ayuda a seleccionar el material más adecuado según las condiciones de servicio y las cargas aplicadas, optimizando la resistencia y durabilidad del componente.

Tipos de fallas por compresión incluyen:

- **Aplastamiento:** Ocurre cuando el material se deforma plásticamente y se aplana bajo cargas de compresión excesivas.
- **Pandeo:** Se observa en elementos delgados sometidos a compresión, donde la falta de rigidez puede causar deformaciones laterales inestables.
- **Fractura frágil:** En materiales frágiles, la compresión puede inducir grietas que se propagan rápidamente, resultando en una falla súbita y catastrófica.



2.6 Torsión

La torsión es un fenómeno mecánico que ocurre cuando se aplica un par o momento torsor a un objeto, provocando su giro alrededor del eje longitudinal. Este tipo de carga es común en estructuras como ejes de transmisión, árboles de motores y vigas sujetas a torsión.

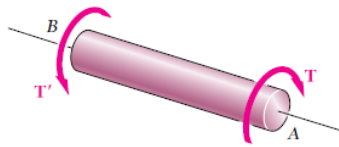


Figura 2.4. Esfuerzo de torsión.

Fuente: (Beer, F. P., Johnston, E. R., Jr., & DeWolf, J. T, 2018)

Principios de la torsión:

Momento torsor (T): El momento torsor se define como el producto de la fuerza aplicada por la distancia perpendicular entre la línea de acción de la fuerza y el eje de rotación.

Geometría de la sección: La geometría de la sección transversal juega un papel crucial en la resistencia a la torsión. La forma y el tamaño de esta sección determinan la capacidad de un material para resistir la deformación angular inducida por el momento torsor aplicado.

Módulo de elasticidad a la torsión (G): Es una propiedad del material que refleja su resistencia intrínseca a deformarse bajo torsión. Este parámetro, conocido como módulo de cizalladura o

módulo de rigidez torsional, es crucial para seleccionar materiales adecuados en aplicaciones donde la resistencia a la torsión es crítica.

Aplicaciones de la torsión:

Transmisión de potencia: Crucial en sistemas mecánicos como transmisiones de automóviles y turbinas, donde se requiere transmitir torque.

Medición de torsión: Utilizada en instrumentos como torsiómetros para determinar propiedades elásticas de materiales.

Fórmula Básica para la Torsión

Para elementos de sección circular, la fórmula más común para calcular la tensión de corte máxima ($\tau_{máx}$) en (Pa) debido a la torsión es:

$$\tau_{máx} = \frac{(T \times r)}{J}$$

Donde:

T: Momento torsor (N·m)

r: Radio exterior de la sección (m)

J: Momento polar de inercia (m⁴)

El momento polar de inercia depende de la forma de la sección. Para una sección circular se tiene:

$$J = \frac{(\pi \times r^4)}{2}$$

EVALUACIÓN 02

INSTRUCCIONES:

- Con base al contenido del capítulo 2, responda cada una de las preguntas que se plantean en el cuestionario.
- Si es necesario realizar cálculos, asegúrate de utilizar las fórmulas correctas y de aplicarlas correctamente.
- Dibuja diagramas que se soliciten como apoyo para ayudarte a visualizar los problemas y a encontrar la solución

CUESTIONARIO

1. ¿Cómo varía el esfuerzo en un material bajo diferentes tipos de carga, como tensión, compresión o cortante, y cómo afecta esto su comportamiento estructural?

.....

.....



.....

.....

2. ¿Qué papel juega el módulo de elasticidad (E) en la relación entre esfuerzo y deformación según la Ley de Hooke, y cómo se utiliza para predecir el comportamiento de materiales bajo cargas específicas?

.....

.....

.....

.....

3. ¿Cuáles son las implicaciones prácticas de la Ley de Hooke en el diseño de estructuras y materiales, especialmente en términos de optimización de peso y resistencia, y cómo se aplica en la ingeniería moderna?

.....

.....

.....

.....

4. ¿Cómo influyen las propiedades mecánicas del material, como el límite elástico y el módulo de elasticidad, en la determinación de las cargas y tensiones permisibles para asegurar la integridad estructural?

.....

.....

.....

.....

5. ¿Qué papel juega el factor de seguridad en el diseño estructural, y cómo se determina este coeficiente para garantizar la fiabilidad y



durabilidad de las estructuras frente a cargas variables y condiciones de servicio extremas?

.....

.....

.....

.....

6. Una columna de concreto de sección cuadrada de 20 cm por lado soporta una carga de 400 kN. Calcula el esfuerzo de compresión que experimenta la columna.

7. Un cable de acero de 5 mm de diámetro sostiene una carga de 2 kN. Determina el esfuerzo de tracción en el cable.



03

**FLEXIÓN
VIGAS**

EN

3.1 Vigas

Una viga, ese componente estructural lineal y robusto, experimenta predominantemente esfuerzos de flexión y cortante bajo la influencia de cargas que actúan perpendicularmente a su eje longitudinal. Estas cargas pueden manifestarse como fuerzas concentradas que impactan directamente, distribuidas uniformemente a lo largo de su extensión, o momentos flectores que provocan torcimiento y deformación a lo largo de su longitud.

3.2 Tipos de vigas

Las vigas son componentes mecánicos cruciales en la ingeniería estructural, se las clasifica según el tipo de apoyo para determinar su aplicabilidad, comportamiento y método de solución

Vigas estáticamente determinadas

Se distinguen por su comportamiento predecible y su facilidad de modelado, presentando condiciones de apoyo específicas que incluyen un soporte fijo y otro móvil. Bajo estas características, su análisis se fundamenta en la aplicación de ecuaciones de equilibrio estático. Generalmente con 3 incógnitas a despejar y

dependiendo de las condiciones de soporte, estas vigas pueden clasificarse en:

- **Simplemente apoyada**

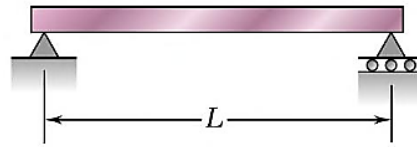


Figura. 3.1 Viga simplemente apoyada

Fuente: (Ferdinand & E., 2018)

- **Con un tramo en voladizo**

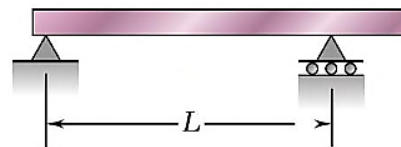


Figura. 3.2 Viga con un tramo en voladizo

Fuente: (Ferdinand & E., 2018)

- **En voladizo**

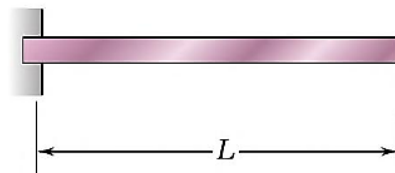


Figura. 3.3 Viga en Voladizo

Fuente: (Ferdinand & E., 2018)

Estas configuraciones son idóneas para su uso en sistemas de andamiaje y en estructuras que requieren un montaje y desmontaje ágil y eficiente.

Vigas estáticamente indeterminadas

Definidas como aquellas vigas que tienen un mayor número de apoyos y reacciones que el número de ecuaciones de equilibrio.

Utilizadas en ingeniería estructural avanzada se clasifican en:

- **Continua**

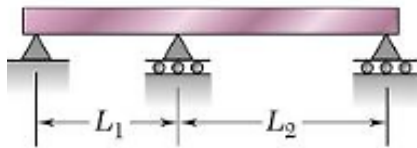


Figura. 3.4 Viga Continua
Fuente: (Ferdinand & E., 2018)

- **Empotrada en un extremo y simplemente apoyada en otro**

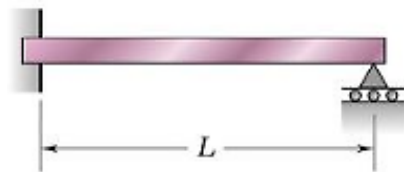


Figura. 3.5 Empotrada en un extremo y simplemente apoyada en el otro
Fuente: (Ferdinand & E., 2018)

- **Empotrada**

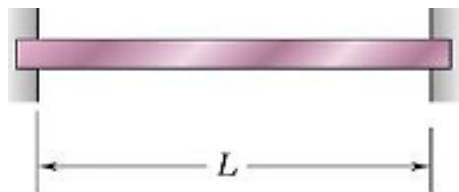


Figura. 3.6 Viga empotrada
Fuente: (Ferdinand & E., 2018)

Requieren análisis complejos con métodos como ecuaciones diferenciales y teoremas de superposición.

3.3 Tipos de apoyos

Los tipos de apoyos en la teoría de vigas determina su comportamiento bajo las condiciones de carga, según el desplazamiento permitido se

definen el número de reacciones en cada punto de apoyo.

Apoyo simple, móvil o de rodillo

Permite desplazamiento en los ejes X e Y, así como también la rotación en torno al eje de apoyo.

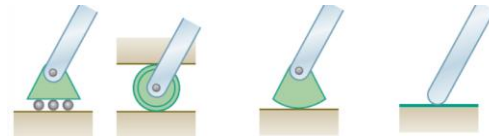


Figura. 3.7 Tipos de apoyos móvil
Fuente: (López Amador, s.f.)

Apoyo fijo

Permite el giro en torno al punto de apoyo de este.

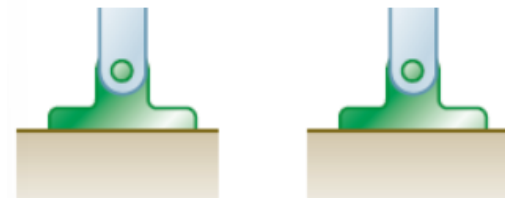


Figura. 3.8 Apoyo de pasador
Fuente: (López Amador, s.f.)

Empotramiento

El empotramiento no permite rotación ni desplazamiento. Son las más adecuados para soportar momentos flectores significativos.

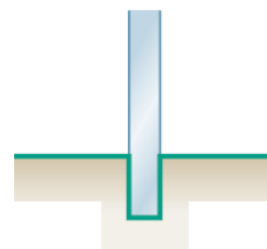


Figura. 3.9 Empotramiento
Fuente: (López Amador, s.f.)



3.4 Fuerza cortante y momento flexionante

En referencia a (Durand Porras, 2015), la fuerza cortante y el momento flexionante son conceptos fundamentales en la resistencia de materiales, especialmente en el análisis de vigas.

Definición: La fuerza cortante es una fuerza interna que actúa en una sección de la viga, equilibrando las cargas externas aplicadas. El momento flexionante, por otro lado, es el efecto de las fuerzas que provoca que la viga se deforme, adoptando una forma curvada.

Cálculo: La fuerza cortante se puede calcular como una función lineal de la carga aplicada y la distancia al punto de referencia. Para una carga uniformemente distribuida, se utiliza la fórmula:

$$V = w \times x$$

Donde:

w = intensidad de la carga

x = distancia

El momento flexionante se calcula con la fórmula:

$$M = \frac{1}{2} w \times x^2$$

3.5 Diagramas de cortante y momento flector

Los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante son

esenciales en el análisis estructural, ofreciendo una representación visual detallada de cómo estas fuerzas cambian a lo largo de una viga.

El diagrama de fuerza cortante traza la evolución de la fuerza cortante en secciones específicas de la viga, revelando fluctuaciones y puntos críticos bajo diversas cargas y distribuciones.

En contraste, el diagrama de momento flexionante captura la distribución y magnitud del momento a lo largo de la viga, destacando áreas de mayor flexión y proporcionando una imagen clara de cómo la viga se deforma y resiste las cargas aplicadas.

Convención de signos para las vigas.

Es esencial establecer una convención de signos para definir los valores "positivos" o "negativos" de las fuerzas cortante (V) y el momento flexionante (M) al analizar vigas. Aunque esta elección es arbitraria, se adoptará aquí la convención estándar ampliamente utilizada en la ingeniería práctica, como se muestra en la figura 3.10, (Hibbeler, 2016).

Según esta convención:

- La carga distribuida que actúa hacia arriba sobre la viga se considera positiva.

- La fuerza cortante interna que induce un giro en sentido horario del segmento de la viga se considera positiva.
- El momento interno que causa compresión en las fibras superiores del segmento de viga, haciendo que se curve como para retener agua, se considera positivo.

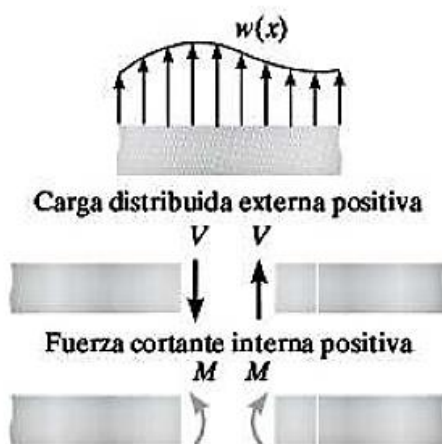


Figura 3.1. Convención de signo para vigas
Fuente: (Hibbeler, 2016).

Cualquier carga o efecto que sea contrario a estas descripciones se considera negativo bajo esta convención de signos. Esta convención ayuda a estandarizar el análisis estructural y la interpretación de los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en ingeniería.

Proceso de solución.

Para resolver ejercicios de diagramas de cortante y momento flector en vigas, se

recomienda seguir este proceso detallado paso a paso:

1. Identificación de la viga y las cargas:

- Determinar el tipo de viga (simplemente apoyada, empotrada, en voladizo, etc.).
- Identificar la ubicación de los apoyos y el tipo de reacciones que generan (vertical, horizontal, momento).
- Determinar el tipo, magnitud y ubicación de todas las cargas aplicadas (puntuales, distribuidas, momentos).

2. Cálculo de las reacciones:

Aplicar las ecuaciones de equilibrio estático ($\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, $\sum M = 0$) para calcular las reacciones en los apoyos.

3. Construcción del diagrama de cuerpo libre:

Dibujar la viga aislada con todas las cargas aplicadas y las reacciones en los apoyos que calculaste.

4. Selección de una sección genérica "x":

Elegir una sección genérica "x" a una distancia "x" de uno de los apoyos. Esta sección ayudará a calcular los valores de cortante y momento en esa ubicación específica de la viga.

5. Determinación de las ecuaciones de cortante (V) y momento flector (M):

- Fuerza cortante (V): Calcula la suma algebraica de las fuerzas verticales a la izquierda o derecha de la sección "x".
- Momento flector (M): Calcula la suma algebraica de los momentos de todas las fuerzas a la izquierda o derecha de la sección "x" con respecto a esa sección.

6. Construcción de los diagramas:

- Diagrama de fuerza cortante (V-x): Grafica la variación de la fuerza cortante a lo largo de la viga en función de la posición "x".
- Diagrama de momento flector (M-x): Grafica la variación del momento flector a lo largo de la viga en función de la posición "x".

7. Identificación de puntos clave:

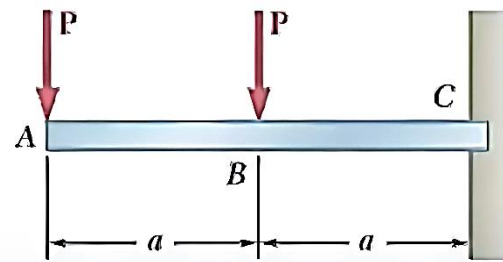
- **Puntos donde $V = 0$:** Estos puntos indican los máximos o mínimos del diagrama de momento flector.
- **Puntos donde $M = 0$:** Estos puntos corresponden a los puntos de inflexión de la

viga, donde cambia la curvatura.

Ejercicio:

Tomado de (Beer, F. P., Johnston, E. R., Jr., & DeWolf, J. T, 2016).

Para la viga y las cargas mostradas en la figura, dibuje los diagramas de cortante y momento flector, así como también determine los valores absolutos máximos de la fuerza cortante y momento flector.



1. Realizar el diagrama de cuerpo libre en el punto A

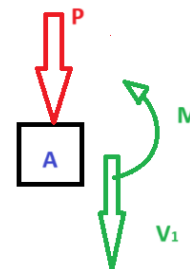


Figura 3.2 Diagrama de Cuerpo Libre en A

Partiendo del diagrama de cuerpo libre se analiza las ecuaciones de equilibrio estático para fuerzas [1].

$$\sum F_y = 0 \quad [1]$$

$$-P - V_1 = 0$$

Obtenido la siguiente igualdad

$$-P = V_1 \quad [2]$$

Ahora es necesario analizar los momentos, visualizando que no existen momentos que afecten en el punto A, como se en la consecución de [3]

$$\sum M_A = 0 \quad [3]$$

$$M_1 = 0$$

2. Realizar el diagrama de cuerpo libre en el punto B

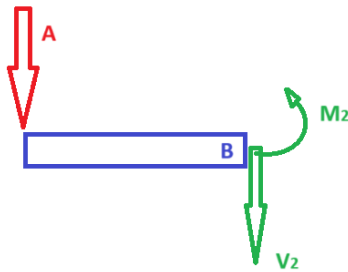


Figura 3.3 Diagrama de Cuerpo Libre en B

Proceder con el análisis de ecuaciones de equilibrio estático

$$\sum F_y = 0 \quad [4]$$

Resultando en la igualdad de la ecuación [5]

$$-P = V_2 \quad [5]$$

Procedemos con el análisis de momentos, donde:

$$\sum M_B = 0$$

$$P(a) + M_2 = 0$$

Resultando en la igualdad de [6]

$$M_2 = P(a) \quad [6]$$

3. Realizar el diagrama de cuerpo libre en el punto C

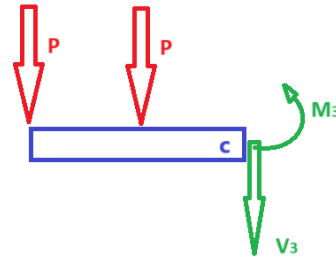


Figura 3.4 Diagrama de Cuerpo Libre en C

Finalmente realizamos el análisis para el punto C obteniendo [7]:

$$\sum F_y = 0$$

$$-P - P - V_3$$

$$-2P = V_3 \quad [7]$$

Para la sumatoria de momentos:

$$\sum M_C = 0$$

$$P(a + a) + P(a) + M_3 = 0$$

$$P(2a) + P(a) + M_3 = 0$$

$$M_3 = -3P(a) \quad [8]$$

Para determinar los diagramas de fuerzas cortantes ubicamos los puntos analizados con las fuerzas

encontradas en las ecuaciones [2] [5] y [7]

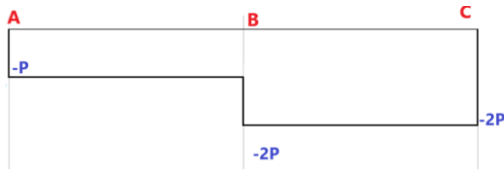


Figura 3.5 Diagrama de fuerzas cortantes

Concluyendo que la máxima fuerza cortante se produce en B con un valor de $-2P$

En el de momentos flector en base a la teoría luego de ubicar

los puntos y magnitudes el tipo de línea recta o curva, obteniendo:

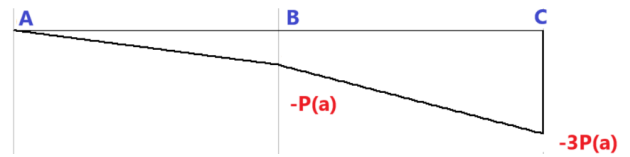


Figura 3.6 Diagrama de momento flector

Concluyendo que el máximo momento se produce en C, con $-3P(a)$, esto por acción de las dos fuerzas aplicadas a una distancia perpendicular del mismo

EVALUACIÓN 03

INSTRUCCIONES:

- Con base al contenido del capítulo 3, responda cada una de las preguntas que se plantean en el cuestionario.
- Si es necesario realizar cálculos, asegúrate de utilizar las fórmulas correctas y de aplicarlas correctamente.
- Dibuja diagramas que se soliciten como apoyo para ayudarte a visualizar los problemas y a encontrar la solución

CUESTIONARIO

1. ¿Cómo se aplica el concepto de vigas simplemente apoyadas con un tramo en voladizo en la construcción de un balcón?

.....

.....



.....

.....

2. Si se aplica una carga puntual concentrada en el extremo libre de una viga en voladizo, ¿en qué punto de la viga se espera encontrar el valor máximo de momento flector? ¿Y cuál sería la dirección de la deformación de la viga en ese punto?

.....

.....

.....

.....

3. Al seleccionar un material para una viga, ¿qué propiedades mecánicas son las más relevantes a considerar?

.....

.....

.....

.....

4. ¿Qué factores se deben considerar al diseñar una viga para garantizar su seguridad y eficiencia?

.....

.....

.....

.....



BIBLIOGRAFÍA

- López Amador, V. C. (s.f.). *CLASES DE MECANICA*. Obtenido de Estática - Mecánica I: <https://clasesdemecanica.net>
- Beer, F. P., Johnston, E. R., Jr., & DeWolf, J. T. (2016). *Mecánica vectorial para ingenieros*. Mc GrawHill.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., Jr., & DeWolf, J. T. (2018). *Mecánica de Materiales*. McGraw-Hill.
- Durand Porras, J. C. (2015). *Fuerza cortante y momento flector*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/resistencia-de-materiales-fuerza-cortante-y-momento-flector/55348673#1>
- Ferdinand , P. B., & E., R. J. (2018). *Mecánica de Materiales*. McGraw-Hill.
- Hibbeler, R. C. (2016). *Mecánica de materiales*. Prentice Hall.
- Meriam, J. L., & Kraige, L. G. (2012). *Engineering Mechanics: Statics* (7th ed.). Wiley.
- Metalinspec. (2020). *Metalinspec - Laboratorio de pruebas*. Obtenido de <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/por-que-realizar-pruebas-de-compresion>
- Toppr. (s.f.). *Mechanical Properties of Solids*. Obtenido de <https://www.toppr.com/guides/physics/mechanical-properties-of-solids/hookes-law-and-stress-strain-curve/>



INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO PELILEO

ISBN: 978-9942-686-25-1



Educación gratuita y de calidad