



INSTITUTO SUPERIOR
UNIVERSITARIO

supe

**GUÍA GENERAL DE ESTUDIO
DE TECNOLOGÍA
Y PROCESAMIENTO
DE MATERIALES**



Guía general de estudio de Tecnología y Procesamiento de Materiales

Jorge Guillermo Chango Correa

Victoria Belén Guano Reyes

Darwin Alfredo Godoy Rodríguez

Julio David Saquina Daquilema

Cristian Guiliano Aguirre Alquina

2025

Esta publicación ha sido sometida a revisión por pares académicos específicos por:

Luis Fabian Neppas Andrango
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico con condición de
Universitario

Corrección de estilo:

- Ángel Isaac Simbaña Gallardo- Docente - Sucre

Diseño y diagramación:

- Freddy Javier Centeno Martínez - Docente - Sucre

Editorial RIMANA

Primera Edición

Quito – Ecuador

Instituto Superior Universitario Sucre

ISBN: 978-9942-686-90-9

Esta publicación está bajo una licencia de Creative Commons
Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional.



MISIÓN

Ser una Institución Superior Universitaria con estándares de calidad académica e innovación, reconocida a nivel nacional con proyección internacional.

VISIÓN

Formamos profesionales competentes con espíritu emprendedor, capaces de contribuir al desarrollo integral del país.

Los contenidos de este trabajo están sujetos a una licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0). Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material citando la fuente, bajo los siguientes términos: Reconocimiento- debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante. No Comercial-no puede hacer uso del material con propósitos comerciales. Compartir igual-Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original. No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Índice de contenido

<i>UNIDAD 1 PROPIEDADES DE LA MATERIA</i>	8
Propiedades físicas y químicas de la materia	8
Estados de la materia	9
Cambios de estado	11
Densidad	12
<i>UNIDAD 2 FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DE ALEACIONES</i>	13
Fundamento teórico	13
Fundamentos de la teoría de aleaciones	20
Diagrama Hierro-Carbono	22
<i>UNIDAD 3 POLÍMEROS</i>	25
Fundamento teórico	25
Estructura molecular y clasificación	30
Métodos de polimerización y aplicaciones	32
<i>UNIDAD 4 FUNDICIÓN Y PROCESOS DE FUNDICIÓN</i>	35
Arenas para la fundición	35
Las principales arenas usadas en la fundición pueden clasificarse según su origen, que puede ser natural o sintético:	36
Preparación y Reciclaje de Arenas para Fundición	39
Clasificación de las fundiciones	39
Aplicaciones a la industria de la fundición	41
Pasos para el proceso de fundición en arena	42
Inspecciones de control de calidad.	44
<i>UNIDAD 5 ENSAYO Y ANÁLISIS DE MATERIALES</i>	45
Métodos de ensayo y análisis de materiales	45
Ensayos mecánicos y pruebas de dureza	52
Análisis microestructural y técnicas de observación de materiales	56
Selección de materiales para componentes electromecánicos	57
<i>Bibliografía</i>	61

Presentación de la asignatura

La asignatura de Tecnología y Procesamiento de Materiales reúne los fundamentos básicos que se manejan dentro del plan académico; orientada a facilitar la comprensión de los contenidos por parte de los estudiantes. Contiene nociones fundamentales, representaciones gráficas y esquemáticas sobre las propiedades de la materia, aleaciones, polímeros, procesos de fundición, así como ensayos y análisis de materiales, los cuales respaldan la comprensión teórica y su adecuada aplicación en las actividades prácticas. Mediante el estudio de la asignatura de Tecnología y Procesamiento de Materiales los estudiantes de la Carrera de Electromecánica estarán capacitados para identificar y seleccionar adecuadamente los materiales empleados en procesos de fabricación, construcción y manufactura; por ello, la asignatura garantiza un conocimiento sólido sobre la estructura y las propiedades de los materiales, lo que permitirá a los estudiantes seleccionar y procesar el material más idóneo para cada aplicación, optimizando el desempeño y la seguridad de los proyectos donde intervienen.

Resultados del aprendizaje

Identifica los tipos de materiales sólidos más comunes utilizados en electromecánica, reconociendo sus características físicas, químicas y mecánicas fundamentales.

Distingue entre materiales puros y aleaciones, comprendiendo cómo la combinación de elementos influye en las propiedades finales del material y su aplicación práctica.

Analiza las propiedades internas y superficiales de los materiales, relacionándolas con los tratamientos térmicos y procesos de fabricación aplicados.

Reconoce visualmente y mediante criterios técnicos básicos los materiales empleados en componentes electromecánicos, facilitando una selección adecuada según el uso específico.

Selecciona el material más apropiado para la elaboración de elementos mecánicos, basándose en su composición química, resistencia, durabilidad y condiciones de trabajo.

Interpreta información técnica básica sobre materiales, incluyendo tablas, normas y especificaciones industriales, para tomar decisiones informadas en contextos reales.

Aplica conocimientos básicos de procesamiento de materiales en situaciones prácticas de taller, siguiendo criterios de seguridad y eficiencia.

Comprende la importancia del reciclaje y manejo responsable de materiales, desde una perspectiva ambiental y sostenible en la industria.

UNIDAD 1 PROPIEDADES DE LA MATERIA

Propiedades físicas y químicas de la materia.

Una sustancia es una forma de materia que posee una composición uniforme y definida, así como propiedades características constantes en todas sus partes. Se distingue por su identidad química única, ya sea como un elemento puro o un compuesto, y mantiene sus cualidades independientemente de la cantidad presente. (Chang, 2021)

Toda forma de materia posee atributos que la diferencian de lo intangible. Estas cualidades son conocidas como propiedades generales. Entre ellas destacan la masa, el volumen y la temperatura. Permiten identificar lo físico frente a lo abstracto. Son comunes a todos los cuerpos materiales sin excepción.

Otro tipo de características son las propiedades específicas. Estas varían según el tipo de sustancia. Incluyen aspectos como el color, la dureza o la ductilidad. También abarcan la tenacidad y el brillo. Definen aspectos únicos que identifican un material particular.

La tecnología de materiales estudia su comportamiento técnico. Se enfoca especialmente en su transformación industrial. Analiza cómo modificarlos para mejorar su rendimiento. Busca optimizar su uso en procesos productivos. Su objetivo es aumentar eficiencia y durabilidad.

Existe una estrecha relación entre estructura y propiedades. Esta conexión permite predecir el comportamiento de los materiales. Facilita el diseño de aleaciones metálicas avanzadas. Ayuda a reforzar características útiles en condiciones extremas. Es clave en aplicaciones industriales exigentes. (Brown, 2022)

Propiedades físicas

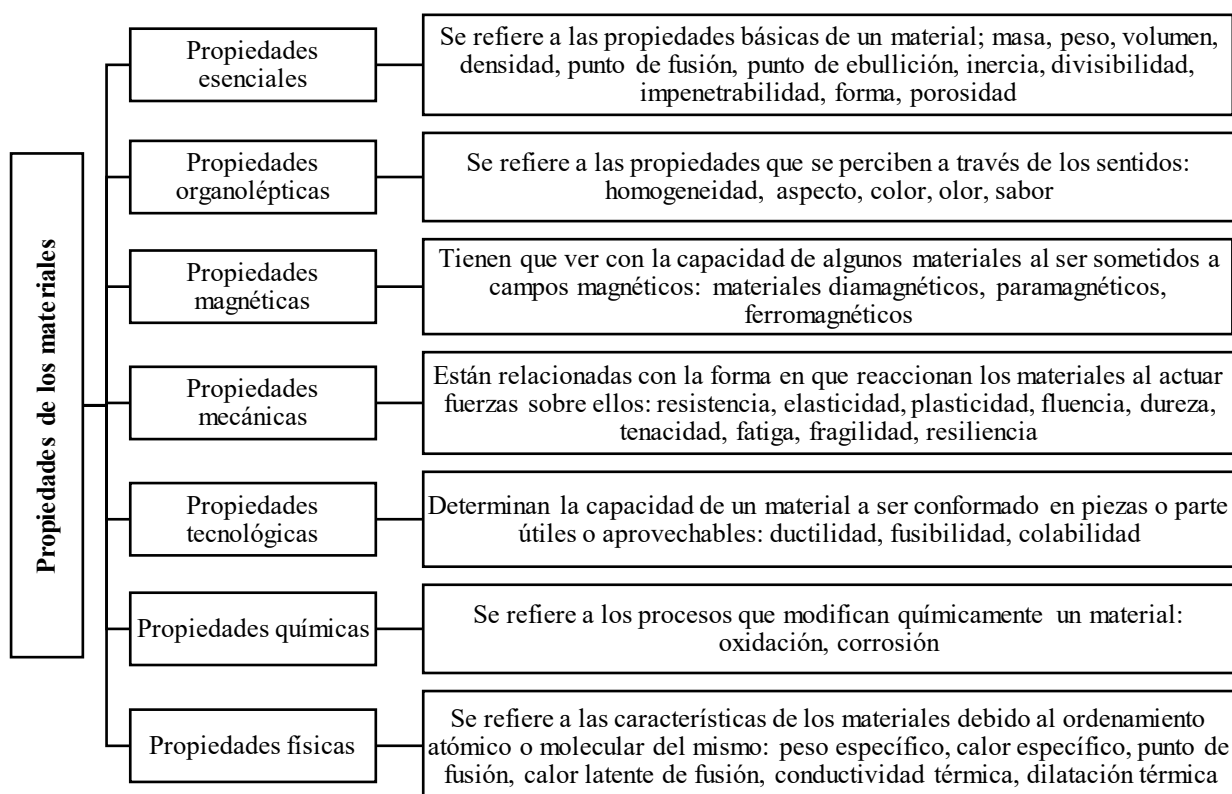
Son las cualidades inherentes de una sustancia que, al ser observadas o medidas, no alteran su composición química. Estas propiedades varían según el estado físico en el que se encuentre la sustancia, ya que no es igual el hielo, el agua líquida o el vapor. Aunque se trate del mismo material, sus características cambian dependiendo de si está en estado sólido, líquido o gaseoso.

Las propiedades químicas

Estas propiedades se relacionan con la manera en que una sustancia reacciona frente a otras, implicando cambios en su comportamiento químico y en su composición. Como resultado de esta interacción, se genera una nueva sustancia. En la figura 1, se muestra una clasificación amplia de las propiedades que contienen los materiales en la naturaleza.

Figura 1

Resumen de las propiedades generales de los materiales



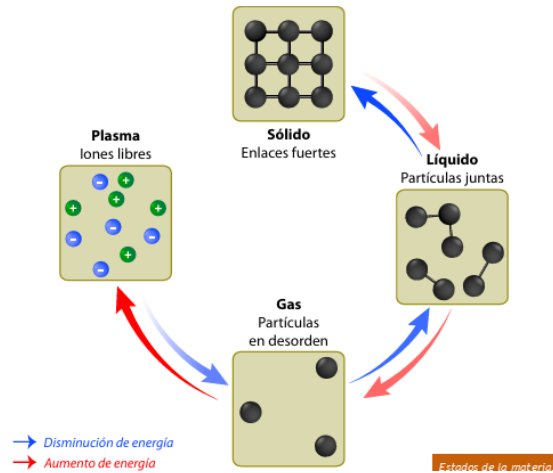
Fuente: (Smith, 2015)

Estados de la materia

La materia no se manifiesta de una única forma, sino que adopta diferentes presentaciones según su estado físico. Estos estados están determinados por las condiciones de temperatura y presión, y reflejan cómo se organizan y mueven sus partículas. La figura 2 permite observar la distribución de las moléculas de acuerdo con el estado. (OpenStax, 2022)

Figura 2

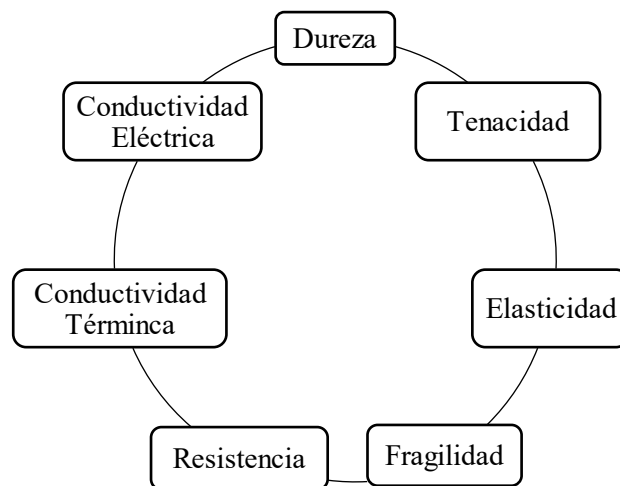
Estados de la materia



En estado sólido, la materia mantiene una forma y volumen fijos. Sus partículas están fuertemente unidas y ordenadas. Ejemplos comunes son la madera o el cobre. Este estado ofrece rigidez y resistencia a la deformación. En la figura 3 se detalla las principales propiedades de los sólidos. (Tro, 2023)

Figura 3

Propiedades de los sólidos (mecánicas)

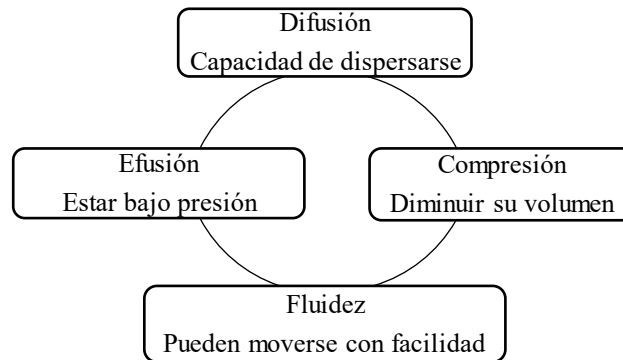


El estado líquido se caracteriza por tener volumen constante, pero forma variable. Adquiere la forma del recipiente que lo contiene. Sus moléculas se mueven con mayor libertad que en los sólidos. El agua y el aceite son claros ejemplos de esta fase.

En estado gaseoso, ni la forma ni el volumen son fijos. Se expanden para ocupar todo el espacio disponible. Sus partículas están muy separadas y en constante movimiento. El aire atmosférico y el vapor de agua ilustran perfectamente este comportamiento. Las propiedades del estado gaseoso se pueden identificar en la figura 4. (Silberberg, 2021)

Figura 4

Propiedades de los gases



Estos tres estados fundamentales muestran cómo la materia responde a cambios energéticos. Cada uno presenta propiedades físicas distintas, útiles para clasificar y comprender su comportamiento en la naturaleza y en procesos industriales.

Plasma, tampoco tiene una forma definida, un tipo de gas ionizado que sólo existe de forma natural en el sol, estrellas y en el espacio sideral o en condiciones especiales en la tierra.

Cambios de estado

La materia cambia de un estado a otro por efecto de la temperatura y presión, ya sea aumentando o disminuyendo la energía calórica. En la naturaleza es frecuente observar que la materia cambia de un estado a otro. Se reconocen 2 tipos de cambios de estado generales.

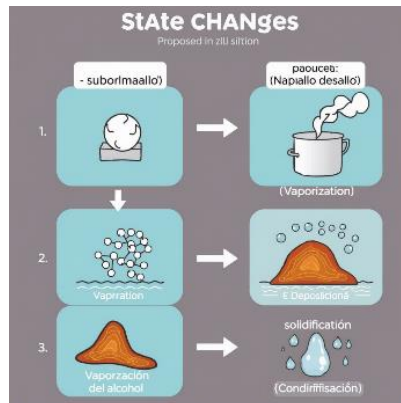
Cambios de estado progresivos, ocurren al aplicar energía calórica, lo que provoca un aumento en la temperatura de la materia

Cambios de estado regresivos, ocurren al extraer energía calórica, lo que provoca una disminución en su temperatura. (Chang, 2021)

Estos cambios de estado generales también presentan una subclasificación en la figura 5 se detallan los ejemplos más comunes del cambio de estado.

Figura 5

Clasificación de los cambios de estado



Densidad

La densidad de un cuerpo influye en su habilidad para flotar: si su densidad es inferior a la del medio en el que se encuentra, flotará. Por ejemplo, la madera flota sobre el agua porque su densidad es menor, mientras que el plomo se hunde debido a su mayor densidad. En general, la densidad se define como la cantidad de masa que hay en un volumen determinado de una sustancia. En la ecuación (1) se representa a la densidad ρ en unidades de masa sobre unidades de volumen.

$$\rho = \frac{m}{v} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (1)$$

Donde:

m = masa

v = volumen

Peso específico

El peso específico representa la relación entre el peso de una sustancia y el volumen que esta ocupa en el espacio. Se calcula dividiendo el peso de una determinada cantidad de sustancia entre

su volumen. En el Sistema Internacional de Unidades, se expresa en Newtons por metro cúbico $[N/m^3]$. (Brown, 2022)

El peso específico se relaciona directamente con la densidad del cuerpo, la ecuación (2) representa el peso específico ρ en función de la densidad

$$\rho = \gamma * g \quad \left[\frac{N}{m^3} \right] \quad (2)$$

Donde:

ρ = peso específico

γ = densidad

g = gravedad

A continuación, la carpeta 1 que se presenta en el enlace, contiene tablas de conversión de unidades, tablas de densidades de los materiales más comunes; así como talleres de ejercicios sobre cálculo de densidades, peso específico y ejercicios combinando las variables.

https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1Mn-QbRU0_8ar4uLb8YrkAy-39u9TpILY

UNIDAD 2 FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DE ALEACIONES

Fundamento teórico

Redes cristalinas

La estructura cristalina corresponde a la disposición ordenada y repetitiva de átomos, moléculas o iones en estado sólido, formando patrones que se extienden en las tres dimensiones del espacio.

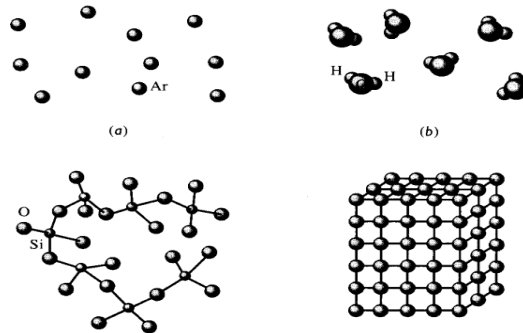
El estudio científico de los cristales y su proceso de formación se conoce como cristalografía.

En general los sólidos de la naturaleza son cristalinos lo que implica que los iones, átomos o moléculas que los constituyen se ordenan geométricamente en el espacio. En ocasiones esta estructura ordenada no es apreciable a simple vista porque están formados por una agrupación de microcristales orientados de formas diversas dando lugar a estructuras policristalinas, aparentemente amorfas. La figura 6 muestra las diferentes microestructuras moleculares de la

materia, (a) arreglo atómico gases inertes, (b) y (c) vapor de agua y vidrio, (d) metales (Chung, 2022)

Figura 6

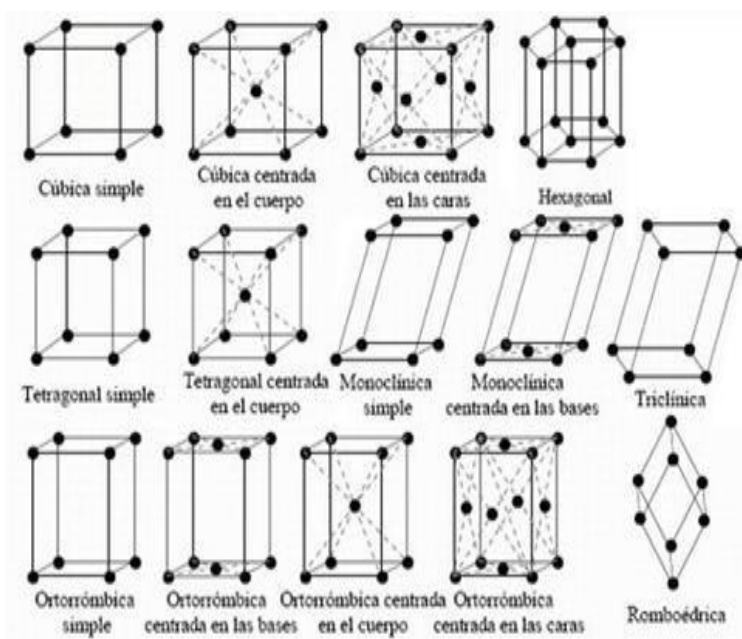
Microestructura molecular



La estructura interna de los cristales viene representada por la llamada celdilla unidad o elemental que es el menor conjunto de átomos que mantienen las mismas propiedades geométricas de la red y que al expandirse en las tres direcciones del espacio constituyen una red cristalina. La figura 7 muestra las principales redes cristalinas que pueden presentarse en los elementos. (Kurzydłowski, 2023)

Figura 7

Tipos de redes cristalinas



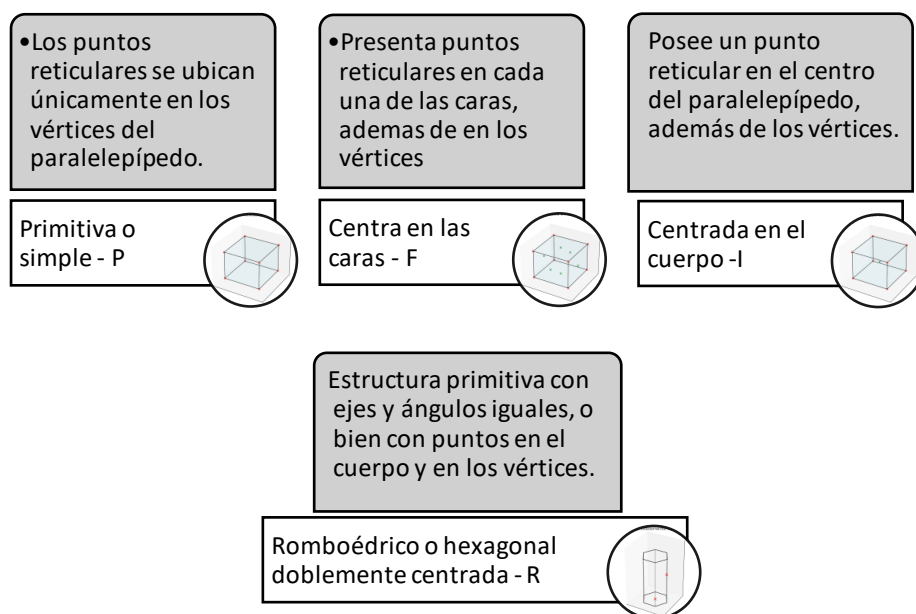
Redes de Bravais

Las Redes de Bravais, también llamadas celdas unitarias, son paralelepípedos que representan la unidad más pequeña dentro de una red cristalina, manteniendo las propiedades esenciales de toda la estructura. A través de la repetición por traslación de esta celda, es posible reconstruir la totalidad del sólido cristalino.

Para describir completamente la estructura cristalina elemental de un sólido, no solo es necesario definir la forma geométrica de la red, sino también especificar la ubicación de los átomos o moléculas dentro de la celda unitaria, lo que se conoce como puntos reticulares. Existen diferentes tipos de celdas (figura 8) según la disposición de estos puntos:

Figura 8

Tipos de celdas según la disposición de sus puntos



Al combinar los siete sistemas cristalinos con estas distintas configuraciones de puntos de red, en teoría se podrían obtener 28 posibles redes cristalinas. Sin embargo, matemáticamente se ha demostrado que solo 14 de ellas son únicas e independientes. (Feng, 2021).

Redes Metálicas

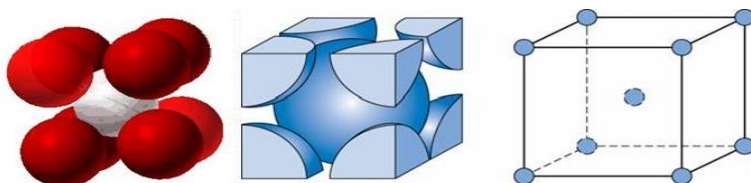
Esta circunstancia se comprobó mediante estudios de difracción de rayos X que mostraron que los átomos de los metales ocupan posiciones ordenadas geométricamente cuando el metal está en estado sólido. La estructura de los metales presenta, por tanto, cristales que, a diferencia de los iónicos, consisten en el agrupamiento compacto de átomos de una sola clase.

Las redes metálicas contienen, tres tipos de disposiciones o estructuras determinadas por el número de coordinación:

Cúbica centrada en el cuerpo o en el centro. - El índice de coordinación es 8 y el volumen no ocupado por los átomos metálicos es un 32% del total. En la figura 9 se observa los esquemas de la estructura BCC. (Martínez-Casado, 2022)

Figura 9

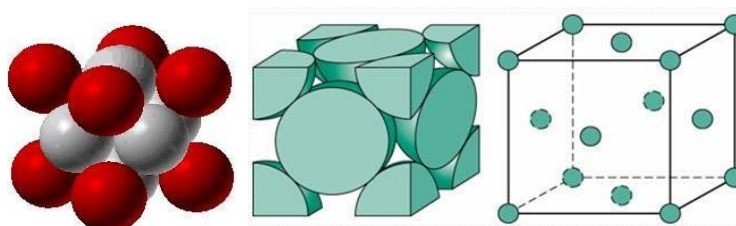
Estructura BCC cúbico centrado en el cuerpo



Cúbica centrada en las caras. - El índice de coordinación de esta estructura es 12 y el volumen libre un 26% del total. La figura 10 muestra los esquemas de una estructura FCC

Figura 10

Estructura FCC Cubico centrado en las caras

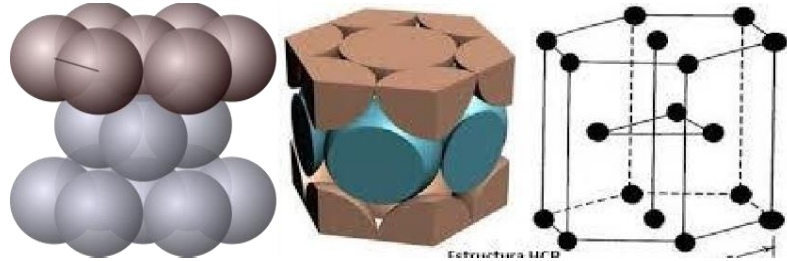


Hexagonal compacta. - Esta estructura presenta un número de coordinación de 12, al igual que la cúbica compacta, lo que indica un empaquetamiento altamente eficiente. Como consecuencia, aproximadamente el 26 % del volumen total corresponde a espacio vacío, no ocupado por átomos.

Los esquemas representativos de la estructura hexagonal compacta se muestran en la figura 11.
(Srivastava, 2023)

Figura 11

Estructura HCP Hexagonal Compacta



Propiedades de las celdas unitarias

Número de átomos por celda unitaria

Cada celda unitaria contiene un número promedio de átomos (o puntos reticulares) que varía en función de su ubicación y del grado de compartición con las celdas adyacentes.

Por ejemplo, en la **estructura cúbica simple**, los átomos se encuentran en los vértices del cubo, y cada uno de ellos es compartido por ocho celdas vecinas, por lo que su contribución a una sola celda es de 1/8. Como hay ocho vértices, el total de átomos por celda es 1.

$$CS: n = 8 \text{ vértices} * \frac{1 \text{ átomo}}{8 \text{ vértices}} = 1 \text{ átomo}$$

En la **estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC)**, además de los ocho vértices que aportan 1/8 cada uno, hay un átomo completo en el centro del cubo que no se comparte con otras celdas. Por tanto, el total de átomos por celda es 2.

$$FCC: n = 8 \text{ vértices} * \frac{1 \text{ átomo}}{8 \text{ vértices}} + 6 \text{ caras} * \frac{1 \text{ átomo}}{2 \text{ caras}} = 4 \text{ átomos}$$

En el caso de la **estructura cúbica centrada en las caras (FCC)**, los átomos en los vértices aportan también 1/8 cada uno, mientras que los átomos ubicados en el centro de cada una de las seis caras se comparten entre dos celdas, contribuyendo con 1/2 cada uno. Sumando estas contribuciones, el total de átomos por celda en una FCC es 4. (Universidad de Cantabria)

$$BCC: n = 8 \text{ vértices} * \frac{1 \text{ átomo}}{8 \text{ vértices}} + 1 \text{ átomo central} = 2 \text{ átomos}$$

(Callister W. D., 2023)

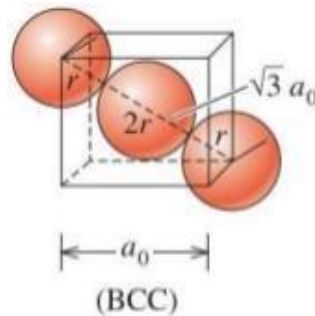
Relación entre el radio atómico y el parámetro de red

Debido a la disposición geométrica particular de cada estructura cristalina, se establece una relación matemática directa entre el radio atómico (r) y el parámetro de red (a), que representa la longitud de la arista de la celda unitaria.

En el caso de la estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC), los átomos están en contacto a lo largo de la diagonal espacial del cubo. Esta diagonal atraviesa el cubo desde un vértice hasta el opuesto, pasando por el centro, y su longitud equivale a 4 veces el radio atómico (4r), ya que conecta dos átomos tangentes a través del átomo ubicado en el centro de la celda, como se muestra en la figura 12.

Figura 12

Relación entre el radio atómico y el parámetro de red BCC



A partir de esas consideraciones geométricas se deduce la ecuación (3) que para la estructura BCC,

$$a_0 = \frac{4r}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

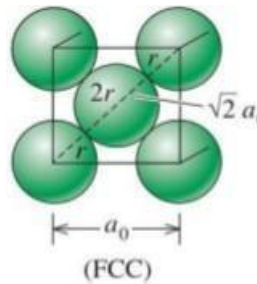
Donde r es el radio de los átomos que forman la celda unitaria.

En la estructura cúbica centrada en las caras (FCC), los átomos están en contacto a lo largo de la diagonal de cada una de las caras del cubo. Esta disposición permite establecer una relación geométrica entre el radio atómico (r) y el parámetro de red (a), basada en la longitud de dicha diagonal.

Como se observa en la figura 13, la diagonal de una cara del cubo une dos átomos ubicados en vértices opuestos de esa cara y pasa por el átomo centrado en la misma. Esta diagonal equivale a 4 veces el radio atómico ($4r$) y también puede expresarse en función del parámetro de red como $a\sqrt{2}$, lo que permite derivar la relación matemática entre r y a para esta estructura.

Figura 13

Relación entre el radio atómico y el parámetro de red FCC



Para la estructura FCC, la relación entre el parámetro de red y el radio atómico es:

$$a_0 = \frac{4r}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Donde:

r = radio del átomo.

Factor de empaquetamiento.

Representa la proporción del volumen de la celda unitaria que está efectivamente ocupada por los átomos. El factor de empaquetamiento permite evaluar cuán compacta es la disposición de los átomos en un material y se determina mediante el siguiente cálculo.

$$FE = \frac{\text{Número de átomos por celda} \times \text{volumen del átomo}}{\text{volumen de la celda unitaria}} \quad (5)$$

Densidad teórica: se refiere a la masa por unidad de volumen de un material, determinada en función de su estructura cristalina. Esta densidad se puede obtener aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{átomos por celda} \times \text{masa atómica del átomo}}{\text{volumen de la celda unitaria} \times \text{número de avogadro}} \quad (6)$$

(Callister W. D., 2021)

Fundamentos de la teoría de aleaciones

Definiciones y propiedades

Un diagrama de fase o diagrama de estados de la materia es una representación gráfica que muestra las diferentes fases que puede adoptar una sustancia en función de ciertas variables, como la temperatura y la presión, facilitando así su análisis. Cuando todas las fases representadas corresponden a distintos estados de agregación (sólido, líquido, gas), se lo denomina diagrama de cambio de estado.

En el caso de las aleaciones, los diagramas de equilibrio ilustran cómo varían las concentraciones de los componentes con la temperatura, abarcando desde temperaturas elevadas, donde el material se encuentra en estado líquido, hasta temperaturas más bajas, como la ambiente, donde generalmente se encuentra en estado sólido. En la figura 14 se muestra la relación entre temperatura y porcentaje de sustancia. (Callister W. D., 2023)

Figura 14

Diagramas de equilibrio

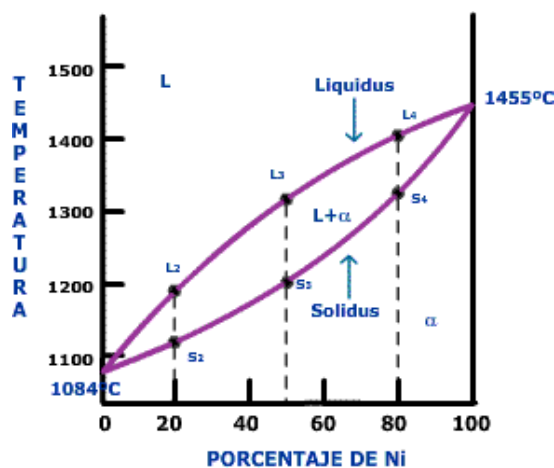


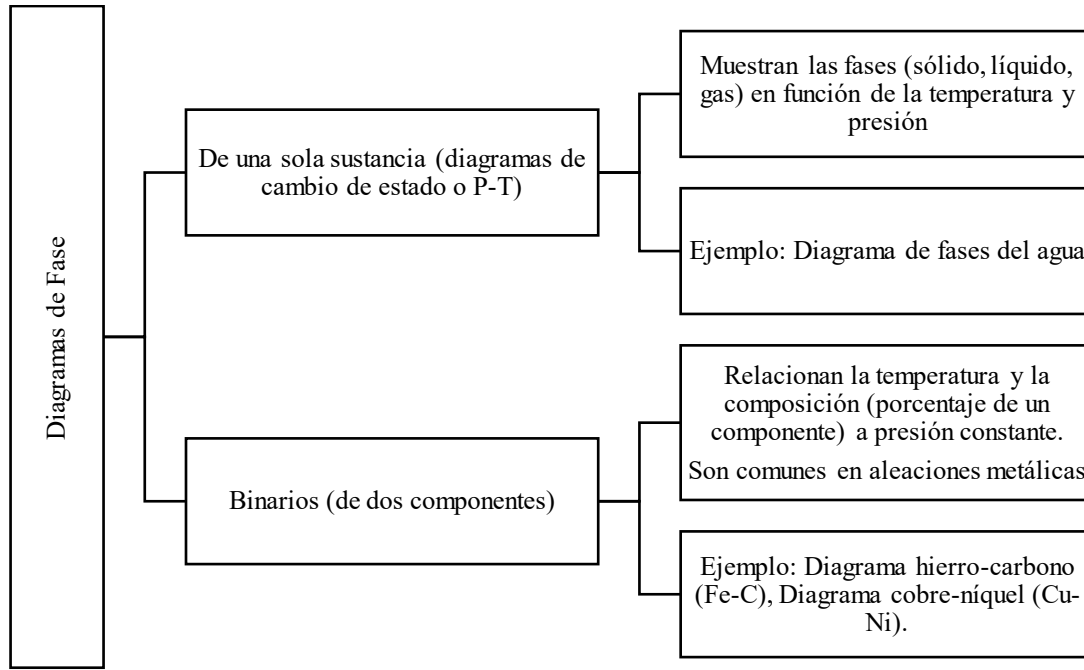
Diagrama de fase de la materia

Para determinar el estado de una aleación a una temperatura específica, es suficiente con ubicar sus coordenadas (composición y temperatura) en el diagrama de fase correspondiente. Una fase es una región del material que tiene propiedades físicas y químicas uniformes como el sólido,

líquido o gaseoso. Se puede presentar dos tipos de diagramas de fase para poder clasificar a los materiales, mismo que se exponen en la figura 15, a continuación:

Figura 15

Tipos de diagrama de fase



(Aleaciones Hierro Carbono: Propiedades y Aplicaciones, 2019, pág. 9)

Si el punto se encuentra por encima de la línea que marca el inicio de la solidificación, la aleación se encuentra completamente en estado líquido; esta línea se denomina **LÍQUIDUS**.

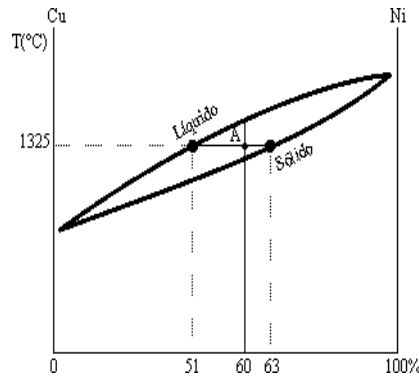
En cambio, si el punto está por debajo de la línea que indica la finalización del proceso de solidificación, la aleación se halla completamente en estado sólido, razón por la cual dicha línea se denomina **SÓLIDUS**.

Cuando el punto se localiza entre ambas líneas, la aleación se encuentra en una fase de transición, es decir, en una mezcla de líquido y sólido, característica del proceso de solidificación parcial. (Hernandez, Ramirez, & Ferri, 2004)

En la figura 16 muestra un diagrama de fases e indica la composición del líquido y del sólido en cada instante de la solidificación:

Figura 16

Variación Puntos de Equilibrio



En el diagrama del sistema formado por el cobre y el níquel del dibujo, una aleación con el 60% de níquel a 1325° C está en parte líquida y en parte sólida, y ocuparía el punto A.

El líquido que está a punto de solidificar a 1325° C tiene una composición de 51% de níquel, y esto coincide con la composición de la parte líquida presente en el punto A.

Por otro lado, el sólido que está totalmente solidificado a 1325° C tiene una composición de 63% de níquel. Ésta es la composición de la parte sólida presente en el punto A.

Cuando la temperatura va disminuyendo, las proporciones de sólido y de líquido van variando, lo que constituye el fenómeno de la segregación

Diagrama Hierro-Carbono

Este diagrama muestra las fases existentes en las aleaciones hierro-carbono enfriadas muy lentamente, a varias temperaturas y composiciones de hierro con porcentajes de carbono (hasta el 6.67%).

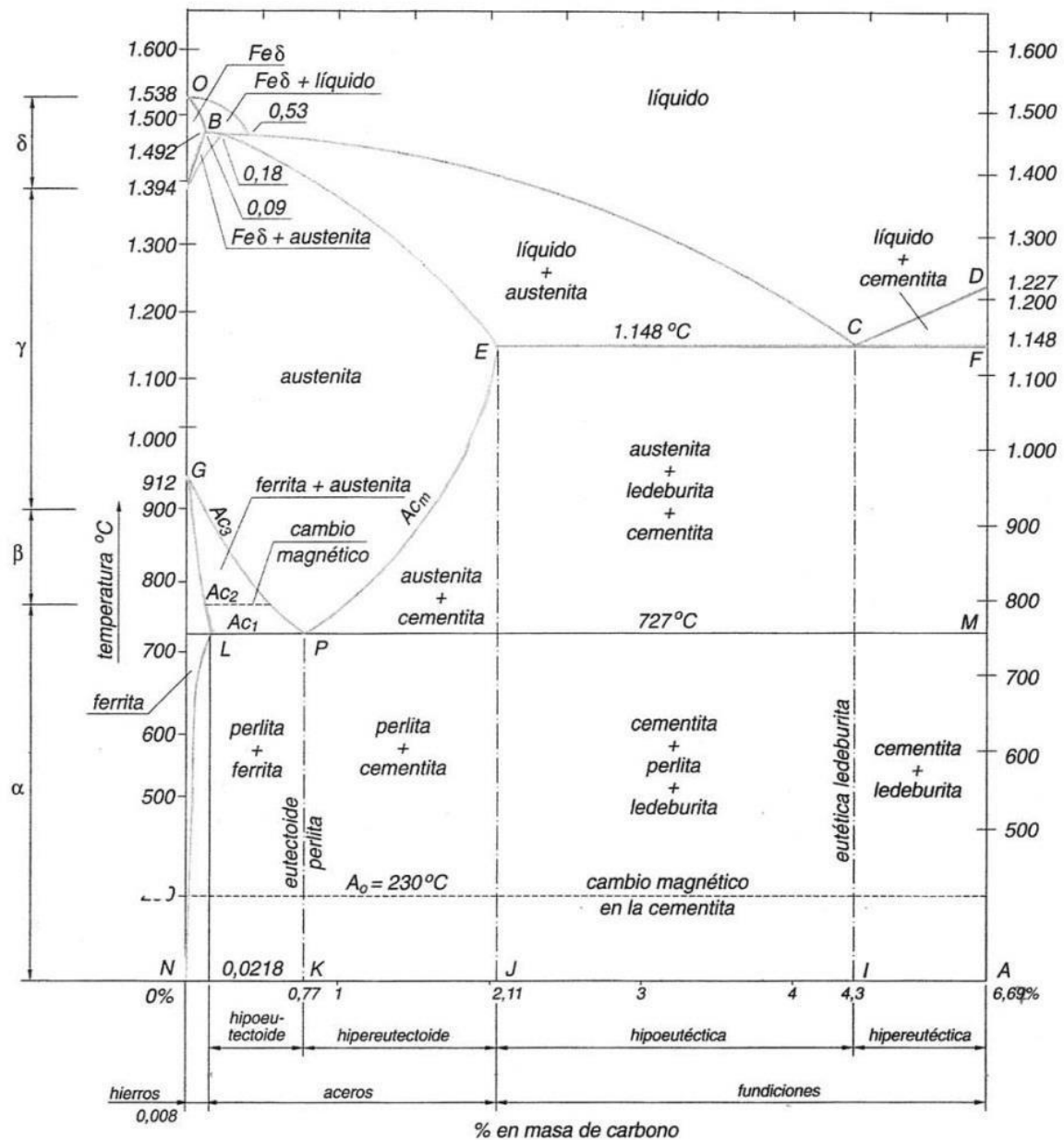
A partir de este diagrama, puede predecirse el tipo de constituyente mayoritario que tendrá la aleación en función de la temperatura y del contenido (%) en carbono; conociendo los constituyentes será posible predecir las propiedades que tendrá la aleación.

Es una herramienta muy útil que indica cómo, cuándo y en qué condiciones debe realizarse un tratamiento térmico y los resultados que deben esperarse del mismo.

El acero se obtiene a partir de la combinación de hierro y carbono. En ciertos casos, se incorporan otros elementos de aleación además del carbono. Cuando el acero está compuesto únicamente por hierro y carbono, se le denomina acero al carbono. La figura 17 muestra el correspondiente diagrama de fases para este tipo de acero. (Callister W. D., 2023)

Figura 17

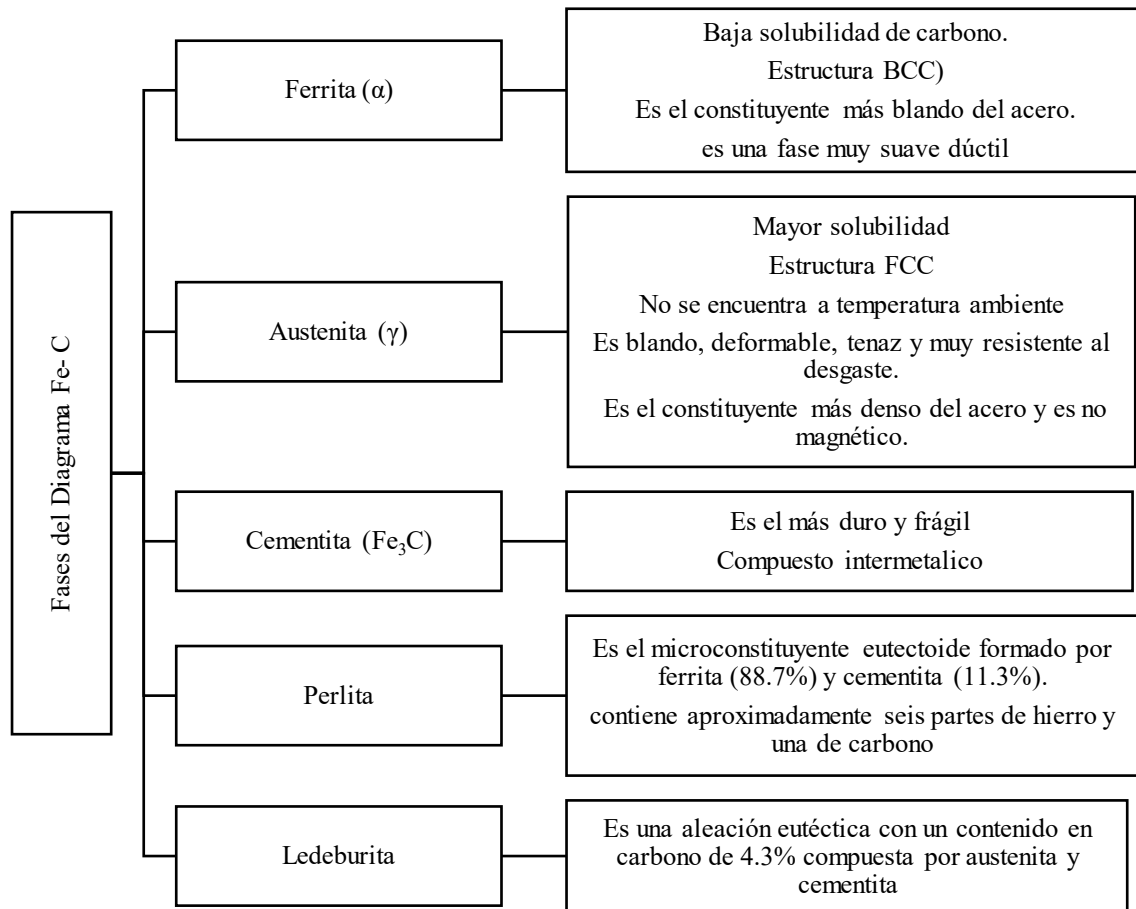
Diagrama Hierro - Carbono



A continuación, se presenta las principales fases que contiene el diagrama Fe-C, en la figura 18:

Figura 18

Principales fases del diagrama Fe-C



(Callister W. D., 2023)

A continuación, la carpeta 2 que se presenta en el enlace, contiene teoría y ejercicios sobre aceros, tipos de acero, aleaciones no ferrosas, aplicaciones, tablas de composición para aceros al carbono, inoxidables, herramientas, tablas de composiciones de aleaciones para latones, bronce y otros compuestos; así como talleres de ejercicios sobre cálculo de volúmenes de celdas de diferentes materiales, cálculo de factor de empaquetamiento en las diferentes estructuras, ejercicios con reglas de la palanca.

https://drive.google.com/drive/folders/1ut9Y9k6H6bNwBw4PNc5ujlpDo6CE1bDb?usp=drive_link

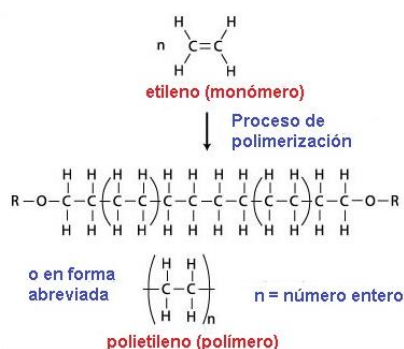
UNIDAD 3 POLÍMEROS

Fundamento teórico

Un polímero es una macromolécula formada por la repetición de unidades más simples denominadas monómeros, los cuales se enlazan mediante enlaces covalentes. Estas cadenas moleculares pueden adoptar configuraciones lineales, ramificadas o reticuladas, y tanto su tamaño como su estructura determinan sus propiedades físicas y químicas. En la figura 19, se presenta la fórmula química desarrollada de los polímeros. (Weerg, 2025)

Figura 19

Estructura molecular de los polímeros



Los polímeros cuyo nombre proviene del griego *poly* (muchos) y *meros* (partes) constituyen una categoría de compuestos químicos que comparten una estructura común. Están compuestos por macromoléculas, es decir, largas cadenas formadas por muchas unidades pequeñas repetidas llamadas monómeros. Cuando estas cadenas contienen pocas unidades, reciben el nombre de oligómeros, que significa literalmente «algunas partes». (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009)

En la actualidad, la mayoría de los monómeros, clasificados como productos orgánicos de gran volumen, se obtienen de materias primas provenientes del petróleo o del gas natural. Sin embargo, hay excepciones, como los polímeros celulósicos, elaborados a partir de fibras de algodón o madera, y los polímeros biodegradables, que se derivan de fuentes renovables.

Proceso de conformado de polímeros

El conformado de polímeros, también llamado transformación o procesado, es el procedimiento mediante el cual se moldean materiales poliméricos para obtener productos finales. Este proceso se realiza, por lo general, tras la polimerización, empleando distintas técnicas para darles la forma requerida. (StudySmarter., 2024)

Dependiendo del tipo de polímero que se desea emplear existen diferentes formas de manufacturarlo, como se presentan en las figuras 20 y 21

Figura 20

Procesos de conformado de polímeros termoplásticos

Inyección	• Consiste en introducir el plástico granulado dentro de un cilindro, donde se calienta, para luego ser inyectado a alta presión en el interior de un molde de acero para darle forma. • Por este procedimiento se fabrican carcasas, componentes del automóvil, etc.
Extrusión	• Es un proceso continuo, en el que la resina es fundida por la acción de temperatura y fricción, es forzada a pasar por un dado que le proporciona una forma definida • Se fabrican por este proceso: tubos, perfiles, películas, manguera, láminas, filamentos y pellets.
Termoformado	• Se emplea para dar forma a láminas de plástico mediante la aplicación de calor y presión hasta adaptarlas a un molde.
Moldeo por soplado	• El proceso consiste básicamente en insufla⁴ aire en una preforma tubular fundida que se encuentra en el interior del molde.
Moldeo rotacional	• Es un método para transformar plásticos, que generalmente se encuentran en polvo o en forma de pasta líquida, para producir artículos huecos.

Fuente: (Facultad de Ingeniería Industrial, 2008, págs. 14-24) (Beltrán & Marcilla, pág. 66 y 67)

Figura 21

Procesos de conformado de polímeros termoestables

Compresión	• El material es introducido en un molde abierto en donde adopta su forma, y calor para que el material reticule y adopte definitivamente la forma deseada. • Puede fabricar mangos aislantes del calor de recipientes como ollas y utensilios de cocina.
Moldeo por transferencia	• En el moldeo por transferencia, el molde permanece completamente cerrado y el material, en forma de preformas precalentadas, se coloca en un pote. Un segundo cilindro lo empuja a través de canales hacia las cavidades con una presión de unos 70 kg/cm² (1.000 psi) durante 8 a 12 segundos.
Colado	• La colada consiste en el vertido del material plástico en estado líquido dentro de un molde, donde fragua y se solidifica. • Útil para fabricar pocas piezas.
Espumado	• Implica la fusión de plástico y la adición de un agente espumante para crear una estructura celular dentro del material fundido
Calandrado	• Consiste en hacer pasar el material plástico en estado líquido a través de unos rodillos que producen, mediante presión, láminas de plástico flexibles de diferente espesor.

Propiedades de Físicas y Químicas de los Polímeros

Aunque los polímeros difieren considerablemente en cuanto a su composición y estructura, comparten ciertas características que los distinguen de otros tipos de materiales. Poseen propiedades físicas como la densidad, el punto de fusión, el grado de cristalinidad y la elasticidad, las cuales dependen directamente de su configuración molecular. En cuanto a sus propiedades químicas, sobresalen por su resistencia a la corrosión, su comportamiento frente a disolventes y su estabilidad térmica. (Beltrán & Marcilla)

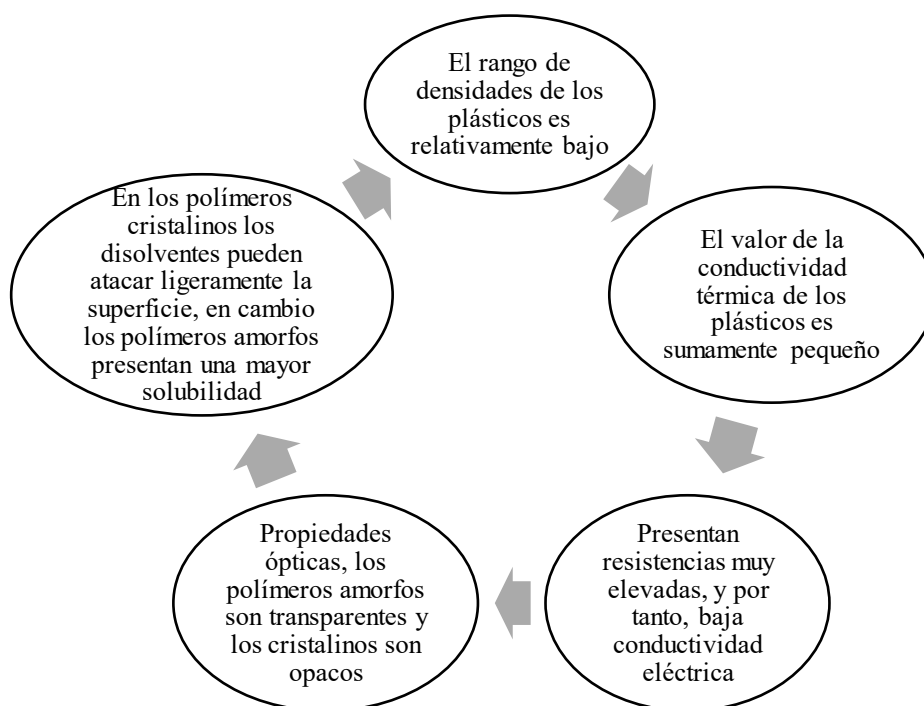
Los polímeros son materiales altamente versátiles, cuyas variadas propiedades permiten su aplicación en múltiples sectores industriales. La forma en que se clasifican y su morfología estructural inciden de manera directa en sus características físicas y mecánicas. Además, su comportamiento en estado fundido es un factor clave para los procesos de transformación y manufactura.

Generalidades - propiedades de los polímeros

Las propiedades de los polímeros dependen de su estructura química, tipo de enlace, grado de orden molecular (cristalinidad) y tipo de procesamiento. A continuación (figura 22), se presentan las principales propiedades divididas en categorías:

Figura 22

Propiedades de los polímeros



(Shofner, 2021)

A continuación, en la tabla 1, se presenta las propiedades de los polímeros, de acuerdo con su clasificación y aplicación en el mercado.

Tabla 1

Propiedades físicas de los polímeros

Polímero	Densidad (g/cm ³)	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de transición vítrea (T _g , °C)	Propiedades físicas destacadas
Polietileno (PE)	0.91 - 0.96	110 - 135	-120 a -80	Flexible, buena resistencia al impacto, baja densidad
Polipropileno (PP)	0.90 - 0.91	160 - 170	0 - 10	Resistente, rigidez media, buena resistencia química
Poliestireno (PS)	1.04	240	90 - 105	Rígido, transparente, frágil
Policloroetileno (PVC)	1.3 - 1.4	No tiene (se descompone)	70 - 80	Rígido o flexible (modificado), resistente al fuego
Policarbonato (PC)	1.20 - 1.22	220 - 230	140 - 150	Transparente, alta resistencia al impacto
Poliamida (Nylon)	1.13 - 1.15	215 - 265	40 - 70	Alta resistencia mecánica, buena resistencia al desgaste
Polimetilmetacrilato (PMMA)	1.18 - 1.20	160 - 165	105 - 120	Transparente, rígido, buena resistencia a la intemperie
Politetrafluoroetileno (PTFE)	2.1	327	-100	Muy baja fricción, resistente a altas temperaturas

(Seymour & Carraher , 2021)

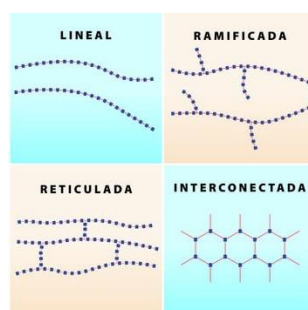
Estructura molecular y clasificación

Estructura molecular

La conformación de los polímeros permite clasificar su estructura molecular en tres tipos principales: lineal, ramificada y reticulada (entrecruzada). Cada una de estas configuraciones presenta variaciones estructurales que influyen en sus propiedades. La figura 23 ilustra las distintas formas de organización molecular de los polímeros.

Figura 23

Tipos de estructuras moleculares de los polímeros.

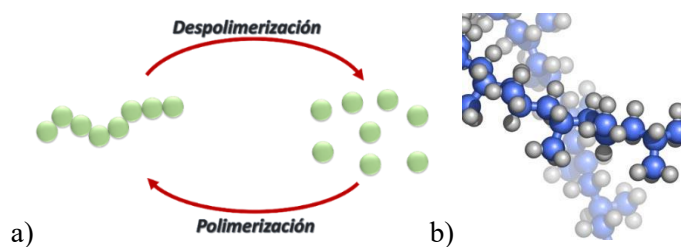


(Ahmed, 2021)

De acuerdo con la figura 24, la forma más sencilla de estructura en los polímeros es la lineal. Aunque se les denomina de *cadena rectas*, en realidad sus moléculas adoptan formas enrolladas. Estos polímeros presentan gran flexibilidad. En cambio, los polímeros ramificados tienen cadenas secundarias unidas a la principal, lo que reduce su movilidad y los hace menos flexibles que los lineales. La figura 24 muestra los tipos de estructura molecular de los polímeros (Ahmed, 2021)

Figura 24

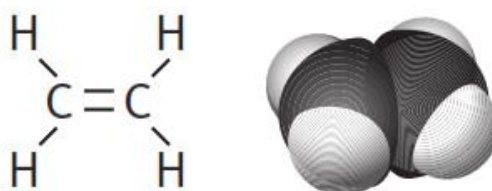
Tipos de estructuras moleculares de los polímeros: (a) Polimerización, (b) Cadena molecular del polipropileno



Una molécula de polietileno (PE) está formada por monómeros de etileno como los esquematizados en la figura 25. Cada monómero está formado por 2 átomos de C y 4 de H. (Mishra, 2022)

Figura 25

Molécula de polietileno, fórmula química y gráfica



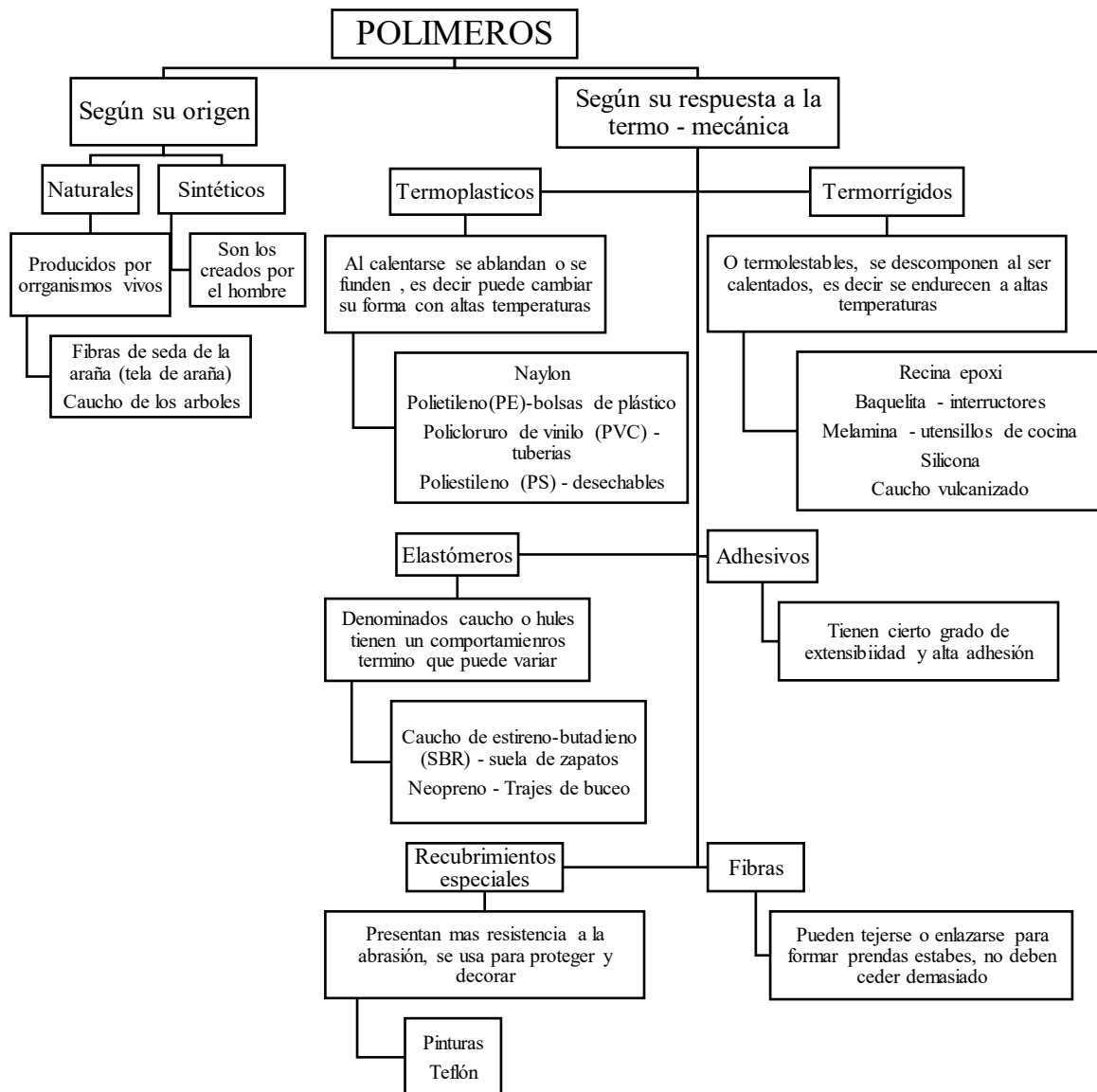
La arquitectura molecular de los polímeros, que puede ser lineal, ramificada o reticulada, incide directamente en sus propiedades mecánicas y térmicas. Las cadenas largas formadas por enlaces covalentes entre monómeros determinan la flexibilidad del material, mientras que los enlaces cruzados incrementan su rigidez y estabilidad térmica. Además, el nivel de organización interna —ya sea amorfa o cristalina— influye en características como la transparencia, dureza y resistencia.

Clasificación de los polímeros

Los términos "plásticos" y "polímeros" se utilizan a menudo indistintamente en la industria. Estos materiales también se denominan "resinas", un término antiguo utilizado para referirse a los polímeros. Hay diferentes maneras de clasificar a los polímeros. Se puede dividir según su origen o según su uso. A continuación, en la figura 26 se presentan los tipos de polímeros (Zhang, 2022)

Figura 26

Métodos de obtención de polímeros



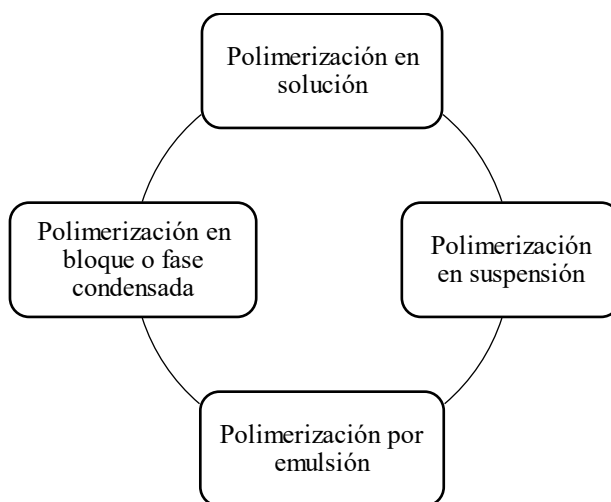
Métodos de polimerización y aplicaciones

Los polímeros sintéticos se producen mediante polimerización. En este proceso se produce la reacción de miles de monómeros que pasan a formar parte de una larga cadena macromolecular. Para producir polímeros a escala industrial las materias primas básicas empleadas son gas natural, carbón, y petróleo. El proceso químico de la polimerización es complejo y diverso; el ingeniero químico es quien se destaca en el control de este proceso.

Algunos de los métodos de polimerización más importantes son los podemos observar en la figura 27 (Carraher, 2021)

Figura 27:

Métodos de polimerización



Consideraciones ambientales y sostenibilidad

Los plásticos son los materiales de uso más común para producir piezas y productos de uso final. Se utilizan para la fabricación de todo tipo de productos, desde productos de consumo hasta dispositivos médicos. La producción mundial de plástico en el año 2015 alcanzó los 380 millones de toneladas. Hasta la actualidad se han fabricado 8,3 mil millones de toneladas de plástico desde que su producción empezara en el año 1950. (Greenpeace, 2022).

La generación de residuos poliméricos no biodegradables se ha convertido en una preocupación que representa una amenaza por los impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana, lo que conlleva la acumulación de grandes volúmenes de estos residuos en corto tiempo, causados por los sistemas de gestión insuficientes, incapacidad de apreciar el valor potencial, falta de incentivos de mercadeo ecológico, poca responsabilidad ante eventos de contaminación, falta de educación ambiental y deficiencias en los sistemas tratamiento y disposición final. (Carraher, 2021)

En Ecuador, la fabricación de productos plásticos es de gran importancia en la economía del país, principalmente por la presencia del plástico en actividades domésticas e industriales, tanto en mercados locales como internacionales, principalmente de alimentos y bebidas.

Es fundamental identificar los principales riesgos ambientales y sociales asociados a las actividades de fabricación de productos plásticos, así como ofrecer una descripción detallada de su proceso productivo, con el fin de comprender mejor las operaciones involucradas. Esto permitirá promover medidas y acciones orientadas a la implementación de buenas prácticas ambientales, laborales y sociales dentro del sector, lo cual contribuirá a minimizar los riesgos reputacionales y fomentar el desarrollo de finanzas sostenibles en el Ecuador.

La elevada producción de polímeros se debe a su gran versatilidad, ya que sus propiedades pueden adaptarse según la aplicación deseada, además de sus bajos costos de fabricación en comparación con otros materiales. Entre los polímeros sintéticos más comunes se encuentran el polietilentereftalato (PET), el polietileno de alta y baja densidad (HDPE y LDPE), el policloruro de vinilo (PVC) y el poliestireno (PS); estos materiales presentan una alta resistencia a la degradación, lo que genera un serio problema ambiental por acumulación de residuos plásticos.

Como alternativa, se promueve el uso de polímeros biodegradables que se descomponen de manera ecológica. Entre ellos se destacan los naturales como la celulosa, el almidón, la quitina, el quitosano y el colágeno, y los sintéticos como el poliácido láctico (PLA), policaprolactona (PCL), poliuretanos (PU), polianhidridos (PA), poliácido glicólico (PGA) y poli(p-dioxanona) (PPDO). Estos materiales ofrecen buenas propiedades y pueden reemplazar a los polímeros tradicionales sin comprometer la sostenibilidad ambiental. (Abarca, 2021)

A continuación, la carpeta 3 que se presenta en el enlace, contiene procesos de conformado de polímeros más comunes; así como talleres de ejercicios sobre polímeros.

https://drive.google.com/drive/folders/189r1qG5HMapWqBV8e3xMf2WG_3qNO2x2?usp=sharing

UNIDAD 4 FUNDICIÓN Y PROCESOS DE FUNDICIÓN

Arenas para la fundición

La fundición es un proceso metalúrgico tradicional y ampliamente empleado en la industria moderna, que implica el vertido de un metal o aleación en estado líquido dentro de un molde, donde al enfriarse y solidificarse toma la forma deseada. (Groover, 2020).

Este proceso es fundamental en la producción de piezas complejas utilizadas en sectores como la automotriz, aeroespacial, energético y de maquinaria pesada. La fundición permite obtener formas difíciles de lograr mediante otros métodos de fabricación, aprovechando la capacidad del material metálico para fluir en estado líquido y reproducir con precisión la geometría del molde.

Un aspecto fundamental en el proceso de fundición es el punto de fusión, que se refiere a la temperatura a la cual un sólido cristalino se transforma en líquido bajo condiciones normales de presión. Este valor difiere notablemente entre distintos metales o aleaciones; por ejemplo, el hierro puro se funde a 1538 °C, mientras que el aluminio lo hace a 660 °C. (Callister W. D., 2021).

Durante el proceso, es esencial calentar el metal por encima de su temperatura de fusión para asegurar una completa transformación al estado líquido y facilitar su fluidez durante el colado.

El colado se refiere específicamente al acto de verter el metal fundido desde el crisol o horno hacia el interior del molde.

Para asegurar la eficiencia del proceso, la temperatura de vertido debe mantenerse ligeramente por encima del punto de fusión del material. Esto permite compensar las pérdidas térmicas durante el traslado del metal y garantiza que el mismo fluya adecuadamente, llenando por completo las cavidades del molde antes de comenzar a solidificarse. (Kalpakjian S. &., 2022).

Esta diferencia entre la temperatura de fusión y la de colado se conoce como *sobrecalentamiento* y es un parámetro crítico para evitar defectos como relleno incompleto o formación de poros.

El molde es una cavidad con la forma negativa de la pieza deseada, diseñada para contener el metal fundido durante su enfriamiento y solidificación. Existen diferentes tipos de moldes, clasificados principalmente en dos categorías: moldes desechables y moldes permanentes.

Los moldes desechables, como los de arena (utilizando arena sílica con aglutinantes), se destruyen tras cada ciclo de fundición y son ideales para piezas grandes o de baja producción. Por otro lado, los moldes permanentes, fabricados en metal (generalmente hierro fundido o acero), se reutilizan múltiples veces y se emplean en procesos como la fundición en matriz metálica o a presión (Cantor, 2021). Además, existen variantes avanzadas como los moldes cerámicos (usados en fundición por inversión) y los moldes de espuma evaporativa (proceso lost-foam), que permiten mayor precisión dimensional y acabado superficial.

En conjunto, los procesos de fundición integran conocimientos de termodinámica, transferencia de calor y ciencia de materiales, siendo esenciales para la fabricación industrial. La selección adecuada del tipo de molde, el control preciso de las temperaturas de fusión y colado, y la comprensión del comportamiento de los metales en estado líquido son factores determinantes para garantizar la calidad y funcionalidad de las piezas producidas.

Tipos de Arenas para Fundición

Las principales arenas usadas en la fundición pueden clasificarse según su origen, que puede ser natural o sintético:

Arenas naturales (semisintéticas)

Se obtiene al mezclar rocas ígneas con arcillas al ser extraídas de canteras, para poder ser utilizadas solamente se adiciona agua para obtener una arena útil para moldeos de piezas fundidas de hierro y metales no ferrosos. A diferencia de la arena sílica, esta arena no presenta propiedades refractarias para usos en temperaturas elevadas, por lo que no se puede utilizar para elementos cuyo punto de fusión sea elevado. La figura 28 presenta la clasificación de las arenas naturales (Callister W. D., 2023)

Figura 28

Clasificación de las arenas naturales

Arena Sílica (SiO_2)	Este tipo de arena es resistente a altas temperaturas sin afectar su estructura, además se puede encontrar en depósitos naturales, es muy utilizada para moldeo, además de otras características tales como su bajo costo, gran duración. Una de las desventajas de este tipo de arena, es su baja propiedad para compactarse o propiedades aglomerantes, éstas podrían suplirse al aumentar arcilla
Arenas de cromita	No presenta reacción química a alta temperatura y tiene una expansión térmica inferior. Su principal desventaja es el precio, por lo que solamente se utiliza para ciertos requerimientos especiales.
Arenas de olivina	Entre sus ventajas ante la sílice está su alta refractariedad, además de su bajo costo. Su principal desventaja es su alta fragilidad
Arenas de zirconio	Su baja expansión térmica y su alta conductividad y densidad le proporcionan ventajas por encima a la sílice, sin embargo, su muy alta densidad y forma de grano le da muchas desventajas

Fuente: (Sáenz Valdez, 2021)

En la tabla 2 se indican algunas propiedades de varias arenas de moldeo. (Groover, 2020)

Tabla 2

Propiedades de las arenas de moldeo

Material del molde	Conductividad térmica Calor específico [W/(m·K)]	Densidad [kg/dm ³]	Calor específico [J/(kg * K)]	Expansión 20-1 200°C (%)	Temperatura fusión [K]
ARENA DE SÍLICA	0,52	1,6	1170	1,9	1986
ARENA DE CROMITA	0,38	2,65	990	0,6	2363
ARENA DE OLIVINO	0,35	1,7	990	1,1	2143
ARENA DE ZIRCONIO	1,04	2,72	840	0,45	2813

Arenas de moldeo sintéticas

Están compuestas principalmente de Sílice lava de granos agudos, a la cual se le adiciona arcilla en determinado porcentaje (3 – 5%). Con las arenas sintéticas se produce menos gas ya que se requiere menos porcentaje de humedad para que desarrolle su resistencia.

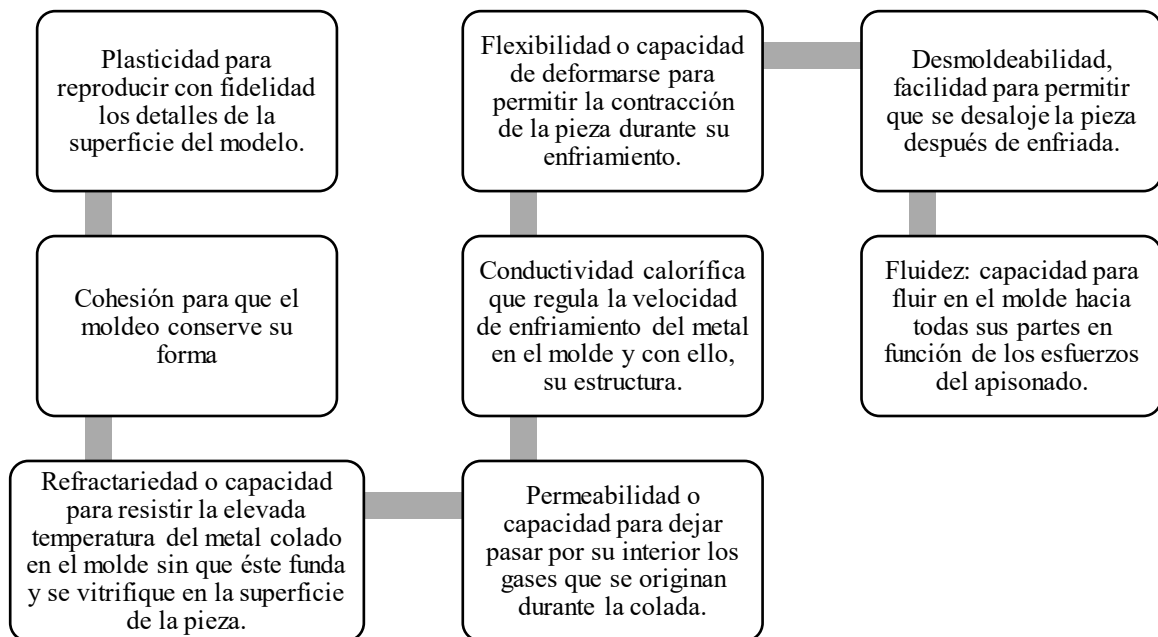
Si el trabajo de fundición requiere un aspecto menos rugoso, es decir, un acabado superficial más fino sin maquinados posteriores, se debe emplear una arena de grano fino, este tipo de arena se utiliza ya que se obtiene una mejor permeabilidad, propiedad que se relaciona al mejor acabado superficial de la pieza. (Groover, 2020)

Propiedades de las arenas

Las arenas que sirven para los procesos de fundición deben cumplir con las propiedades que se encuentran detalladas dentro del figura 29, presentado a continuación:

Figura 29

Propiedades de las arenas de fundición.



(Callister W. D., 2023)

Preparación y Reciclaje de Arenas para Fundición

Preparación de la arena

Existen diferentes preparados de arena, el más utilizado es el de *arena verde* cuya composición típica es una mezcla de arena (normalmente Sílice), arcilla (Bentonita), agua, aglutinantes y, en algunos casos, Antracita. El término *verde* no es por su color, sino porque indica la presencia de humedad en la arena y que el molde no es horneado o secado. Los moldes fabricados en arena verde resultan los menos costosos y, consecuentemente son los más utilizados. (Groover, 2020)

Reciclaje de Arenas

La reutilización de arenas de fundición no peligrosas puede contribuir al ahorro energético, disminuir la demanda de materiales vírgenes provenientes de la minería y reducir los costos tanto para los fabricantes como para los usuarios finales. Estas arenas recicladas suelen emplearse en el sector de la construcción, aunque también pueden tener otros usos, tales como:

- Insumo en la producción de cemento Portland.
- Sustituto parcial de agregados finos en mezclas asfálticas.
- Componente en mezclas de mortero para trabajos de albañilería.

Es necesario realizar un análisis específico de cada tipo de arena usada, considerando sus características físicas y químicas, para evaluar su viabilidad de reciclaje y los posibles usos adecuados. (CDE, 2025)

Clasificación de las fundiciones

Las aleaciones de hierro - carbono han sido pilares fundamentales en la industria metalúrgica, y dentro de ellas, las fundiciones ocupan un lugar destacado. Aunque tradicionalmente se las consideraba materiales de menor resistencia en comparación con los aceros, su evolución ha sido notable. Gracias a la adición de otros elementos que mejoran sus características, al uso inteligente

de tratamientos térmicos y, sobre todo, al desarrollo de la fundición nodular, hoy en día pueden desempeñar funciones que antes solo eran posibles con aceros de alta resistencia. Esta transformación ha ampliado su campo de aplicación, haciéndolas imprescindibles en sectores como la automotriz, la construcción y la maquinaria pesada. (Callister W. D., 2021).

Se emplean en la fabricación por colada de piezas como bancadas, bloques de motor, aros y árboles de levas, siempre que no estén sometidas a cargas mecánicas elevadas, especialmente dinámicas. Estas fundiciones no se someten a deformación plástica en frío ni en caliente, ya que carecen de ductilidad y maleabilidad, por lo que no pueden ser forjadas ni laminadas. (Kalpakjian S. &, 2022) La clasificación de las funciones se presenta en la tabla 3

Tabla 3

Clasificación de las fundiciones.

TIPOS	CARACTERISTICAS	Propiedades	EJEMPLO DE APLICACION
Fundición blanca	Presenta carbono y silicio en su composición. Estas fundiciones son conocidas como insoldables debido a que en su estructura el carbono cristaliza combinado con el hierro formando cementita.	Alta dureza Fragilidad Baja resiliencia Difícil mecanizado	Molinos, revestimiento de tolvas
Fundición laminar	El carbono presente se encuentra total o parcialmente en forma de grafito, el cual se manifiesta en estructuras laminares. Al fracturarse, este material presenta un color gris oscuro.	Soldable Resistencia a la compresión, al desgaste, a la tracción Dúctil	Pedestales para máquinas, discos de frenos y herramientas agrícolas
Fundición gris nodular	El grafito se presenta en forma globular y contiene magnesio en su estructura	Alta resistencia mecánica Ductilidad	Fabricación de tuberías y la fabricación de piezas en el sector del automóvil.
Fundición maleable	Parte o todo el carbono aparece como grafito, pero precipitando éste en forma	Resistencia alta Ductilidad Tenacidad	Fabricación de engranajes, bielas, pistones,

de copos. Su fractura, según la base metálica, es oscura o color acero.

árboles de levas,
árboles de
transmisión,
cadenas

Aplicaciones a la industria de la fundición

La fundición de metales y aleaciones es ampliamente utilizada en diversas industrias debido a su versatilidad y eficiencia. A continuación, se presentan algunos ejemplos representativos de sus aplicaciones. La figura 30 muestra las principales áreas industriales donde se emplean las fundiciones. (Zhang, 2022)

Figura 30

Aplicaciones a la industria de la fundición

Industria Automovilística	• Los componentes como bloques de motor, discos de freno, engranes son algunos de los elementos más comunes que se pueden citar, también se utilizan piezas que requieran determinadas formas o geometrías complejas. Otra de las características que se necesitan son las piezas utilizadas en la industria automovilística son la de disipar el calor, o control dimensional, características que se obtienen gracias a los procesos de fundición.
Aeroespacial y defensa	• Esencialmente con el proceso de fundición se obtienen elementos como componentes de motores de aviones, armamento pesado, rotores, álabes de turbinas, toberas, recipientes de alta presión. Cada uno de los elementos mencionados requiere precisión, además de poder resistir altas temperaturas y presiones.
Industria de la Construcción	• En este tipo de industria se tiene elementos de uso común, por ejemplo, piezas de hierro fundido, accesorios de tubería, válvulas, etc. Elementos que, por sus características de aplicación, necesitan alta resistencia a la corrosión además de poseer propiedades mecánicas como alta resistencia mecánica.
Industria médica	• Los elementos que se requiere para atender a este sector puede ir desde piezas de pequeñas dimensiones, como implantes dentales hasta implantes de hueso o tejidos. La fundición juega un papel preponderante puesto que se requiere piezas de gran precisión y gran rendimiento.

Pasos para el proceso de fundición en arena

Preparación del Molde en Arena

El proceso de fundición comienza con el molde, este está conformado por una cavidad, la cual determina la configuración y forma de la pieza que se va a fundir.

La cavidad debe sobredimensionarse, puesto que se debe considerar la contracción del material fundido al momento de enfriarse. Los moldes pueden estar constituidos de varios materiales, que pueden ser: arena, yeso, cerámica y metal. (Castro Lisintuña , 2012)

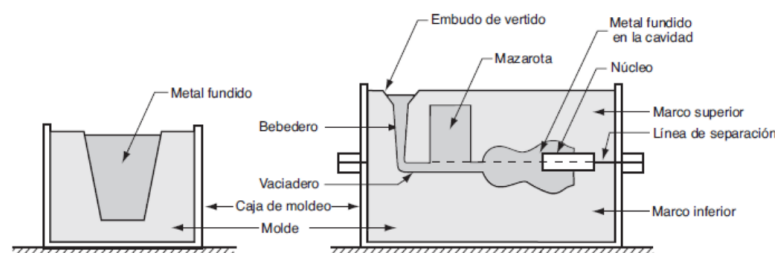
Vertido del Metal Fundido

Para llevar a cabo el proceso de fundición, es necesario elevar la temperatura del metal hasta que alcance su punto de fusión y pase del estado sólido al líquido.

Una vez logrado este cambio de fase, el metal fundido se vierte en la cavidad del molde. En este sentido se pueden emplear dos tipos de moldes, uno abierto en el cual el metal líquido simplemente se vierte hasta que llena la cavidad, y un molde cerrado, en el cual el metal en estado líquido sigue un camino hacia el exterior del molde, es decir, a la cavidad de salida. Todo el proceso lo puede ver en la figura 31 (Andrade Bedoya, 2020, pág. 3)

Figura 31

Molde abierto y molde cerrado.



(Andrade Bedoya, 2020, pág. 4)

Desmoldeo y Acabado de la Pieza Fundida

El proceso de enfriamiento se empieza a producir una vez que el metal fundido llega al molde, durante esta parte del proceso se produce la adaptación a la forma sólida de la cavidad del molde.

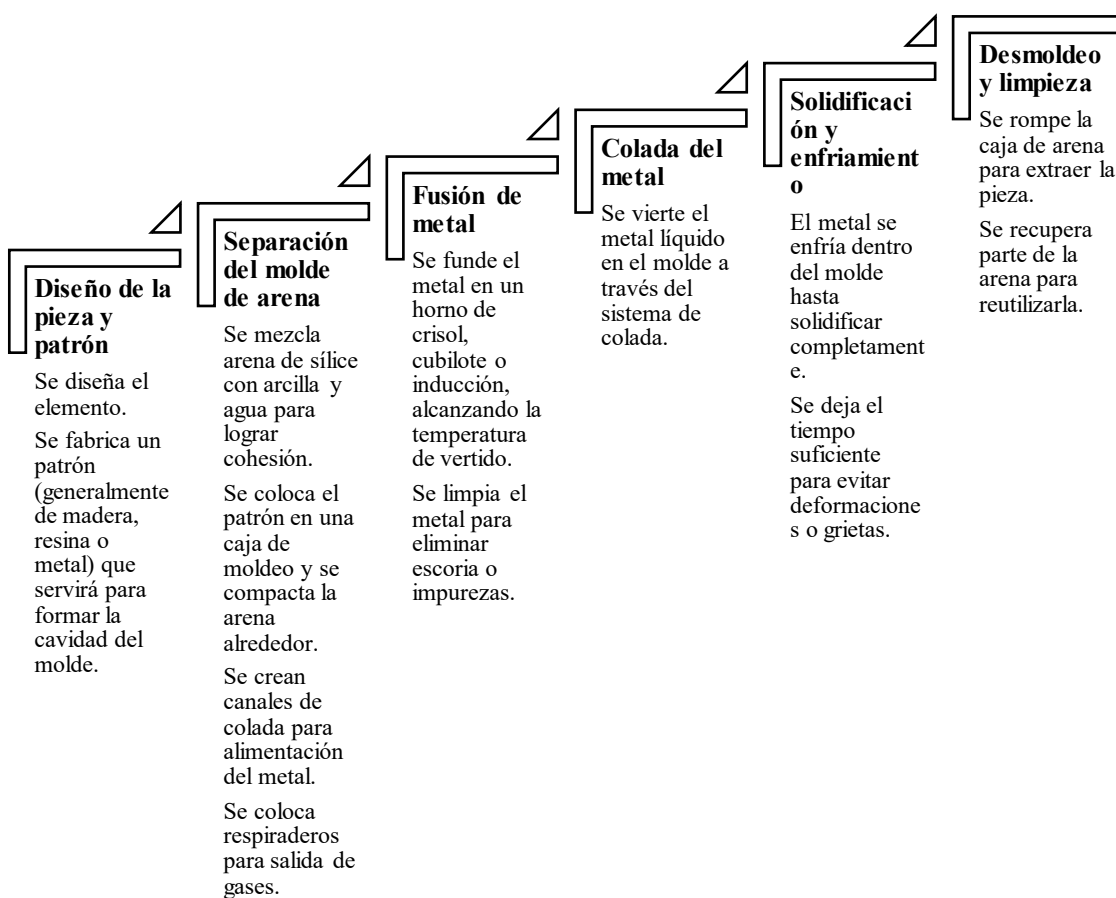
Luego de que se haya enfriado lo suficiente, se procede al retiro del molde. Dependiendo del método utilizado y del metal que se ha fundido, se podría requerir pasos adicionales, tales como: limpieza de la superficie, maquinado, cepillado, tratamiento térmico, etc.

Se puede mencionar dos grandes categorías, de acuerdo con el tipo de molde utilizado: fundición utilizando molde desechable y fundición realizada con molde permanente.

El primero hace que la pieza fundida se solidifique y el molde deba destruirse para retirar el elemento final, estos moldes generalmente están constituidos por arena, yeso o materiales parecidos, cuya forma se mantiene con el uso de aglutinantes. A diferencia de un molde desechable, un molde permanente es utilizado para realizar producción en masa, es decir, se utilizan para producir varios elementos. Los pasos del proceso lo permiten ver en la figura 32.

Figura 32

Pasos para el proceso de fundición en arena



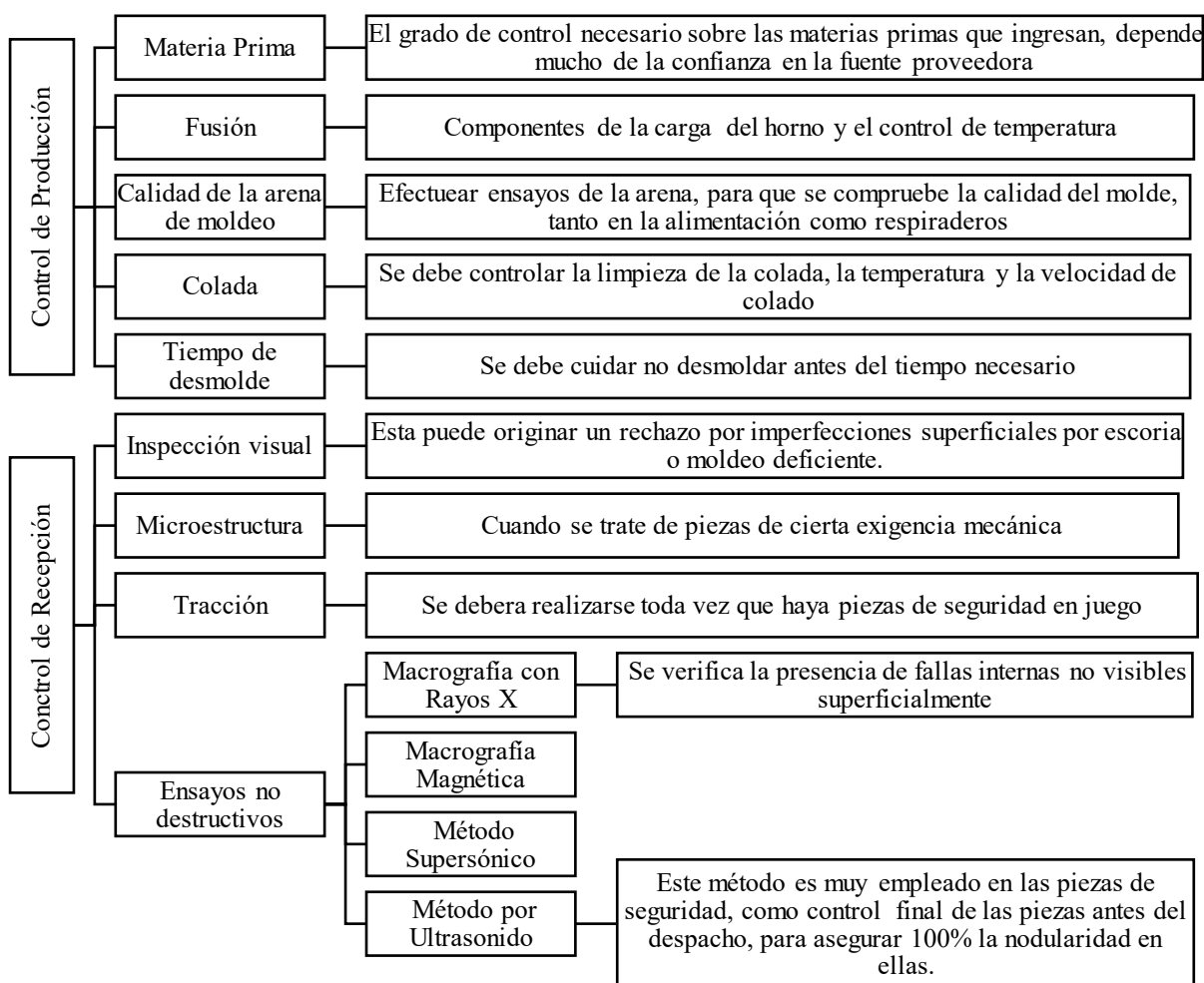
(Sevilla)

Inspecciones de control de calidad.

En este contexto, se distinguen básicamente dos tipos de controles: controles de producción y controles de recepción. Dado que el ingeniero mecánico suele ser usuario de piezas fundidas, se pone especial énfasis en los controles de recepción, cuyo objetivo es verificar que los productos entregados cumplan con las normas y requisitos establecidos. Por su parte, los controles de producción, que son responsabilidad del fundidor, se mencionan únicamente de manera general sin profundizar en su detalle. La figura 33 detalla los pasos para la inspección. (Callister W. D., 2023)

Figura 33

Control de calidad



A continuación, la carpeta 4 que se presenta en el enlace, contiene la práctica de fundición de aluminio en molde de arena verde, además incluyen las fases del trabajo del proceso, también consta tablas de temperatura de fusión y colado de metales, aleaciones, no metales.

[https://drive.google.com/drive/folders/14w54ptGSbinHVft7kEXOtUuRrWdOAzm-
?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/14w54ptGSbinHVft7kEXOtUuRrWdOAzm-?usp=sharing)

UNIDAD 5 ENSAYO Y ANÁLISIS DE MATERIALES

Métodos de ensayo y análisis de materiales

El objetivo de los ensayos es determinar las propiedades de los materiales, principalmente las mecánicas; los ensayos se pueden aplicar a materiales metálicos, polímeros, cerámicos.

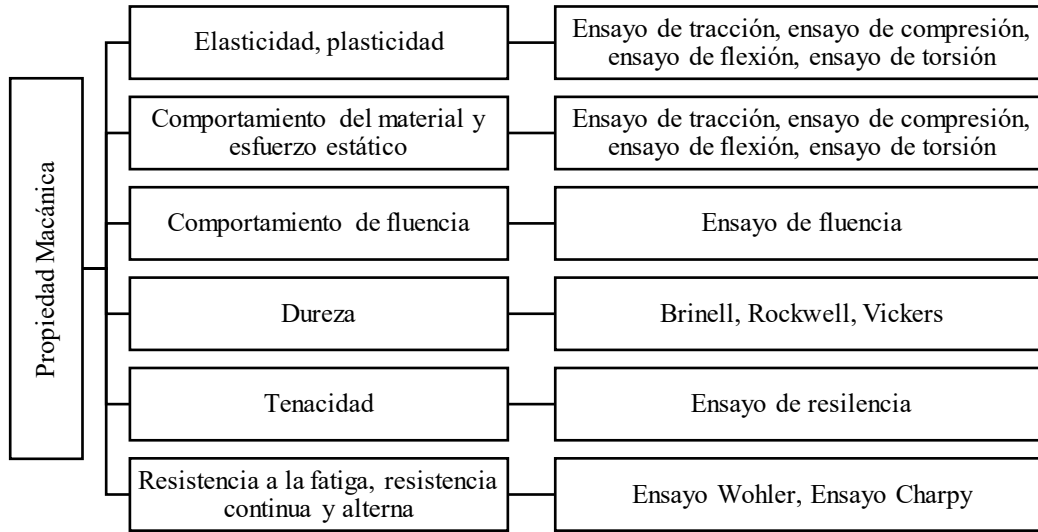
Además, los ensayos de materiales permiten estudiar el comportamiento de los materiales sometidos a distintos esfuerzos. Los ensayos analizan principalmente la relación existente entre las fuerzas aplicadas y las deformaciones resultantes que se producen en los materiales, así también los esfuerzos máximos que pueden provocar una falla en los materiales. (Shakefford, 2015)

Ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos son pruebas que determinan la resistencia y otras propiedades mecánicas. Existen diferentes tipos de ensayos mecánicos, pueden ser estáticos o dinámicos, así como también destructivos o no destructivos. Los ensayos garantizan la seguridad y calidad de los materiales que van a hacer utilizados en diferentes componentes de la industria. La figura 34, indica la relación entre la propiedad mecánica y el método de ensayo a utilizar (William, 2010)

Figura 34

Relación propiedad mecánica vs método de ensayo



Elasticidad. - Capacidad de un material elástico para recobrar su forma al cesar la carga que lo ha deformado. Se llama límite elástico a la carga máxima que puede soportar un material sin sufrir una deformación permanente.

Plasticidad. - Capacidad de deformación permanente de un metal sin que llegue a romperse.

Fluencia. - Propiedad de algunos materiales de deformarse lenta y espontáneamente bajo la acción de su propio peso o de cargas muy pequeñas luego de superar el límite elástico. Esta deformación lenta, se denomina también creep

Resistencia. - Capacidad de soportar una carga externa sin romperse, la carga se denomina de rotura y puede producirse por tracción, por compresión, por torsión o por cizallamiento, habrá una resistencia a la rotura (kg/mm^2) para cada uno de estos esfuerzos.

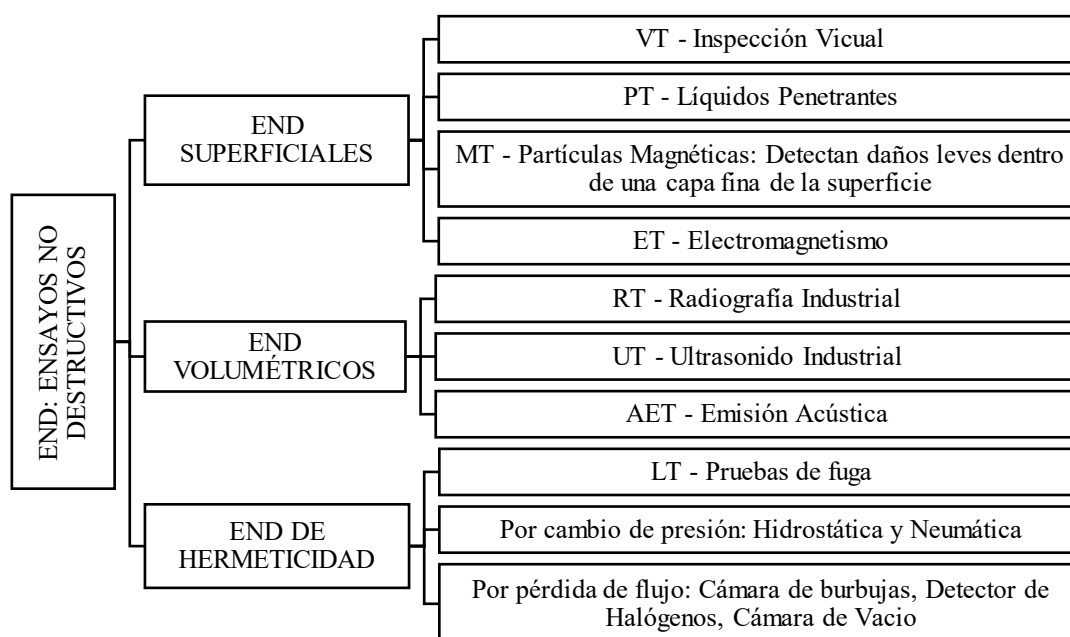
Ensayos no destructivos

Se basan en el uso de técnicas indirectas fundamentadas en principios físicos, con el fin de identificar, analizar y valorar imperfecciones o discontinuidades en materiales de ingeniería, sin causar daño alguno ni alterar su estructura ni su funcionalidad futura

En los ensayos no destructivos, END (NDT por sus siglas en inglés), el material no se destruye mientras se realiza el ensayo, por tanto, dicho material puede ser usado nuevamente. (Castillo, 2015) En la figura 35 se observa la clasificación de los END de acuerdo con su aplicación

Figura 35

Clasificación de los Ensayos Destructivos END



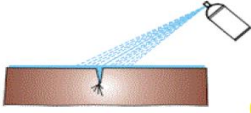
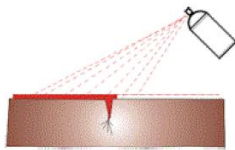
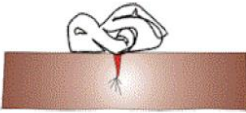
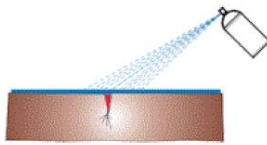
Según la clasificación mencionada, los ensayos más empleados en la industria, principalmente por su bajo costo, son aquellos que permiten obtener resultados confiables sin requerir equipos complejos o procedimientos costosos:

Líquidos Penetrantes

La utilización de líquidos penetrantes permite detectar discontinuidades en la superficie tales como grietas y fisuras. La tabla 4 muestra el procedimiento de aplicación de líquidos penetrantes (Castillo, 2015)

Tabla 4

Aplicación de líquidos penetrantes

ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES		
ETAPAS DEL ENSAYO	APLICACIÓN	FIGURA
Preparación de la superficie para el ensayo	Remover pinturas, suciedad y óxidos Aplicar el limpiador / removedor (CLEANER) sobre la superficie. Luego remueva con un paño limpio. Verificación de que la superficie esté completamente seca	
Aplicación del líquido penetrante (PENETRANT)	Aplicar una película uniforme de penetrante (PENETRANT) Mantener el aerosol a una distancia de 30 cm de la superficie Dejar transcurrir un tiempo de penetración de 5 a 10 minutos	
Remoción del exceso de penetrante	Penetrantes no lavables con agua (PRS): Remover el exceso de la superficie utilizando un paño limpio y seco, levemente humedecido con limpiados Penetrante lavables con agua (PRA): Remover el exceso de penetrante de la superficie en ensayo rociando con agua aplicada a muy baja presión	
Aplicación del revelador (DEVELOPER)	Agitar bien el aerosol del revelador para homogenizar la suspensión de este Aplicar enseguida una película fina y uniforme del revelador sobre la superficie, manteniendo el aerosol a una distancia de aproximadamente 30 cm Esperar de 3 a 10 minutos antes de iniciar del área respectiva	

Inspección visual

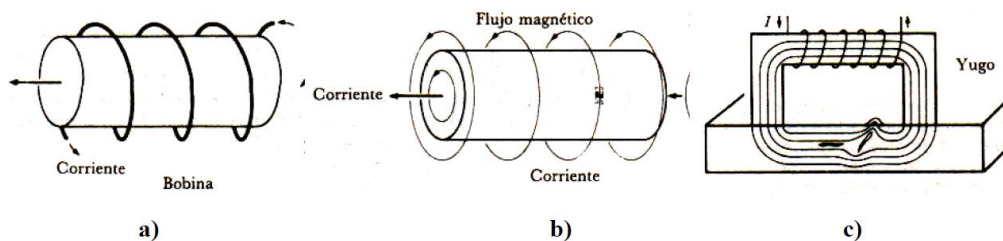
Es el más sencillo de todos los ensayos, permite la detección de defectos superficiales principalmente grietas se utiliza herramientas como endoscopios, lupas, espejos. Con el avance de la tecnología se puede utilizar unidades de video portátil con zoom que permiten la inspección de depósitos, cisternas, alcantarillas; además se utiliza cámaras robotizadas que permiten la observación en lugares estrechos o peligrosos como conductos de aire acondicionado, reactores, tuberías.

Partículas magnéticas

El ensayo de partículas magnéticas se utiliza para materiales ferromagnéticos, detecta defectos cercanos en la superficie. El ensayo se fundamenta en la producción de un campo magnético en el elemento a ensayar. En la figura 36 se observa los diferentes tipos de creación de campo magnético, a) Colocar el elemento de una bobina por la que se hace circular una corriente alterna, b) Circular una corriente a través del elemento a ensayar, c) Tocar el elemento con una sonda en forma de herradura (Castillo, 2015)

Figura 36

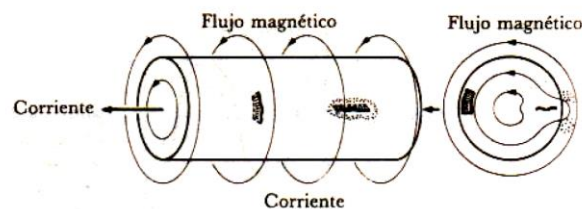
Creación de un campo magnético



Si el elemento sometido al ensayo presenta una imperfección, se genera un pequeño campo magnético polarizado, que permite atraer partículas magnéticas en forma de polvo que pueden añadirse en seco o en suspensión en un fluido como el agua o aceite ligero para facilitar su movimiento. La figura 37 muestra la detección del defecto.

Figura 37

Detección del defecto



Radiografía Industrial

El ensayo de radiografía industrial tiene una amplia gama de aplicaciones en áreas como soldadura, industria metal mecánica. Para uniones soldadas este ensayo permite observar defectos como porosidades, fusión incompleta, rechupes y grietas

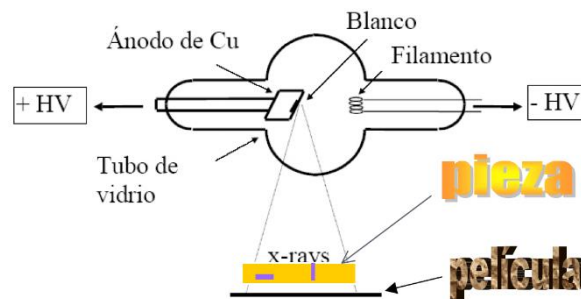
La radiografía industrial, como ensayo no destructivo permite asegurar la confiabilidad e integridad de los elementos además otorga información para desarrollar mejores técnicas en los procesos de producción. Actualmente, en el ámbito industrial actualmente las técnicas más utilizadas para radiografía industrial son:

- Radiografía con rayos X
- Radiografía con rayos gamma

La figura 38 permite observar los elementos principales del proceso de rayos X (Castillo, 2015)

Figura 38

Elementos de los rayos X



Análisis químico de materiales

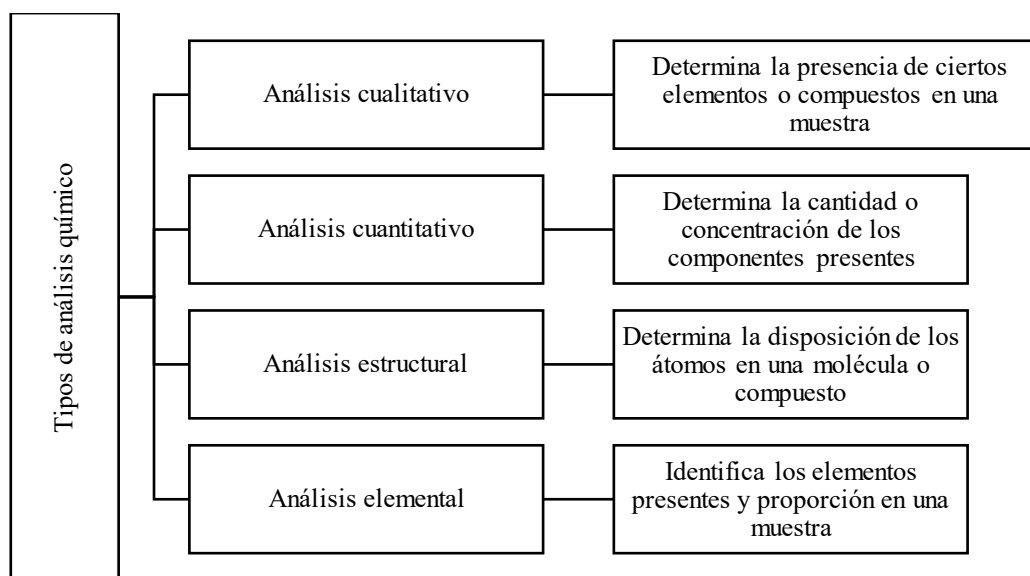
El estudio de la composición de los materiales mediante métodos químicos comprende un grupo de procedimientos destinados a conocer su estructura, componentes y características. Esta práctica resulta fundamental en múltiples sectores industriales, ya que permite garantizar la calidad de los productos, detectar posibles impurezas y contribuir al diseño y creación de nuevos materiales. (Callister W. D., 2023)

El análisis químico de los materiales permite identificar la composición química de un material, incluyendo la presencia de elementos específicos y la proporción en que se encuentran.

Permite evaluar propiedades como la resistencia, durabilidad, punto de fusión, entre otras, que son esenciales para el uso del material. Además, asegura que el material cumpla con las especificaciones requeridas, tanto en la fabricación como en el uso final. La figura 39 permite observar los tipos de análisis químico. (Callister W. D., 2023)

Figura 39

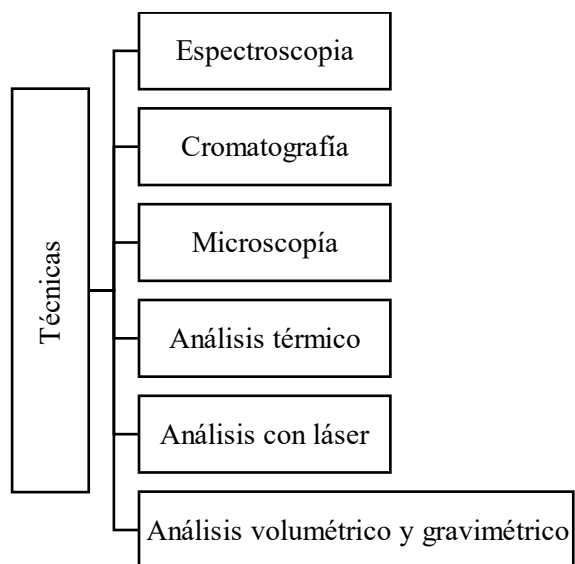
Tipos de análisis químico



La aplicación de ensayos químicos a los materiales tiene diferentes técnicas, que permiten identificar y cuantificar propiedades de los materiales. La figura 40 identifica las principales técnicas usadas en el análisis químico. (Callister W. D., 2023)

Figura 40

Técnicas de análisis químico



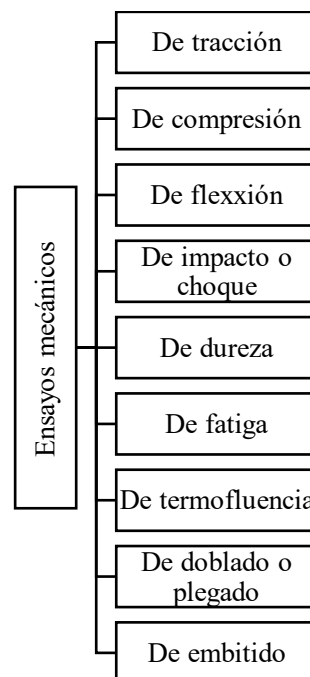
Ensayos mecánicos y pruebas de dureza.

La necesidad de comprender las propiedades mecánicas de los materiales ha impulsado el desarrollo de ensayos mecánicos, los cuales son herramientas clave en la tecnología y el procesamiento de materiales. Estos ensayos permiten determinar características como la resistencia, la ductilidad, la dureza y la tenacidad. Además de predecir el comportamiento de los materiales en condiciones reales, contribuyen a asegurar la seguridad y el rendimiento en el diseño de estructuras, equipos y componentes industriales. Mediante procedimientos estandarizados, los ensayos mecánicos proporcionan información precisa que facilita la elección adecuada de materiales y fomenta el progreso tecnológico en diversas industrias, desde la construcción hasta la aeronáutica. (Ruiz, 2016)

La figura 41 permite identificar los ensayos mecánicos que se realizan a los materiales.

Figura 41

Ensayos mecánicos



En función de las propiedades mecánicas que se desean analizar mediante la aplicación de los ensayos mecánicos los principales son: tracción, dureza, impacto.

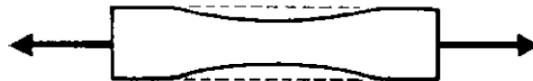
Ensayo de tracción

Es el ensayo más utilizado, consiste en aplicar a una probeta de eje recto, en forma lentamente creciente, dos fuerzas en la dirección del eje que tienden a producir el alargamiento del elemento.

Esta deformación se la observa en la figura 42

Figura 42

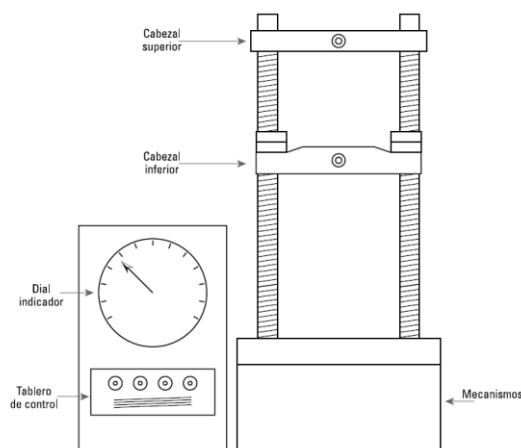
Esquema de ensayo de tracción



El ensayo de tracción se realiza en las máquinas universales (figura 43), que permiten efectuar varios tipos de ensayos. (Ruiz, 2016)

Figura 43

Esquema de una máquina universal de ensayos



Ensayo de dureza

Dureza

La dureza es la oposición que presenta un material a ser rayado o penetrado por otro cuerpo sólido, también es una medida de las propiedades de abrasión de un material. Generalmente, los materiales más duros presentan mejores propiedades a la abrasión que otros.

Tipos de dureza

Los tipos de dureza se diferencian en función del tipo de indentador que utilizan para el ensayo.

Dureza Rockwell. - El método Rockwell utiliza 5 penetradores diferentes (cono de diamante y bola de carburo de tungsteno de 1/16", 1/8", 1/4", 1/2") y 6 cargas principales diferentes (15, 30, 45, 60, 100, 150 kgf).

Rockwell A y C.- Es la medida obtenida al restar el número total de divisiones de la escala externa del indicador de profundidad con la cantidad de unidades que representa el incremento de penetración.

Rockwell B.- Es el valor resultante de restar al total de divisiones del indicador de profundidad en la escala interna, más un ajuste de 30 unidades (añadido para evitar valores negativos), la cantidad de unidades que representa el incremento de penetración. (Certainty, 2018)

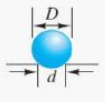
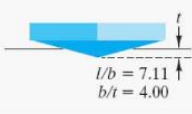
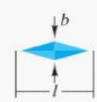
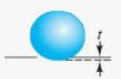
Dureza Brinell. - Consiste en comprimir una bolilla de acero muy duro sobre la superficie del material a ensayar durante un tiempo produciendo una marca llamada impronta (Rastro o influencia) que es de la esfera que penetra. El penetrador es de esfera de acero templado, de gran dureza, de diamante. (Certainty, 2018).

Dureza Vickers. - La dureza Vickers (HV) se calcula midiendo las longitudes diagonales de una penetración realizada al introducir un indentador piramidal de diamante con una carga dada en el material de muestra. Las cargas utilizadas varían desde 10 gf hasta 100 kgf. El ensayo Vickers permite evaluar todo tipo de materiales sólidos, y es adecuado para un amplio rango de aplicaciones. (Ruiz, 2016)

La siguiente figura 44, permite diferenciar los tipos de dureza que se utilizan en los ensayos mecánicos. (Hayden. H, 2010).

Figura 44

Tipos de escalas de dureza

Common Types of Hardness-Test Geometries					
Test	Indenter	Shape of indentation		Load	Formula for hardness number
		Side view	Top view		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$BHN = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers	Diamond pyramid			P	$VHN = 1.854 P / d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$KHN = 14.2 P / l^2$
Rockwell					
A } C } D } B } F } G } E } H }	Diamond cone			60 kg 150 kg 100 kg	$R_A = \left. \begin{matrix} R_C \\ R_D \end{matrix} \right\} 100 - 500t$
				100 kg 60 kg 150 kg	$R_B = \left. \begin{matrix} R_F \\ R_G \end{matrix} \right\} 130 - 500$
				100 kg 60 kg	$R_E = \left. \begin{matrix} R_H \end{matrix} \right\}$
	$\frac{1}{16}$ in.-diameter steel sphere				
	$\frac{1}{8}$ in.-diameter steel sphere				

Ensayo de impacto

Los ensayos de impacto evalúan la capacidad de un material para resistir cargas aplicadas de manera repentina. Los resultados obtenidos en estas pruebas se emplean únicamente con fines comparativos entre materiales que han sido sometidos a ensayos en condiciones equivalentes. Durante el ensayo de impacto, una masa cae de cierta altura e impacta sobre la probeta; como resultado, se obtiene la energía absorbida por la probeta, cuando se produce la rotura de ésta de un solo golpe.

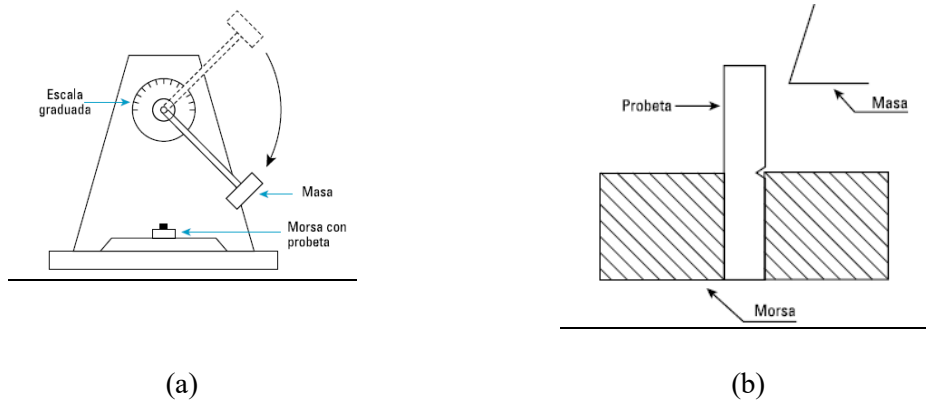
Existen dos formas para realizar los ensayos de impacto y son el método Charpy y el método Izod.

En los dos casos, la rotura se produce por flexión de la probeta. (Ruiz, 2016)

La figura 45 permite observar los esquemas de los métodos de ensayo de impacto (a) esquema ensayo Charpy, (b) esquema ensayo Izod

Figura 45

Esquema de métodos de ensayo de impacto



Análisis microestructural y técnicas de observación de materiales

El análisis microestructural por medio de la microscopía óptica posibilita la observación de la composición y la estructura interna de los materiales a escala microscópica. Esta técnica se basa en el uso de luz visible y sistemas de lentes para visualizar la distribución de granos, fases y posibles defectos en la muestra, como grietas o inclusiones. Constituye una herramienta esencial en disciplinas como la ciencia de materiales, la metalurgia, la industria de semiconductores, entre otras, ya que permite comprender el comportamiento de los materiales y mejorar los procesos de fabricación.

Microscopía Óptica y electrónica

Permiten estudiar procesos bioquímicos y biofísicos hasta a nivel (sub-)micrométrico, es decir a nivel de tejidos, celular, subcelular, o incluso molecular. Una de las grandes ventajas de la microscopía es que se pueden emplear fenómenos físicos, para el análisis de biomacromoléculas in vitro, pero ahora incorporando también información espacial, en particular, en relación a las estructuras biológicas relevantes de cada sistema en estudio, como la estructura de un tejido, la célula, el núcleo, organelas, etc.. (Lisandro Lockhart, 2015)

Difracción de rayos X

La difracción de rayos X (XRD) es la única técnica de laboratorio que permite obtener información de manera precisa y no destructiva, como la composición química, la estructura cristalina, el tamaño de los cristales, la deformación de redes, la orientación preferida y el espesor de las capas.

Muchos materiales se componen de pequeños cristallitos. La composición química y el tipo estructural de estos cristales se denominan como su “fase”. Los materiales pueden ser mezclas monofásicas o multifásicas y pueden contener componentes cristalinos y no cristalinos. En un difractómetro de rayos X, las diferentes fases cristalinas muestran diferentes patrones de difracción. La identificación de fases se puede realizar mediante la comparación de los patrones de difracción de rayos X obtenidos de muestras desconocidas con los patrones de las bases de datos de referencia. (Askeland, 2010)

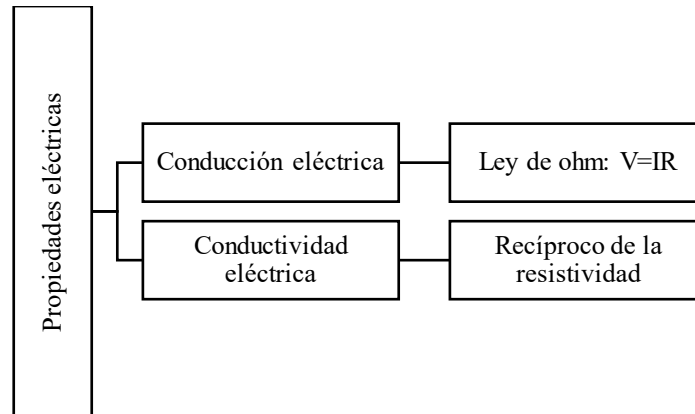
Selección de materiales para componentes electromecánicos

Propiedades eléctricas de los materiales

El objetivo principal es investigar las propiedades eléctricas de los materiales, es decir, cómo responden cuando se les aplica un campo eléctrico. Se comienza analizando el fenómeno de la conducción eléctrica, incluyendo los parámetros que la describen, los mecanismos de conducción por electrones y la manera en que la estructura de bandas de energía de un material influye en su capacidad para conducir electricidad. Estos conceptos se aplican a metales, semiconductores y aislantes, con un enfoque especial en las características de los semiconductores y sus dispositivos. (Callister W. D., 2023)

Figura 46

Representación de las propiedades eléctricas



Propiedades magnéticas

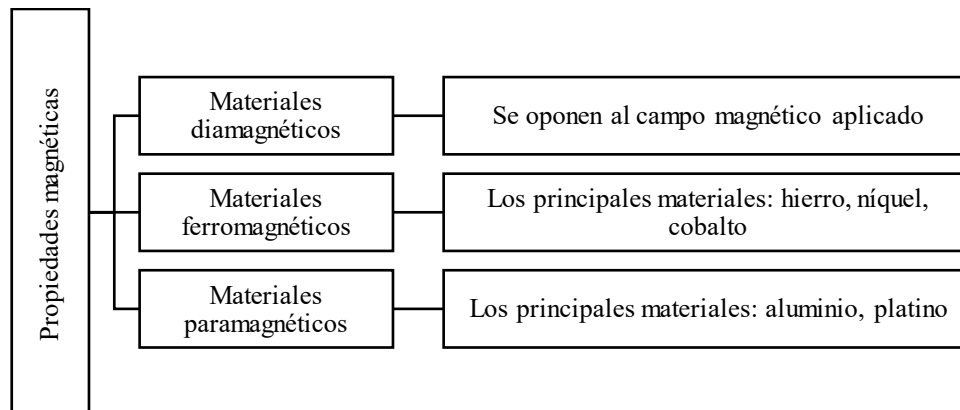
El magnetismo, entendido como el fenómeno por el cual ciertos materiales ejercen fuerzas de atracción o repulsión sobre otros, es conocido desde hace milenios. No obstante, los principios fundamentales y los mecanismos que explican este fenómeno son complejos y delicados, y su comprensión por parte de la ciencia es relativamente reciente.

Numerosos dispositivos tecnológicos actuales dependen del magnetismo y de materiales magnéticos, entre ellos generadores eléctricos, transformadores, motores eléctricos, radios, televisores, computadoras y componentes de sistemas de reproducción de audio y video.

La figura 47 muestra las propiedades magnéticas (Callister W. D., 2023)

Figura 47

Representación de las propiedades magnéticas



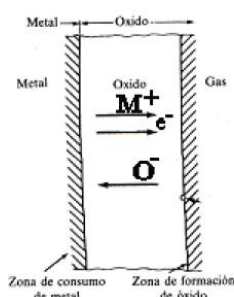
Resistencia a la corrosión y desgaste en componentes

Oxidación. - Se trata de un efecto no deseado que ocurre en metales expuestos a altas temperaturas. Aunque la oxidación generalmente se refiere a una reacción que produce electrones, en este contexto se emplea para describir la reacción entre un metal y el oxígeno en ausencia de humedad, también conocida como escamado, deslustrado o corrosión en seco. En la actualidad, numerosos procesos industriales utilizan máquinas y equipos que operan a temperaturas elevadas, como turbinas de gas, hornos, motores aeronáuticos y procesos petroquímicos a altas temperaturas.

La figura 48 muestra cómo se puede considerar a la oxidación de manera análoga a la corrosión electroquímica; nótese que los iones metálicos se forman en la interfase óxido-metal y el oxígeno se reduce a iones en la interfase óxido-gas.

Figura 48

Oxidación



Conocer los diferentes tipos de corrosión y degradación, así como entender sus mecanismos y causas, facilita la implementación de estrategias para prevenir su ocurrencia. Por ejemplo, es posible modificar las condiciones del entorno, elegir materiales que sean menos reactivos o proteger los materiales para evitar daños significativos.

Corrosión de metales

La corrosión se define como el deterioro destructivo e involuntario que sufre un metal, siendo un proceso electroquímico que generalmente comienza en su superficie. Este fenómeno representa un problema significativo: se estima que alrededor del 5% del producto interior bruto de un país

industrializado se destina a medidas preventivas contra la corrosión, así como al mantenimiento o reemplazo de productos afectados por ella. Un ejemplo común de las consecuencias de la corrosión son las capas de herrumbre que aparecen en carrocerías, radiadores y tubos de escape de los automóviles. (Callister W. D., 2023)

La siguiente figura 49 indica la corrosión en elementos electromecánicos.

Figura 49

Corrosión en elementos electromecánicos



A continuación, la carpeta 5 que se presenta en el enlace, contiene la norma ASTM E23, que norma los ensayos de impacto, métodos de protección contra la corrosión, archivos que mencionan tratamientos térmicos, tratamientos superficiales, tratamientos termoquímicos, práctica de electrodeposición, temple revenido.

<https://drive.google.com/drive/folders/15VlojX7ZqLOGvVt2QvhvBFwya3oiKzyR?usp=sharing>

[g](#)

Bibliografía

- (2010). *Materiales Ferrosos y sus Aplicaciones*. WordPress.com. Obtenido de CONTROLES DE CALIDAD EN PIEZAS FUNDIDAS: <https://ferrosos.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/10/controles-de-recepcion-de-piezas-fundidas.pdf>
- Abarca, J. G. (2021). Plastic waste management in Ecuador. Obtenido de <https://doi.org/10.1177/0734242X211009872>
- Afranllie, S. (s.f.). Cambios de estado y mezclas. *Química General*. San Lorenzo: Colegio Sagrado Corazon. Obtenido de Cambios de estado progresivos: Se producen cuando se aplica energía en forma de calor, aumentando la temperatura de la materia.
- Ahmed, S. &. (2021). Polymer structure and properties: Fundamentals and applications. In S. Thomas, K. Joseph.
- Aleaciones Hierro Carbono: Propiedades y Aplicaciones*. (2019). Quito, Ecuador: EPN. Obtenido de 978-9978-383-52-0
- Andrade Bedoya, J. P. (Octubre de 2020). REDISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DE COLADO CENTRÍFUGO HORIZONTAL. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politecnica Nacional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21216/1/CD%2010737.pdf>
- Andrade, X., Quinde, L., & Pisco, I. (2018). *Estudios sectoriales: Plásticos*. Obtenido de Cámara de Industrias de Guayaquil: https://issuu.com/industrias/docs/cig-estudio_sectorial_pl_sticos
- Askeland, D. (2010). Ciencia e ingeniería de los materiales.
- Avner. (2000). Introducción a la Metalurgia Física.
- Bagiran, H. (2023). Risk Assessment Application in Milling Machines. *Ergonomi*, 6(1), 1-18. doi:10.33439/ergonomi.1175570
- Bartsch, W. (2021). *Herramientas, Máquinas, Trabajo*. Barcelona: Reverté, S.A.
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (s.f.). Bases del Procesado de Polímeros. *Tecnología de Polímeros*. Obtenido de <https://rua.ua.es/server/api/core/bitstreams/dc68ebe3-8dd8-416b-87fc-a6b0403f0843/content>
- Blogspot*. (10 de Agosto de 2013). Obtenido de Tecnología de los plásticos: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2013/08/polimeros.html>
- Brown, T. L. (2022). Química: la ciencia central. 14. Pearson Educación.
- Callister, W. D. (2021). Materials science and engineering: An introduction. 10. John Wiley & Sons.
- Callister, W. D. (2023). Materials Science and Engineering. Wiley.
- Cantor, B. G. (2021). Introduction to engineering materials. Springer Nature.
- Carraher, C. E. (2021). Introduction to polymer chemistry. 4. CRC Press. Obtenido de <https://doi.org/10.1201/9780429290688>
- Castillo, F. D. (2015). Tecnología de materiales II.

- Castro Lisintuña , C. D. (Septiembre de 2012). Construcción de un molde metálico (coquilla) con
noyo para la fundición de aleaciones de aluminio. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela
Politécnica Nacional. Obtenido de
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4966/1/CD-4505.pdf>
- CDE. (2025). *Arenas para fundición*. Obtenido de CDE:
<https://www.cdegroupp.com/es/aplicaciones/arenas-agregados/arenas-para-fundicion>
- Certainty, S. E. (2018). Ensayo de dureza Rockwell.
- Chang, R. &. (2021). Química. 13. McGraw-Hill Education.
- Chung, D. D. (2022). Introduction to materials science and engineering. CRC Press.
- Cisneros Reyes, K. (Agosto de 2022). EFECTO DE LA FRACCIÓN DE MONÓMERO SOBRE
LA MORFOLOGÍA, TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DE
MICROESFERAS DE POLIESTIRENO OBTENIDAS POR POLIMERIZACIÓN EN
SUSPENSIÓN. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23118/1/CD%2012542.pdf>
- Colegio Santa María de la Florida. (s.f.). *Características de los gases*. Obtenido de
<https://www.colegiostmf.cl/wp-content/uploads/2020/04/CIENCIAS-NATURALES-7%C2%B0-GU%C3%8DA-4-SCARLETT-VALENZUELA.pdf>
- Despolimerización, rompiendo los plásticos en sus bloques de construcción*. (2023). Obtenido de
Hive Blog: <https://hive.blog/hive-196387/@emiliomoron/despolimerizacion-rompiendo-los-plasticos-en-sus-bloques-de-construccion>
- Donal, A. (2010). Ciencia e ingeniería de los materiales.
- Dragol, M., Rosca, D., Folea, M., & Oancea, G. (2021). A Fully Symmetrical High Performance
Modular Milling Cutter. *Symmetry*, 13(3), 1-14. doi:10.3390/sym13030496
- Estados de la materia. (s.f.). *La materia y sus propiedades*(5). Obtenido de Libropedia:
https://www.elbibliote.com/libropedia/manual_csnaturales/7grado/capitulo2/pdf/7.2.5.pdf
- Facultad de Ingeniería Industrial. (2008). Plásticos - Procesos de manufactura. Escuela
Colombiana de Ingeniería.
- Feng, P. Z. (2021). Crystal structure and lattice dynamics in inorganic materials: A modern
approach. *Journal of Materials Chemistry C*, 9(15). doi: 5201–5215
- Fuentes , N., Jiménez, K., Otero Añez, R., & Uzuriaga, W. (Junio de 2021).
APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE RESIDUOS POLIMÉRICOS COMO
AGREGADOS DEL CONCRETO: UNA REVISIÓN. 46(6), 8. INTERCIENCIA.
- Gerling, H. (2006). *Alrededor de las Máquinas Herramientas*. Barcelona: Reverté, S.A.
- Greenpeace. (2022). Obtenido de Datos sobre la producción de plásticos:
<https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>
- Groover, M. P. (2020). Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and
systems. 7. Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems .

- Hall, H. (2012). *Metal Lathe for Home Machinists*. Petersburg: Fox Chapel Publishing.
- Hayden, H. M. W. (2010). *The Structure and Properties of Materials*. New Yor.
- Hermida, É. (2011). Polimeros. *Guia didactica*, 70. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Educación. Obtenido de https://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf
- Hernandez, J., Ramirez, M., & Ferri, C. (2004). *Introducción a la Minería de Datos*. Pearson Prentice Hall.
- Industrial Sourcing. (s.f.). *Moldeo en arena*. Obtenido de Gestión de compras: <https://www.gestiondecompras.com/es/productos/fundicion/moldeo-en-arena/>
- INSTITUCION EDUCATIVA BETHLEMITAS BRIGHTON . (s.f.). *PROPIEDADES DE LA MATERIA – Propiedades de los Sólidos y Fluidos* . Obtenido de www.webcolegios.com: <https://www.webcolegios.com/file/316c90.pdf>
- Kalpakkian, S. &. (2022). *Manufacturing engineering and technology*. 8. Pearson Education.
- Kalpakkian, S., & Schmid, S. (2002). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación.
- Khujamkulov, S., & Khusanjonov, A. (2022). An International Multidisciplinary Research Journal. *Transmission System of Parallel Lathe Machine Tools*, 12(2), 142-145. doi:10.5958/2249-7137.2022.00174.4
- Kurzydłowski, K. J. (2023). *The basics of crystallography and diffraction*. 5. International Union of Crystallography / Oxford University Press.
- La fundición en moldes de arena*. (s.f.). Obtenido de Biblus.us.es: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/60372/fichero/PFC+Jose+2+La+fundici%C3%B3n+en+arena.pdf>
- Lent, D. (2021). *Análisis y Proyecto de mecanismos*. Reverté, S.A. doi:Barcelona
- Lisandro Lockhart, F. F. (2015). *Microscopía Óptica*.
- Longas, A. (s.f.). *Scribd*. Obtenido de Qué Es El Peso Específico: <https://es.scribd.com/document/428166607/Que-es-el-peso-especifico-docx>
- López Serrano, F. (2015). Obtenido de *Introducción a la ciencia de los polímeros*: http://oacampusvirtual.uadec.mx/Bachillerato_980/Quimica_Organica_980/Bloque_4/Pdf/pdfs/Polimeros.pdf
- Luque-Romera, F. (2022). *Máquinas, Herramientas y Materiales de Procesos Básicos de Fabricación* (2da ed.). Málaga: IC.
- Males Alcoser, L. J., & Morales Lema, D. D. (Octubre de 2007). *Manual de diagnostico de fallas de funcionamiento en maquinaria pesada de construcción civil*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politecnica Nacional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/557/1/CD-1066.pdf>
- Martínez-Casado, R. G.-G.-V. (2022). *Understanding unit cells and crystallographic symmetry in solid-state chemistry*. CrystEngComm, 24(8),. doi:1445–1458
- Meira , G., & Gugliotta, L. (2019). *Polímeros*. Santa Fe: EdicionesUNL.

- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2009). *Producción de Polímeros*. España: TARAVILLA.
- Mishra, A. &. (2022). Structure-property relationships in polyolefins:. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/15583724.2021.1956521>
- Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Edo. México: Pearson Educación.
- Nayfeh, A., & Nayfeh, N. (2010). Analysis of the cutting tool on a lathe. *Nonlinear Dynamics*, 63, 395-416. doi:10.1007/s11071-010-9811-6
- OpenStax. (2022). Química. 2. OpenStax. Obtenido de <https://openstax.org/details/books/chemistry-2e>
- Patel, H., & Chauhan, I. (2020). A study on Types of Lathe Machine and Operations: Review. *International Journal of Advance Research and Innovation*, 8(4), 286-291.
- Rodriguez Alba, E., Bernal Dubón, A., Gaitán López, H., Kim Godoy, C., Salguero Mérida, J., Toeldo Hernandez, E., . . . Martinez Richa, A. (s.f.). XXVI Verano de la Ciencia. *La Ciencia de los Polímeros Biodegradables*, 10. Guanajuato, Mexico. doi:ISSN 2395-9797
- Roldán-Viloria, J. (2019). *Máquinas y Herramientas: Procesos y Cálculos Mecánicos*. Madrid: Paraninfo, S.A.
- Roldán-Viloria, J. (2021). *Máquinas, Herramientas y Materiales de Procesos Básicos de Fabricación*. Madrid: Paraninfo, S.A.
- Ruiz, D. H. (2016). Fundamentos y ensayos en materiales metálicos. En D. H. Ruiz, *Fundamentos y ensayos en materiales metálicos* (págs. 30-60). Buenos Aires: MDC. MACHINE S.A.
- Sáenz Valdez, A. A. (Enero de 2021). RECUPERACIÓN DE ARENA DE SÍLICE RECUBIERTA CON SILICATO DE SODIO PARA PRODUCIR CORAZONES DE ARENA MEDIANTE EL PROCESO DE CAJA FRÍA. Mexico: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN.
- Sevilla, U. d. (Ed.). (s.f.). La fundición en moldes de arena. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/60372/fichero/PFC+Jose+2+La+fundición+en+arena.pdf>
- Seymour, R., & Carraher, C. E. (2021). *Introducción a la Química de los Polímeros* (Tercera ed.). Barcelona: E-Book. doi:978-84-291-9203-2
- Shakefford. (2015). Ciencia de materiales para ingenieros.
- Shofner, M. L. (2021). *Polymeric materials: Properties, applications, and future trends*. CRC Press.
- Shrivastava, A. (2018). *Introduction to Plastics Engineering*. Elsevier Gezondheidsz org.
- Silberberg, M. S. (2021). *Principios de química: la base molecular de la materia y el cambio*. 8. McGraw-Hill Education.
- Silva, F., Fernandes, F., & Crespim, V. (2023). *Machining*. Basel: MDPI.
- Sistema Español de Inventario de Emisiones . (s.f.). *Fundiciones de Hierro*. Obtenido de Metodologías de estimación de emisiones: <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion->

ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/030303-fundiciones-hierro_tcm30-509726.pdf

- Smith, W. (2015). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales.
- Son, N., Jieu, T., Thang, N., Tan, H., Can, N., Thao, P., & Bao, N. (2023). Choosing the Best Machine Tool in Mechanical Manufacturing. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2, 97-109. doi:10.21303/2461-4262.2023.002771
- Soos, L., & Marek, J. (2020). *Machine Tools: Design, Research, Application*. London: IntechOpen.
- Srivastava, D. K. (2023). Fundamentals of crystallography: From unit cell to 3D lattice structures. *Materials Today*. 112–119. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.450>
- StudySmarter. (2024). Procesamiento de polímeros: Técnicas & Ejemplos. Obtenido de <https://www.studysmarter.es>
- Tro, N. J. (2023). Principios de química: estructura y propiedades. 2. Pearson Educación.
- UNAM. (s.f.). <https://unita.unam.mx>. Obtenido de https://unita.unam.mx/fi_papime_pe1000720/pdfs/estructura.pdf
- Universidad de Cantabria. (s.f.). <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1874/course/section/1515/Tema3.pdf>. Obtenido de <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1874/course/section/1515/Tema3.pdf>
- Universidad Tecnológica Nacional | Facultad Regional Rosario. (s.f.). www.frrro.utn.edu.ar, V2. Recuperado el 31 de julio de 2025, de xv- tratamientos de fundiciones de hierro: https://www.frrro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/mecanica/5_anio/metalografia/15-TT_Fundiciones_v2.pdf
- Virasak, L. (2019). *Manufacturing Processes* (1st ed.). Oregon: Open Oregon Educational Resources.
- Weerg. (2025). Polímeros: definición, tipos, propiedades y procesamiento.
- William, S. (2010). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales.
- Zhang, Y. L. (2022). Chain architecture effects on the thermal and mechanical behavior of polypropylene: Linear vs. branched topologies. *Polymer Engineering & Science*,. Obtenido de Chain architecture effects on the thermal and mechanical behavior of polypropylene: Linear vs. branched topologies. *Polymer Engineering & Science*,

SUCRE



ISBN: 978-9942-686-90-9



SUCREInstitutooficial



@SUCREInstituto



@SUCREInstituto