



Física para educación en tecnología

Una introducción

Indry Milena Saavedra Gaona
Daniel Mauricio Guerrero Ospina
Claudia Liliana Sánchez Sáenz
Fredy Yesid Mesa
Carlos Arturo Parra Vargas







Física para educación en tecnología

Una introducción

Indry Milena Saavedra Gaona
Daniel Mauricio Guerrero Ospina
Claudia Liliana Sánchez Sáenz
Fredy Yesid Mesa
Carlos Arturo Parra Vargas



Uptc[®]

Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia

VIGILADA MINEDUCACIÓN



Física para educación en tecnología

Una introducción

Indry Milena Saavedra Gaona
Daniel Mauricio Guerrero Ospina
Claudia Liliana Sánchez Sáenz
Fredy Yesid Mesa
Carlos Arturo Parra Vargas



Enfoque: Investigación

Área OCDE: Ciencias de la Educación

Disciplina: Educación General

Colección N.º 12

Biblioteca Facultad de Ciencias de la Educación, Perspectivas

Física para educación en tecnología. Una introducción

Physics for technology education. An introduction

Primera Edición, 2026

200 ejemplares (impresos)

© Indry Milena Saavedra Gaona, 2026

© Daniel Mauricio Guerrero Ospina, 2026

© Claudia Liliana Sánchez Sáenz, 2026

© Fredy Yesid Mesa Jiménez, 2026

© Carlos Arturo Parra Vargas, 2026

© Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2026

ISBN (impreso) 978-628-7863-44-6

ISBN (ePub) 978-628-7863-45-3

Proceso de arbitraje doble ciego

Recepción: Abril de 2025

Aprobación: Diciembre de 2025

Hecho en Colombia - Made in Colombia

Física para educación en tecnología. Una introducción / Physics for technology education. An introduction/ Saavedra Gaona, Indry Milena; Guerrero Ospina, Daniel Mauricio; Sánchez Sáenz, Claudia Liliana; Mesa Jiménez, Fredy Yesid; Parra Vargas, Carlos Arturo. Tunja: Editorial UPTC, 2026. 224 p.

ISBN (impreso) 978-628-7863-44-6

ISBN (ePub) 978-628-7863-45-3

Incluye referencias bibliográficas

1. Física, educación. 2. Tecnología. 3. Aprendizaje. 4. Enseñanza de la física. 5. Ciencia. (Dewey 370) (THEMA JN – Educación)

Rector UPTC

Enrique Vera López

Comité Editorial

Carlos Mauricio Moreno Téllez

Vicerrector de Investigación y Extensión

Yolanda Torres Pérez

Directora de Investigaciones

Óscar Pulido Cortés

Delegado Vicerrectoría Académica

Martín Orlando Pulido Medellín

Representante Área Ciencias Agrícolas

Yolima Bolívar Suárez

Representante Área Ciencias Médicas y de la Salud

Nelsy Rocío González Gutiérrez

Representante Área Ciencias Naturales

Olga Yanet Acuña Rodríguez

Representante Área Ciencias Sociales

Juan Guillermo Díaz Bernal

Representante Área Humanidades

Pilar Jovanna Holguín Tovar

Representante Área Artes

Edgar Nelson López López

Representante Área Ingeniería y Tecnología

Juan Sebastián González Sanabria

Representante Grupos de Investigación**Editora**

Bertha Ramos Holguín

Corrección de Estilo

Nelson Alberto Arango

Asesor de arte e imagen

Pedro Alexander Sosa Gutierrez

Diseño

Búhos Editores Ltda.

Imagen de carátula

Generada por Illustrator

Diagramación

Carolina Solórzano Pulido

Impresión

Búhos Editores Ltda.

buhosed@gmail.com

Libro de investigación resultado del proyecto “Diseño de material educativo para la implementación de la física en el área de educación en tecnología” con SGI 3483.

Citar este libro / Cite this book

Saavedra, I. M.; Guerrero, D. M.; Sánchez, C. L.; y Mesa, F. Y. (2026). *Física para educación en tecnología. Una introducción*. Editorial UPTC.

<https://doi.org/10.19053/uptc.9786287863446>



Uptc
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia
TRILLOCA MINEROPCIÓN



Libro financiado por la Facultad de Ciencias de la Educación - Vicerrectoría de Investigación y Extensión y la Dirección de Investigaciones de la UPTC. Se permite la reproducción parcial o total con la autorización expresa de los titulares del derecho de autor. Este libro es registrado en Depósito Legal, según lo establecido en la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 del 16 de marzo de 1995, el Decreto 2150 de 1995 y el Decreto 358 de 2000.

Editorial UPTC

La Colina, Bloque 7, Casa 5

Avenida Central del Norte No. 39-115, Tunja, Boyacá

comite.editorial@uptc.edu.co

<https://editorial.uptc.edu.co>



Biblioteca de la Facultad de Ciencias de la Educación

Perspectivas

Libro N°. 12

Editor: Dr. Rafael Enrique Buitrago Bonilla

Dr. Óscar Pulido Cortés (Decano de la Facultad)

Dra. Claudia Liliana Sánchez Sáenz (Directora del CIEFED)

Dr. Pedro María Argüello García (Representante Investigadores)

Dra. Ruth Nayibe Cárdenas Soler (Representante Editores de Revistas)

Asistente Editorial: Karen Andrea Cárdenas Obregón

Resumen

El propósito de este libro es presentar una variedad de temas relacionados con la física que sean útiles no solo para estudiantes y docentes de la licenciatura en informática y tecnología, sino también para profesores de diversas áreas del conocimiento. Cada tema ha sido diseñado para abordarse de manera independiente, permitiendo su uso como recurso didáctico. El objetivo es proporcionar una herramienta accesible y flexible que facilite la integración de conceptos físicos en licenciaturas como ciencias naturales y educación ambiental, matemáticas, música y educación en general. La estructura del texto consta de seis capítulos. El capítulo 1, *“Método científico y fases de un proceso tecnológico”*, introduce el método científico y su relación con los procesos tecnológicos, destacando la importancia de la observación, el análisis y la mejora continua. El capítulo 2, *“Física de los materiales aplicada a la tecnología”*, aborda las propiedades fundamentales de los materiales utilizados en tecnología, explorando su relevancia en distintos ámbitos. En el capítulo 3, *“Física de nuevos materiales”*, se presentan materiales emergentes y sus aplicaciones en innovaciones tecnológicas. El capítulo 4, *“Física detrás de las estructuras”*, analiza los principios físicos cualitativos y cuantitativos que rigen la dinámica estructural, incluyendo los esfuerzos a los que pueden estar sometidas distintas construcciones. En el capítulo 5, *“Física de los mecanismos”*, se explica cómo se transfiere y transforma el movimiento mediante dispositivos tecnológicos, detallando los principios físicos involucrados. Finalmente, el capítulo 6, *“Prácticas de laboratorio”*, está diseñado para que los estudiantes apliquen de manera práctica los conocimientos adquiridos en los capítulos anteriores, consolidando sus habilidades a través de la experimentación. La obra ofrece un enfoque integral y estructurado para la enseñanza de la física en tecnología, proporcionando contenido accesible y aplicable para docentes y estudiantes. Al abordar cada tema de manera independiente, permite su adaptación a diferentes necesidades educativas. La inclusión de prácticas de laboratorio refuerza el aprendizaje teórico con experiencias vivenciales, fomentando una comprensión más profunda de los fundamentos físicos y su aplicación en diversos contextos tecnológicos y educativos.

Palabras clave: Física, educación, tecnología, aprendizaje, enseñanza de la física, ciencia.

Abstract

The purpose of this book is to present a range of topics related to physics that are useful not only for students and instructors in undergraduate programs in computer science and technology, but also for teachers from diverse fields of knowledge. Each topic has been designed to be addressed independently, allowing it to be used as a didactic resource. The objective is to provide an accessible and flexible tool that facilitates the integration of physical concepts into undergraduate programs such as natural sciences and environmental education, mathematics, music, and education in general. The structure of the text consists of six chapters. Chapter 1, "*Scientific method and phases of a technological process*" introduces the scientific method and its relationship with technological processes, highlighting the importance of observation, analysis, and continuous improvement. Chapter 2, "*Physics of materials applied to technology*" addresses the fundamental properties of materials used in technology, exploring their relevance in different contexts. In Chapter 3, "*Physics of new materials*", emerging materials and their applications in technological innovations are presented. Chapter 4, "*Physics behind structures*" analyzes the qualitative and quantitative physical principles that govern structural dynamics, including the stresses to which different constructions may be subjected. In Chapter 5, "Physics of mechanisms" it is explained how motion is transferred and transformed through technological devices, detailing the physical principles involved. Finally, Chapter 6, "Laboratory practices" is designed for students to apply in practice the knowledge acquired in the previous chapters, consolidating their skills through experimentation. The work offers a comprehensive and structured approach to the teaching of physics in technology, providing accessible and applicable content for both instructors and students. By addressing each topic independently, it allows adaptation to different educational needs. The inclusion of laboratory practices reinforces theoretical learning through experiential activities, fostering a deeper understanding of physical principles and their application in diverse technological and educational contexts.

Keywords: Physics, education, technology, learning, physics teaching, science.



Contenido

18	Introducción
22	Capítulo 1. Método científico y fases de un proceso tecnológico
22	De la ciencia a la innovación: conexión entre método científico y las fases de un proceso tecnológico
23	Fases del método científico
28	Fases de un proceso tecnológico
34	Conexión entre las fases del método científico y el proceso tecnológico
38	Capítulo 2. Física de los materiales aplicados a la tecnología
39	¿Cómo clasificamos lo que nos rodea?
44	Explorando las propiedades de los materiales: la ciencia que las define

98	Capítulo 3. Física de los nuevos materiales
99	Una mirada al futuro: cómo los nuevos materiales impulsan la tecnología
108	Capítulo 4. Física detrás de las estructuras
108	¿Qué son las estructuras?
118	¡A soportar cargas!
120	Elementos de una estructura
123	Esfuerzos sobre una estructura
138	¿Cómo se clasifican las estructuras?
142	Estabilidad de las estructuras
146	Capítulo 5. Física de los mecanismos
146	¿Qué son los mecanismos?
149	Mecanismos de transmisión del movimiento
177	Mecanismos de transformación del movimiento
190	Capítulo 6. Prácticas de laboratorio
191	Laboratorio: Densidad de sólidos y líquidos
195	Laboratorio: Formación de imágenes a través de lentes
200	Laboratorio: Ley de Hooke
203	Laboratorio: Identificación de fuerzas
206	Laboratorio: Trabajando con poleas
210	Laboratorio: La palanca
214	Referencias



Autores

Indry Milena Saavedra Gaona, Investigadora en física de nuevos materiales, cursa un doctorado en Ciencias Física, es Magíster en Ciencias Física y Físico en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Su trayectoria académica y científica se centra en el estudio de materiales cerámicos, superconductores, multiferroicos y nanomateriales, contribuyendo con diversas publicaciones científicas. Además, investiga la enseñanza de la física, diseñando estrategias pedagógicas innovadoras para mejorar la comprensión de conceptos complejos. Su enfoque incluye metodologías activas, desarrollo de recursos didácticos y uso de tecnología en la enseñanza, buscando optimizar el aprendizaje y fomentar el interés por la física en distintos niveles educativos.

Daniel Mauricio Guerrero Ospina, Investigador en física de materiales y didáctica de la física, Magíster en Educación y Físico egresado de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Cuenta con una destacada trayectoria académica y experiencia en la enseñanza de la física y matemáticas en los niveles medio y superior. Sus investigaciones se centran en la enseñanza y el aprendizaje de la física, con un enfoque en el desarrollo de estrategias y herramientas didácticas que faciliten una comprensión profunda de los fenómenos físicos en jóvenes y adolescentes.

Claudia Liliana Sánchez Sáenz, Doctora en Ciencias de la Educación (UPTC), con especializaciones en Gerencia Educacional, Informática y Multimedia, Magíster en Informática Educativa por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) y Licenciada en Informática Educativa (UPTC). Docente en la Licenciatura en Informática y directora del Centro de Gestión de Investigación y Extensión de la Facultad de Ciencias de la Educación de la UPTC. Sus investigaciones se centran en el desarrollo de

competencias TIC en estudiantes y docentes. Además, explora el uso de juegos digitales y gamificación en el aprendizaje, promoviendo estrategias de adaptación e integración en el aula.

Fredy Yesid Mesa Jiménez, Doctor en Ciencias de la Educación (UPTC/ RUDECOLOMBIA), Magíster en Tecnologías de la Información Aplicadas a la Educación por la Universidad Pedagógica Nacional (UPN) y Licenciado en Ciencias de la Educación Informática Educativa (UPTC). Actualmente, es docente en el programa de Licenciatura en Informática de la UPTC. Ha desempeñado roles como Asesor de la Dirección de Investigaciones y Coordinador Académico de la Maestría en Ambientes Educativos Mediados por TIC.

Carlos Arturo Parra Vargas, Investigador Senior reconocido por Minciencias, con Doctorado en Ciencias Física y Maestría en Ciencias Física de la Universidad Nacional de Colombia. Especialista en Docencia de la Física y Licenciado en Física y Matemáticas por la UPTC. Miembro de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y director del Grupo de Física de Materiales (A1, MINCIENCIAS). Su investigación se centra en física de nuevos materiales, con importantes aportes. Además, posee experiencia en enseñanza de la física en educación tecnológica, desarrollando estrategias pedagógicas para mejorar el aprendizaje.

Agradecimientos

Agradecemos primeramente a Dios, quien nos guió y nos dio la fortaleza y disciplina para llevar a cabo la escritura de este libro. También extendemos nuestro agradecimiento al Grupo de Investigación Ambientes Computacionales Educativos (GIACE) y al Grupo de Física de Materiales (GFM) de la UPTC, cuya experiencia y trayectoria investigativa, junto con el apoyo de la Facultad de Ciencias de la Educación y Ciencias Básicas, brindaron el talento a través de nosotros los autores haciendo posible la elaboración y diseño de este libro. Finalmente, dedicamos este trabajo a nuestras familias, quienes han sido nuestro mayor apoyo en este proceso.

Introducción

La física es la base fundamental sobre la cual se construyen los avances tecnológicos que transforman nuestra vida cotidiana. Sin embargo, muchos estudiantes y profesionales del ámbito tecnológico suelen encontrar la física como un campo distante y abstracto, sin una relación clara con las aplicaciones prácticas. Este libro busca contribuir en el rompimiento de esta barrera, ofreciendo explicaciones sencillas y accesibles de los principios físicos que subyacen a los procesos y dispositivos tecnológicos que utilizamos a diario. Al conectar los fenómenos físicos con sus aplicaciones tecnológicas, pretendemos no solo facilitar la comprensión de la teoría, sino también inspirar a los lectores a ver la física como una herramienta esencial para el desarrollo y la innovación tecnológica. De esta manera, no se limita a la enseñanza de la ciencia, sino que muestra cómo esa ciencia da vida a las soluciones tecnológicas que forman parte de nuestro entorno.

Este escrito surge como una respuesta a la necesidad de acercar la física a los estudiantes y docentes del entorno de la Licenciatura en Informática (LI), a través del proyecto de investigación SGI 3483-VIE 02 de 2023. A lo largo del tiempo, se ha observado que la enseñanza de la física en contextos tecnológicos tiende a orientarse hacia la formación de físicos e ingenieros, dejando de lado su aplicación práctica en el desarrollo y comprensión de la tecnología. Esto ha generado desinterés y dificultades en el aprendizaje. Por ello, se busca ofrecer una alternativa clara y accesible que permita integrar los fundamentos físicos esenciales en la educación en tecnología, convirtiendo la física, no en una barrera, sino en un puente que facilite la apropiación del conocimiento tecnológico de manera significativa. Así, se espera que tanto estudiantes como profesores encuentren en estas páginas una herramienta útil para conectar la ciencia con su aplicación práctica, haciendo de la física un componente esencial, pero accesible, en la formación tecnológica.

La intención de su contenido es abarcar una variedad de temáticas que puedan ser útiles no solo para los estudiantes y docentes de la LI, sino también para profesores de diferentes áreas. Cada tópico tratado en el libro está pensado para ser abordado de manera independiente, permitiendo que los docentes de diversas disciplinas puedan utilizarlo como recurso didáctico en sus clases. De esta forma, se busca que se convierta en una

herramienta flexible, accesible y aplicable para una amplia gama de profesionales de la educación, facilitando la integración de conceptos físicos que pueden ser utilizados dentro de licenciaturas como Ciencias Naturales y Educación Ambiental, Matemáticas, Música y Educación en general.

Este libro se encuentra estructurado en seis capítulos. El capítulo 1, “*Método científico y fases de un proceso tecnológico*”, presenta una introducción al método científico y su relación con los procesos tecnológicos, destacando cómo ambos comparten una base común de observación, análisis y mejora continua. En el capítulo 2, “*Física de los materiales aplicados a la tecnología*”, se abordan temas clave como las propiedades fundamentales de los materiales utilizados en tecnología. También, el capítulo 3, “*Física de nuevos materiales*”, permite dar a conocer los materiales emergentes actuales y sus aplicaciones en innovaciones tecnológicas. Por otro lado, en el capítulo 4, “*Física detrás de las estructuras*” se pretende dar una mirada a los principios físicos tanto cualitativos como cuantitativos de la dinámica de las estructuras, analizando esfuerzos a los cuales pueden estar sometidas. En el capítulo 5, “*Física de los mecanismos*”, se explica cómo se puede transferir y/o transformar el movimiento por medio de dispositivos tecnológicos, haciendo una descripción de cada uno de los principios físicos involucrados. Finalmente, el capítulo 6, “*Prácticas de Laboratorio*”, está pensado para que el estudiante pueda, de manera práctica asociar los conocimientos estudiados en los capítulos anteriores con el ánimo de que afiance sus habilidades y la física detrás de ellos.

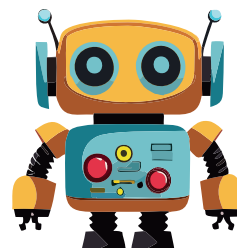
Se diseñaron tres tipos de ayudas a lo largo de la lectura, las cuales están pensadas para facilitar la comprensión de los conceptos e ideas que se desarrollan a través de las temáticas. La primera es el **BÚHO**, que destaca las definiciones de conceptos físicos clave, haciendo énfasis en los principios fundamentales que se abordan en cada sección. La segunda ayuda es el **ROBOT**, que aparece cuando se discuten términos y procesos directamente relacionados con la tecnología. Este recurso está destinado a proporcionar al lector una comprensión más profunda de la terminología técnica, asegurando que pueda conectar la física con las aplicaciones tecnológicas. Finalmente, aparecen en el texto las flechas y anotaciones azules, herramientas que ayudarán a tener detalles adicionales sobre ilustraciones y procedimientos explicados a lo largo de la lectura. Estas herramientas están pensadas para apoyar la interpretación visual, de manera que ayuden a seguir el contenido de manera más clara.

El Búho nos hablará sobre esos principios físicos que se conectan con la tecnología.

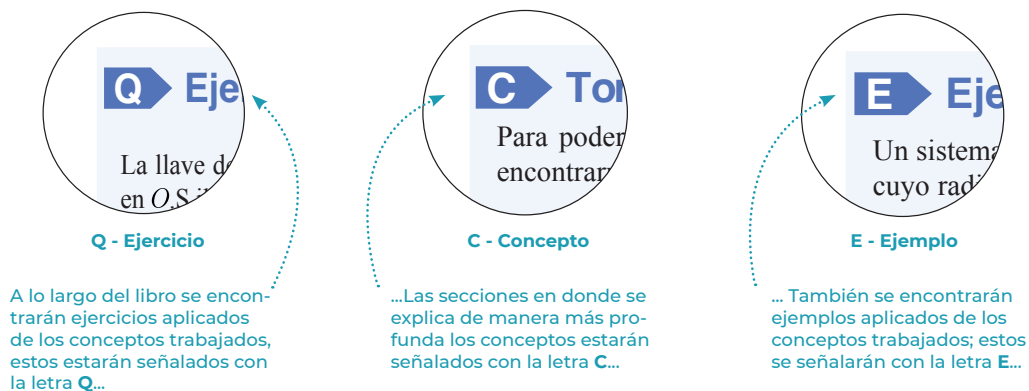


Estas flechas y anotaciones flotantes nos ayudarán a tener mejor detalle de lo que se este hablando.

El robot nos indicará información enfocada con procesos tecnológicos.



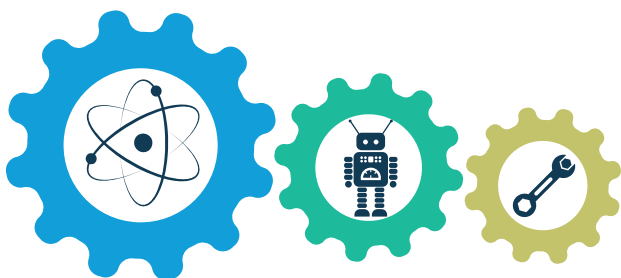
Durante la lectura de este libro, se encontrarán ejercicios, ejemplos y conceptos destacados de manera especial para facilitar la comprensión. Las letras **Q**, **C** y **E** señalarán aquellas secciones diseñadas para guiar al lector mediante ejercicios prácticos, explicaciones más detalladas de ciertos principios físicos y actividades que permitirán poner en práctica los conceptos aprendidos.



La principal motivación para escribir este libro nace de nuestra propia experiencia como estudiantes y docentes de física. Queremos romper con la idea de que la física es un campo exclusivo para físicos e ingenieros y que solo se puede entender a través de ecuaciones difíciles. Más bien, buscamos demostrar que los principios físicos pueden explicarse de manera clara y sencilla. Mediante este libro, pretendemos acercarnos a aquellos que, en muchas ocasiones, pudieron haber percibido la física como algo distante. Queremos contarles que la física no se trata solo de teorías abstractas, sino de principios que se pueden aprender a través de lecturas como esta. Nuestro objetivo es ofrecer una herramienta que permita a estudiantes y docentes comprender la física de manera sencilla y aplicada. Esperamos que se cautiven con la física de la misma forma en que nosotros elegimos estudiarla.

¡Diviértanse!

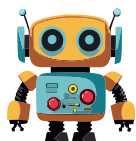
01



Método científico y fases de un proceso tecnológico



Analizaremos la importancia del método científico en el desarrollo tecnológico y describiremos las fases de un proyecto tecnológico, destacando su relación con la ciencia y su papel en el progreso humano.



Te recomendamos leer el libro ***El desarrollo de la tecnología: La aportación de la física*** de Fernando Alba Andrade, un libro que ofrece una perspectiva sobre el papel de la física en el avance tecnológico y su impacto en la humanidad.

1.1 De la ciencia a la innovación: conexión entre método científico y las fases de un proceso tecnológico

Es importante entender que el método científico, el cual desempeña un papel crucial en el desarrollo tecnológico, proporciona un marco riguroso para explicar fenómenos y diseñar soluciones basadas en evidencia a través de la falsabilidad, que permite que una hipótesis sea refutada si no se ajusta a la realidad, y la reproducibilidad, que asegura que los resultados obtenidos puedan ser verificados y replicados por otros. Al integrar estas características, el método científico se convierte en una herramienta clave para garantizar que las fases del proceso tecnológico se basen en principios sólidos y verificables (Gay & Ferreras, 2016).

Las fases de un proceso tecnológico, por otro lado, son los pasos que se siguen para diseñar, desarrollar y poner en marcha una solución que resuelva un problema o cubra una necesidad (**Fig 1.1**). Este proceso organiza y estructura de manera eficiente el desarrollo tecnológico y refleja cómo los seres humanos hemos buscado constantemente adaptarnos y mejorar nuestro entorno. Desde las herramientas más simples, creadas para sobrevivir y defendernos hasta las expresiones artísticas y culturales, el desarrollo tecnológico ha estado profundamente ligado a la ciencia, especialmente a la física (Gutiérrez, 2024). Como señala Fernando Andrade Alba en su libro “*El desarrollo de la tecnología: la aportación de la física*”, comprender

estas fases nos permite valorar la tecnología como un elemento esencial en nuestra evolución y progreso (Andrade, 1987).

A continuación te mostraremos cuáles son las fases de los dos procesos y analizaremos su conexiones.



Fig 1.1 Evolución de la rueda.

1.2 Fases del método científico

El método científico se originó como una forma ordenada de investigar la naturaleza y obtener conocimiento basado en la observación, la experimentación y la razón. Su desarrollo fue influenciado por varias civilizaciones a lo largo de la historia, pero tomó forma durante el periodo conocido como la Revolución Científica (siglos XVI-XVII), con figuras como Francis Bacon, René Descartes y Galileo Galilei (Chalmers, 2023).

Definición de método científico

El método científico es un procedimiento sistemático y estructurado que facilita la resolución de problemas y la adquisición de conocimiento, con el propósito de descubrir la verdad y organizar la información de manera lógica y verificable.



En ciencia, un **método** es un conjunto sistemático de pasos, reglas y procedimientos que se utilizan para investigar fenómenos, adquirir conocimiento y probar hipótesis. Es una estrategia estructurada que permite obtener conclusiones fiables y verificables.

El método científico, cuyo origen etimológico proviene del griego y el latín y significa “camino hacia el conocimiento”, es un enfoque sistemático usado principalmente en las ciencias para generar conocimiento. Este método se caracteriza por la observación sistemática, la medición, la experimentación, la formulación y el análisis de hipótesis (Araújo & Barbieri, 2024). La ciencia nace de la aplicación del método científico, una herramienta clave para comprender la realidad de forma objetiva y verificable. A través de la observación, la experimentación y el análisis, este método nos permite descubrir cómo funciona el mundo que nos rodea.

Definición Investigación Científica

La investigación científica es el proceso de aplicar el método científico para responder preguntas y resolver problemas específicos (Fig 1.2).



Formulación

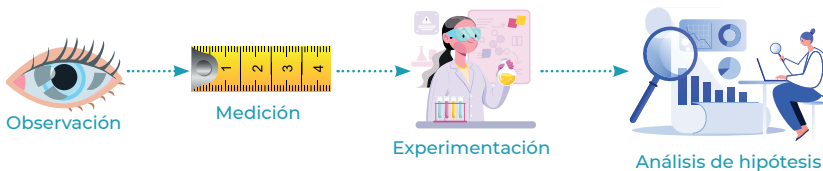


Fig 1.2 Proceso de investigación científica.

El conocimiento científico, como resultado de este proceso, se construye combinando conocimientos previos con un enfoque riguroso basado en la observación controlada y sistemática (Montero & Hidalgo, 2021). Sin el método científico, no podríamos hablar de ciencia en sentido estricto. Las diferencias entre el conocimiento científico (Fig 1.3) y el conocimiento común (Fig 1.4) son:

Cuadro comparativo ➡

Conocimiento Científico	Conocimiento Común
✓ Es objetivo (se basa en hechos y pruebas).	✗ Es subjetivo (depende de la opinión o experiencia personal).
✓ Responde a ¿Cómo? y ¿Por qué? (explica causas y procesos).	✗ Solo responde ¿Cómo? (describe sin explicar el porqué).
✓ Es tanto práctico como teórico.	✗ Es principalmente práctico.
✓ Es preciso (usa datos exactos y verificables).	✗ Es inexacto (puede basarse en suposiciones o percepciones).
✓ Usa un lenguaje técnico y especializado.	✗ Puede usar lenguaje cotidiano, pero a veces también técnico.
✓ Es universal (sus principios son válidos en cualquier lugar y tiempo).	✗ No siempre es válido universalmente, depende de la cultura o contexto.
✓ Se basa en la comprobación y experimentación.	✗ Se basa en creencias, costumbres o experiencias personales.
✓ Sigue el método científico (observación, hipótesis, experimentación, conclusión).	✗ Se adquiere de forma espontánea o por tradición.
✓ Es predictivo (permite anticipar fenómenos futuros con base en pruebas).	✗ No permite hacer predicciones confiables.



Fig 1.3 Científico con microscopio y libreta anotando resultados.



Fig 1.4 Personas conversando y compartiendo creencias o experiencias.

El método científico está compuesto por varias etapas que deben seguirse de manera ordenada. Aunque diferentes autores pueden nombrarlas de forma distinta, lo esencial es entender que el método es un proceso de investigación estructurado en el que las etapas están estrechamente conectadas (Deian et al., 2018). Estas etapas deben cumplirse siempre.

Etapa 1: Identificación del problema

Es la pregunta que buscamos responder y para la cual aún no tenemos una solución. Debe estar formulada de manera clara, con términos adecuados y ser posible de resolver mediante la investigación.

Etapa 2: Formulación de la hipótesis

La hipótesis es una posible respuesta al problema que estamos investigando. Debe estar bien planteada, incluyendo las variables y la relación que esperamos encontrar entre ellas. Se le llama una “verdad provisional”, porque es una explicación basada en lo que ya se sabe, pero necesita ser

comprobada. Las hipótesis pueden expresarse como objetivos o posibles resultados esperados. Para comprobar si la hipótesis es correcta o no, se diseña un estudio adecuado que permita aceptarla o rechazarla.

Etapa 3: Recolección y análisis de datos

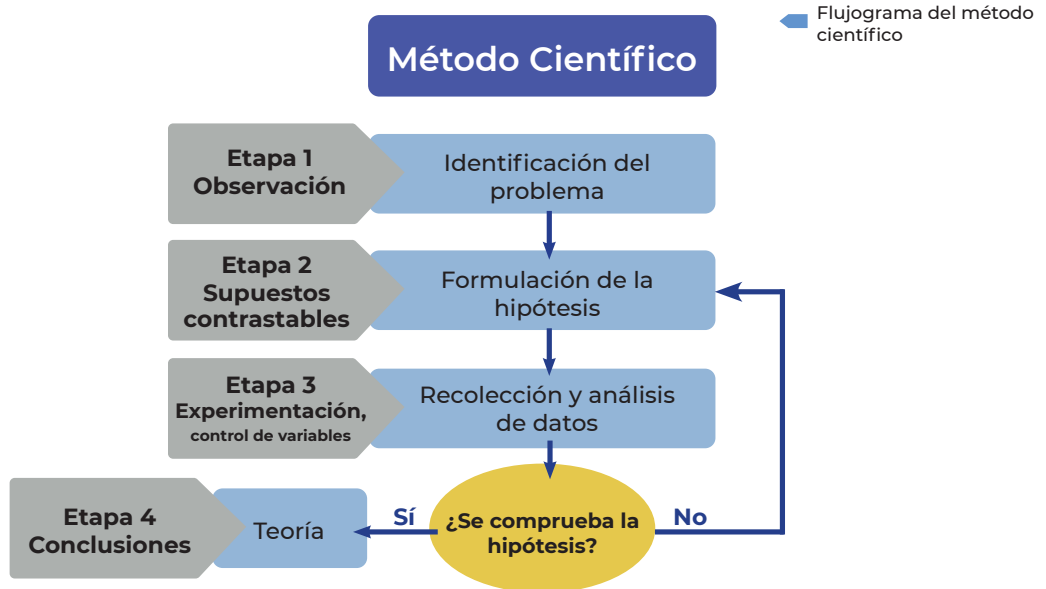
Se recopilan los datos necesarios para comprobar la hipótesis de manera objetiva. Luego, se analizan estos datos para identificar patrones, relaciones o diferencias. Es una fase clave del método científico, ya que permite verificar los resultados a partir de la evidencia.

Etapa 4: Conclusiones y aplicación de los resultados

Se analizan los datos obtenidos para determinar si confirman la hipótesis. Si la respaldan, la hipótesis se considera válida y sus resultados pueden aplicarse a situaciones similares. Si no la confirman, se concluye que, en estas condiciones, la hipótesis no es correcta, por lo que es necesario replantearla y volver a probarla. Este proceso permite mejorar el conocimiento y obtener conclusiones más precisas y confiables.



Una **hipótesis** es una posible respuesta a una pregunta o problema que aún no ha sido comprobada. Es una idea basada en lo que ya se sabe y que se debe probar mediante la investigación para ver si es verdadera o falsa.



Etapa 5: Nuevas predicciones

Algunos autores incluyen esta etapa para destacar que, a partir de los resultados obtenidos, pueden surgir nuevas preguntas o problemas por investigar. Esto permite seguir explorando el tema y generar más conocimiento a través del método científico.



Desde otro enfoque, el método científico comienza con una fase de observación, en la que el científico se encuentra con un fenómeno. Aunque ya tiene cierta información sobre él, esta observación lo motiva a seguir investigando para encontrar respuestas. A continuación, se plantea una hipótesis, que se basa en lo que se sabe hasta el momento y en los datos que se recopilarán, con la posibilidad de ser comprobada. Finalmente, se pasa a la fase de verificación, que depende de la amplitud y la organización de la hipótesis.

A continuación, presentamos algunos ejemplos que muestran cómo el método científico puede aplicarse de manera efectiva en situaciones cotidianas y experimentos simples, siguiendo los pasos de observación, formulación de preguntas, hipótesis, experimentación, análisis de resultados y conclusiones, donde es posible obtener respuestas claras y precisas sobre el mundo que nos rodea.

E Ejemplo 1.1

Crecimiento de plantas bajo diferentes tipo de luz

► **Observación:** Tus plantas parecen crecer mejor en ciertas partes de tu casa (**Fig 1.5**).

► **Pregunta:** ¿El tipo de luz (natural vs. artificial) afecta el crecimiento de las plantas?

► **Hipótesis:** Si las plantas crecen bajo luz natural, entonces crecerán más rápido que bajo luz artificial.

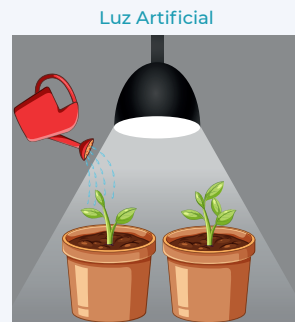
► **Experimento:** Coloca dos plantas idénticas en condiciones de luz diferentes: una bajo luz natural y otra bajo luz artificial. Mantén el mismo riego y tipo de suelo para ambas.

► **Resultados:** Mide el crecimiento de ambas plantas de manera frecuente durante un periodo de tiempo.

► **Conclusión:** Analiza si el tipo de luz tuvo un efecto en el crecimiento de las plantas.



Fig 1.5 Plantas en diferentes lugares de la casa.



Edward Jenner fue un científico que vivió en Inglaterra entre los siglos XVIII y XIX (Quezada, 2020). En esa época, la viruela era una peligrosa enfermedad para los humanos, que mataba a un 30 % de los infectados y dejaba cicatrices en los sobrevivientes o les causaba ceguera. Sin embargo, la viruela en el ganado era leve y se podía contagiar de vaca a humano por las llagas ubicadas en

las ubres de la vaca. Jenner descubrió que muchos trabajadores de las lecherías sostenían que, al haberse contagiado de viruela del ganado (que se curaba rápidamente), no se enfermarían de viruela humana (Fig 1.6).

E Ejemplo 1.2

Vacuna de la viruela

- **Observación:** Jenner notó que las personas contagiadas con viruela del ganado parecían volverse inmunes a la viruela humana.
- **Pregunta:** ¿La exposición a la viruela del ganado puede generar inmunidad contra la viruela humana?
- **Hipótesis:** Basándose en esta idea, Jenner planteó que el contagio con la viruela bovina podría generar inmunidad contra la viruela humana. Para comprobarlo, diseñó experimentos que le permitieran verificar su teoría.
- **Experimento:** Jenner tomó una muestra de la llaga de viruela de la mano de una vaca infectada y la aplicó en el brazo de un niño, hijo de su jardinero. Posteriormente, Jenner tomó material de una llaga de viruela humana y lo aplicó al brazo del mismo niño. Los experimentos que realizó Jenner no serían aceptados hoy en día, ya que fueron realizados en humanos. Aunque en ese momento no había otra forma de comprobar la hipótesis, hoy en día experimentar con un niño hoy sería completamente inadmisible.
- **Resultados:** Después de haber sido expuesto a la viruela bovina, el niño presentó síntomas leves, pero se recuperó completamente. Más tarde, cuando Jenner lo expuso a la viruela humana, el niño no contrajo la enfermedad, lo que sugirió que había desarrollado inmunidad.
- **Conclusión:** ¡Hipótesis confirmada! A través del método deductivo, Jenner demostró que infectar a una persona con viruela bovina la protegía contra la viruela humana. Posteriormente, la comunidad científica replicó sus experimentos y obtuvo los mismos resultados. Así nació el concepto de vacuna, que consiste en aplicar una versión atenuada de un virus para generar inmunidad contra una enfermedad más peligrosa. Este principio sigue utilizándose hoy en día para prevenir diversas enfermedades. De hecho, el término “vacuna” proviene de este primer método de inmunización basado en un virus bovino.



Fig 1.6 Edward Jenner, médico y científico inglés pionero en el concepto de las vacunas y descubridor de la vacuna contra la viruela, la primera vacuna del mundo.

Puedes aplicar el método científico a situaciones cotidianas. Por ejemplo, si siempre tienes sueño en tu clase de física, puedes investigar la causa siguiendo los pasos (Fig 1.7). Primero, observas el problema y te preguntas: “¿Por qué tengo tanto sueño en esta clase?”. Luego, planteas una hipótesis, como “Tal vez no duermo lo suficiente o no desayuno bien”. Para comprobarlo, realizas pruebas, como dormir más horas o cambiar tu alimentación, y finalmente analizas los resultados para encontrar una solución.

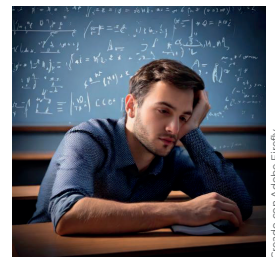
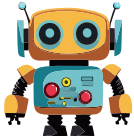


Fig 1.7 Tener sueño en una clase de Física.

Creado con Adobe Firefly

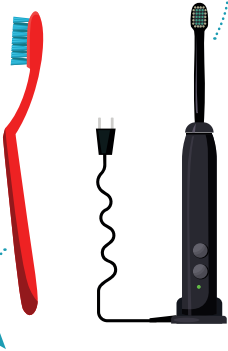
1.3 Fases de un proceso tecnológico

Definición de proyecto tecnológico ➡



El **proceso tecnológico** es el camino a seguir desde que aparece un problema hasta que encontramos un sistema u producto tecnológico que lo resuelve.

Cepillo eléctrico con un motor que automatiza el movimiento, mejorando la limpieza con menos esfuerzo



El cepillo manual puede ser menos eficiente cuando no se utiliza de manera adecuada, lo que permite la acumulación de placa y puede afectar la salud bucal

Fig 1.8 Ejemplo de mejoramiento de un artefacto tecnológico.



Un proyecto tecnológico es un plan diseñado para desarrollar o mejorar un producto, servicio o proceso basado en tecnología. Para llevarlo a cabo, se sigue un proceso tecnológico, que consiste en una serie de fases organizadas, como la identificación del problema, el diseño, la construcción y la evaluación. El objetivo es resolver problemas, optimizar procesos y fomentar la innovación para cubrir una necesidad o demanda. Como resultado, se obtiene un producto tecnológico (Encinas Galán et al., 1994).

Para desarrollar las fases del proceso tecnológico, es fundamental conformar secuencias que permitan asignar actividades y tareas en cada etapa. Generalmente, este proceso se organiza en cinco fases, que guían la planificación y ejecución de proyectos tecnológicos de manera estructurada.

Etapa 1: Identificación del problema o necesidad

El proceso de creación inicia con la detección de un problema o una necesidad específica. En este sentido, nuestro proyecto parte de identificar claramente el objetivo a lograr y definir las condiciones iniciales que deberá cumplir el objeto que resolverá dicho problema. Esto puede implicar dos enfoques: diseñar un objeto completamente nuevo que permita solucionar el problema identificado o bien, adaptar y rediseñar un objeto existente, añadiendo o mejorando partes para optimizar su desempeño en una actividad particular, ajustándose así a las necesidades del entorno. Un ejemplo simple de mejoramiento de un artefacto tecnológico es la evolución del cepillo de dientes manual a un cepillo de dientes eléctrico (**Fig 1.8**).

Etapa 2: Investigación y búsqueda de la información

La resolución de algunos problemas puede lograrse mediante nuestros conocimientos e imaginación. Sin embargo, en ocasiones es necesario recopilar información adicional que facilite encontrar la solución más adecuada. Esta búsqueda puede realizarse a través de diversas estrategias.

Estrategias:

- ▶ **Consulta de información escrita:** Examinar libros, revistas o recursos en Internet para identificar soluciones previamente desarrolladas por otras personas, enfocándose en objetos creados que hayan resuelto problemas similares.
- ▶ **Información oral:** Realizar entrevistas a profesionales, fabricantes o usuarios para obtener perspectivas y conocimientos prácticos relevantes.
- ▶ **Análisis de objetos tecnológicos:** Estudiar y analizar objetos existentes puede inspirar mejoras o nuevas ideas que ofrezcan soluciones más eficientes a los problemas planteados.

Estas estrategias combinan observación, investigación y creatividad para abordar los retos de manera integral (Tecnología A ESO, 2025). Es necesario llevar a cabo una lluvia de ideas para identificar la propuesta que mejor se adapte a las necesidades y objetivos del problema planteado; se seleccionará aquella que cumpla de manera más eficiente con los requisitos establecidos. Para realizar esta selección, se pueden emplear diversos métodos, como combinar los aspectos positivos de las diferentes ideas. Es común hacer una tabla de puntuación en la que se evalúan cada una de las propuestas según criterios específicos, tales como coste, sencillez de ejecución, calidad estética y adecuación a los objetivos (Fig 1.9). La idea con la puntuación más alta será la elegida para su desarrollo.

Etapas 3: Diseño de la solución

Es la parte más creativa del proceso tecnológico, en la cual se definen las características del objeto que se va a construir. Para ello, se sigue un procedimiento en tres pasos:

- ▶ **Generación de soluciones:** Se proponen distintas ideas para resolver el problema.
- ▶ **Selección de la mejor opción:** Se elige la idea que mejor se adapta a las necesidades y objetivos.
- ▶ **Definición de detalles:** Se determinan todos los elementos necesarios para la construcción, utilizando herramientas de expresión gráfica como bocetos, croquis y planos.

En esta fase, se desarrollan diversos tipos de dibujos, referencias o esquemas para representar y detallar el diseño:

- ▶ **Representación total del objeto:** Dibujos o esquemas que muestran el objeto completo.
- ▶ **Planta, alzado y perfil:** Vistas principales que presentan la información técnica del diseño desde diferentes perspectivas.
- ▶ **Detalles de piezas y uniones:** Dibujos que muestran con precisión los componentes y cómo se conectan entre sí.
- ▶ **Despieces:** Imágenes que desglosan el objeto en sus partes individuales, mostrando cada una por separado.

Sin una fase de diseño bien desarrollada, la solución podría no cumplir con los requisitos, ser ineficiente o incluso inviable, lo que generaría retrabajos, pérdida de recursos y aumento de costos. Además, un diseño deficiente puede afectar la seguridad, la funcionalidad y la durabilidad del producto final, comprometiendo su éxito.



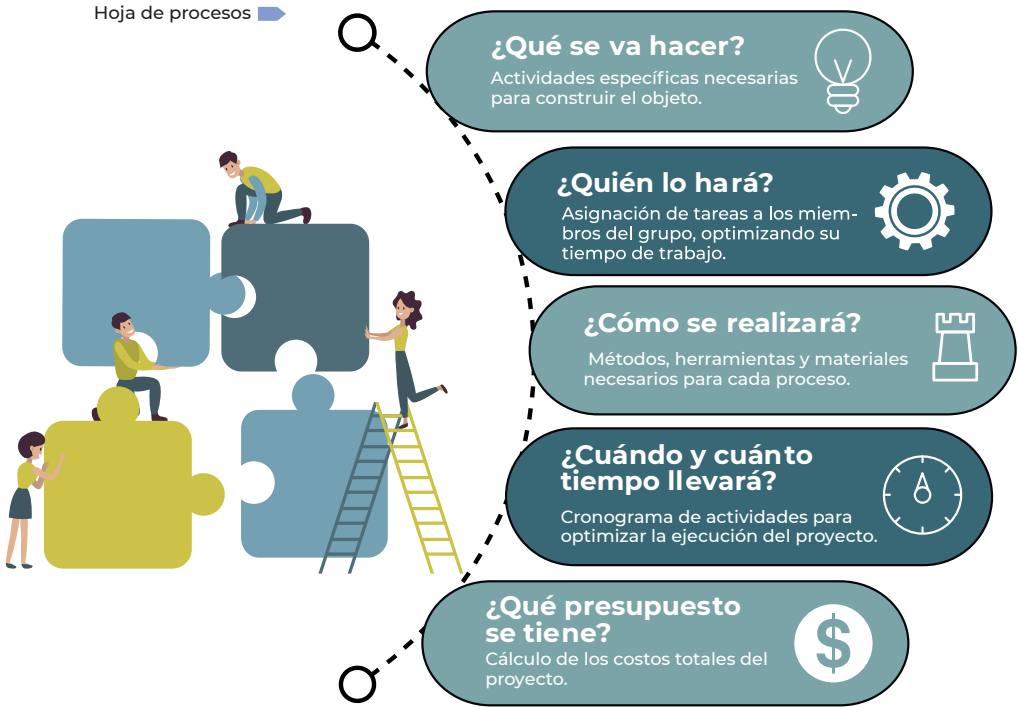
Fig 1.9 Lista de chequeo.



Fig 1.10 Proceso de diseño.

Etapa 4: Planificación y organización del trabajo

En esta etapa se definen las tareas y los recursos necesarios para la construcción del producto. Las operaciones se organizan de manera estructurada, seleccionando los materiales y herramientas adecuados. Para garantizar la eficiencia, se elabora una hoja de procesos que responde a las siguientes preguntas:



Etapa 5: Construcción

Se construye el objeto diseñado siguiendo la hoja de proceso de la fase anterior. Es fundamental respetar las normas de uso y seguridad en el manejo de materiales, herramientas y máquinas para garantizar un trabajo seguro y eficiente (Fig 1.11). Además, se supervisa cuidadosamente cada etapa de la construcción para asegurar que se cumplan los estándares de calidad definidos previamente y que el resultado final se ajuste a los objetivos y especificaciones del diseño inicial.



Fig 1.11 Construcción.

Etapa 6: Evaluación

Se verifica si el objeto creado cumple con su propósito y satisface las condiciones definidas al inicio. Si no lo hace, se identifican las causas del fallo

y se procede a rediseñar y reconstruir el objeto. En esta etapa se consideran aspectos como la apariencia, el funcionamiento, los materiales utilizados y el mantenimiento. Esto puede llevar a dos resultados: si el producto cumple con los requisitos, el proceso concluye; si no, será necesario regresar a la fase de selección de ideas para realizar ajustes.



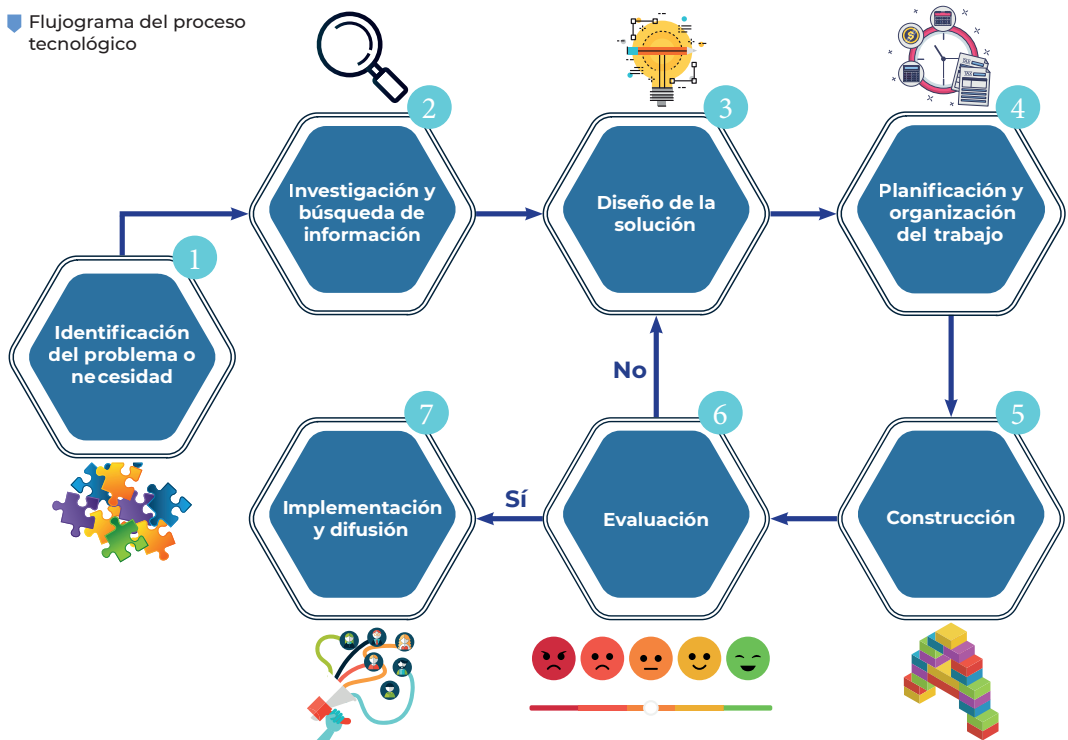
Es importante saber que fallar es parte del proceso y una forma de progresar.

- **Presentación y comercialización:** Si en la evaluación anterior el resultado fue satisfactorio, se avanza a esta fase final, donde se comparten y se ponen a disposición del público los resultados obtenidos.
- **Rediseño:** Si el producto no cumple los objetivos, se entra en esta etapa para realizar los ajustes necesarios hasta que se alcancen las metas establecidas.

Etapa 7: Implementación y difusión

Se presenta al público el objeto construido y evaluado, mostrando cómo responde al problema o necesidad planteada. Además, se comunican los resultados y la experiencia adquirida durante el proceso, tanto dentro del equipo de trabajo como a otros interesados o afectados.

Flujograma del proceso tecnológico



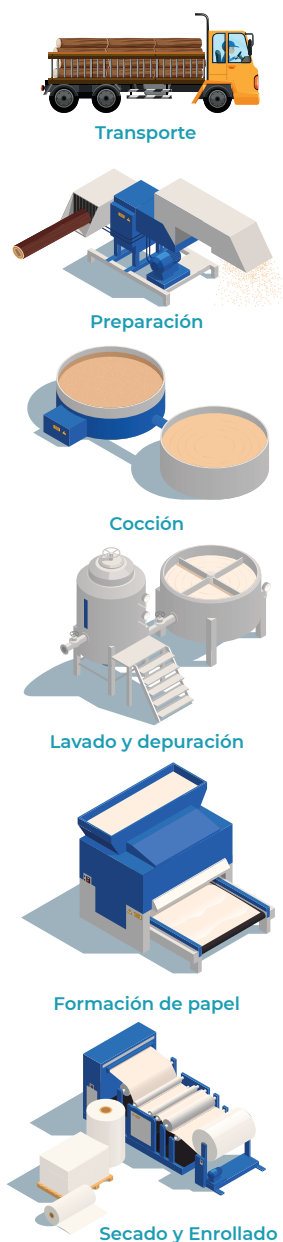


Fig 2.12 Proceso de producción del papel.

Algunos ejemplos de procesos tecnológicos incluyen la producción del pan, donde se mezclan harina, agua y levadura, se fermenta y se hornea; la fabricación de automóviles, que implica el ensamblaje de piezas mediante robots y sistemas automatizados; y la purificación del agua, donde se eliminan impurezas a través de filtración, cloración y otros tratamientos para hacerla potable. En los ejemplos 1.3 y 1.4, se muestra la producción del papel y el queso.

E Ejemplo 1.3

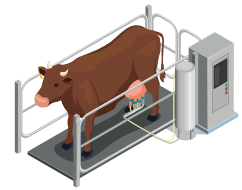
Proceso de producción del papel

- **Identificación del problema:** Se detecta la necesidad de producir papel a partir de materia prima renovable para su uso en diferentes industrias y actividades diarias. Se busca una solución eficiente y sostenible.
- **Búsqueda de información:** Se investiga sobre los materiales adecuados, como la celulosa extraída de la madera o el bagazo de caña, y los métodos de producción más eficientes. También se consideran impactos ambientales y los procesos de reciclaje.
- **Diseño de la solución:** Se planifica cómo transformar la materia prima en papel, definiendo cada etapa del proceso, desde la obtención de la pulpa hasta la formación de las hojas. Se diseñan máquinas y métodos para optimizar la producción.
- **Construcción del producto (Fase de fabricación):**
 1. Transporte y almacenamiento de la materia prima → Se lleva la madera o el bagazo de caña al patio de almacenamiento.
 2. Preparación → La materia prima pasa por la banda de alimentación y se somete a un proceso de zarandeo para eliminar impurezas.
 3. Cocción → La materia prima se cocina en grandes tanques para extraer la pulpa.
 4. Lavado y depuración → Se eliminan impurezas y la pulpa se separa en pulpa café.
 5. Blanqueo → Se realizan varias etapas de blanqueo para obtener la pulpa blanca.
 6. Formación del papel → La pulpa blanca se transforma en hojas de papel en la máquina para hacer papel.
 7. Secado y enrollado → Se eliminan restos de humedad y el papel se enrolla en bobinas listas para su distribución.
 8. Recuperación de químicos → Se recuperan los productos químicos usados en el proceso para su reutilización.
- **Pruebas y evaluación:** Se revisa la calidad del papel producido, asegurando resistencia, blancura y textura adecuadas según los estándares establecidos.
- **Divulgación y presentación:** Se distribuye el papel a las industrias y comercios. También se informa sobre su impacto ambiental y sobre posibles mejoras en el proceso.

E Ejemplo 1.4

Proceso de producción del queso

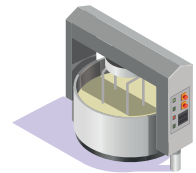
- ▶ **Identificación del problema:** Se reconoce la necesidad de producir queso, ya sea para aprovechar el excedente de leche o para responder a una demanda del mercado. Se definen los objetivos, como el tipo de queso a fabricar (fresco, madurado, semiduro, etc.), y se identifican los recursos disponibles, incluyendo materia prima, equipo e infraestructura.
- ▶ **Búsqueda de información:** Se investigan los métodos de producción adecuados para el tipo de queso elegido, los ingredientes esenciales como la leche, los cultivos lácticos, el cuajo y la sal, y se estudian las normativas sanitarias y de calidad que regulan la producción quesera. Además, se analizan los parámetros de temperatura, tiempo y condiciones óptimas para cada etapa del proceso.
- ▶ **Diseño de la solución:** Se elabora un plan detallado de producción. Esto incluye la selección de los equipos necesarios, la definición de procedimientos específicos (como la pasteurización, la coagulación, el prensado y la maduración) y el establecimiento de controles de calidad. También se determinan los métodos de conservación y empaque adecuados para garantizar la vida útil del producto.
- ▶ **Construcción del producto (Fase de fabricación):**
 1. Ordeño y recolección de la leche → Se ordeña la vaca asegurando condiciones higiénicas. La leche se recoge y se guarda en botellas esterilizadas para evitar contaminaciones.
 2. Enfriamiento de la leche → La leche se enfría por debajo de los 7°C para prevenir el crecimiento de microorganismos. Se almacena en condiciones controladas hasta su procesamiento.
 3. Pasteurización de la leche → Se somete la leche a un calentamiento acelerado a más de 70 °C durante 20 a 30 segundos. Este proceso elimina bacterias patógenas sin afectar las propiedades de la leche.
 4. Adición de cuajo (pastillas coagulantes) → Se agregan pastillas con enzimas (cuajo) para provocar la coagulación de la leche. Este proceso transforma la leche líquida en una cuajada semisólida.
 5. Compactación de la masa y separación del suero → Dentro de la misma tina, se compacta la masa y se separa el suero de la cuajada. Se obtiene una masa sólida lista para la siguiente fase del proceso.
 6. Obtención del queso fresco o procesamiento adicional → La masa obtenida se puede utilizar para elaborar queso fresco o someterse a otros procesos para fabricar queso amarillo.
- ▶ **Pruebas y evaluación:** Se analizan las características del queso producido, como su textura, sabor, humedad, acidez y contenido de grasa. También se realizan controles microbiológicos para garantizar su seguridad y calidad. Si es necesario, se ajustan ciertos parámetros del proceso para mejorar el producto final.
- ▶ **Divulgación y presentación:** Se diseña un empaque adecuado y se etiquetan los productos con la información requerida.



Ordeño y recolección de la leche



Enfriamiento de la leche



Pasteurización de la leche



Adición cuajo (pastillas coagulantes)



Compactación de la masa y separación del suero



Obtención de queso

Fig 2.13 Producción del queso.

1.4 Conexión entre las fases del método científico y el proceso tecnológico

Método científico	Proceso tecnológico	Conexión
Identificación del problema Se comienza con una observación o pregunta sobre un fenómeno natural que no se comprende completamente. Se formula una hipótesis.	Se identifica una necesidad o problema práctico que requiere una solución tecnológica. Se puede empezar con una idea para resolver un inconveniente.	Ambas fases implican la identificación de algo que necesita ser resuelto, aunque uno está más enfocado en la comprensión teórica y el otro en la solución práctica.
Investigación Se realiza una revisión bibliográfica y se recopila información sobre el fenómeno que se está estudiando para formular hipótesis informadas.	Se investigan las posibles tecnologías, materiales y enfoques disponibles para resolver el problema identificado.	En ambas fases, la investigación se utiliza para obtener el conocimiento necesario para avanzar en el proceso.
Desarrollo de la hipótesis (solución o diseño) Se plantea una hipótesis para explicar el fenómeno observado. Esta hipótesis debe ser comprobable a través de experimentos.	Se crea un diseño preliminar de la solución tecnológica, como un prototipo o un plan de acción, para resolver el problema.	En ambos casos, se crea una propuesta de solución (hipótesis o diseño) basada en la información obtenida durante la fase de investigación.
Experimentación o prueba Se realiza un experimento controlado para probar la hipótesis, recopilando datos para confirmar o refutar la suposición.	Se prueba el prototipo o la solución diseñada, realizando pruebas para ver si satisface la necesidad y funciona correctamente.	Ambas fases implican la puesta en práctica de las ideas generadas en las etapas anteriores, verificando si funcionan como se esperaba.
Análisis de resultados y conclusiones Se analizan los datos obtenidos durante los experimentos para determinar si la hipótesis es válida o no.	Se evalúa el rendimiento del prototipo o solución y se analiza si cumple con los objetivos establecidos. Si no es así, se pueden hacer ajustes y mejoras.	En ambos procesos, se analizan los resultados obtenidos de las pruebas para tomar decisiones sobre la continuación del proceso o su modificación.
Comunicación de los resultados (divulgación) Los resultados de la investigación se publican en artículos científicos o se presentan en conferencias para que otros investigadores los revisen y continúen con la investigación.	La solución final o el producto se presenta al público o se comercializa, con el objetivo de que sea utilizado por las personas.	Ambas fases implican la difusión de lo que se ha aprendido o creado, ya sea para contribuir al conocimiento general (en la ciencia) o para poner la solución a disposición del público (en tecnología).

Aunque los enfoques son diferentes (el método científico busca entender fenómenos y el proceso tecnológico busca crear soluciones prácticas), ambas metodologías siguen un ciclo similar de observación, investigación, formulación de soluciones, prueba, análisis y difusión. El proceso tecnológico puede entenderse como una aplicación del método científico, ya que las soluciones tecnológicas suelen surgir de la comprensión y el análisis de los fenómenos naturales e implican una retroalimentación constante para mejorar tanto el conocimiento como las soluciones. En este sentido, la física desempeña un papel fundamental, pues proporciona los conocimientos necesarios para comprender los fenómenos naturales que influyen en el diseño y funcionamiento de los productos.

La física permite explicar cómo funcionan los materiales, las fuerzas, la energía, el movimiento y otros aspectos fundamentales que intervienen en la producción de tecnologías. Por ejemplo, al desarrollar un producto como un automóvil, es esencial comprender los principios de la mecánica, la termodinámica y la electricidad para optimizar el rendimiento del motor, la eficiencia energética y la seguridad. De esta manera, los avances en la física no solo explican los fenómenos que ocurren, sino que también proporcionan las bases para la mejora continua de los productos tecnológicos, guiando su evolución y optimización.

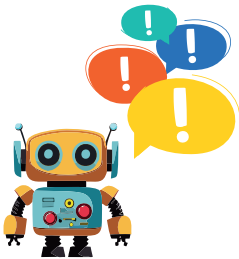
Q Ejercicios

Método científico

1. La ciencia es importante para el ser humano. ¿Cómo podemos definirla y por qué tiene esa importancia?
2. Menciona y explica los distintos tipos de disciplinas científicas que conoces.
3. En tu comunidad, han notado que las plantas del parque se están marchitando rápidamente. Utilizando el método científico, investiga las posibles causas y propón una solución. Para ello, sigue las etapas: observación, planteamiento del problema, hipótesis, experimentación, análisis de resultados y conclusión.
4. Contesta a las siguientes preguntas con tus propias palabras sobre el método científico:
 - ¿Qué es una hipótesis?
 - ¿Son válidas todas las hipótesis que se formulan en una investigación? ¿Por qué?
 - ¿Cómo se valida o se rechaza una hipótesis científica?
5. Relaciona estos términos que están relacionadas con el método científico con la acción que les corresponde en cada caso de los que se indican a continuación:

Observación - Hipótesis - Experimentación - Informe





- Se elabora una explicación sobre el fenómeno que se está estudiando.
- Se recoge toda la información del proceso y las conclusiones finales.
- Se comprueba la validez de las hipótesis.
- Se estudia con atención un fenómeno y se recoge toda la información posible acerca del mismo.

Proceso tecnológico

- Menciona tres objetos tecnológicos que podrían utilizarse para escribir una carta y explica cómo cada uno facilita este proceso.
- ¿Qué objetos se utilizan para limpiar el suelo de tu casa? Realiza un estudio socioeconómico que analice su costo, accesibilidad y uso en distintos niveles de ingresos.
- Imagina que necesitas diseñar un dispositivo ecológico para filtrar agua en el hogar. Siguiendo las etapas del proceso tecnológico, describe cómo identificarías el problema, buscarías información, diseñarías la solución, construirías el producto, realizarías pruebas y evaluación, y finalmente divulgarías y presentarías tu invento.
- Observa los siguientes procesos y clasifícalos según las etapas del proceso tecnológico:
 - Horneado del pan
 - Pruebas de calidad en la fabricación de automóviles
 - Diseño de un teléfono celular

Aplicación del método científico y del proceso tecnológico

A continuación, se presentan dos casos en los que aplicarás el método científico y el proceso tecnológico. Lee cada situación y completa los pasos correspondientes.

Caso 1: Aplicando el método científico

Situación: Imagina que en tu comunidad hay muchas personas que sufren de alergias respiratorias en ciertas épocas del año. Como estudiante investigador, te preguntas: ¿Existe una relación entre la cantidad de polen en el aire y la cantidad de personas con síntomas de alergia?

► Instrucciones:

Completa cada una de las fases del método científico basándote en el caso.

- **Observación:** Describe lo que observaste en tu comunidad.
- **Pregunta de investigación:** ¿Cuál es la pregunta que intentarás responder?
- **Hipótesis:** Plantea una posible respuesta a tu pregunta.
- **Experimentación:** Diseña un experimento o una forma de recolectar datos para comprobar tu hipótesis.
- **Análisis de resultados:** Explica cómo analizarías los datos obtenidos.

- **Conclusión:** Con base en los resultados, ¿tu hipótesis es correcta? Explica por qué.

Caso 2: Aplicando el proceso tecnológico

Situación: En tu escuela hay un problema: los estudiantes suelen olvidar traer botellas de agua, lo que provoca que tengan que comprar agua en envases de plástico, generando contaminación. Tu reto es diseñar un dispositivo reutilizable que incentive a los estudiantes a beber más agua sin generar residuos plásticos.

► Instrucciones:

Diseña el producto siguiendo las fases del proceso tecnológico.

- **Identificación del problema:** Explica cuál es la necesidad o problema a resolver.
- **Búsqueda de información:** Investiga sobre soluciones similares o materiales ecológicos que podrías utilizar.
- **Diseño de la solución:** Esboza o describe cómo sería tu producto. ¿Cómo funcionará? ¿Qué materiales usarás?
- **Planificación:** Detalla los pasos para construir el prototipo y los recursos necesarios.
- **Construcción del prototipo (opcional):** Si puedes, intenta hacer un modelo físico o digital de tu idea.
- **Evaluación y pruebas (opcional):** Si puedes, evalúa cómo funcionó el modelo físico o digital de tu idea.
- **Mejora del diseño:** Si encuentras problemas, ¿qué mejorarías en tu diseño?
- **Entrega:** Presenta tus respuestas en un informe o en una exposición en clase.

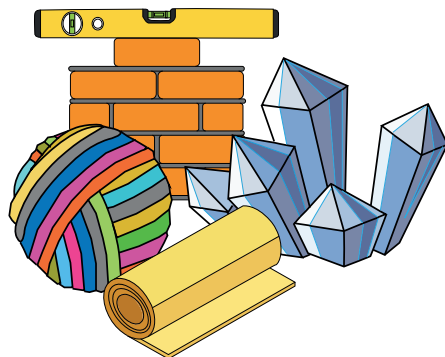


Nuestro objetivo ahora es profundizar en algunas áreas de la física involucrada en la tecnología, comprendiendo cómo se aplican en procesos y productos tecnológicos como respuesta a diversas necesidades, o bien como soluciones a preguntas e hipótesis planteadas en distintos escenarios donde el método científico ha sido una herramienta fundamental. De esta manera, centramos nuestra atención en la física que sustenta la elaboración de cada dispositivo: la física de los materiales.

En los próximos capítulos mostraremos algunas características y propiedades fundamentales de los materiales aplicados a la tecnología y de la física que los describe.

02

Física de los materiales aplicada a la tecnología



Aprenderemos una gama de materiales, explorando sus propiedades físico-químicas, tecnológicas, ecológicas y la física que las sustenta.

Más allá de lo común: explorando las características de los materiales aplicados a la tecnología.

El descubrimiento y uso de los materiales, al igual que la tecnología, han avanzado juntos a lo largo de la historia de la humanidad. Desde la Edad de Piedra, hasta la Edad de Bronce y del Hierro, hemos visto la evolución de diversos materiales. A lo largo de los milenios, se han descubierto muchos materiales, pero otros fueron investigados ya en el siglo XX y cada día aparecen nuevos materiales que se destacan por sus propiedades (Ballesteros, 2009). ¡Imagina el emocionante desafío de científicos y expertos en física, química e ingeniería, quienes trabajan incansablemente para construir nuevos materiales innovadores, con propiedades nunca vistas, catapultándonos hacia un futuro lleno de posibilidades infinitas!”.

Así que los objetos que nos rodean están hechos para ser útiles y mejorar nuestra vida diaria. Para lograr esto, se utilizan una variedad de materiales en su fabricación, y el seleccionarlos adecuadamente es clave para asegurar que el producto final cumpla su propósito de forma efectiva. De esta manera, es importante que te familiarices con los tipos de materiales que podemos encontrar, sus características, y la diversidad de propiedades que presentan, para así elegir aquellos que mejor se adapten a las necesidades específicas y su aplicación. Esta variedad de propiedades que presentan los materiales tiene su fundamento en la ciencia de los materiales (Mangonon et al., 2001), dicha área, ya sea de la física o de la química, se dedica al estudio de las propiedades de la materia en función de su estructura y composición, lo que nos permite comprender cómo interactúan los materiales y por qué tienen ciertas propiedades únicas.

2.1 ¿Cómo clasificamos lo que nos rodea?

Todos los objetos que nos rodean comparten características fundamentales, de las cuales veremos la masa (m) y el volumen (V), y todo aquello que tiene estas dos cantidades se reconoce como materia. ¡Recordemos entonces!

Definición de Materia

Todo aquello que tiene masa (m) y volumen (V).

Cuanta más materia tiene un objeto mayor es su masa.

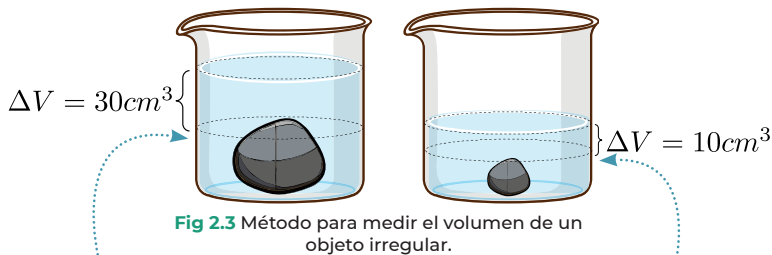
Definición de Masa

Es la medida de la cantidad de materia que tiene un objeto. Sus unidades son: kilogramo (kg), gramo (g) ... etc.

La masa de ambos objetos es un kilogramo, pero, para conseguir un kilogramo de heno se necesita mucha más cantidad, que para conseguir un kilogramo de hierro.

Definición de Volumen

Es una medida del espacio que ocupa un objeto. Sus unidades de medida más comunes son: litro (L), mililitro (mL), metro cúbico (m^3), centímetro cúbico (cm^3), etc.



Cuando se sumerge la piedra el nivel del agua sube, lo que indica que hay una cantidad de agua que es desplazada por la piedra; esta es una forma útil de medir el volumen de un objeto irregular (sin forma simétrica).

Entre más grande sea el objeto más agua se desplaza, lo que indica un mayor volumen. A esta forma de medir volúmenes se le conoce como principio de Arquímedes.

Recuerda que para averiguar cuánto espacio ocupan objetos regulares, como una caja, una pelota, un cilindro o un cono, necesitamos utilizar ecuaciones matemáticas para calcular su volumen. Ahora demos un vistazo a la relación entre m y V , que es lo que llamamos densidad.

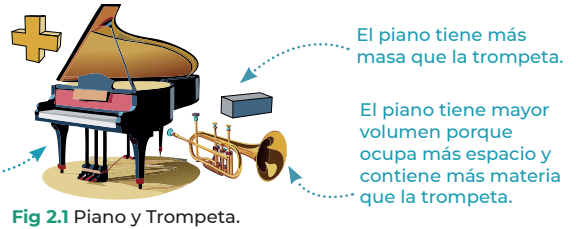


Fig 2.1 Piano y Trompeta.

Fig 2.2 Comparación de la masa del hierro y el heno.



¿Sabías que hay un símbolo especial en física y matemáticas que se llama delta? Es como un triángulo y significa 'cambio' o 'variación'. Entonces, cuando ves el símbolo Δ (delta) junto a una letra como ' V ', significa que algo está cambiando! Por ejemplo, si tienes un globo y lo inflas más, ¡el ΔV sería la variación en el tamaño del globo antes (V_i) y después de inflarlo (V_f)!

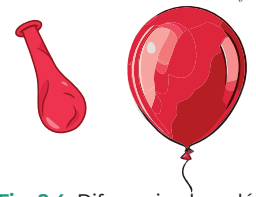


Fig 2.4 Diferencia de volúmenes entre globo inflado y desinflado.

Volumen inicial (globo desinflado)

$$\Delta V = V_f - V_i$$

Volumen final (globo inflado)

Definición de densidad

Es la relación que existe entre la masa de una sustancia y su volumen que ocupa; es decir, cuánta masa hay en un volumen determinado.



Una bola de bolos es más densa que un balón de baloncesto del mismo tamaño, este último tiene menos masa y densidad.

Fig 2.5 Masa y densidad: bola de bolos vs balón de baloncesto.

Matemáticamente la densidad se simboliza con la letra griega ρ , y se calcula mediante la siguiente expresión:

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

Las unidades de ρ pueden ser: $\frac{kg}{m^3}$, $\frac{g}{cm^3}$, $\frac{mg}{L}$... etc.

Observa con atención, cuando se añade a un recipiente aceite y agua, ¡nunca se mezclarán! Una sustancia quedará encima de la otra, como se muestra en la (Fig 2.6). Esto se debe a que tienen diferentes densidades, cuanto más densa sea una sustancia, más abajo se ubicará. Por lo tanto, la densidad es una propiedad que caracteriza cada material. Así, objetos diferentes hechos del mismo material siempre tendrán la misma densidad, independientemente de su masa y volumen.

La sustancia que tenga mayor densidad quedará en la parte de abajo del recipiente.

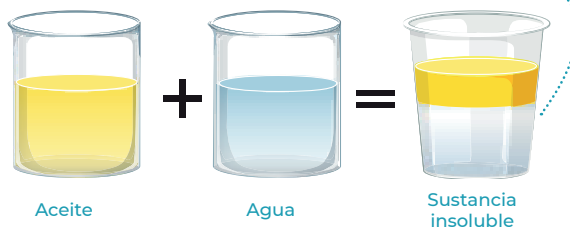


Fig 2.6 Experimento de los tres vasos: aceite, agua y líquidos que no se mezclan.

Cuánta más oposición tenga un líquido, más viscosidad tendrá.



Fig 2.7 Resiliencia de la gelatina.

¡No confundas la densidad con la viscosidad! La *viscosidad* es una medida de la resistencia de un líquido al fluir, es decir, la oposición al movimiento. Por ejemplo, imagina la gelatina: si la empujas con tu dedo, ella volverá a su punto de origen porque se resistió a deformarse, así que la gelatina tiene alta viscosidad (Fig 2.7). La viscosidad se mide en pascal por segundo (Pa·s). Esto se debe a que es una medida de cuánto se opone un fluido a fluir, lo cual está relacionado con la fuerza aplicada sobre el fluido (presión) y el tiempo que tarda en fluir.

Cuando hablamos de viscosidad, nos referimos a qué tan espeso es un fluido. Hay líquidos que fluyen muy fácilmente, como el agua, por lo que se denomina *fluidos livianos*, por otro lado, existen líquidos que fluyen lentamente, como el ketchup (salsa de tomate), los cuales se denominan *fluidos espesos*. En pocas palabras, la *fluidez* sería lo contrario a la viscosidad. En tecnología, los productos se construyen a partir de materiales, los cuales se pueden clasificar de dos maneras: materias primas y material elaborado.

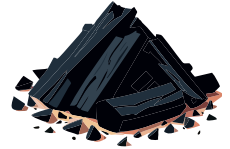


Fig 2.7 Carbón.

Son sustancias que se extraen directamente de la naturaleza, sin procesar. Por ejemplo, el carbón (Fig 2.7).

Definición de materia prima

Es la materia tratada mediante procesos físicos y químicos, disponible para elaborar directamente cualquier objeto o producto (Fig 2.8).

Definición de material

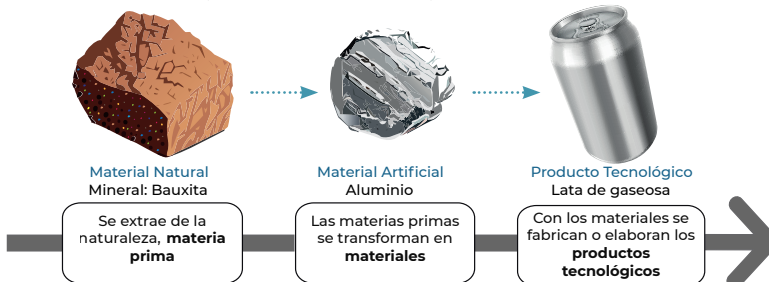
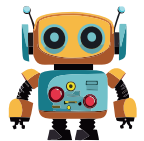
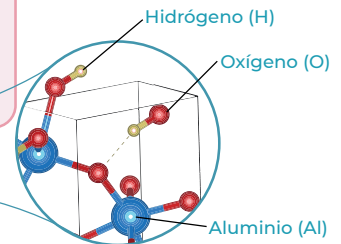
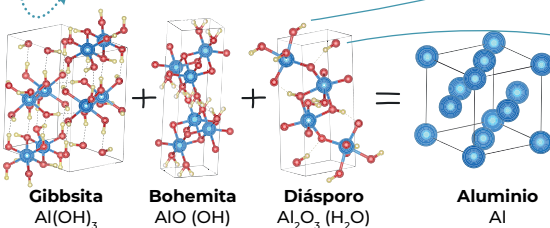


Fig 2.8 Botella de plástico.

La fabricación de objetos, también conocido como *producto tecnológico*, implica el uso de una amplia gama de materiales, que pueden clasificarse en *naturales* y *artificiales*. Los materiales naturales se encuentran en la naturaleza, mientras que los materiales artificiales son creados por el hombre a partir de los naturales. Por ejemplo, el proceso para crear una lata de gaseosa se muestra en la Fig 2.9.



En los minerales hay un mundo secreto. ¿Sabías que, más allá de lo que se ve a simple vista, existe una estructura interna formada por un conjunto de átomos, que son como bloques de construcción muy pequeños? Estos átomos se organizan en un patrón llamado *estructura cristalina*, y es esto lo que le da a cada mineral sus propiedades únicas.



¿Sabes qué es un **producto tecnológico**? Es cualquier objeto creado por el ser humano para resolver problemas y mejorar nuestra vida. Imagina desde cosas simples, como un destapador, hasta objetos más complejos, como un teléfono inteligente: ¡todos cuentan! Lo importante es que estos inventos están hechos para ayudarnos y facilitar nuestra vida.

Fig 2.9 La transformación del aluminio: De la materia prima a la lata de gaseosa.

Algunas veces necesitamos combinar las propiedades de varios materiales en uno solo, que se llaman *materiales compuestos*, como las cajas de leche (Tetra Pak) están hechas de distintos materiales; capas de plástico, cartón y aluminio, y juntos forman un material compuesto (**Fig 2.10**).



Fig 2.10 Envase Tetra Pak y los materiales que lo conforman.

Otros ejemplo de materiales compuestos son los materiales para construcción como:

■ Definición de Mortero (mezcla)

Mezcla de arena, cemento y agua.



Fig 2.11 Mortero.

■ Definición de Hormigón (concreto)

Mezcla de cemento, piedras de diferentes tamaños (áridos) y agua.



Fig 2.12 Hormigón.



Fig 2.13 Siderurgia.



Los minerales de los que se extraen los metales se componen de dos partes:

Mena: Parte que se aprovecha del mineral para obtener el metal.

Ganga: Parte no aprovechable del mineral, puesto que no contiene el metal, se utiliza para conocidas nuevas aplicaciones.

La **Tabla 2.1** muestra la clasificación de los materiales más comunes empleados para el desarrollo de un producto tecnológico (Ballesteros, 2009), entre los cuales se encuentran los *metales*; estos son materiales con diversas aplicaciones que han sido utilizados desde la prehistoria y poseen una gama de propiedades que los convierten en materiales fundamentales para la industria y la sociedad, en la actualidad, juegan un papel crucial en prácticamente todas las actividades económicas. Los metales no suelen encontrarse puros en la naturaleza, puesto que se encuentran combinados con otros elementos químicos formando parte de rocas llamadas "minerales", estos se extraen de las minas y luego, gracias a procesos industriales, se extrae el metal puro. Por ejemplo, el *hierro*; se extrae de un mineral llamado magnetita o siderita, la industria siderúrgica es la encargada de transformar este mineral en metales de hierro; mientras que el *cobre* se obtiene de minerales como la calcopirita o malaquita (Smith, 2004).

Las industrias que transforman los minerales en metales se llaman industrias metalúrgicas, sin embargo, hay casos raros en que algunos metales pueden encontrarse en estado puro (p. e. oro, diamante, azufre, grafito, entre otros); estos metales se les conoce como *nativos*. Los metales se clasifican por su densidad, aunque hay excepciones debido a sus propiedades y su importancia en la industria e historia (**Tabla 2.2**).

Material	Aplicaciones	Propiedades	Ejemplos	Obtención
Madera y sus derivados	Muebles Estructuras Embarcaciones	No conduce el calor ni la electricidad Fácil de trabajar Biodegradable	Pino Roble Haya	A partir de los árboles
Metal	Clips Cuchillas Cubiertos Estructuras Fontanería Electricidad Instalaciones	Conductividad eléctrica y térmica Resistencia mecánica Maleabilidad Ductilidad Dureza Tenacidad Fragilidad	Acero Cobre Aluminio Magnesio Titanio Plomo Zinc	A partir de determinados minerales
Plástico	Bolígrafos Carcasas de electrodomésticos Envases	Ligero Mal conductor del calor y electricidad	PVC PET Metacrilato Poliestireno Melamina Poliuretano	Mediante procesos químicos, a partir del petróleo
Pétreos	Encimeras Fachadas y suelo de edificios Muros Pavimentos Cubiertas Recubrimientos	Pesados y resistentes Difíciles de trabajar Buenos aislantes de calor y electricidad Impermeables	Mármol Granito Pizarra Áridos Roca caliza	Se obtienen de las rocas en canteras
Cerámica y Vidrio	Vajillas Ladrillos, tejas Cristales Ventanas Puertas Muros Baldosas y azulejos	Duro Fragil Transparente (sólo vidrio) Económicos Transparentes Resistente a la compresión Resistente a la corrosión Resistentes a la flexión Aislante térmico y eléctrico	Porcelana Vidrio	<i>Cerámica</i> : a partir de arcillas y arenas por moldeado y cocción en hornos. <i>Vidrio</i> : Se obtiene mezclando y tratando arena silicea, caliza y sosa.
Compuestos	Vigas Carreteras Pilares Aglutinante Automovilística	Fragua Impermeable elástico Durabilidad Fácil elaboración Rigidez	Mortero Hormigón Mezclas asfálticas (alquitrán y áridos) Aglomerado (restos de madera con pegamento) Contrachapado (láminas) Fibra óptica Adobe Cermet (cerámico y metal)	Mezcla de diferentes materiales con diferentes propiedades
Textiles	Ropa Toldos Cortinas	Flexibles y resistentes Fáciles de trabajar	Algodón Lana Nailon	Se hilan y tejen fibras de origen vegetal, animal o sintético.

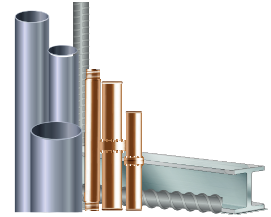


Fig 2.14 Metales.



Fig 2.15 Cerámica y vidrio.

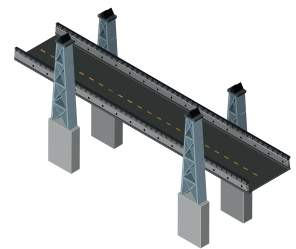


Fig 2.16 Compuestos.

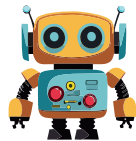
Tabla 2.1 Clasificación de materiales para el desarrollo de productos tecnológicos.

Tipos		Definición		Ejemplos		Propiedades		Aplicaciones	
Férricos o Ferrosos		Aquellos metales cuyo componente principal es el hierro (Fe)		Hierro forjado: contiene carbono en una proporción de 0.25%, lo cual es muy poco. Acero: contiene una proporción del 2% de carbono Metal fundición: contiene una proporción entre el 2% y 4%.		Magnéticas: surgen por la presencia de Fe en su composición. Resistencia a la corrosión: debido a la adición de otros elementos como el cromo (Cr) Fuerza y durabilidad		Motores eléctricos y transformadores Construcción de estructuras, puentes, automóviles, maquinaria, y herramientas	
No Férricos o No Ferrosos		Materiales metálicos que no contienen hierro	Pesados	Densidad alta	Cobre (Cu) Estaño (Sn) Plomo (Pb)		No magnéticos Oxida fácilmente	Componentes electrónicos y de cableado	
			Ligeros	Densidad media	Aluminio (Al) Titanio (Ti)		Resistencia a la corrosión Resistencia al desgaste	Construcción de aviones	
			Ultraligeros	Densidad baja	Magnesio (Mg)		Maleabilidad y ductilidad	Componentes al aire libre y en zonas marinas	
			Nobles	Densidad alta	Oro (Au) Plata (Au)		Conductividad eléctrica y térmica		
					Platino (Pt)		Dureza y resistencia	Fabricación de joyas	

Tabla 2.2 Clasificación de los metales.

2.2 Explorando las propiedades de los materiales: la ciencia que las define

Existen muchas teorías sociales y antropológicas que intentan medir el progreso tecnológico, o al menos permiten establecer comparaciones y mediciones de la evolución social, cultural y científica (Sánchez, 2011). Es importante que comprendamos que el desarrollo tecnológico avanza en proporción directa a la cantidad de información disponible en la sociedad. Por información nos referimos al conocimiento acumulado y aplicable en diversas áreas de la vida cotidiana.



Cuando utilizas un **producto** y quieres hacer algo con él, necesitas el material adecuado. ¿Te imaginas una sombrilla que no aguante la lluvia? ¡Sería un desastre! Para elegir bien qué usar, hay que entender qué hace cada material y cómo funciona, es decir, entender sus características y **propiedades**.

La evolución tecnológica se ha segmentado tradicionalmente en varias etapas: la Edad de Piedra, Edad de Bronce, Edad de Hierro, Edad de los Metales, Edad Media, Edad Moderna, y la Edad Contemporánea, cada una marcada por avances significativos en el desarrollo de herramientas y tecnologías. A lo largo de la historia de la humanidad, han ocurrido importantes revoluciones tecnológicas, épocas en que el surgimiento de nuevos conocimientos y tecnologías alteró de forma radical el estilo de vida y la manera como vemos el mundo. Entre las principales revoluciones tecnológicas, se destacan las siguientes: la revolución neolítica, la revolución industrial, la segunda revolución industrial, y la revolución digital (Navalpotro & Pastor, 2024).

Así, en la historia de la tecnología, es importante destacar que la ciencia desempeña un papel fundamental en el desarrollo tecnológico, en especial en la creación de nuevos materiales que cambian nuestra perspectiva, promoviendo una mejor calidad de vida en el desarrollo de productos tecnológicos (Andrade, 1987). A través de la investigación científica, se descubren los principios fundamentales que rigen el comportamiento de

la materia y se desarrollan nuevas técnicas y procesos para manipularla de manera efectiva. Como lo vimos en la sección anterior, existe una variedad de materiales, algunos naturales y otros artificiales y cada uno de ellos tiene una serie de cualidades que los diferencia del resto, sus *propiedades*.

Definición de propiedades de los materiales

Son un conjunto de características que hacen que el material se comporte de una manera determinada ante estímulos externos, como la luz, el calor, la humedad, la presión, las fuerzas, los campos eléctricos, los campos magnéticos, los agentes químicos, la radiación, el estrés mecánico, entre otros.

A continuación, exploraremos las propiedades más importantes de los materiales y entenderemos cómo, sin ellas, nuestra tecnología actual no sería posible (Pat Manganon, 2001).

2.2.1 Propiedades químicas

Estas propiedades nos indican cómo reaccionan los materiales al ser expuestos a compuestos químicos del exterior, esto ocasiona un cambio en la *composición química* del material, provocando su transformación (Silberberg, 2006). Las reacciones más importantes son la *oxidación* y la *reducción*.

Definición de oxidación

Se da cuando un material reacciona con el oxígeno de la atmósfera en ausencia de humedad. En algunos casos el óxido generado crea una capa superficial que protege las capas internas del material.

La química nos enseña reacciones llamadas óxido-reducción o REDOX, estas reacciones se producen cuando hay una *transferencia de electrones* entre dos sustancias diferentes, de tal manera que una sustancia pierde electrones y la otra sustancia gana estos electrones (Raba et al., 2024). Entonces mira esto:

Sustancia A → Pierde electrones → $A \rightarrow A^{+} + 1e^{-}$ → Oxidación

Sustancia B → Gana electrones → $1e^{-} + B \rightarrow B^{-}$ → Reducción

Imagina una llave para tuercas hecha de hierro metálico, cuando el hierro metálico (Fe) o cualquier aleación metálica, entra en contacto con el oxígeno del aire (O₂), algunos de los átomos de hierro pierden electrones para formar compuestos oxidados. Por lo tanto, si la llave o cualquier otro objeto de metal, se oxida, su color cambia debido a la formación de óxidos en la superficie del metal (**Fig 2.17**). El tipo de óxido formado y el cambio de color dependen del metal y de las condiciones a las que está expuesto. Si el hierro o el acero se oxidan, forman óxido de hierro, comúnmente conocido como *herrumbre*.



Fig 2.17 Llave de tuercas oxidada.



Una **composición química** es la cantidad de átomos de un elemento determinado que al combinarse con otros átomos de otros elementos forman un compuesto químico. Los compuestos se representan mediante una fórmula química. Por ejemplo, el agua (H₂O) tiene una composición de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

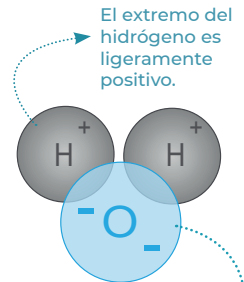


Fig 2.18 Molécula de agua.

Los electrones pasan más tiempo con el oxígeno que con el hidrógeno, por lo que el extremo del oxígeno es ligeramente negativo.

Definición de corrosión

Es el proceso de deterioro gradual de un material, causado por la combinación del oxígeno del aire con la humedad; un ejemplo de esto es la corrosión de un tornillo de hierro.

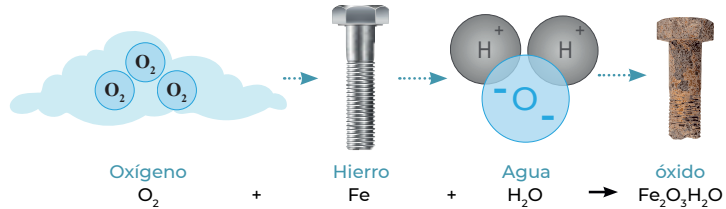
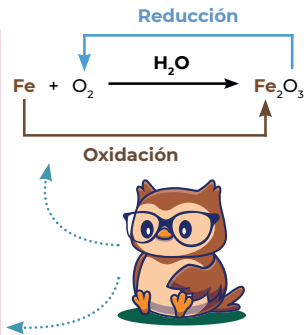


Fig 2.19 Corrosión de un tornillo.

Cuando un tornillo de hierro está al aire libre y se moja, se oxida, formando herrumbre (óxido de hierro, Fe_2O_3). Este proceso se describe con la reacción química: $Fe + O_2 + H_2O \rightarrow Fe_2O_3$. Primero, el hierro (Fe) pierde electrones y se convierte en iones de hierro (Fe^{2+}). Luego, el oxígeno (O_2) del aire se reduce al ganar esos electrones y, en presencia de agua (H_2O), forma iones hidroxilo (OH^-). Estos iones de hierro y los iones hidroxilo reaccionan para formar hidróxido de hierro ($Fe(OH)_2$), que finalmente se convierte en óxido de hierro. Con el tiempo, este proceso se propaga y deteriora el tornillo, volviéndolo más frágil.



2.2.2 Propiedades físicas

Las propiedades físicas son características de un material, y las puedes ver o medir sin cambiar lo que es, como cuando miras un objeto y notas su color, su forma o su textura, o cuando mides su masa con una báscula (Knight, et al. 2013). Básicamente, son cosas que puedes comprobar sin necesidad de hacer nada que cambie las propiedades del material.

Propiedades eléctricas

Quizás hayas sentido un corrientazo y visto una chispa cuando tocas la manija metálica de una puerta después de caminar sobre una alfombra. También has podido sentir un corrientazo al tocar a otra persona o, lo que es más violento, has hecho que sea ella quien sienta un chispazo por tu contacto. O tal vez, cuando cepillas tu cabello con fuerza después de lavarlo, notarás que los cabellos se separan. Si acercas el peine de plástico que usaste a pequeños pedacitos de papel, probablemente se atraigan entre sí. ¡Ojo! Si el peine es de metal, esto no sucederá. Y si frotas un globo de plástico y lo acercas a estos papelitos, también los atraerás (Fig 2.20). Lo que notamos en estas observaciones es que, al frotar dos objetos

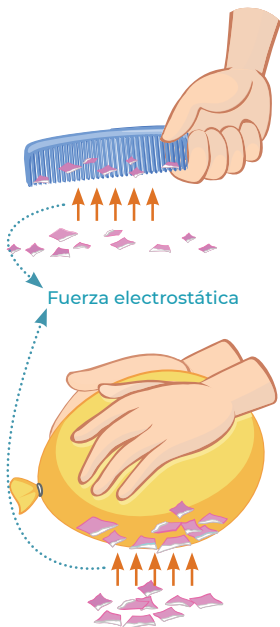


Fig 2.20 Experimento con peine, globo y papeles.

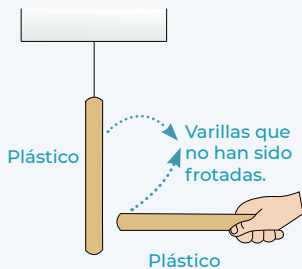
entre sí, suceden fenómenos curiosos. ¿Por qué el frotar un objeto puede generar efectos como fuerzas y chispas? ¿Qué tipo de fuerzas son estas? ¿Por qué los objetos metálicos se comportan de manera diferente a los no metálicos? ¿De dónde proviene la electricidad que nos provoca esa sacudida? (Knight et al., 2013). Estas son las preguntas con las que comenzamos nuestro estudio de la electricidad.

E Experimentemos con cargas

Intentemos ahora realizar experimentos que nos permitan observar algunos fenómenos eléctricos. Los principales materiales que usaremos son varillas de plástico, vidrio y metal, así como trozos de lana y seda. Vamos a ver qué podemos descubrir con estos materiales a través de ocho experimentos que realizaremos.

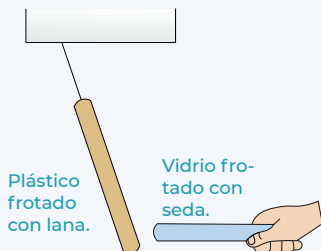
Experimento 1

Toma una varilla de plástico que no haya sido tocada durante un largo periodo de tiempo y cuélguela de un hilo. Toma otra varilla de plástico que no haya sido tocada y acércala a la varilla colgada, observa que no le sucede nada a ninguna de las varillas.



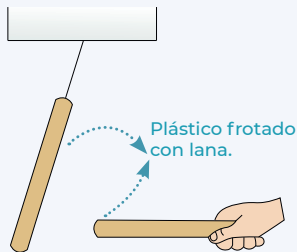
Experimento 3

Acerca una varilla de vidrio frotada con seda a la varilla de plástico colgada que frotaste con lana, es asombroso que estas dos varillas se *atraen* entre sí.



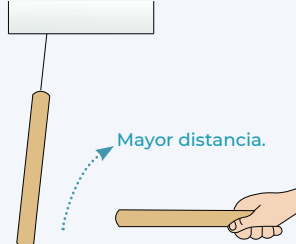
Experimento 2

Frota ambas varillas de plástico con lana, después acerca la barra que tienes en la mano a la barra colgada. Nota que ahora la barra colgada intenta alejarse de la barra que tienes en la mano cuando las acercas. Intenta hacerlo con dos varillas de vidrio: frótalas con seda y, al acercarlas, observa si se atraen o se repelen.



Experimento 4

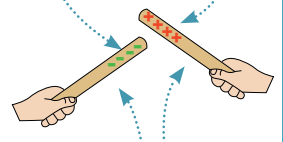
Hemos observado cosas interesantes y muy notorias: las fuerzas son más fuertes en las varillas frotadas con más fuerza y más débiles cuando las varillas están más separadas.



La **carga** está representada por el símbolo q (o, a veces, Q). La unidad de carga del sistema internacional (SI) es el Coulomb (C), llamado así en honor al científico francés Charles Coulomb, uno de los muchos científicos que investigaron la electricidad a finales del siglo XVIII (Basuki, 2019). Los protones de carga positiva y los electrones de carga negativa tienen la misma cantidad de carga, pero de signos opuestos (**Fig 2.21**).

La carga negativa se representa con signos menos.

La carga positiva se representa con signos más.



Representamos cantidades iguales de carga positiva y negativa dibujando el mismo número de signos + y -.

Más carga está representada por más signos + o -.

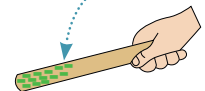


Fig 2.21 Visualización de carga.



Las **fuerzas de fricción** rompen los enlaces entre las moléculas en la superficie cuando dos materiales se deslizan uno sobre el otro. Las moléculas son neutras, pero cuando se rompen, se crean iones: los iones positivos quedan en un material y los negativos en el otro, de modo que un objeto se carga positivamente y el otro, negativamente. Así es como una varilla de plástico se carga al frotarla con lana o un peine se carga al pasarlo por tu cabello.

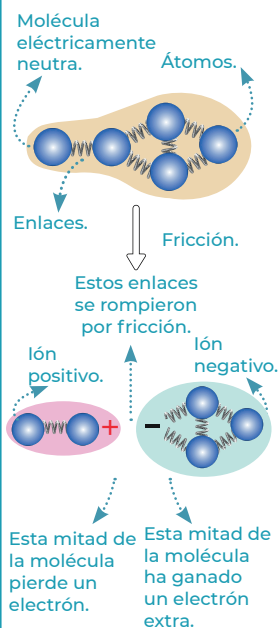
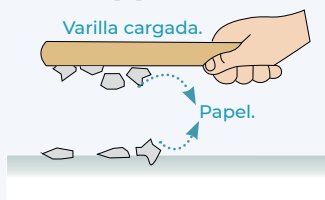


Fig 2.22 La carga por fricción generalmente crea iones moleculares a medida que se rompen los enlaces.

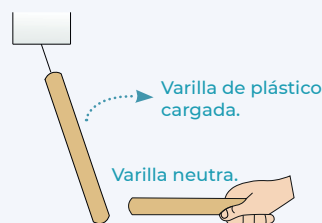
Experimento 5

Sostén una varilla de plástico cargada (es decir, frotada) sobre pequeños trozos de papel, los trozos de papel saltan y se pegan a la barra. Una varilla de vidrio cargada hace lo mismo; sin embargo, una varilla *neutra* (es decir, sin frotar) no tiene ningún efecto sobre los trozos de papel.



Experimento 6

Cuelga varillas de plástico y vidrio cargadas; ambas son atraídas por una varilla de plástico neutra (es decir, sin frotar). También se sienten atraídas por una varilla de vidrio *neutra*. De hecho, las varillas cargadas se atraen por cualquier objeto neutro, como un dedo o un trozo de papel.



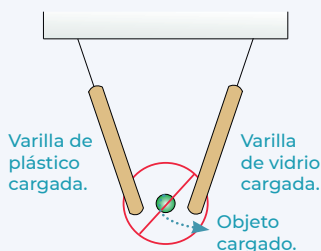
Experimento 7

Frota una varilla de plástico colgante con lana y luego mantén la lana cerca de la varilla: notarás que la varilla se siente débilmente atraída por la lana. Por otro lado, si acercas un trozo de seda que se ha utilizado para frotar una varilla de vidrio, la varilla de plástico se sentirá repelida.



Experimento 8

Otros experimentos muestran que, aparentemente, no existen objetos que, después de ser frotados, puedan recoger trozos de papel y atraer al mismo tiempo tanto las varillas cargadas de plástico como las de vidrio.



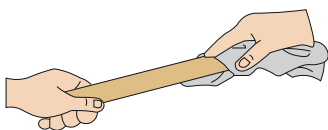
Nuestros experimentos se realizaron únicamente con varillas de plástico frotadas con lana y varillas de vidrio frotadas con seda. Sin embargo, si frotas un globo en tu cabello, el globo se cargará negativamente, mientras que si frotas nailon con una tela de poliéster, el nailon se cargará positivamente. Los *diagramas de carga* nos ayudan a entender y explicar cómo se comportan los objetos cargados, es importante saber que los signos + y – no representan cargas “individuales” (Fig 2.21). Por ahora, podemos pensar en la carga como algo que un objeto obtiene al frotarse, de modo que, en los diagramas, los signos + y – muestran de manera general dónde se encuentra la carga. Ahora, veremos cómo funciona la carga a nivel atómico y aprenderemos sobre las cargas microscópicas de *protones* y *electrones*.

Los dos tipos de carga son carga *positiva* y carga *negativa*, quizá te sorprenda saber que estos términos fueron acuñados por Benjamin Franklin (1706-1790). Ahora bien, ¿qué significa que una carga sea positiva o negativa?, en realidad, ¡depende de una convención! Fue Franklin quien estableció que una varilla de vidrio frotada con seda debía considerarse carga positiva; por lo que cualquier otro objeto que repeliera la varilla cargada también se considera con carga positiva. Por convención, entonces, los electrones se consideran de carga negativa y los protones de carga positiva.

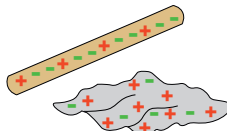
Este entendimiento de las cargas eléctricas sentó las bases de la teoría de la electricidad, que originalmente se formuló sin conocimiento de los átomos; sin embargo, no hay razón para seguir ignorando este aspecto fundamental desde la perspectiva actual. El átomo está compuesto por un núcleo muy pequeño y denso (diámetro $\sim 10^{-14} \text{ m}$), rodeado por electrones en órbita, mucho menos pesados (Fig 2.23), estos electrones giran a gran velocidad ($\sim 10^{15} \text{ r.p.s.}$) en estas orbitas que rodean el núcleo formando una nube electrónica cuyo diámetro es alrededor de $\sim 10^{-10} \text{ m}$, es decir, unas mil veces más grande que el propio núcleo.

A partir de estos descubrimientos sobre los electrones y protones, se pudo profundizar en las propiedades de la carga eléctrica. Uno de los descubrimientos más importantes fue la ley de conservación de la carga, que establece que la carga no se crea ni se destruye. Esta carga eléctrica puede transferirse de un objeto a otro cuando los electrones y los iones se mueven, pero la cantidad total de carga permanece constante. Por ejemplo, al cargar una varilla de plástico frotándola con lana se transfieren electrones de la lana al plástico debido al rompimiento de los enlaces moleculares (Fig 2.24).

En los *metales*, los electrones más externos de las capas de los átomos (que en química se llaman *electrones de valencia*) están apenas pegados a los núcleos. Cuando los átomos se juntan para formar un sólido, estos electrones externos se separan de sus núcleos originales y quedan libres para moverse por todo el sólido. Aunque el sólido en su totalidad sigue siendo eléctricamente neutro, ya que no hemos añadido ni quitado electrones, los electrones se comportan más como un fluido cargado negativamente.



Cuando frotamos la varilla de plástico con lana, la carga negativa pasa de la lana a la varilla.



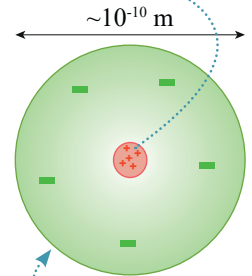
Esto deja a la varilla con una carga negativa adicional, mientras que la lana queda con más carga positiva que negativa.

Fig 2.24 Trasferencia de carga entre una varilla de plástico y una lana.



El **núcleo** es el centro del átomo, formado por protones, que tienen carga positiva, y neutrones, cuya carga total es cero. Estas partículas mantienen al átomo unido. La fuerza eléctrica que atrae al núcleo positivo hacia los electrones negativos es lo que mantiene al átomo unido. Te preguntarás, ¿por qué los protones, siendo positivos, se mantienen unidos en el centro del átomo? Esto se debe a que existe otra fuerza diferente llamada "**Fuerza fuerte**".

El núcleo, representado de manera exagerada para mayor claridad, contiene protones positivos.



La nube de electrones está cargada negativamente.

Fig 2.23 Protones y electrones

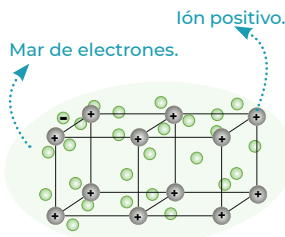


Fig 2.25 Sólido metálico.

Los físicos describen a los metales como un “mar de electrones” que rodea los núcleos iónicos cargados positivamente (**Fig 2.25**). Cuando estas cargas se desplazan, se genera la corriente eléctrica, cuyos portadores en los metales son los electrones. Esta capacidad de conducir corriente se llama *conductividad*, y según ella, los materiales se clasifican en *conductores*, *semiconductores* y *aislantes*. El diagrama de bandas de energía (**Fig 2.26**) muestra cómo los electrones pueden pasar de la banda de valencia a la de conducción, lo cual depende del tamaño de la brecha de energía (E_g).

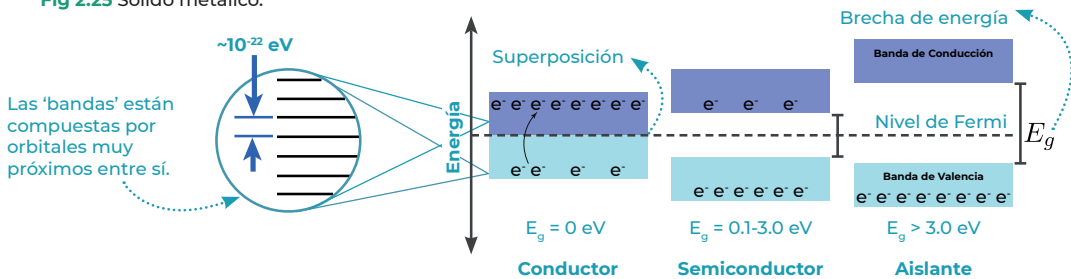


Fig 2.26 Diagrama de bandas de energía para conductores, semiconductores y aislantes.

La conductividad eléctrica, simbolizada como σ , es una propiedad importante en electricidad, nos indica qué tan fácilmente un material permite que la corriente eléctrica fluya a través de él; esto sucede porque los electrones, que son como los mensajeros de la electricidad, pueden moverse libremente dentro del material. La conductividad depende de la organización de los átomos en el material, es decir, de su estructura interna, la cual determina a su vez la formación de las bandas de energía.

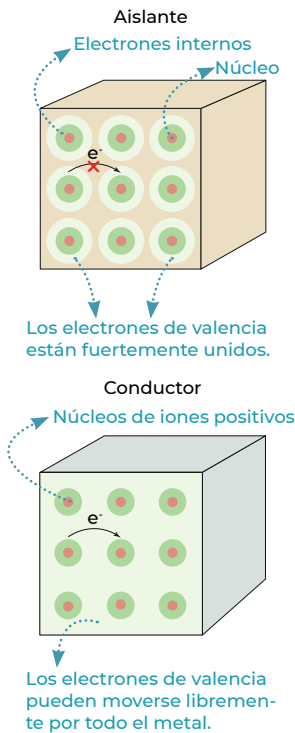


Fig 2.27 Una mirada microscópica a un aislante y un conductor.

En el interior de un *aislante*, todos los electrones están fuertemente unidos a los núcleos positivos y no tienen libertad para moverse. Por ejemplo, si se aplica corriente (electrones extra) a un trozo de madera a través de un cable, los electrones no fluirán; en su lugar, estarían fijos, por lo que la madera se llenaría de cargas negativas o se acumularían en cualquier parte. Los materiales aislantes se emplean en electricidad para evitar fugas y accidentes eléctricos, por lo general los aislantes no conducen bien el calor, a excepción del diamante que es buen conductor del calor, pero no de electricidad. Caso contrario, si los electrones se mueven libremente por todo el material sin resistencia, entonces es un *conductor*, si conectamos nuestro material a una batería, los electrones van a comenzar a trasladarse por todo el material como un mar de electrones (**Fig 2.27**). Como conductores eléctricos tenemos los metales, el agua, el grafito, entre otros; un material que permita fácilmente el paso de la corriente, se dice que tiene buena conductividad. Por último, el *semiconductor* es el caso intermedio, donde es posible el paso de electrones pero no tan fácilmente como en los conductores, ya que

necesitan una ayuda extra, sería como una tubería con una rejilla de goma que pudiésemos cerrar o abrir según las necesidades. De esta manera, el hecho de que algunos electrones fluyan y otros no, se debe a la *estructura cristalina* del material; el oro es un material que ocupa el tercer lugar como mejor conductor, teniendo a su favor que es uno de los metales que no sufre oxidación, por lo que no pierde electrones, además de que es un material duradero y resistente a la corrosión.

¿Sabías que el cuerpo humano se compone en gran parte de agua salada? El agua pura no es un buen conductor, pero el agua salada, con sus iones Na^+ y Cl^- , sí lo es, por lo que también somos buenos conductores. Este hecho nos permite entender cómo es que cuando tocas un objeto cargado, este se descarga. Cuando tocas un metal cargado, tú y el metal juntos actúan como un conductor más grande, cualquier exceso de carga que inicialmente estaba confinado al metal ahora puede distribuirse también a tu cuerpo; es posible que esto no descargue completamente el metal, pero en circunstancias típicas, donde el ser humano es mucho más grande que el metal, la carga residual que queda en el metal es mucho menor que la carga original. El metal, para la mayoría de los fines prácticos, se descarga, así si dos conductores están en contacto, comparten la carga que originalmente estaba en solo uno de ellos (**Fig 2.28**).

Por esta razón, se conectan a tierra objetos como los electrodomésticos, para evitar la acumulación de carga en ellos, en estos casos, la tercera clavija de los enchufes en los electrodomésticos y aparatos electrónicos sirve como conexión a tierra. El cableado de tu casa enlaza ese tercer cable profundamente en el suelo, justo afuera de la vivienda, a menudo conectado a una tubería de agua metálica que se extiende bajo tierra (**Fig 2.29**).

En general, cuando dos materiales diferentes entran en contacto, como la tela y el cabello humano, se produce una interacción entre sus superficies, durante esta interacción los átomos de los materiales se acercan y se alejan, dando lugar al fenómeno de la *fricción*, esta fricción puede provocar una transferencia de electrones de un material a otro. Como ocurre cuando se frota una tela contra el cabello, los electrones pueden transferirse del cabello a la tela debido a la diferencia en sus propiedades eléctricas; esta transferencia de electrones crea un desequilibrio eléctrico temporal entre los materiales, ya que uno tiene un exceso de electrones (carga $-$) y el otro una falta de electrones (carga $+$). Este desequilibrio resulta en la formación de una carga eléctrica.

Es importante señalar que esta carga eléctrica generada es temporal y depende de la separación de los materiales. Cuando los materiales se separan, la carga eléctrica acumulada no tiene a dónde ir inmediatamente; esto se debe a que los materiales no son *conductores eléctricos* perfectos y no existe una ruta fácil para que los electrones regresen y equilibren sus cargas,

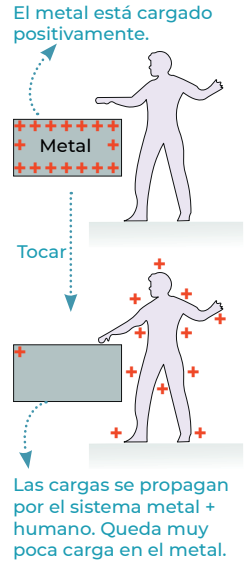


Fig 2.28 Tocar un metal cargado lo descarga.

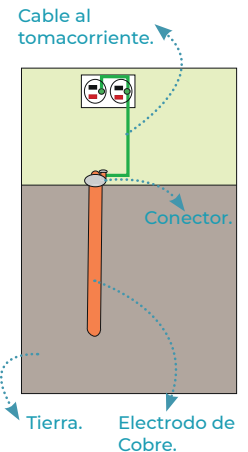


Fig 2.29 Puesta a tierra o conexión a tierra.

como resultado la carga se acumula en los materiales.

Cuando hablamos de conductores eléctricos a los que se les suministra corriente, la situación es diferente. En los conductores, los electrones pueden moverse libremente a través del material; cuando se aplica una corriente eléctrica, los electrones fluyen de un punto a otro, permitiendo que las cargas se equilibren rápidamente. Esto se debe a la alta conductividad de los materiales conductores, que proporcionan una ruta fácil para el movimiento de electrones.

Propiedades magnéticas

Definición de magnetismo

El magnetismo es una fuerza que algunos materiales tienen intrínsecamente, lo que les permite atraer o repeler los objetos.

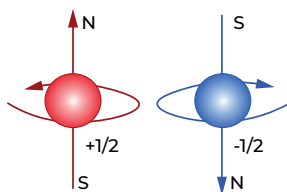


Fig 2.30 Spines “up” y “down”.

Los materiales que son atraídos por un imán se llaman *materiales magnéticos* (Coey, 2010). Dentro de los materiales, hay átomos que tienen partes aún más pequeñas, llamadas electrones, que se mueven a su alrededor; piensa en los electrones como pequeños imanes en movimiento. Pero además de moverse los electrones tienen algo llamado “spin”, que indica la dirección en que giran sobre sí mismos. Los electrones tienen dos tipos de spin: *spin up* (“giro hacia arriba”) y *spin down* (“giro hacia abajo”). Si un electrón tiene spin up, no puede tener spin down al mismo tiempo; solo puede tener uno de los dos (**Fig 2.30**).

En algunos materiales como el hierro, los electrones se mueven de manera organizada. Esto significa que los electrones con spin up y spin down se alinean en la misma dirección, creando un campo magnético, es decir, el material está magnetizado (**Fig 2.31**). Pero en la mayoría de los materiales, los electrones se mueven en direcciones diferentes, por lo que su spin up y spin down están desordenados y no crean un campo magnético; por lo tanto, el material está desmagnetizado (**Fig 2.32**).

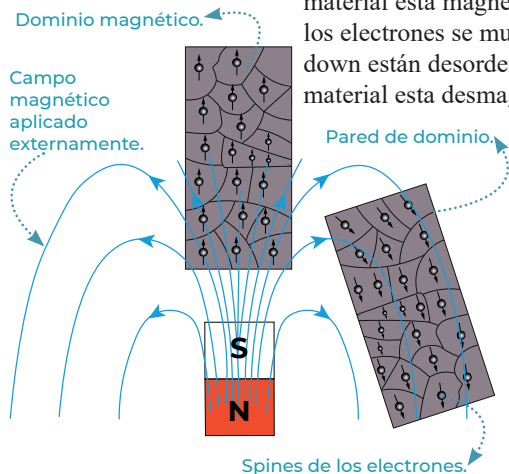


Fig 2.31 Hierro magnetizado.

Cuando muchos electrones de un material se mueven de manera organizada y giran en la misma dirección (todos con *spin up* o *spin down* en orden), el material se convierte en un imán y este crea un campo magnético a su alrededor. Este imán puede entonces atraer otros objetos de metal o repeler otros imanes, entonces, el magnetismo en los materiales se debe a cómo se mueven y se organizan los electrones dentro de ellos. Cuando están alineados de la manera correcta, el material se convierte en un imán y puede hacer cosas como pegarse a tu refrigerador o atraer clips de papel. ¡Es como magia científica!

El *campo magnético* es una fuerza que no se percibe directamente, aunque sí se puede notar, por ejemplo, al acercar un imán a un objeto metálico. Podemos representarlo mediante *líneas de campo magnético*, las cuales comienzan en el polo norte de un imán y terminan en el polo sur; la dirección de estas líneas y la separación entre ellas nos indican, por un lado, cómo es el propio campo magnético y, por otro, qué tan fuerte es (Fig 2.32).

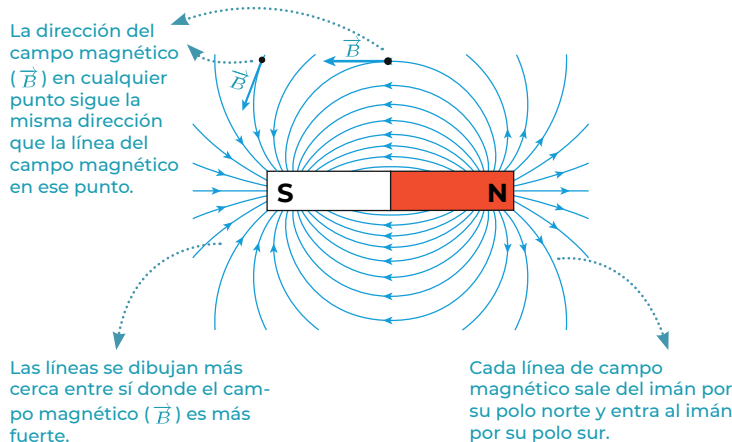


Fig 2.33 Diagrama de las líneas del campo magnético de una barra magnética o imán.

En un material no magnetizado, los dominios se cancelan entre sí, dejando el material desmagnetizado.

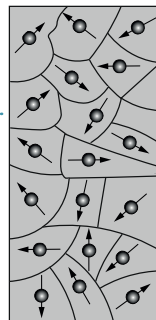


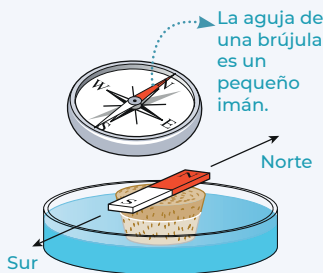
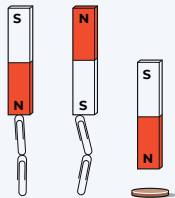
Fig 2.32 Material no magnetizado.

E Experimentemos con magnetismo

Investigaremos cómo interactúan los imanes con brújulas, otros imanes y varios tipos de materiales.

Experimento 1

Si se pega con cinta adhesiva un imán en forma de barra a un trozo de corcho y se lo deja flotar en un plato con agua, el imán gira para alinearse en una dirección aproximada de norte a sur. El extremo de un imán que apunta al norte se llama polo norte. El otro extremo es el polo sur. Por lo tanto, representamos los polos norte en rojo y los polos sur en blanco.



Experimento 2

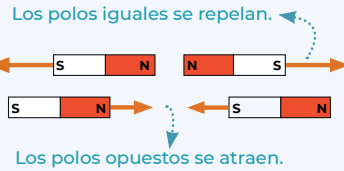
Los imanes pueden recoger algunos objetos, como clips, pero no todos. Si un objeto es atraído por un polo de un imán, también será atraído por el otro polo, la mayoría de los materiales, incluidos el cobre, el aluminio, el vidrio y el plástico, no experimentan fuerza de un imán.



Un **imán** que puede girar libremente se llama **brújula**. Además de señalar el norte, una brújula también se alineará con cualquier imán cercano.

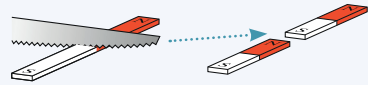
Experimento 3

Si el polo norte de un imán se acerca al polo norte de otro imán, se repelen. Dos polos sur también se repelen, pero el polo norte de un imán ejerce una fuerza de atracción sobre el polo sur de otro imán.



Experimento 4

Cortar una barra de imán por la mitad produce dos imanes más débiles pero aún completos, cada uno con un polo norte y un polo sur.



Es importante conocer que el magnetismo no es lo mismo que la electricidad, los polos magnéticos y las cargas eléctricas comparten un comportamiento similar, pero no son iguales. En el siglo XVIII, mientras se estudiaba la electricidad, se pensaba en una posible conexión con el magnetismo, la cual se descubrió accidentalmente en 1819 durante una demostración de Hans Christian Oersted, cuando al pasar corriente por un cable cerca de una brújula notó que la aguja se movía, revelando así el vínculo entre electricidad y magnetismo (Vats et al., 2024).

El polo sur del campo magnético de la Tierra en realidad está en el norte de Canadá, no justo en el polo geográfico norte.

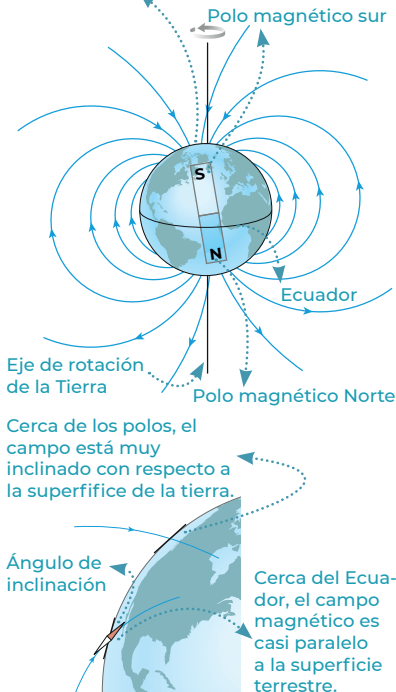


Fig 2.34 Campo magnético de la Tierra.

Además del magnetismo que observamos en experimentos con electricidad, la Tierra tiene su propio campo magnético. Este campo no solo va de un lado a otro, sino que también se inclina ligeramente hacia arriba o hacia abajo según la ubicación. Una brújula común indica principalmente la dirección horizontal hacia el norte, mientras que algunas brújulas especiales detectan también la inclinación. Cerca del Ecuador, el campo magnético es casi paralelo al suelo, por lo que la inclinación es mínima. En los polos, en cambio, apunta casi directamente hacia el suelo; en el Polo Norte, por ejemplo, se inclina más hacia abajo que hacia el norte (**Fig 2.34**). Incluso algunas tortugas marinas utilizan esta inclinación para orientarse y saber en qué parte del mundo se encuentran.

Asimismo, más allá de su papel en la tecnología y la vida cotidiana, el magnetismo también está presente a gran escala en nuestro planeta, el magnetismo es mucho más que sujetar una lista de compras en la nevera. Gracias a él funcionan motores eléctricos y generadores de energía, se almacena información en discos duros y en las bandas magnéticas de las tarjetas, es clave en la resonancia magnética para la medicina moderna e incluso hace posible la levitación magnética, como en los trenes *maglev*. Gracias al campo magnético de la Tierra, que nos protege del viento

solar, la vida y la tecnología moderna son posibles, ya que evita que la radiación solar dañe la atmósfera, los seres vivos y los sistemas electrónicos.

Propiedades térmicas

Estas propiedades están relacionadas con cómo un material se comporta cuando la energía en forma de calor lo atraviesa (Buck & Rudtsch, 2011). Por ejemplo, qué tan rápido o lento se calienta o se enfría un material. Usamos la palabra “*calor*” de manera muy vaga en nuestro idioma, a menudo como sinónimo de caliente. Podríamos decir en un día muy caluroso: “Este calor está agobiante”. Si en tu casa hace frío y tienes calefacción, dices: “Enciende la calefacción”. Estas expresiones provienen de una época antigua en la que se creía que el calor era una sustancia con propiedades similares a las de un fluido.

Nuestro concepto de calor cambió con el trabajo del físico británico James Joule en la década de 1840. Joule fue el primero en llevar a cabo cuidadosos experimentos para aprender cómo los sistemas cambian su temperatura. Joule descubrió que se puede elevar la temperatura de un vaso de agua por dos medios completamente diferentes. Primero calentando el vaso con una llama y el segundo agitando el agua con una rueda de paletas que gira rápidamente (Fig 2.35). El estado final del agua es exactamente el mismo en ambos casos. Esto implica que el *calor* y el *trabajo* son esencialmente equivalentes. En otras palabras, el calor no es una sustancia. En su lugar, el calor es energía. El calor y el trabajo, que antes se consideraban dos fenómenos completamente diferentes, ahora se ven simplemente como dos formas distintas de transferir energía a un sistema o desde un sistema. Así que el trabajo es una medida de la energía dada por el movimiento y la temperatura es una forma de representar la energía del movimiento a nivel microscópico.

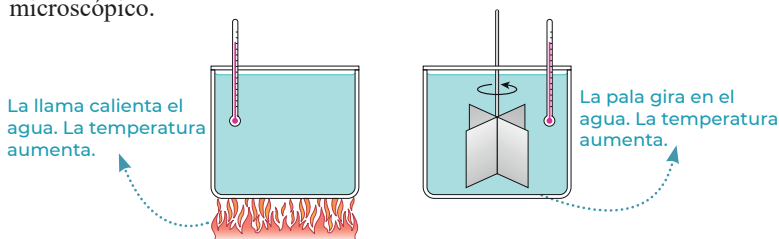


Fig 2.35 Experimentos de Joule para mostrar la equivalencia entre calor y trabajo.

Es importante distinguir entre *calor*, *temperatura* y *energía térmica*. Estas tres ideas están relacionadas, pero las distinciones entre ellas son cruciales.

La energía térmica es la energía que tiene un objeto porque sus átomos y moléculas se están moviendo y vibrando como pequeños resortes. Es una forma de energía que siempre está presente en el objeto, incluso si está aislado



El **trabajo** es la energía que se mueve de un lugar a otro cuando empujas o jalas algo. Por ejemplo, si empujas un carrito de juguete y lo haces moverse, estás haciendo trabajo porque estás usando fuerza para moverlo.

Un **sistema** es un conjunto de elementos que interactúan entre ellos y con su entorno, distinguiéndose del medio ambiente que los rodea. Por ejemplo, un árbol es un sistema, y todo lo demás es su entorno. Dentro del árbol, hay interacciones como el transporte de agua desde las raíces hasta las hojas. También hay interacciones con el entorno, como la luz del sol que llega a las hojas.

Definición de energía térmica (E_t)

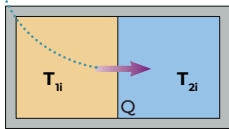
y no recibe ni pierde calor. Podemos hablar de cómo cambia esta energía cuando el objeto se calienta o se enfría.

Definición de Calor (Q)

Las colisiones entre átomos transfieren energía del sistema más cálido al más frío, lo que se conoce como calor.

Es la energía que se transfiere entre un objeto y otro cuando están en contacto. El calor no es un tipo específico de energía, y no tiene sentido hablar de cuánto cambia el calor. Si un objeto no está en contacto con nada que le dé energía en forma de calor, no hay transferencia de calor ($Q = 0$). El calor puede hacer que la energía térmica de un objeto cambie, pero eso no significa que el calor y la energía térmica sean lo mismo.

Definición de temperatura (T)



La temperatura es una propiedad intrínseca de un objeto, nos dice qué tan caliente o frío está el objeto. No hemos dado una definición exacta de temperatura, pero tiene que ver con la energía de cada molécula. Cuando existe transferencia de calor de un objeto a otro, como consecuencia puede haber un aumento o disminución de temperatura.

El equilibrio térmico ocurre cuando dos sistemas tienen la misma temperatura.



Fig 2.36 Dos sistemas en contacto intercambian energía térmica.

Cuando dos objetos están en contacto físico directo, como el cautín y la placa de circuito, el calor se transfiere por **conducción**. La energía se transfiere por contacto directo.

Es muy importante no confundir el aumento de la temperatura con el calor únicamente. Cuando calentamos un objeto, hacemos que aumente su temperatura, pero esta no es la única forma de hacerlo más caliente. Joule demostró que también podemos aumentar la temperatura de un objeto al trabajar sobre él, como cuando empujamos o jalamos algo. De manera similar, al frotar nuestras manos sentimos fricción: la energía del movimiento se convierte en calor. Al observar que un objeto se calienta, no podemos saber exactamente cómo entró o salió la energía del mismo.

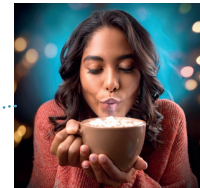
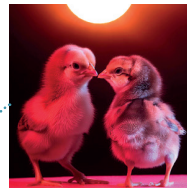
Te sientes más cálido cuando te da el sol y más frío cuando estás sentado en un banco de metal o cuando sopla el viento, especialmente si tienes la piel mojada. Esto se debe a la transferencia de calor. Aunque hemos hablado mucho sobre el calor, debes saber que este se transfiere de manera espontánea del objeto más caliente al más frío. Existen cuatro mecanismos básicos mediante los cuales los objetos intercambian calor con su entorno: **conducción, convección, radiación y evaporación** (Fig 2.37).



Las corrientes de aire cerca de una llama se forman debido a los gases calientes que ascienden durante la combustión. Este fenómeno, conocido como **convección**, implica la **transferencia de energía térmica a través del movimiento de moléculas con alta energía térmica**.



La lámpara de arriba ilumina a los pollitos acurrucados debajo, y los calienta. La energía se transfiere por **radiación**. La energía se transmite mediante ondas electromagnéticas (luz).



Al soplar una taza de té o café caliente, se enfría por **evaporación**. La energía se transfiere eliminando las moléculas con alta energía térmica.

Fig 2.37 Mecanismos de intercambio de calor.

Una vez mencionados los mecanismos de transferencia de calor, nos enfocaremos en la **conducción térmica**, que es una propiedad de los materiales. Si sostienes una cuchara de metal en una taza de café caliente, podrás sentir que el mango de la cuchara pronto se calienta. Esto sucede porque la energía térmica o el calor del café se mueve a lo largo de la cuchara hasta tu mano. La diferencia de temperatura entre el café caliente y la mano hace que el calor se transfiera del café a la cuchara, y este proceso se llama conducción.

La conducción térmica es la transferencia de energía térmica directamente a través de un material sólido.

Definición de conducción térmica

En la **Fig 2.38** se muestra una barra de metal colocada entre un fuego y un bloque de hielo. Como todo está compuesto por pequeñas partículas llamadas átomos, para entender cómo se mueve el calor a lo largo de la barra, debemos considerar cómo estos átomos interactúan. Los átomos en el extremo caliente, que están muy activos y se mueven rápidamente, transfieren su energía a los átomos en el extremo frío, que están más tranquilos y se mueven más lentamente. Es como si los átomos calientes transmitieran su energía a los átomos fríos, equilibrando así la temperatura a lo largo de la barra.

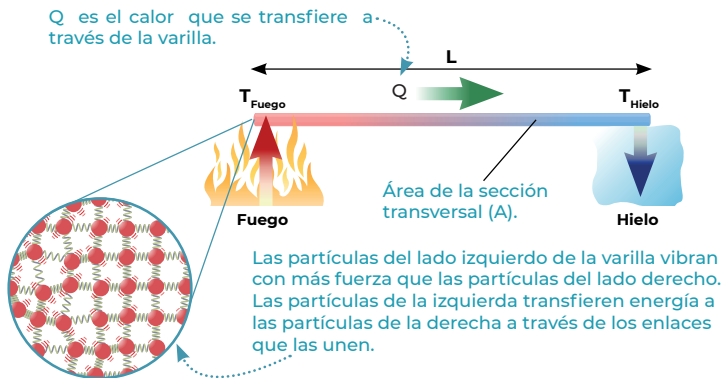


Fig 2.38 Conducción de calor en una varilla sólida.

E Experimentemos con calor

Imaginemos que hacemos algunos experimentos para medir cuánto calor se transfiere a través de diferentes varillas.

- Q aumenta si aumenta la diferencia de temperatura ΔT entre el extremo caliente y el extremo frío.
- Q aumenta si se aumenta el área de la sección transversal A de la varilla
- Q disminuye si se aumenta la longitud L de la varilla.
- Algunos materiales (como los metales) transfieren calor con bastante facilidad. Otros materiales (como la madera) transfieren muy poco calor.



Cuando cortas una salchicha, la figura que se observa es redonda. Por lo tanto, su sección transversal tiene forma circular y su área se puede calcular con la fórmula:

$$A = \pi r^2$$

Donde r es el radio del círculo.



Fig 2.39 Moviendo una olla caliente.

Cuando pruebas una sopa caliente, generalmente utilizas una cuchara de madera o de plástico en lugar de una de metal (Fig 2.39). Estas observaciones experimentales sobre la conducción del calor se pueden resumir en una sola ecuación. Si queremos saber cuánto calor (Q) se transfiere en un período de tiempo (dt), podemos calcular la rapidez a la que ocurre esta transferencia de calor. La velocidad de propagación del calor se mide en unidades de julios por segundo ($J.s$). Para un material que tiene un tamaño definido, digamos un área (A) y una longitud (L), y que hay una diferencia de temperatura (ΔT) a lo largo de él, podemos calcular la rapidez a la que se transfiere el calor de la siguiente manera:

dx : se usa para indicar un cambio infinitesimal de algo, es decir, un cambio muy pequeño. En este caso del calor y del tiempo.

$$\frac{dQ}{dt} = kA \frac{\Delta T}{L}$$

Tasa de conducción del calor a través de una diferencia de temperatura.

Material	k (W/m.K)
Diamante	1000
Plata	420
Cobre	400
Hierro	72
Acero inoxidable	14
Hielo	1.7
Concreto	0.8
Plato de vidrio	0.75
Piel	0.5
Músculo	0.46
Grasa	0.21
Madera	0.2
Alfombra	0.04
Piel, Plumas	0.02 - 0.06
Aire (27°C, 100 kPa)	0.026

Tabla 2.3 Valores de conductividad térmica (medidos a 20 °C).

La cantidad k nos dice si un material puede llevar el calor de manera rápida o lenta. Se llama *conductividad térmica*. Si un material tiene una alta conductividad térmica, significa que puede llevar el calor muy rápido. Imagina que el calor es como un mensaje, y el material es como un mensajero. Si el mensajero es muy rápido, llevará el mensaje rápidamente. En la Tabla 2.3 podemos ver los valores de k para diferentes materiales. Si un número k es más grande, significa que el material puede llevar el calor mejor. Es como si dijéramos que un corredor tiene un número k más grande.

Los enlaces débiles entre las moléculas hacen que la mayoría de los *materiales biológicos* sean malos conductores del calor, como cuando la grasa del cuerpo es peor conductora que el músculo, por lo que los mamíferos marinos tienen gruesas capas de grasa como aislamiento. Los cuerpos de los mamíferos terrestres están aislados con pelaje y los de las aves, con plumas. Tanto el pelaje como las plumas atrapan una gran cantidad de aire, por lo que su conductividad es similar a la del aire.

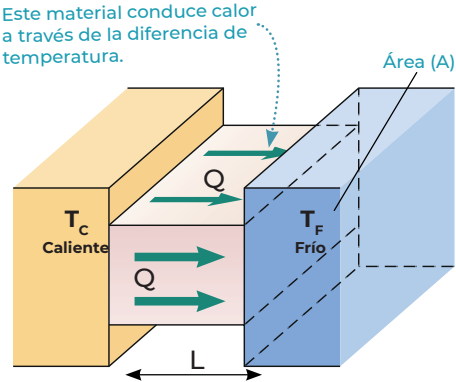


Fig 2.40 Conducción de calor a través de un sólido.

La Fig 2.40 muestra un objeto colocado entre dos temperaturas, una más alta (T_c) y otra más baja (T_F). La diferencia de temperatura hace que la energía en forma de calor se transfiera del lado caliente al lado frío. No es sorprendente que se transfiera más calor si $\Delta T = T_c - T_F$ es mayor. Un material con una sección transversal mayor (A) como una tubería más gruesa, transfiere más calor. En cambio, un material más grueso aumenta la distancia (L) entre las fuentes de calor y frío, lo que disminuye la tasa de transferencia de calor. Si se transfiere una pequeña cantidad de calor dQ en un pequeño intervalo de tiempo dt la tasa de transferencia de calor es dQ/dt . Este cociente indica

cuánto calor se transfiere por unidad de tiempo, es decir, cuán rápido entra o sale el calor de un sistema. No todos los materiales son buenos para llevar el calor de la misma manera, algunos tienen baja *resistencia térmica* y conducen el calor muy bien, mientras que otros tienen alta resistencia térmica y no lo hacen tanto.

La resistencia térmica es la capacidad de un material para resistir el flujo de calor a través de él.

Definición de resistencia térmica

El concepto y la medición de la resistencia térmica se utilizan para comprender mejor cómo se transfiere el calor en diversas situaciones. Los técnicos e ingenieros emplean la resistencia térmica para calcular la transferencia de calor a través de los materiales que componen una construcción. Una capa de construcción con una alta resistencia térmica (lana de roca) es un buen aislante; uno con una resistencia térmica baja (hormigón) es un mal aislante.

La cantidad de calor que atraviesa un bloque depende de dos factores: la diferencia de temperatura entre los extremos del bloque y la resistencia térmica del material, si la diferencia de temperatura es grande y el material tiene baja resistencia térmica, una cantidad significativa de calor pasará rápidamente a través de él. En cambio, si el material presenta alta resistencia térmica, solo una pequeña cantidad de calor lo atravesará, incluso con una gran diferencia de temperatura.

La resistencia térmica facilita la resolución de problemas complejos, analizaremos la resistencia de tres materiales diferentes para ilustrar su utilidad. Supongamos que queremos calcular el flujo de calor a través de una pared compuesta de tres materiales diferentes, y conocemos las temperaturas superficiales en cada superficie exterior, T_A y T_B , así como las propiedades y geometrías de los materiales, es decir, su longitud y área (**Fig 2.41**).



La **resistencia térmica** es **inversa** de la **conductividad térmica**. Un material que tiene una alta conductividad térmica significa que es muy buen conductor del calor, a la inversa que si tiene mucha resistencia térmica, significaría que es mal conductor del calor.

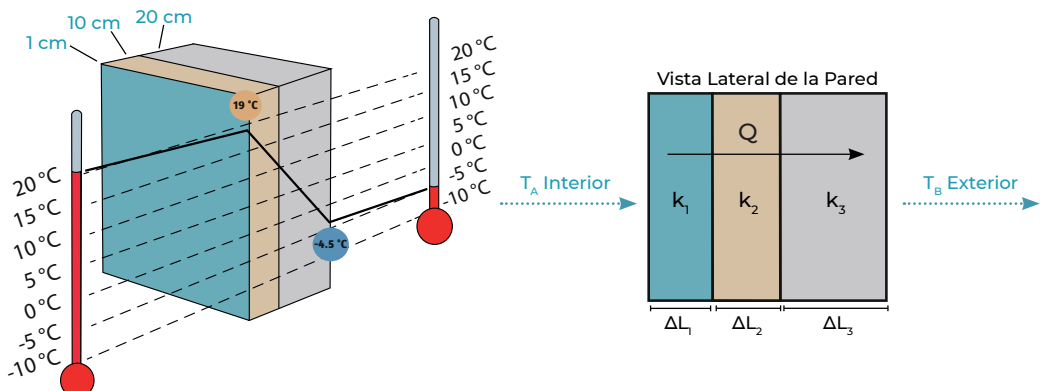


Fig 2.41 Transmisión del calor por tres materiales diferentes.

La resistencia térmica (R_T) está definida en términos del calor (Q) y la diferencia de temperatura (ΔT).

Diferencia de temperatura de las dos caras del material. Temperatura del lado más caliente menos la del lado más frío ($T_{\text{calor}} - T_{\text{frío}}$).

$$Q = \frac{\Delta T}{R_T} \rightarrow R_T = \frac{\Delta T}{Q}$$

Despejando R_T

$$R_T = \frac{\Delta T}{kA}$$

Grosor del material

$$R_T = \frac{\Delta L}{kA}$$

Conductividad térmica del material.

Área de la sección transversal a través de la cual el calor fluye.



Cuando los materiales están dispuestos en paralelo, se organizan de manera que el calor puede fluir a través de múltiples caminos simultáneamente. Una pared compuesta por diferentes materiales colocados uno al lado del otro, en lugar de uno sobre otro como en una disposición en serie. Cada material en paralelo proporciona una ruta alternativa para la transferencia de calor. Por lo tanto, la resistencia térmica total en paralelo (R_T) se calcula como: $R_T = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots$

Por lo tanto, la resistencia térmica total de los tres materiales sería la suma de las resistencias térmicas individuales de cada material, ya que están en serie, y el calor transferido sería:

$$R_{T,Total} = \frac{\Delta L_1}{k_1 A_1} + \frac{\Delta L_2}{k_2 A_2} + \frac{\Delta L_3}{k_3 A_3}$$

$$Q = \frac{T_B - T_A}{R_{T,Total}}$$

A medida que un material se calienta, no solo se transfiere calor, sino que también se expande, un fenómeno conocido como *dilatación térmica*. Este comportamiento es crucial en aplicaciones donde las propiedades térmicas afectan la estabilidad y el rendimiento estructural, ya que la expansión térmica puede influir en la integridad y funcionalidad del material.

Cuando los objetos se calientan, se vuelven más grandes, esta expansión es la razón por la que el líquido (mercurio Hg) sube en un termómetro y por la que las tuberías, carreteras y puentes tienen partes móviles específicas para permitir que se expandan sin romperse. La Fig 2.42 muestra un objeto de longitud L que se hace más largo, es decir, cambia a un ΔL , cuando la temperatura cambia de T a $T + \Delta T$, en la mayoría de los sólidos, la cantidad que cambia, conocida como *cambio fraccional de longitud* ($\Delta L/L$), aumenta o disminuye en proporción al cambio de temperatura (ΔT). También existe un coeficiente de proporcionalidad que depende del tipo del material.

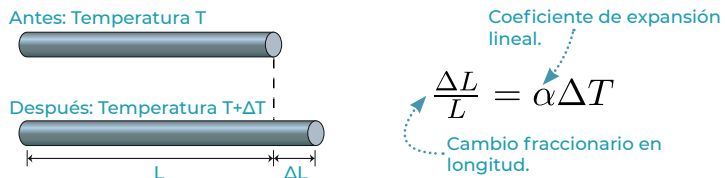
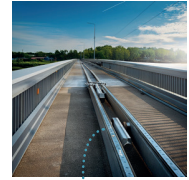


Fig 2.42 Cambio en la longitud de un objeto con la variación de temperatura.

Cuando se aumenta la temperatura de un objeto, este se expande debido a que el calor transferido incrementa la vibración de las partículas dentro del objeto, lo que provoca que choquen y se desplacen, sumando estos pequeños desplazamientos para alterar el tamaño original del objeto. Este fenómeno se cuantifica mediante el *coeficiente de expansión lineal*, representado por la letra griega α (alfa). Este coeficiente indica cuánto se expande o se contrae el material en respuesta a los cambios de temperatura: si la temperatura aumenta, el objeto se hace más grande (ΔL es mayor 0); si la temperatura disminuye, el objeto se hace más pequeño. Si la temperatura baja (ΔL es menor que 0). Un ejemplo práctico de este fenómeno es la utilización de juntas de dilatación en puentes y carreteras, que permiten que las estructuras se expandan y contraigan sin sufrir daño (Fig 2.43).



Junta de Dilatación.

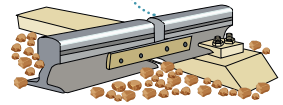


Fig 2.43 Juntas de dilatación.

La **Tabla 2.4** nos muestra los coeficientes de expansión lineal para algunos materiales comunes, incluyendo una aleación metálica llamada *invar*, que se ha diseñado específicamente para tener una expansión térmica extremadamente baja. El cambio fraccionario de longitud no tiene unidades específicas, así que el coeficiente α se mide en $^{\circ}\text{C}^{-1}$, que se lee como “por grado Celsius”. Aunque también se puede usar K^{-1} , ya que un cambio de temperatura ΔT es el mismo tanto en $^{\circ}\text{C}$ como en Kelvin (K), la mayoría de las mediciones se hacen en $^{\circ}\text{C}$ en la práctica.

Material	$\alpha (^{\circ}\text{C}^{-1})$
Aluminio	2.3×10^{-5}
Latón	1.9×10^{-5}
Hormigón	1.2×10^{-5}
Acero	1.1×10^{-5}
Invar	0.09×10^{-5}

Tabla 2.4 Coeficientes de expansión lineal.

La expansión de volumen se trata de la misma manera. Si el volumen de un objeto cambia en ΔV cuando la temperatura cambia en ΔT , el cambio fraccional en el volumen es:

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T$$

Coeficiente de expansión volumétrica.

donde β (letra griega “beta”) es el coeficiente de expansión de volumen del material. Por otro lado, los líquidos toman la forma de su recipiente, por lo que se mide su expansión en volumen, no en longitud. En la (Tabla 2.4 y 2.5) se muestran algunos valores, donde se puede ver que β tiene unidades de $^{\circ}\text{C}^{-1}$, igual que α . Los sólidos se expanden en las tres direcciones (ancho, largo y alto), y eso hace que su volumen cambie. Imagina un cubo con una arista de longitud L y volumen $V = L^3$. Si la longitud de la arista cambia un poquito, es decir, ΔL , el volumen cambia en:

$$dV = 3L^2 dL$$

En otras palabras, el cambio en el volumen es tres veces el cambio en la longitud de los lados. Por tanto, β de un sólido es, $\beta_{\text{sólido}} = 3\alpha$. Puede que hayas notado que la **Tabla 2.5** no incluye el agua. El agua es muy común, pero tiene propiedades especiales debido a su estructura molecular.

Material	$\beta (^{\circ}\text{C}^{-1})$
Gasolina	9.6×10^{-4}
Mercurio	1.8×10^{-4}
Alcohol etílico	1.1×10^{-3}

Tabla 2.5 Coeficientes de expansión volumétrica.

Normalmente, cuando enfriamos algo, su volumen se reduce. Esto pasa con el agua hasta que alcanza los 4°C. Sin embargo, si seguimos enfriando el agua desde los 4°C hasta que se congela a 0°C, ¡el volumen del agua en realidad aumenta! El agua tiene su mayor densidad a 4°C, y una densidad un poco menor (porque su volumen se expande) tanto a temperaturas más altas como más bajas. Por eso, no podemos usar un solo número para describir cómo se expande el agua cuando cambia de temperatura.

E Ejemplo 2.1

Imagina que están construyendo un nuevo puente cerca de tu casa. Te das cuenta de que están colocando dos tramos de concreto que, juntos miden $L_i = 250$ m de largo, uno pegado al otro sin dejar espacio para que no se puedan expandir si cambia la temperatura (**Fig 2.44a**). Ahora, si la temperatura sube porque el sol calienta el concreto, estos tramos podrían empezar a curvarse hacia arriba en un efecto llamado pandeo, porque no tienen espacio para expandirse horizontalmente. Si esto pasa, podría ser peligroso (**Fig 2.44b**). Quieres advertir al equipo de construcción sobre este riesgo, así que decides calcular cuánto se levantarían estos tramos si la temperatura subiera $\Delta T = 20.0$ °C. Esto te permitirá determinar la altura “ y ” que alcanzaría esa curvatura en el puente.

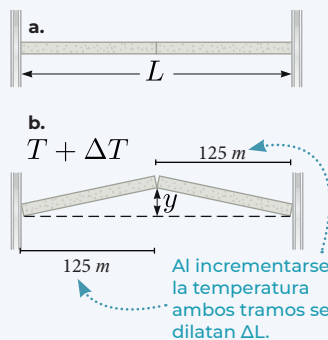


Fig 2.44 Expansión de un puente de concreto.

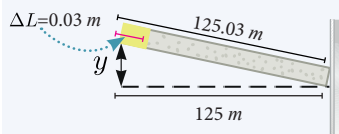


Fig 2.45 Aplicación teorema de Pitágoras.

Inicialmente, calculamos la expansión térmica lineal, sabiendo que el coeficiente de dilatación lineal del concreto: $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

$$\frac{\Delta L}{L_i} = \alpha \Delta T$$

$$L_f - L_i = L_i \alpha \Delta T$$

$$L_f = L_i [1 + \alpha \Delta T]$$

$$L_f = 125 \text{ m} [1 + 12 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} (20^\circ\text{C})]$$

$$L_f = 125.03 \text{ m}$$

Utilizando el teorema de Pitágoras para calcular la altura y (**Fig 2.45**).

$$y = \sqrt{(125.03 \text{ m})^2 - (125 \text{ m})^2}$$

$$y = \sqrt{7.5 \text{ m}^2}$$

$$y = 2.74 \text{ m}$$



Fig 2.46 Proceso de fundición de metal.

Se ha observado que, a medida que un material se calienta, su expansión térmica puede acercarlo a su punto de fusión, donde cambia de estado sólido a líquido. Entender la dilatación es crucial para prever la fusibilidad y evitar fallos estructurales en condiciones de alta temperatura. La fusibilidad es la facilidad con que un material puede derretirse o fundirse, es decir pasa de ser sólido a líquido (**Fig 2.46**). Algunos materiales como el metal,

el vidrio o los plásticos se funden fácilmente cuando se calientan. Saber qué tan fácil o difícil es que un material se derrita es muy importante para cosas como la soldadura, donde es esencial que el material utilizado para unir otras piezas tenga un punto de fusión más bajo que los materiales a unir (Bocangelino Letona & Camilla Huaman, 2024). Para soldaduras blandas, se emplean aleaciones de plomo y estaño, mientras que para soldaduras duras se utilizan materiales como plata, cobre o zinc. Cuando se calienta un material, sus partículas comienzan a moverse más rápido; a medida que la temperatura aumenta, las partículas se mueven tanto que rompen las fuerzas que mantienen el material en estado sólido, provocando su fusión. Cada material se funde a una temperatura específica, conocida como punto de fusión. Los materiales con buena fusibilidad suelen tener buena soldabilidad (Fig 2.47).

Los metales no ferrosos, como el plomo y el estaño, son ideales para soldadura, ya que se unen fácilmente con poco calor; hay otros metales, como el magnesio y el aluminio, también se sueldan bien, pero requieren gases especiales para evitar la oxidación y asegurar una soldadura adecuada. En el caso de los materiales ferrosos, el acero, especialmente el de bajo carbono, se suelda con facilidad, sin embargo, el alto contenido de carbono puede debilitar el acero. En el caso de los aceros inoxidable, el cromo puede inducir oxidación, pero existen técnicas para soldarlos sin problemas. El hierro también se suelda bien, aunque el tipo de hierro puede influir en el proceso. Para una soldadura óptima, es recomendable usar metales con alto contenido de níquel, lo que facilita el proceso.

Propiedades mecánicas

Estas propiedades son muy importantes porque nos indican cómo se comportan los materiales cuando los empujamos o estiramos (Área Tecnología, s.f.). A continuación, hablaremos de algunas de ellas.

La *rigidez* y la *resistencia mecánica* son propiedades clave de los materiales en ingeniería y diseño estructural. La rigidez se refiere a la capacidad de un material para resistir deformaciones bajo la aplicación de fuerzas externas; un material rígido se deforma muy poco cuando se le aplica una carga (Fig 2.48). Por otro lado, la resistencia mecánica es la capacidad del material para soportar fuerzas sin romperse o sufrir fallos estructurales. Esta resistencia se evalúa en términos de diferentes tipos de esfuerzos, como la tracción, la compresión y la torsión.

Mientras que la rigidez está más relacionada con la elasticidad y la deformación, la resistencia mecánica se enfoca en la capacidad del material para soportar cargas y resistir fallos. Ambos conceptos son fundamentales para garantizar la seguridad y durabilidad de estructuras y componentes en una amplia gama de aplicaciones. En el capítulo 4, estudiaremos estos esfuerzos con más detalle.

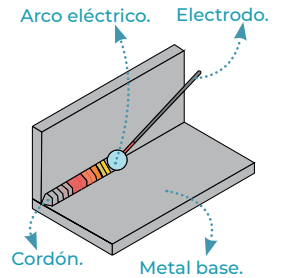


Fig 2.47 Proceso de soldadura.



El **punto de fusión** es esencial en la soldadura, ya que determina la temperatura para unir materiales de forma fuerte y duradera. También es crucial para verificar la pureza de sustancias: las puras se derriten a una temperatura específica y alta, mientras que las impuras lo hacen en un rango más amplio y a temperaturas más bajas.

El acero es muy rígido, lo que significa que se deforma muy poco cuando se le aplica una carga.



Fig 2.48 Acero estructural en vigas de edificios.

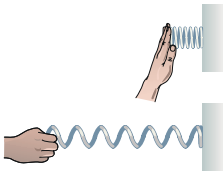
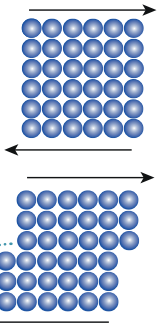


Fig 2.49 Estiramiento de un resorte.



Deformación

Fig 2.50 Deformación plástica del material.



Creado con Adobe Firefly

Fig 2.51 Arcilla.

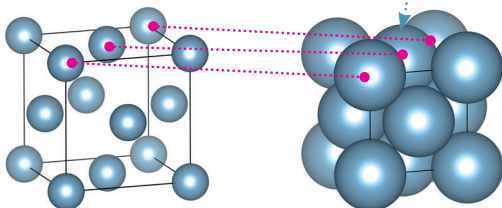


Fig 2.52 Estructura cúbica centrada en las caras del aluminio (Al).

Por otro lado, la *elasticidad* es la capacidad de un material para volver a su forma original después de que dejamos de aplicarle una fuerza que lo deformó. Por ejemplo, si estiras una liga y luego la sueltas, vuelve a su forma original. De manera similar, los resortes de un juguete saltarín se pueden estirar, pero al soltarlos, regresan a su tamaño normal (**Fig 2.49**).

La *plasticidad*, aunque relacionada con la elasticidad, no es su opuesto. Un *material elástico* puede recuperar su forma original después de ser deformado, pero si se supera un cierto límite, el material permanecerá deformado. En ese caso, decimos que el material ha mostrado un comportamiento plástico, una forma de deformación plástica es el desplazamiento de dislocaciones, las dislocaciones son imperfecciones en la estructura interna de los materiales, recuerda que la estructura interna es como están distribuidos los átomos formando las estructuras cristalinas. Cuando se aplica una presión sobre el material, estas dislocaciones pueden moverse, permitiendo que las capas de átomos se deslicen entre sí, este movimiento resulta en una deformación plástica del material (**Fig 2.50**). La plasticidad es crucial para diseñar y fabricar componentes que puedan soportar deformaciones sin fracturarse, como en la industria automotriz, aeroespacial, y de construcción. Algunos de los materiales característicos plásticos son: plastilina, arcilla, alambre, entre otros (**Fig 2.51**).

En contraste con la plasticidad, la *maleabilidad* es una característica física de los metales que define su capacidad para ser martillados, prensados o enrollados en láminas delgadas sin romperse. Es decir, es la capacidad de un metal para deformarse bajo presión (esfuerzo de compresión) y adoptar una nueva forma sin fracturarse, esta propiedad es crucial en la fabricación de productos metálicos, ya que permite la creación de hojas y estructuras curvas. Por ejemplo, el oro es extremadamente maleable y puede convertirse en pan de oro, mientras que el hierro y el aluminio también presentan alta maleabilidad y se utilizan ampliamente en la industria.

A nivel molecular, esto significa que cuando se aplica presión a un metal maleable, los átomos dentro del metal pueden rodar unos sobre otros y cambiar de posición sin romper sus enlaces, esta capacidad de movimiento es lo que permite que el metal cambie de forma permanentemente. Los metales son maleables debido a la forma en que sus átomos están organizados en su estructura cristalina, existiendo ocho tipos de estructuras cristalinas en la materia. A continuación, hablaremos de una de ellas: la cúbica centrada en las caras, que es la estructura del aluminio (**Fig 2.52**).

Para entender la estructura cúbica centrada en las caras, imaginemos una caja llena de pelotas apiladas de manera ordenada, en la que las pelotas pueden moverse fácilmente unas sobre otras cuando presionamos la caja. Esto permite que el metal se doble y se estire sin romperse. La maleabilidad de un metal puede variar según la temperatura, las impurezas y otros factores. Por ejemplo, algunos metales se vuelven más maleables cuando se calientan, lo que significa que su capacidad para ser doblado y moldeado puede cambiar dependiendo de las condiciones (Fig 2.53). Los metales como el oro, la plata, el magnesio y el cobre son muy maleables debido a sus estructuras cristalinas compactas, que facilitan el deslizamiento de los átomos. En contraste, el vanadio y el cromo, con estructuras cristalinas más abiertas, son menos maleables y más resistentes a la deformación. El acero, por su parte, puede variar en maleabilidad según su composición y tratamiento, pero suele ser menos maleable que los metales puros.



Fig 2.53 Acero maleable.



Un **material amorfo** no tiene una estructura ordenada o regular. En lugar de átomos organizados en patrones repetitivos, sus átomos están distribuidos de manera desordenada.

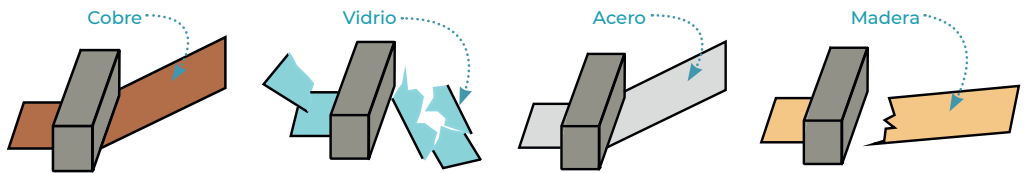


Fig 2.54 Maleabilidad de diferentes materiales.

Una propiedad complementaria de la maleabilidad es la *ductilidad*, que es la capacidad de un material para estirarse en hilos o alambres sin romperse. Esta propiedad es especialmente importante en metales como el cobre y el aluminio, que se utilizan para fabricar cables eléctricos. La ductilidad de estos metales proviene de su estructura cristalina, que permite el deslizamiento de átomos, facilitando su estiramiento sin romperse. Cuando tiras de ella, se estira. Si la goma es buena, puedes estirla mucho antes de que se rompa. Los metales dúctiles, al igual que una goma elástica, se estiran, pero en lugar de solo alargarse, pueden formarse en hilos muy finos (Fig 2.55).

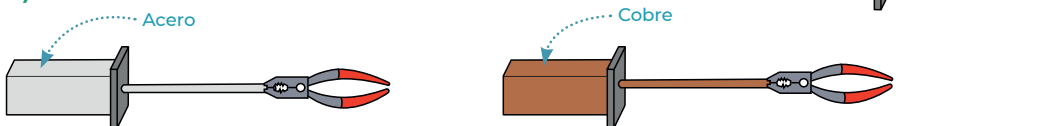


Fig 2.55 Ductilidad de diferentes materiales.

Definición de dureza

Es la capacidad de un material para resistir ser rayado por otro material.

Una propiedad mecánica adicional es la *dureza*. Es como si jugaras a ver cuál de tus lápices puede hacer una marca en otro sin romperse. El diamante es el material más duro que existe. ¿Sabías que solo otro diamante puede rayar un diamante? Es así de fuerte y resistente. Para saber qué tan duro es un material, los científicos usan algo llamado la escala de Mohs. Esta escala va del 1 al 10, donde 1 es el material más blando y 10 es el más duro (Fig 2.56).

1 en la escala de Mohs: Talco (muy blando, puedes rayarlo con tu uña).



Fig 2.56 Escala de dureza de Mohs.

La escala de dureza de Mohs, creada por el mineralogista alemán Friedrich Mohs en 1812, es una de las formas más antiguas de medir la dureza de los materiales (Solans & Domenech, 1978). Este ensayo de dureza implica observar si un material puede ser rayado por otro de dureza conocida. La dureza de los materiales es crucial en diversas aplicaciones. Por ejemplo, los joyeros necesitan esta información para cortar y pulir piedras preciosas sin dañarlas. En ingeniería, la dureza de un metal determina su resistencia a la deformación bajo presión, lo que es vital para la durabilidad de productos como coches y edificios. Las mediciones importantes de dureza son:

Dureza al rayado: Mide qué tan difícil es rayar una muestra debido a la fricción con un objeto afilado. Usamos la escala de Mohs para medirla.

Dureza de penetración: Mide qué tan resistente es una muestra a la deformación cuando se le aplica presión constante. Se usan escalas como Rockwell, Vickers, Brinell y Shore.

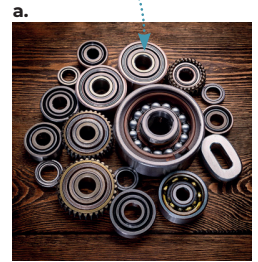
Dureza por rebote: Mide la altura a la que rebota un martillo con punta de diamante cuando cae sobre un material. Utilizamos pruebas como la de Leeb y la escala de Bennett.

Hemos discutido la dureza de un material, una característica que define su capacidad para resistir la deformación permanente y el rayado. Ahora, es importante explorar otra propiedad fundamental: la *tenacidad* es una característica de los materiales que les permite absorber una gran cantidad de energía de deformación antes de romperse. Por ejemplo, los minerales tenaces son aquellos que resisten mejor a ser rotos, molidos, desgarrados o suprimidos.

A diferencia de la dureza, que se centra en la resistencia superficial, la tenacidad está relacionada con la capacidad de un material para soportar impactos y tensiones sin fracturarse. La tenacidad de un material se relaciona con la fuerza de unión entre sus moléculas, pero no debe confundirse con su resistencia mecánica, elasticidad o fragilidad. Los materiales tenaces pueden deformarse antes de romperse, especialmente cuando se estiran desde dos extremos opuestos, como al aplicar fuerzas de tracción o tensión. Por ejemplo, los materiales utilizados en herramientas de corte, rieles de tren, engranajes y cojines de bronce suelen tener alta tenacidad (**Fig 2.57**).

Ejemplos de materiales tenaces incluyen el acero, cobre, hierro, materiales poliméricos como la madera y algunos plásticos, así como la caliza, el granito y el hormigón. La combinación de dureza y tenacidad en estos materiales los hace idóneos para diversas aplicaciones industriales y de construcción.

Estos componentes, utilizados en maquinaria industrial, necesitan ser tenaces para resistir el desgaste y los impactos durante su operación.



Las hojas de sierra y otras herramientas de corte están hechas de acero templado, un material lo suficientemente tenaz como para cortar otros materiales duros sin romperse.



Fig 2.57 (a) Engranajes y cojines de bronce. (b) Pulidora de corte.



Frágil se rompe en pedazos, pero eso no significa que no pueda resistir situaciones de baja tensión o impacto.

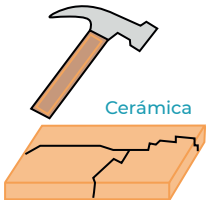


Fig 2.58 Materiales según su fragilidad.

Si la tenacidad se refiere a la capacidad de un material para resistir deformaciones sin romperse, la *fragilidad* representa su contraparte, describiendo la facilidad con la que un material puede quebrarse o fracturarse bajo tensión sin experimentar deformaciones significativas. Esta propiedad está asociada con la formación y propagación de grietas. Como ejemplos de materiales frágiles se incluyen el diamante, ladrillo, cristal y grafito. Cuanto menor sea la capacidad de un material para deformarse, mayor será su fragilidad. Los materiales elásticos y dúctiles, por otro lado, presentan baja fragilidad: los materiales elásticos pueden recuperar su forma original después de ser deformados, mientras que los materiales dúctiles pueden deformarse considerablemente sin romperse **Tabla 2.6**.

Material	Capacidad de deformarse	Fragilidad	Rigidez	Tipo de material
Diamante	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Frágil
Ladrillo	Baja	Alta	Alta	Frágil
Cristal	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Frágil
Grafito	Baja	Alta	Moderada	Frágil
Cerámica	Muy baja	Muy alta	Alta	Frágil
Porcelana	Muy baja	Muy alta	Alta	Frágil
Yeso	Baja	Alta	Moderada	Frágil
Madera	Moderada	Moderada	Baja a Moderada	Moderadamente frágil
Plástico rígido	Baja	Moderada	Alta	Moderadamente frágil
Caucho	Alta	Muy baja	Muy baja	Elástico (No frágil)
Acero	Moderada	Baja	Alta	Dúctil (No frágil)
Oro	Moderada	Baja	Baja	Dúctil (No frágil)
Cobre	Alta	Baja	Moderada	Dúctil (No frágil)
Aluminio	Alta	Baja	Moderada	Dúctil (No frágil)
Vidrio templado	Moderada	Moderada	Alta	Moderadamente frágil
Goma	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Elástico (No frágil)
Piedra	Baja	Alta	Alta	Frágil
Hielo	Muy baja	Muy alta	Moderada a Alta	Frágil
Polímero	Alta	Muy baja	Baja	Elástico (No frágil)
Fibra de vidrio	Moderada	Moderada	Alta	Moderadamente frágil

Tabla 2.6 Comparación de materiales según fragilidad, capacidad de deformación y rigidez.

Una forma de estudiar cómo se comportan los materiales es realizar pruebas directamente sobre ellos, una de las pruebas más significativas es el *ensayo de tracción*. Este ensayo es fundamental en la evaluación mecánica de los materiales, debido a su simplicidad, bajo costo y completa estandarización. El proceso consiste en aplicar una fuerza de tracción al material, es decir, estirarlo mediante una o varias fuerzas externas. La fuerza se incrementa gradualmente hasta que el material se rompe, lo que convierte este procedimiento en un ensayo de esfuerzo-deformación. Al estirar el material, se observa cómo responde a las fuerzas aplicadas que intentan extenderlo. Durante el proceso, se registran tanto la fuerza aplicada en cada momento como el alargamiento del material (**Fig 2.59a**). Estas pruebas se realizan principalmente en materiales dúctiles, como metales ferrosos y no ferrosos, plásticos, gomas, fibras, entre otros, que tienen la capacidad de deformarse permanentemente.

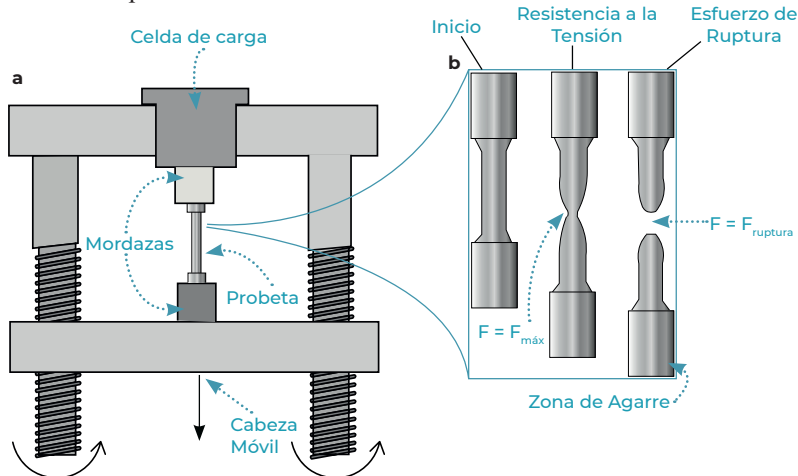


Fig 2.59 (a) Ensayo de Tracción. **(b)** Rompimiento de la probeta.

La ruptura de una probeta de acero muestra primero una zona elástica, donde el material se deforma pero puede recuperar su forma original al liberar la carga. La zona plástica comienza en el punto de fluencia, donde la deformación se vuelve permanente. Entre este punto y la fuerza máxima (F_{max}), la probeta se alarga uniformemente. En F_{max} , la probeta muestra su punto débil, concentrando la deformación en una zona específica donde se forma un cuello. Esta concentración impide que la carga siga aumentando, y al reducirse el área en esta zona, se produce la ruptura, con la fuerza de ruptura ($F_{ruptura}$). La **Fig 2.59b** muestra la probeta al inicio, en el punto de carga máxima y después de romperse. Diferentes materiales muestran comportamientos distintos durante los ensayos, y la fractura final de la probeta es un buen indicador de sus características. Existen tres tipos de fracturas, como lo muestra la **Fig 2.60**: la fractura frágil,

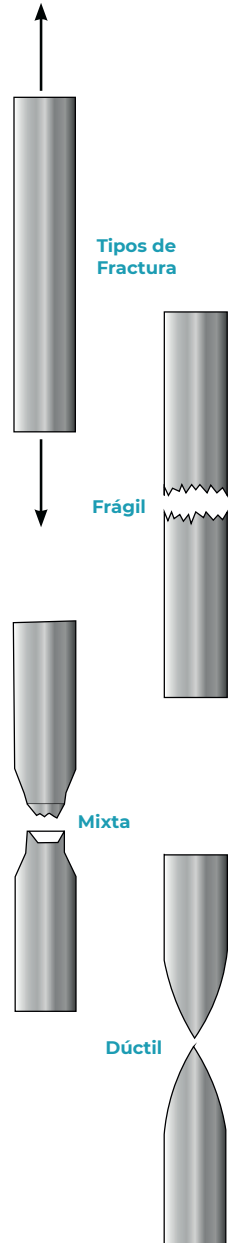


Fig 2.60 Tipos de Fractura.

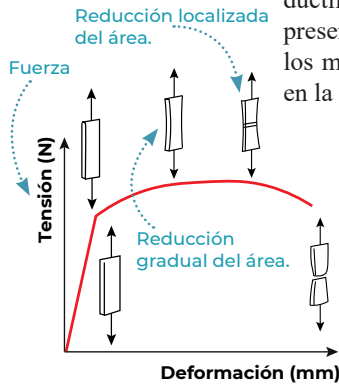


Fig 2.61 Diagrama Fuerza-Deformación.

que se caracteriza por poca deformación y un acabado brillante; la fractura dúctil, que muestra una gran cantidad de deformación y generalmente no presenta un acabado brillante; y la fractura mixta, común en la mayoría de los materiales metálicos, que combina zonas tanto dúctiles como frágiles en la misma fractura.

En el laboratorio, durante el ensayo de tracción, se registran los datos de fuerza (o carga) y el estiramiento de la probeta. Con estos datos, se puede elaborar una gráfica conocida como “Curva de Tensión-Deformación” (Fig 2.61). A partir de los valores de tensión (esfuerzo) y deformación (alargamiento) se calculan los valores de tensión y deformación que son independientes de las dimensiones del materiales, reflejando así sus características intrínsecas.

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

La unidad de tensión en el SI (sistema internacional) es el N/m² (Newton por metro cuadrado), aunque a veces por ser prácticos se expresa en Kg/mm² (milímetros cuadrados).

Una vez terminado el ensayo, se recoge la muestra rota y se mide su longitud final. Esta medida se compara con la longitud original para calcular la elongación (E_L). La elongación mide cuánto se alarga un material durante un ensayo de tracción antes de romperse. Se calcula como la diferencia entre la longitud final (L_f) y la longitud original de la probeta (L_0), dividida por la longitud original (Fig 2.62). Este valor indica la capacidad del material para estirarse o deformarse de manera plástica, proporcionando una medida de su ductilidad. Un material con alta elongación puede estirarse considerablemente antes de fracturarse, mientras que uno con baja elongación se rompe con menos deformación.

$$E_L = \frac{L_f - L_0}{L_0}$$

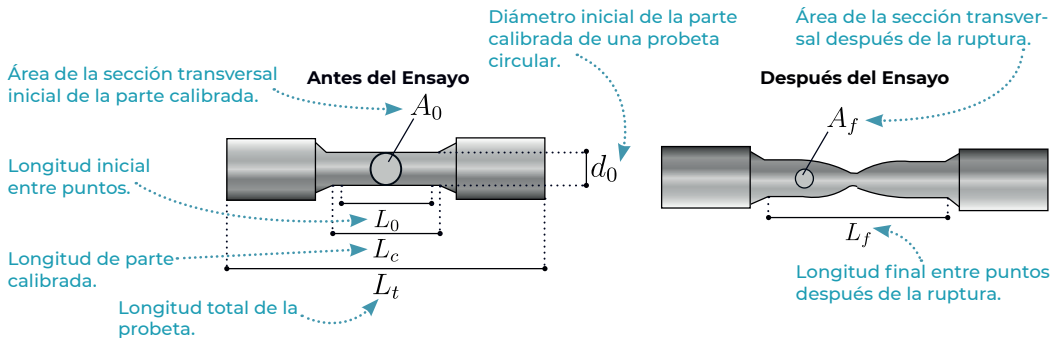


Fig 2.62 Dimensiones en la ruptura de la probeta.

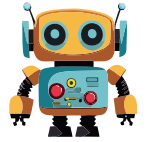
$$A_R = \frac{A_0 - A_f}{A_0}$$

Un parámetro importante es la reducción de área, que se refiere a la disminución del área de la sección transversal de una probeta durante un ensayo de tracción. A medida que el material se estira y deforma, especialmente en la zona de fractura, su sección transversal disminuye. La reducción de área.

se calcula comparando el área de la sección transversal original con la del área final en el punto de ruptura. Este parámetro proporciona una medida de la deformación plástica del material antes de fracturarse, ayudando a evaluar su ductilidad y capacidad de deformación. Finalmente, la última propiedad que abordaremos es la *fatiga*, un factor crucial a considerar, especialmente en materiales frágiles. Debido a su baja capacidad de deformación, los materiales frágiles tienden a ser más susceptibles a fallar por fatiga bajo condiciones de uso prolongado o repetitivo. Ejemplos de fatiga incluyen la fractura de un componente de avión tras muchas repeticiones de presión y descompresión, el agrietamiento de un puente por el tráfico constante, y el desgaste de una pieza de maquinaria debido a la exposición repetida a cargas.

Definición de fatiga

Se refiere a la falla de un material después de soportar cargas repetidas o cíclicas, incluso si estas son menores que la carga máxima soportada en un ensayo de tracción.



Para ampliar información sobre los ensayos de tracción o tensión, consulta estos libros; el tema también se tratará en el capítulo 4.

1. Carlos Nuñez; Antoni Roca; Jordi Jorba. Edicions Universitat Barcelona, 2013.
2. Gustavo Chang Nieto, & Pérez Avendaño Darwin. Editorial Unimagdalen, 2015.
3. José Vicente Abellán Nebot, and Carlos Vila Pastor. Marcombo, 2023.

Propiedades ópticas

El estudio de la luz y su comportamiento se llama óptica. Los primeros científicos griegos no diferenciaban entre luz y visión, pero con el tiempo se entendió que la luz es una forma de energía que existe independientemente de si alguien la está viendo o no. Newton, además de sus trabajos en matemáticas y mecánica, investigó la naturaleza de la luz y descubrió que se comporta como una onda (Hernández, 2025). Esto se puede entender observando cómo la luz se difracta y se dispersa al pasar por una abertura, indicando su naturaleza ondulatoria. ¿Que significa que la luz se comporta como una onda? Para entenderlo mejor, imagina lo siguiente: un rayo de luz que pasa a través de una pequeña rendija, como la luz del sol que se filtra por una persiana entreabierta (Fig 2.63). Cuando la luz atraviesa esta abertura, no solo sigue en línea recta, sino que se “dobla” alrededor de los bordes de la rendija y se extiende. Esto se llama *difracción*, es similar a cómo las olas del mar se curvan alrededor de un obstáculo como una roca.



Fig 2.63 Luz del sol que se filtra por una persiana entreabierta.

La separación de colores en el haz refractado ocurre porque la dispersión en el prisma hace que las distintas longitudes de onda de la luz se refracten en ángulos diferentes.

Ahora, imagina que la luz del sol, que por cierto es luz blanca, pasa a través de un prisma de cristal, el prisma es como un pedazo de vidrio triangular. La luz se separa en diferentes colores, como los del arco iris (Fig 2.64). Este fenómeno se llama *dispersión*. La luz blanca está compuesta por muchos colores diferentes, y cada uno se desvía (o refracta) de manera distinta al pasar por el prisma.

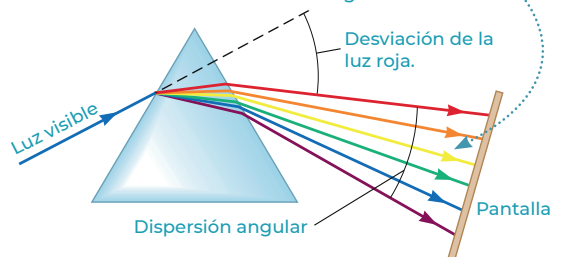


Fig 2.64 Dispersión de la luz en un prisma.

Un rayo de luz solar tiene un borde bien marcado.



Fig 2.65 La luz que pasa a través de un arco crea un borde afilado.

La **Fig 2.65** muestra como la luz solar proyecta sombras con bordes precisos, sin dispersarse en formas curvas al pasar por una abertura. Este comportamiento es consistente con la idea de que la luz está compuesta por pequeñas partículas que se mueven en línea recta, como si fueran proyectiles. Algunas partículas atraviesan la abertura e iluminan el suelo, mientras que otras son bloqueadas, creando sombras claramente definidas. Basado en estas observaciones, Newton concluyó que la luz estaba formada por partículas diminutas, rápidas y ligeras, a las que denominó corpúsculos (Newton, 1934 [1687]).

En 1801, el científico inglés Thomas Young realizó un experimento clave en el que descubrió que la luz puede interferir consigo misma, similar a como lo hacen las olas en el agua. Este experimento demostró que la luz se comporta como una onda. Posteriormente, los científicos identificaron que la luz es una forma especial de onda, conocida como *onda electromagnética*. Estas ondas son vibraciones de energía que no requieren un medio material para propagarse, lo que les permite viajar a través del vacío (o aire) del espacio (Young, 1802).

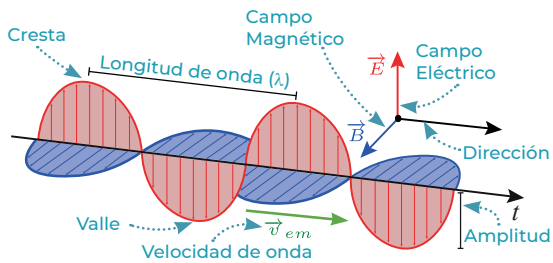


Fig 2.66 Onda electromagnética.

Para entender las ondas electromagnéticas, piensa en las ondas del océano. Estas son perturbaciones en el agua que producen vibraciones u oscilaciones. De manera similar, las ondas electromagnéticas también son oscilaciones, pero consisten en dos campos que oscilan perpendicularmente entre sí: un campo magnético y un campo eléctrico (**Fig 2.66**).

Podemos clasificar y ordenar las ondas electromagnéticas de acuerdo a sus diferentes longitudes de onda y frecuencias; llamamos a esta clasificación *espectro electromagnético* (**Fig 2.68**). Como podemos ver, el espectro visible es decir, la luz que podemos ver con nuestros ojos es tan solo una pequeña fracción de las diferentes clases de radiación que existen. A la izquierda del espectro visible, encontramos las clases de energía que son menores en frecuencia (y por lo tanto mayores en longitud de onda) que la luz visible. Estas clases de energía incluyen los rayos infrarrojos (ondas de calor emitidas por los cuerpos térmicos), las microondas y las ondas de radio. Estos tipos de radiación nos rodean constantemente; no son dañinos, pues sus frecuencias son muy bajas.

A la derecha de espectro visible, encontramos los rayos ultravioleta (UV), los rayos X y los rayos gamma. Estas clases de radiación son dañinas para los organismos vivos, pues tienen frecuencias extremadamente altas (y por lo tanto, mucha energía). Es por esta razón que usamos crema bloqueadora en la playa (para bloquear los rayos UV provenientes del sol) y que, para

prevenir que los rayos X penetren otras áreas del cuerpo distintas de la que requiere visualizarse, un técnico de rayos X coloca una placa de plomo sobre nosotros. Los rayos gamma son los más dañinos, pues son los más altos en frecuencia y en energía. Afortunadamente, nuestra atmósfera absorbe los rayos gamma que provienen del espacio, y así nos protege del daño.

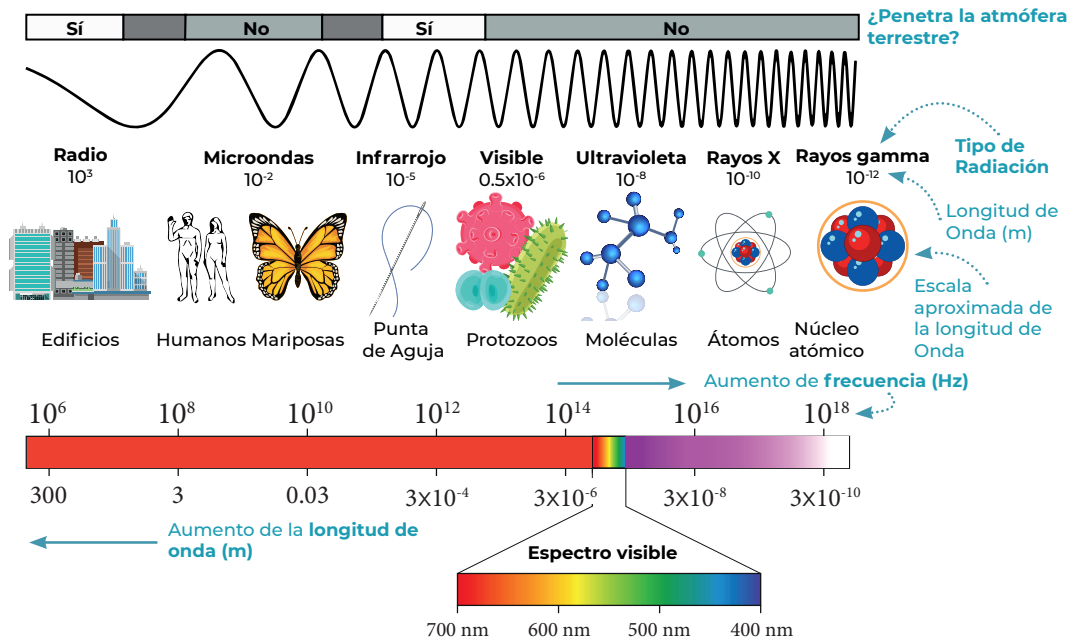


Fig 2.68 Espectro electromagnético de 10^6 Hz a 10^{18} Hz.

Las ondas electromagnéticas se mueven en el espacio y oscilan en un lugar determinado a medida que pasa el tiempo. La frecuencia de una onda indica cuántas longitudes de onda completas pasan por un punto en un segundo. La frecuencia se mide en hertz (Hz), que equivale a “por segundo” ($1/\text{s}$ ó s^{-1}). La longitud de onda y la frecuencia tienen una relación inversa: cuando la longitud de onda es más corta, la frecuencia es más alta, y viceversa. Esta relación se expresa con la siguiente ecuación:

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Donde:

- c : Velocidad de la luz ($3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$)
- λ : Longitud de Onda (m)
- ν : Frecuencia (Hz)

Esta relación refleja un hecho importante: toda la radiación electromagnética, sin importar su longitud de onda o frecuencia, viaja a la velocidad de la luz. Otra cantidad importante a considerar es el periodo de una onda, que es el tiempo que tarda una longitud de onda en pasar por un punto dado en

en el espacio. Matemáticamente, el periodo (T) es simplemente el inverso de la frecuencia (f): $T = 1/f$. Sus unidades son los segundos (s).



En física, las letras ν (letra griega “nu”) y f se usan para representar la frecuencia, pero no son exactamente lo mismo.

- ν : Es comúnmente utilizada en el contexto de ondas electromagnéticas, como la luz. Representa la frecuencia en unidades de hercios (Hz), que es el número de oscilaciones por segundo.

- f : También representa la frecuencia y es más común en general para cualquier tipo de ondas (como ondas sonoras).



Imagínate que la luz está hecha de muchísimas bolitas pequeñas que se llaman fotones. Estas bolitas son tan pequeñas que no las podemos ver, pero son las que hacen que podamos ver cosas cuando hay luz. Cada vez que enciendes una linterna, millones de fotones salen disparados de ella y viajan hasta tus ojos, permitiéndote ver.

La luz se entendía como una onda desde el siglo XVII, cuando Christiaan Huygens describió su naturaleza ondulatoria. La física clásica separaba la materia (con masa) de las ondas luminosas (sin masa), sin comprender bien su interacción. A principios del siglo XX, Max Planck descubrió que la energía de la radiación electromagnética está “*cuantizada*”, es decir, se transfiere en paquetes discretos llamados “*cuantos*” o fotones. La ecuación $E = h\nu$ (donde h es la constante de Planck) muestra que la frecuencia de una onda luminosa es proporcional a su energía. Este hallazgo revolucionó la física al revelar que la luz no solo se comporta como una onda, sino también como una colección de partículas llamadas fotones, que pueden transferir energía a átomos y moléculas al ser absorbidos o emitidos (Serway et al., 2006).

Actualmente, la luz se concibe como una dualidad *onda-partícula*, es decir, tiene propiedades tanto de onda como de partícula (Fig 2.69). Un ejemplo de esta dualidad es el *efecto fotoeléctrico*, que ocurre cuando la luz incide sobre un material, generalmente un metal, y provoca la emisión de electrones. En este fenómeno, la luz actúa como una corriente de partículas llamadas fotones. Cada fotón tiene una energía que depende de su frecuencia; cuando un fotón choca con un electrón en el material, si su energía es suficiente para superar la energía de enlace del electrón, este es liberado del átomo (Fig 2.70) (Griffiths & Schroeter, 2018).

Fotoelectrones

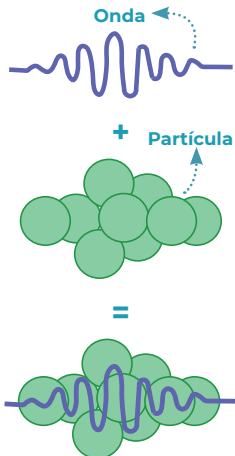
Electrones expulsados de la superficie.

Radiación electromagnética
(Fotones de luz)

Electrones

Superficie

Metal



Onda + Partícula
Fig 2.69 Dualidad onda partícula.

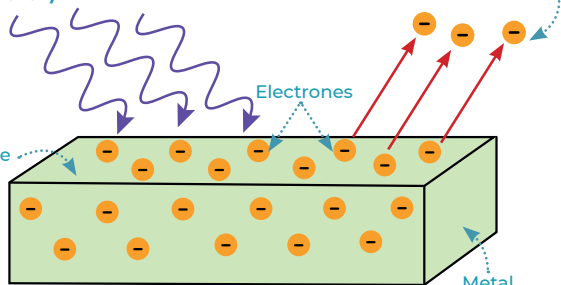


Fig 2.70 Efecto fotoeléctrico.

El efecto fotoeléctrico muestra cómo la luz puede comportarse como partículas individuales en algunas situaciones, a diferencia de su naturaleza ondulatoria, que se observa en fenómenos como la interferencia y la difracción (Knight et al., 2013). Esto significa que en el efecto fotoeléctrico la luz actúa como si estuviera compuesta de pequeñas bolitas (fotones) que pueden chocar con electrones y hacer que se liberen. En cambio, la *difracción* e *interferencia* son ejemplos en los cuales la luz se comporta más como una onda, creando patrones y efectos diferentes (Fig 2.71). Este fenómeno fue fundamental para el desarrollo de la mecánica cuántica, permitiendo a los científicos entender el comportamiento de partículas muy pequeñas, como los fotones. En el experimento de interferencia de doble rendija, se observa cómo los fotones (o electrones) al pasar por dos rendijas generan un patrón de interferencia en una pantalla, algo característico de las ondas. Sin embargo, al ser observados, estos mismos fotones actúan como partículas, formando un patrón diferente (Fig 2.72). Esto demuestra que, en el mundo cuántico, las reglas son distintas a las de nuestro mundo cotidiano; un objeto puede comportarse como onda y partícula al mismo tiempo. Este fenómeno también reveló que la energía de la luz no es continua, sino que se presenta en “paquetes” llamados fotones. Esto transformó nuestra comprensión de la luz y su interacción con la materia, estableciendo un fundamento esencial en la física moderna (Krane, 2019).

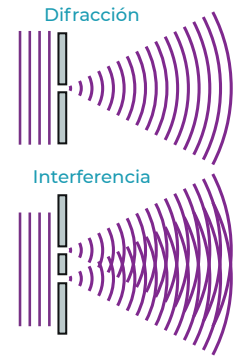
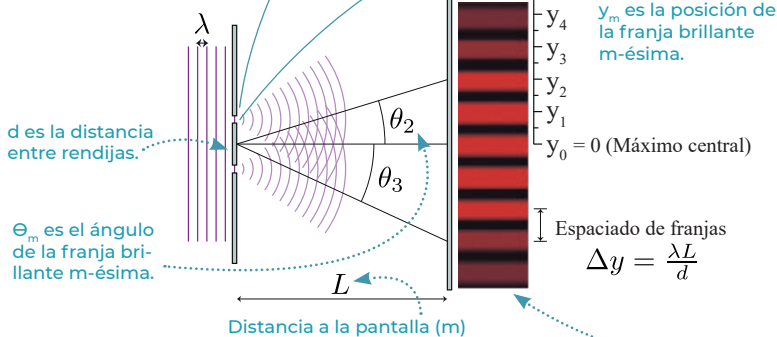


Fig 2.71 Difracción e interferencia de la luz.

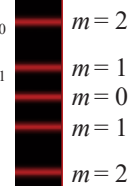
Los ángulos en los que aparecen las franjas brillantes en una rejilla de difracción dependen de la separación entre las ranuras. Es decir, cuando la luz pasa por estas ranuras, se desvía y forma un patrón de franjas brillantes en ciertos ángulos. Estos ángulos se pueden calcular según “d” entre las ranuras y longitud de onda (λ) utilizada.

$$\sin \theta_m = \frac{m\lambda}{d}$$

$m = 0, 1, 2, 3, \dots$



Apariencia de la pantalla



Los principios físicos detrás de las rejillas de interferencia y del experimento de doble rendija son los mismos: se forma una franja brillante en la pantalla cuando la diferencia en la distancia que recorren las ondas es un número entero de veces la longitud de onda ($m = 0, 1, 2, 3$, etc.). Esto significa que las ondas se alinean y se refuerzan entre sí, creando áreas más brillantes.

Fig 2.72 Experimento de Interferencia de doble rendija.

Las *propiedades ópticas* de los materiales son aquellas que determinan cómo interactúan con la luz. Estas propiedades son fundamentales en muchas aplicaciones tecnológicas, desde la fabricación de lentes y dispositivos electrónicos hasta la creación de recubrimientos, protectores y sistemas de comunicación óptica. A continuación, se detallan algunas propiedades ópticas.

Definición de translucidez ➡

Propiedad que permiten que la luz pase a través de los materiales, aunque de manera difusa, lo que significa que los objetos detrás del material no son claramente visibles pero aún así se puede percibir la presencia de luz (Fig 2.73).



Fig 2.73 Hormigón translúcido.

Esta propiedad translúcida se combina con la capacidad de estos materiales para absorber parte de la energía de la luz que los atraviesa. Esta absorción de luz contribuye a la manera en que la luz se atenúa y se dispersa mientras pasa a través del material. Además, los materiales translúcidos exhiben la propiedad de *refracción*, que es el cambio en la dirección de la luz cuando atraviesa el límite entre dos medios con diferentes *índices de refracción* (Ferrer & Carrera, 2021). El índice de refracción es una medida de la velocidad de la luz en un material en comparación con su velocidad en el vacío. Se define como: $n = c/v$ donde; c es la velocidad de la luz en el vacío y v es la velocidad de la luz en el material. Un índice de refracción más alto indica que la luz viaja más lentamente en el material. El índice de refracción determina cómo se dobla (refracta) la luz cuando entra en el material.

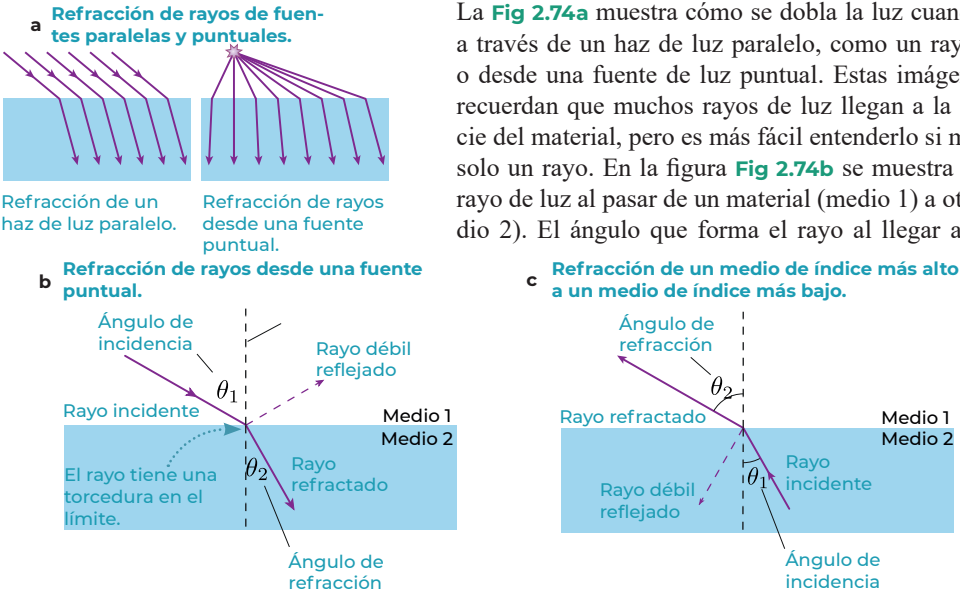


Fig 2.74 Refracción de los rayos de luz.

entre los dos materiales se llama ángulo de incidencia, y el ángulo al pasar al otro material se llama ángulo de refracción. Por ejemplo, si el medio 1 es aire y el medio 2 es vidrio, la luz cambia de dirección al entrar en el vidrio, ya que este último “frena” más a la luz. En este caso, el ángulo de incidencia (en el aire) será mayor que el ángulo de refracción (en el vidrio), lo que hace que la luz se doble hacia la línea normal. Por último en la **Fig 2.74c**, si el rayo de luz viaja en la dirección opuesta, como cuando pasa del agua al aire, el rayo se desvía alejándose de la normal. Esto ocurre porque el aire “frena” menos a la luz que el agua, por lo que el ángulo de incidencia en el agua será menor que el ángulo de refracción en el aire.

Cuando la luz pasa de un medio como el aire a un material traslúcido como el vidrio esmerilado o algunos plásticos, se observa este fenómeno de refracción, en estos materiales la luz cambia de dirección al pasar de un medio como el aire al material traslúcido y se dispersa ligeramente. Esto provoca que la luz se difunda en diferentes direcciones, creando un efecto de suavidad o desenfoque en la imagen. Por ello, los materiales traslúcidos permiten que pase la luz sin mostrar detalles nítidos de los objetos detrás, y son muy útiles en aplicaciones donde se desea privacidad o una iluminación suave y difusa.

Propiedad que permite que la luz pase a través de los materiales con alta transmitancia, lo que significa que los objetos detrás del material son claramente visibles y se pueden ver con nitidez.

Cantidad de luz que puede pasar a través del material sin ser absorbida ni dispersada.

No es el lápiz el que cambia, sino la trayectoria de la luz que viene de él hacia tus ojos.

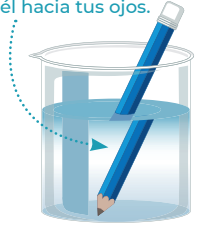


Fig 2.75 Refracción de la luz al pasar del aire al agua.



Fig 2.76 Material transparente (vidrio).

Definición de transparencia

Definición de transmitancia

Los materiales con transparencia tienen varias propiedades ópticas que los hacen únicos: tienen una baja capacidad de absorber la luz que los atraviesa, lo que resulta en una visión clara de los objetos detrás del material (**Fig 2.75**). Aunque los materiales transparentes pueden reflejar algo de luz, su capacidad de reflexión es baja en comparación con los materiales metálicos u opacos. Experimentan refracción cuando la luz pasa de un medio a otro con diferente índice de refracción, lo que cambia su dirección. Algunos materiales transparentes permiten el paso de ciertos colores mientras absorben otros. Además, tienen mínima dispersión de la luz, lo que significa que la luz mantiene su dirección al atravesar el material, sin dispersarse demasiado. Estas propiedades hacen que sean útiles en aplicaciones como ventanas, lentes ópticas, pantallas electrónicas y envases de alimentos.

Los materiales *opacos* no permiten que la luz pase a través de ellos, bloqueando completamente la visión de los objetos que se encuentran detrás (**Fig 2.77**). Estos materiales absorben o reflejan la luz incidente en lugar de transmitirla. Sus propiedades principales incluyen una alta capacidad de absorción

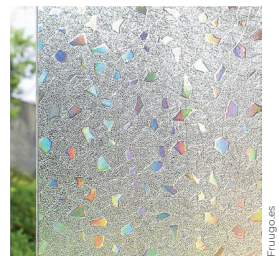


Fig 2.77 Material opaco (vidrio esmerilado).

a. Tanto los rayos que llegan como los que se reflejan están en el mismo plano, y este es perpendicular (ángulo de 90°) a la superficie.

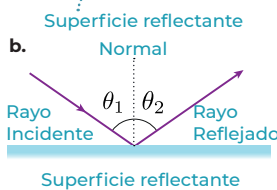
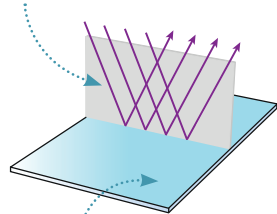


Fig 2.78 Reflexión especular de la luz.

de la luz, lo que resulta en una visión oscura o no transparente a través del material. Además, tienden a tener una reflectividad significativa, lo que significa que una parte importante de la luz incidente es reflejada en lugar de ser absorbida. Estas propiedades hacen que los materiales opacos sean ideales para bloquear la luz y crear barreras visuales en una variedad de aplicaciones, como revestimientos de paredes, pinturas opacas, paneles de construcción y otros usos donde se requiere privacidad o bloqueo de la luz.

El reflejo de la luz es una experiencia familiar y cotidiana. Ves tu reflejo en el espejo del baño a primera hora de la mañana, los reflejos en el espejo retrovisor de tu auto mientras conduces hacia la universidad y el cielo reflejado en charcos de agua estancada. La reflexión de una superficie plana y lisa, como un espejo o una pieza de metal pulido, se llama reflexión especular, de *speculum*, la palabra latina para "espejo". En la **Fig 2.78a**, ves un grupo de rayos de luz que se reflejan en una superficie parecida a un espejo. Los rayos de luz que van hacia la superficie son llamados "incidentes", y los que se reflejan de vuelta son llamados "reflejados". Nota cómo ambos rayos están en línea recta, formando un ángulo con la superficie, justo como si estuvieran parados. La **Fig 2.78b** muestra una forma más simple de representar esto, donde solo vemos los rayos de luz y su reflejo, sin detalles complicados.

Propiedades acústicas

Las propiedades acústicas son características que definen cómo un material o espacio interactúa con el sonido, afectando su absorción, transmisión y reflexión. Estos aspectos son fundamentales en el diseño de auditorios, salas de conciertos y estudios de grabación, donde se busca optimizar la calidad del sonido. Materiales como la lana de roca y las espumas acústicas, conocidos por su alta capacidad de absorción acústica, son clave para minimizar el eco y reducir el ruido ambiental. Para comprender cómo los materiales influyen en el comportamiento del sonido, es esencial analizar la propagación de las ondas acústicas y su interacción con diferentes medios o materiales (Couso et al., 2009). Entre los tipos de ondas destacan las longitudinales y las transversales (**Fig 2.79**).

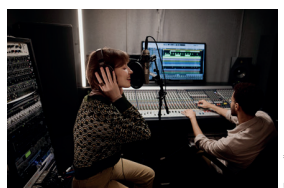


Fig 2.79 Estudio de grabación.

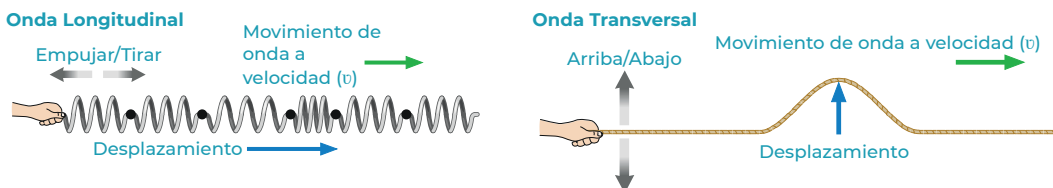


Fig 2.79 Dos tipos de ondas viajeras.

El sonido es un tipo de onda que se mueve a través de un medio, como el aire, el agua o un sólido. En este caso, se trata de una onda longitudinal, lo que significa que las partículas del medio vibran hacia adelante y hacia atrás, en la misma dirección en la que la onda avanza. Por ejemplo, cuando hablas, tus cuerdas vocales crean vibraciones que comprimen y expanden las partículas del aire, formando regiones de mayor y menor presión que viajan como ondas hasta llegar a los oídos de quienes te escuchan, la interacción del sonido con los materiales no solo depende de sus propiedades físicas, como densidad y elasticidad, sino también de la frecuencia de la onda sonora que le choca. Los materiales porosos, como las espumas acústicas, son especialmente efectivos para absorber sonidos de alta frecuencia, ya que permiten que las ondas penetren en su estructura, disipando la energía en forma de calor. Por otro lado, las superficies lisas y rígidas, como el concreto o el vidrio, tienden a reflejar la mayor parte de la energía sonora, creando ecos o reflexiones acústicas en el espacio. Cuando la onda sonora se transmite a través de un material, su velocidad y dirección pueden cambiar debido a la diferencia en la *impedancia acústica*, entendida como la resistencia que un medio ofrece al paso de las ondas sonoras, fenómeno descrito por la ley de Snell.

Entre las propiedades del sonido, tenemos:

Reflexión

Los murciélagos, los delfines y algunos otros animales usan la *reflexión del sonido* para localizar obstáculos y moverse con precisión. De manera similar, los barcos emplean esta técnica, conocida como sonar, para detectar objetos bajo el agua, como rocas, otros barcos o incluso bancos de peces (**Fig 2.80**).

Imagina a una niña tocando la trompeta mientras un perro duerme plácidamente y otro se despierta, atento al sonido. Esto ocurre porque las ondas sonoras se desvían según las condiciones del medio, un fenómeno llamado *refracción del sonido*. Por ejemplo, durante el día, el sonido puede desviarse hacia arriba debido al aire más caliente, dificultando que llegue a un observador lejano. En cambio, en una noche fría, el sonido se refracta hacia abajo, permitiendo que una conversación en un lago se escuche desde el otro extremo (**Fig 2.81**). Bajo el agua, este efecto también afecta las mediciones ultrasónicas de los barcos.



Las **ondas transversales** son aquellas en las que las partículas del medio oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda, como en las olas del agua o las ondas de luz. Las **ondas longitudinales**, en cambio, son aquellas en las que las partículas oscilan en la misma dirección que la propagación, como las ondas sonoras en el aire, donde se forman zonas de compresión y expansión.

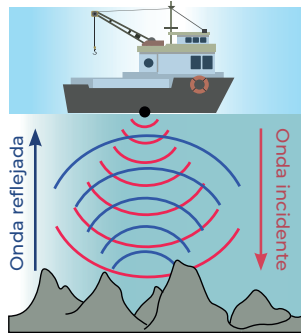
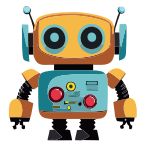


Fig 2.80 Reflexión acústica de un barco.



El sonido, es como un cosquilleo que viaja por todo lo que puede vibrar: madera, agua o el mismo aire. ¡Una maravilla que transforma lo invisible en algo que podemos oír!

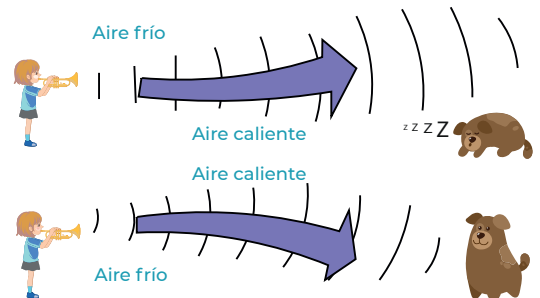


Fig 2.81 Refracción del sonido por aire caliente y frío.

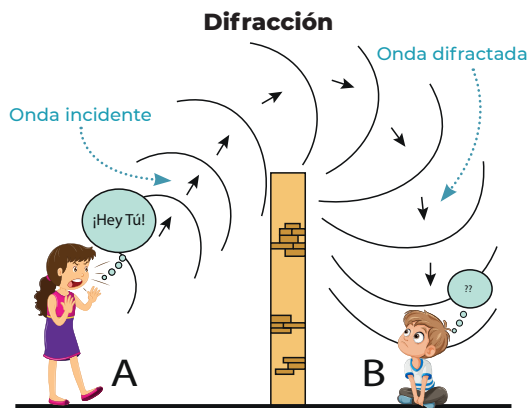


Fig 2.82 Difracción del sonido alrededor de una pared.

Cuando el sonido encuentra un obstáculo en su camino, se produce un fenómeno físico llamado *difracción*, que ocurre cuando las ondas sonoras cambian de dirección al pasar cerca de un objeto o atravesar una abertura. Este comportamiento es una propiedad fundamental de las ondas, como las del sonido, la luz o el agua. En el caso del sonido, las ondas no se detienen completamente ante el obstáculo, sino que lo rodean y se expanden hacia nuevas direcciones. Por eso, incluso si hay un muro entre dos personas, como entre A y B, las ondas emitidas por A pueden curvarse alrededor del muro gracias a la difracción y llegar a los oídos de B (**Fig 2.82**).

f_o —Frecuencia desde el observador.

f_s —Frecuencia desde la fuente.

ν_w —Velocidad de la onda.

ν_s —Velocidad de la fuente.

La difracción es más evidente cuando el tamaño del obstáculo o de la abertura es similar o menor a la longitud de onda del sonido. Por ejemplo, en sonidos graves (de baja frecuencia y mayor longitud de onda), este efecto es más pronunciado, lo que permite que se escuchen incluso en lugares donde los sonidos agudos no llegan.

$$f_o = f_s \frac{\nu_w}{\nu_w + \nu_s}$$

La sirena se escucha con una menor frecuencia del sonido.

Fuente de las ondas sonoras de la sirena.

$$f_o = f_s \frac{\nu_w}{\nu_w - \nu_s}$$

La sirena se escucha con una menor frecuencia del sonido.

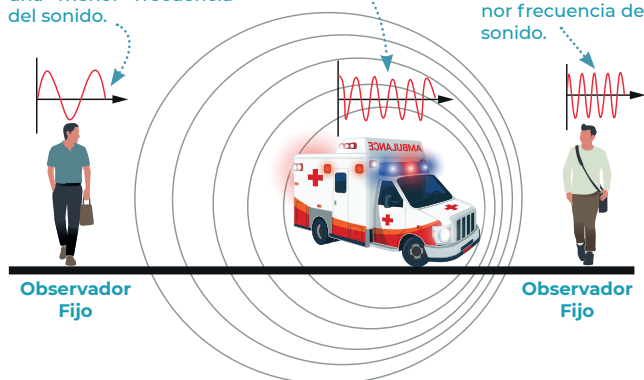


Fig 2.83 Efecto Doppler: Cambios en el sonido de una ambulancia al acercarse y alejarse.

más grave porque las ondas sonoras se estiran al irse. Es como si las ondas fueran autos en una autopista: cuando están apretados, llegan más rápido (sonido agudo), pero cuando se separan, llegan más lento (sonido grave) (**Fig 2.83**). Este fenómeno no solo ocurre con el sonido, sino también con otras ondas, como la luz, y tiene aplicaciones en astronomía y tecnología.

Efecto Doppler

El *efecto Doppler* es un fenómeno físico que ocurre cuando el sonido que escuchas cambia porque la fuente del sonido (o tú mismo) se están moviendo. Si la fuente se acerca, las ondas sonoras se "comprimen", lo que aumenta la frecuencia y hace que el sonido se escuche más agudo. Por el contrario, si la fuente se aleja, las ondas se "estiran", disminuyendo la frecuencia y haciendo que el sonido se perciba más grave. Piensa en una ambulancia: cuando se acerca, el sonido de la sirena se escucha más agudo porque las ondas sonoras se comprimen al venir hacia ti. Pero cuando la ambulancia pasa y se aleja, el sonido se escucha

Absorción

Al entrar en una casa vacía, el eco de tu voz es fácilmente percibido, ya que materiales como hormigón, yeso y vidrio reflejan la mayor parte del sonido. Por ejemplo, si una chica toca el violín en una habitación con paredes de hormigón, el sonido se mantendrá rebotando en las superficies, sin transmitirse ni absorberse de manera significativa (Fig 2.84). En el caso del hormigón, alrededor del 99% del sonido se refleja, lo que lo convierte en un material altamente reflectante y poco absorbente. Esto hace que la mayor parte del sonido se quede atrapada dentro del espacio, sin atravesar las paredes (Belmonte, 2024). La capacidad de absorción acústica de un material depende de diversos factores, como especifica el Código Técnico de la Edificación "Cantidad de energía acústica que un objeto absorbe cuando se encuentra en un campo acústico" (González Gaya et al., 2020).



Fig 2.84 Efecto del sonido en un espacio de hormigón: Rebotando en las paredes.

Es una normativa que establece los requisitos básicos de seguridad, habitabilidad y eficiencia energética que deben cumplir los edificios para garantizar calidad, sostenibilidad y confort.

Definición de Código Técnico de la Edificación

Cuando las ondas sonoras alcanzan un objeto, parte de su energía se refleja (generando eco), otra se absorbe y una fracción menor se transmite al otro lado. ¿Cómo se absorbe el sonido? Cuando las ondas sonoras llegan a un material absorbente, penetran su superficie, se transforman en energía calorífica y hacen vibrar el material. Un error común es pensar que la densidad o el espesor del material son los factores determinantes. Por ejemplo, un muro de hormigón de 50 cm de espesor tiene propiedades acústicas similares a uno de 30 cm. Lo que realmente importa es la textura de la superficie: una superficie lisa reflejará casi toda la onda sonora y apenas absorberá sonido. Por esta razón, el hormigón tiene escasas propiedades absorbentes acústicas.



Un material con $\alpha = 0.7$ absorbe el 70% del sonido que lo golpea, mientras que el 30% restante se refleja.

Los materiales que presentan un mayor índice de absorción del sonido son aquellos que son relativamente blandos y de baja densidad, como las alfombras, tapices, maderas blandas y espumas acústicas. Cuanto más poroso sea un material, más absorbente será, ya que permite que las ondas sonoras penetren y se conviertan en energía térmica, en lugar de ser reflejadas. Por lo tanto, materiales como la lana, y paneles de aislamiento acústico son excelentes para reducir la persistencia del sonido y minimizar los ecos.

Por el contrario, materiales como el vidrio, la cerámica o el metal, que son muy lisos y densos, reflejan la mayor parte del sonido, siendo poco efectivos en la absorción acústica. En la **Tabla 2.7** se presenta el coeficiente de absorción de algunos materiales. Un valor de 1, por ejemplo, lo tiene una ventana abierta,

Material	Frecuencia	Coeficiente de Absorción		
		125	1000	4000
Hormigón		0.01	0.02	0.07
Placa de Yeso		0.01	0.03	0.05
Madera		0.09	0.11	0.08
Alfombra de Lana 1.2 kg/m ²		0.10	0.30	0.47
Estuco		0.10	0.05	0.05
Lana de Roca		0.12	0.88	0.71
Goma 0.5 cm		0.04	0.12	0.10
Ladrillo		0.03	0.04	0.07
Ladrillo Pintado		0.01	0.02	0.03
Mármol o Azulejo		0.01	0.02	0.01
Fibra de Vidrio 4 cm, 30 kg/m ³		0.09	0.98	1.04

Tabla 2.7 Coeficientes de absorción de distintos materiales.

ya que la onda sonora la atraviesa completamente hacia el exterior, sin reflejarse en absoluto.

Definición coeficiente de absorción (α)

Intensidad absorbida

$$I_{\alpha} = \alpha \cdot I_0$$

Intensidad de la onda incidente

Coeficiente de absorción

Tiempo de reverberación

Volumen de la sala (m^3)

$$T_R = 0.161 \frac{V}{A}$$

Area de absorción total (m^2)

Es un número entre 0 y 1 que indica qué fracción de la energía de una onda sonora es absorbida por un material al chocar contra él.

- Un coeficiente de 0 significa que el material no absorbe nada y refleja todo el sonido.
- Un coeficiente de 1 significa que el material absorbe completamente toda la energía del sonido.

La absorción del sonido es muy importante en el diseño de espacios y sistemas donde se quiera controlar cómo el sonido se comporta. Esto es clave para la ingeniería acústica, que es el estudio de cómo mejorar el sonido en lugares como auditorios, salas de grabación o incluso casas comunes. La relación entre las ondas sonoras del ambiente y las ondas absorbidas por un material es dada por I_{α} . En un espacio cerrado, la absorción total también se relaciona con el tiempo de reverberación (T_R), determinando cuánto tarda el sonido en decaer según la superficie y las propiedades de los materiales presentes.

Definición de tiempo de reverberación

Medida acústica que indica el tiempo que tarda el sonido en desaparecer en un espacio cerrado después de que la fuente sonora se detiene. Específicamente, se define como el tiempo que tarda el nivel de presión sonora en disminuir 60 decibelios (dB) respecto de su nivel original.

Resonancia

Algunos objetos, especialmente aquellos diseñados con este fin, tienen la capacidad de vibrar a una frecuencia específica, natural o dentro de un rango determinado, la cual depende de factores como la masa y la rigidez del objeto, y se describe por la ecuación:

Frecuencia natural

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\kappa}{m}}$$

Constante de elasticidad

Masa del objeto

Si una fuente sonora cercana emite una frecuencia que coincide con esta frecuencia natural, el objeto vibrará en sincronía, la amplitud de las vibraciones del objeto aumenta, lo que puede llevar a la amplificación del sonido. Este fenómeno se puede describir mediante la ecuación de resonancia forzada:

Fuerza externa que actúa sobre el objeto

$$F(t) = F_0 \sin(\omega t)$$

Amplitud de la fuerza externa

Frecuencia angular de la fuente externa

Tiempo

naukas.com



Resonancia.



Fig 2.85 Resonancia puente de Tacoma Narrows.

Este principio es la base de las cajas de resonancia en los instrumentos musicales, que amplifican la intensidad del sonido producido. No obstante, también explica por qué estructuras como los puentes pueden entrar en resonancia (**Fig 2.85**). Si frecuencias externas, como el viento o las vibraciones causadas por el paso de los carros (ω), coincide con la frecuencia natural (f_0) del puente, este puede empezar a oscilar (o vibrar) con gran amplitud, lo que puede ocasionar que se rompa.

Difusión

Desde el área de la física, la difusión del sonido describe la capacidad de un material para dispersar o redirigir las ondas sonoras en varias direcciones dentro de un espacio. Esto evita que el sonido se concentre en un solo punto o provoque ecos indeseados, permitiendo una distribución uniforme de las ondas sonoras y mejorando la calidad acústica. Por ejemplo, en auditorios o teatros, se instalan paneles de difusión sobre el escenario con el fin de garantizar que los sonidos lleguen de manera clara a todas las áreas del lugar. Además, el desempeño de un material en la difusión del sonido se mide mediante el coeficiente de difusión, el cual varía dependiendo de las características y la superficie del material. Por lo tanto, elegir materiales con un buen coeficiente de difusión resulta esencial para lograr una acústica equilibrada en espacios grandes o complejos (**Fig 2.86**).

La difusión del sonido se basa en la interacción entre las ondas sonoras, la geometría de las superficies y las propiedades acústicas de los materiales. En este contexto, es importante considerar principios clave de la propagación del sonido, como la reflexión en superficies lisas, que concentra las ondas en una sola dirección, y en superficies irregulares, que las dispersan en múltiples direcciones (**Fig 2.87**). Asimismo, cuando las ondas sonoras interactúan con estructuras complejas, como paneles de difusión, se producen fenómenos como la interferencia (superposición de ondas) y la difracción (desviación de ondas alrededor de los bordes). Estas interacciones ayudan a distribuir de manera uniforme el sonido en el espacio, lo que resulta clave para lograr una buena acústica en los entornos arquitectónicos.

Materiales acústicos: absorbentes, fónicos e insonorizantes.

Material diseñado para mejorar el control del sonido en un espacio. Este tipo de material puede utilizarse para mejorar el tiempo de reverberación de una habitación, lo que se conoce como tratamiento acústico, o para prevenir la propagación del ruido de una habitación a otra, lo que se denomina aislamiento acústico.



Fig 2.86 Difusores acústicos.

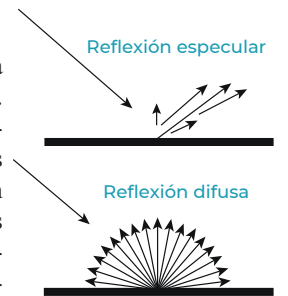
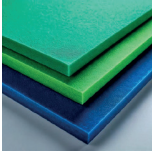


Fig 2.87 Difusión del sonido.

Definición de material acústico

Frecuentemente, se utilizan distintos materiales para el tratamiento acústico, cada uno con sus respectivas ventajas y desventajas. A continuación, se describen los principales:



Materiales de Absorción			
Espumas Acústicas	Lanas minerales: lana de vidrio, roca y escoria	Lana de fibra de poliéster (guata) / PET (polietileno tereftalato)	Algodón
❖ Económico	❖ Buena relación entre calidad y precio	❖ Buena relación calidad/precio	❖ Un poco más costoso
❖ Fabricado a base de derivados del petróleo	❖ Fácil de cortar y manejar	❖ No causa irritación	❖ Cortar y trabajar con él es más complicado
❖ Sistemas de fijación que dañan las paredes (dejan marcas al retirarlos y pueden aumentar costos adicionales)	❖ Producción muy contaminante, se dice que estas lanas dañan los ecosistemas (hay muchas asociaciones en el mundo que luchan contra su uso)	❖ El plástico proviene del petróleo, que es un recurso no renovable.	❖ Es una opción más ecológica
❖ Baja calidad de absorción acústica, requiere instalar una gran cantidad para obtener resultados aceptables	❖ Requiere tomar muchas precauciones al usarlo	❖ El reciclaje del PET no está bien desarrollado en muchos países, por lo que a menudo se envía a Asia para su transformación (incluyendo su uso en productos acústicos).	❖ No causa irritación
❖ Poco atractivo visualmente	❖ Puede causar irritación	❖ Es bastante duradero	❖ Tiene buena durabilidad
❖ Pocos modelos son resistentes al fuego	❖ Se cree que podría ser cancerígeno	❖ Solo se puede reciclar una vez, por lo que termina en vertederos rápidamente.	❖ --
❖ El rendimiento se deteriora con el tiempo.	❖ No es conocido por ser duradero con el tiempo.	❖ Contiene solo una parte de fibra reciclada, generalmente alrededor de 2/3.	❖ --

Tabla 2.8 Materiales absorbentes para reducir el ruido en espacios cerrados y sus características más particulares.

La correcta aplicación de los materiales *acústicos* y *fónicos* influirá directamente en su rendimiento y, por ende, en su eficacia. En el caso de los paneles acústicos, la calidad de su composición es esencial: si se emplean telas no acústicas o materiales que favorezcan la reverberación, el panel no cumplirá su función correctamente. Además, tanto la ubicación como la cantidad de paneles juegan un papel fundamental para lograr un aislamiento eficiente. Cada espacio como una sala de música, tendrá necesidades acústicas específicas. Lo mismo ocurre con el aislamiento acústico, donde la elección de los materiales y la cantidad utilizada afectará el resultado final.

Por otro lado, la *insonorización* es el proceso de reducir o bloquear la transmisión de sonido entre espacios, utilizando materiales que absorben, reflejan o difunden las ondas sonoras (Fig 2.88). Su objetivo principal es crear ambientes más silenciosos y cómodos, evitando que los ruidos indeseados afecten el interior de una habitación o que el sonido generado en un espacio se



Fig 2.88 Trabajo de insonorización.

propague al exterior. Para lograr una insonorización efectiva, se emplean materiales especiales, como la paja, cáñamo, guata de celulosa y fibras de madera, que son altamente eficientes en la absorción del sonido.

Tubos cerrados y abiertos

¿Alguna vez soplaste en una botella o usaste un popote para hacer sonidos? Eso pasa porque el aire dentro de un tubo (como una botella o un pitillo de plástico) puede vibrar y crear música. ¡Vamos a aprender cómo funciona esto!

Seguramente, en algún momento tocaste instrumentos como la flauta o la trompeta. Te sorprenderá saber que estos instrumentos de viento representan tubos abiertos, mientras que los clarinetes, saxofones y bombos de orquesta son ejemplos de tubos cerrados (Fig 2.89). Los instrumentos de tubo abierto tienen ambos extremos libres, lo que permite que el aire vibre sin obstáculos en ambos puntos, generando un sonido más brillante y con más armónicos. En cambio, los tubos cerrados tienen un extremo cerrado, lo que crea un comportamiento diferente en las ondas sonoras, limitando los armónicos y produciendo un sonido más profundo o "grave". Estos conceptos son fundamentales en el estudio de las propiedades acústicas, ya que explican cómo las ondas sonoras se comportan dentro de un tubo dependiendo de si sus extremos están abiertos o cerrados (De la Fuente, 2013). Al igual que las vibraciones de una cuerda de violín generan sonidos según su longitud, masa y tensión, en los tubos las frecuencias y longitudes de onda características dependen de las condiciones físicas y de frontera, lo que define los tonos y armónicos que producen (Fig 2.90).

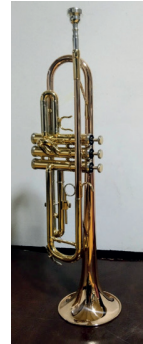


Fig 2.89 Trompeta y Saxofón.

En un tubo abierto, las ondas sonoras tienen antinodos (puntos donde el aire vibra mucho) en ambos extremos, porque el aire puede moverse libremente allí. La longitud del tubo (L) está relacionada con las ondas que caben dentro. Cuando hablamos de onda completa, estamos hablando de algo que parece una montaña (parte que sube de la onda) y un valle (parte que baja de la onda) juntos, esto es lo que llamamos un ciclo completo de la onda. En un tubo abierto, la onda sonora debe ajustarse a las condiciones del tubo, y una regla importante es que siempre habrá antinodos (puntos donde el aire vibra mucho) en ambos extremos. Para la onda más simple, llamada fundamental, dentro del tubo solo cabe medio ciclo de onda: esto significa

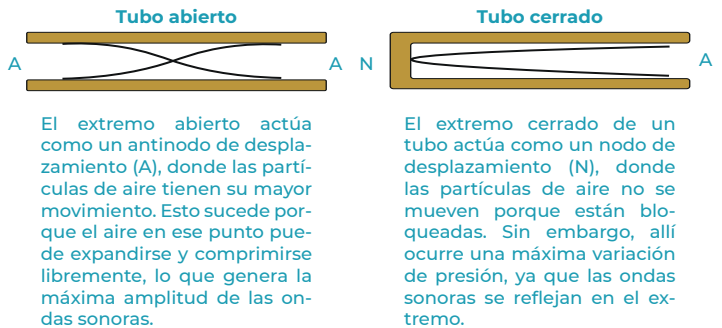


Fig 2.90 Tubo abierto y cerrado.

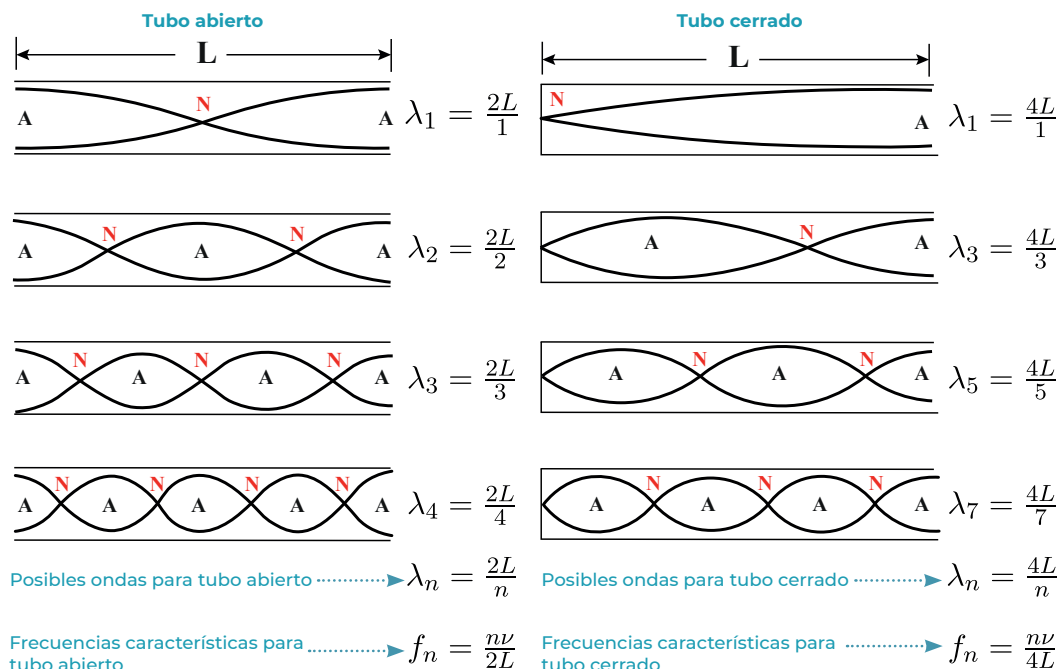


Fig 2.91 Onda y frecuencias de tubos abiertos y cerrados.



Conocer las ondas y frecuencias de los tubos abiertos y cerrados nos ayuda a entender cómo se producen los sonidos en la música y en otros objetos. Los tubos actúan como 'cajas mágicas' que crean sonidos, y saber cómo funcionan nos permite mejorar la música y la calidad del sonido en instrumentos y altavoces.

que solo veremos una "montaña" o un "valle" de la onda completa, ya que los extremos están abiertos. Piensa en una onda como un movimiento de "subir y bajar"; en este caso, dentro del tubo solo cabe "subir" o "bajar". La longitud del tubo (L) se relaciona directamente con la longitud de onda (λ) de esta manera: el tubo mide exactamente la mitad de una onda completa, lo que podemos escribir como $L = \lambda/2$. Si dibujas una onda completa (montaña y valle), corta la onda por la mitad. Esa mitad es lo que "vive" dentro del tubo cuando está vibrando en su modo más simple (Serway, 2015).

La frecuencia de un tubo abierto depende de su longitud y de la velocidad del sonido. En la onda más simple (fundamental), el tubo tiene medio ciclo de la onda. La frecuencia fundamental se calcula con la fórmula $f_1 = \nu/2L$, donde ν es la velocidad del sonido (Crawford, 2012). Los tubos abiertos también tienen armónicos, que son múltiplos de la frecuencia fundamental, lo que significa que los tubos más cortos producen sonidos más agudos y los más largos producen sonidos más graves (**Fig 2.91**).

En un tubo cerrado, la onda sonora también debe ajustarse al tubo, pero hay una diferencia clave: un extremo está cerrado y el otro está abierto. En este caso, el extremo cerrado será un nodo (donde el aire no puede vibrar),

mientras que el extremo abierto será un antinodo (donde el aire vibra mucho). Para la onda más simple (la fundamental), dentro del tubo solo cabe un cuarto de ciclo de la onda. Esto significa que solo veremos el "primer cuarto" de la onda completa, con un nodo en el extremo cerrado y un antinodo en el extremo abierto. En este caso, la longitud del tubo es igual a un cuarto de la longitud de onda, es decir, $L = \lambda/4$.

La frecuencia de un tubo cerrado depende de su longitud y de la velocidad del sonido. En este caso, la frecuencia fundamental se calcula como $f_1 = v/4L$. Los tubos cerrados tienen armónicos impares (1, 3, 5, ...), lo que significa que producen sonidos más graves que los tubos abiertos. El conocer la física de los tubos abiertos y cerrados es fundamental para entender cómo se generan y manipulan los sonidos en diferentes dispositivos. Este conocimiento nos permite crear y mejorar instrumentos musicales, altavoces y otros sistemas acústicos, optimizando la calidad del sonido y la forma en que se propaga (Alonso & Finn, 2018). Además, es clave en el diseño de tecnologías que usan ondas sonoras, como en la medicina o en comunicaciones, demostrando cómo la ciencia de los tubos influye en muchos aspectos de la tecnología moderna.

2.2.3 Propiedades tecnológicas

Las propiedades tecnológicas de un material son aquellas que determinan su comportamiento cuando se somete a procesos industriales. Estas propiedades son clave para evaluar si un material es adecuado para la fabricación de productos, ya que influyen en su rendimiento en operaciones como el mecanizado, la soldadura, el moldeo, el trefilado o el laminado. Su comportamiento tecnológico es el resultado de la combinación de varias de sus propiedades físicas. Entre ellas se incluyen: ductilidad, maleabilidad, resiliencia, resistencia mecánica, soldabilidad, colabilidad, templabilidad, maquinabilidad, fusibilidad, forjabilidad y acritud.

Definición de resiliencia

La resiliencia es la capacidad de un material para absorber energía cuando se deforma de manera elástica (es decir, sin cambiar permanentemente su forma) y luego devolver esa energía cuando vuelve a su forma original.

Un material resiliente soporta impactos sin romperse y recupera su forma tras la fuerza (Fig 2.92). Esto muestra cuánta energía puede manejar antes de fracturarse. Los materiales con alta resiliencia, como el caucho, pueden

Capacidad de un material para guardar energía elástica como si fuera un resorte cuando lo estiras o lo aplastas, y luego soltar esa energía cuando ya no lo presionas o lo estiras.

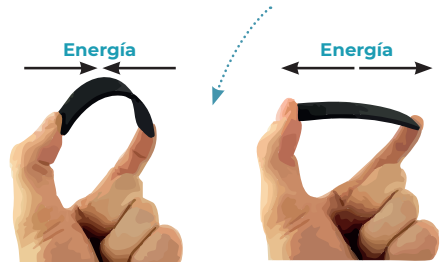


Fig 2.92 Resiliencia de materiales.

soportar golpes o esfuerzos sin sufrir daños permanentes, lo que los hace ideales para aplicaciones donde se requiere absorción de impactos, como en amortiguadores o aislantes.

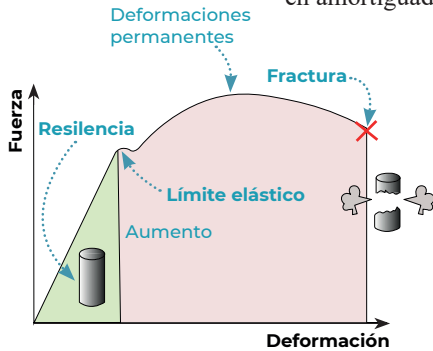


Fig 2.93 Curva de energía elástica (resiliencia).

Si aplicamos fuerza a un material de forma gradual y este no se rompe ni se deforma de manera permanente, su capacidad de resiliencia aumenta. Cuando dejamos de aplicar la fuerza, el material libera la energía que absorbió y regresa a su estado o forma original. La resiliencia máxima se alcanza justo antes de que el material se rompa o se deforme de manera permanente. Es como si el material tuviera una "memoria" que le permite volver a su forma inicial. Si observas la gráfica de un ensayo de resiliencia, notarás que esta capacidad crece a medida que aumentamos la fuerza aplicada (Fig 2.93).

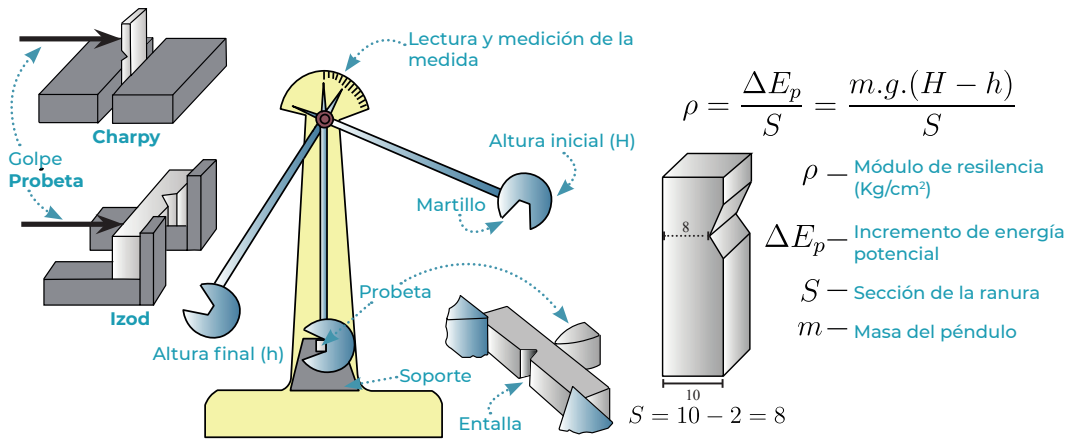
Sin embargo, una vez que el material supera su límite elástico y comienza a sufrir deformaciones permanentes, ya no puede recuperar su forma, y la resiliencia desaparece.



La tenacidad y la resiliencia son conceptos parecidos, ¡pero no iguales! La tenacidad mide cuánta energía puede absorber un material antes de romperse. En cambio, la resiliencia mide la energía que almacena un material antes de deformarse permanentemente. Un material tenaz, que resiste mucho antes de romperse, normalmente también tiene alta resiliencia.

Imagina el parachoques de tu vehículo: ¿te gustaría saber cuánto puede resistir en un choque sin romperse? Eso es un ejemplo de resiliencia, también se aplica en los colchones, que necesitan alta resiliencia para deformarse al acostarnos pero recuperar su forma al levantarnos. En ingeniería se realizan ensayos de resiliencia para evaluar la capacidad de diversos materiales, como metales, plásticos o maderas, de absorber energía sin sufrir deformaciones permanentes. Los ensayos de resiliencia de un material consisten en romper una probeta del material golpeándola con un péndulo, lo que los clasifica como ensayos destructivos. Existen dos métodos principales para realizar estos ensayos: *Charpy* e *Izod*, ambos diseñados para medir la capacidad del material de absorber energía antes de fracturarse (Fig 2.94).

En el ensayo Charpy, la probeta se coloca en posición horizontal, apoyada en dos extremos, y el péndulo la golpea en el centro, por el lado opuesto a la muesca (Ospino et al., 2018). Por el contrario, en el ensayo Izod, la probeta se posiciona de forma vertical, sujeta en una mordaza, y el péndulo golpea en la misma dirección de la entalla. Esta máquina cuenta con un péndulo de masa m , que se deja caer desde una altura inicial para golpear una probeta del material cuya resiliencia se desea calcular. La probeta debe tener una entalla, y el péndulo debe golpearla siempre por el lado opuesto a la cuña. La altura final del péndulo se denomina h . La energía consumida por el péndulo para romper la probeta se calcula como la diferencia entre la energía del péndulo antes del impacto y la energía que le queda después de romper la probeta (incremento de energía potencial).



El módulo de resiliencia (ρ), es una manera de medir esa fuerza. Para calcularlo, se divide la energía (ΔE_p) por la superficie de la probeta (un pedazo de material) que se rompió (S), considerando únicamente la parte del lado de la entalla, al calcular el módulo de resiliencia, solo se toma en cuenta el área específica de la probeta que estuvo en contacto con la cuña (la herramienta o parte que aplicó la fuerza para romperla). No se analiza toda la superficie de la probeta rota, sino solo esa sección particular. Esto se hace porque es en esa zona donde se concentra la fuerza que genera el impacto o el cambio.

La maquinabilidad es la capacidad de un material para ser procesado o trabajado mediante herramientas de corte, como en procesos de mecanizado (por ejemplo, fresado, taladrado o torneado).

Definición de maquinabilidad

Un material con buena maquinabilidad es fácil de cortar y dar forma, lo que lo hace eficiente y económico en la fabricación de piezas. Los procesos de mecanizado son técnicas utilizadas para dar forma a piezas mediante la eliminación de material. Algunos ejemplos comunes incluyen:

- ▶ Torneado, donde una pieza gira mientras una herramienta corta su superficie. Un ejemplo es la fabricación de ejes, donde se usa el torneado para darle forma cilíndrica al material.
- ▶ Fresado, que utiliza una herramienta rotativa para eliminar material en diversas direcciones. Por ejemplo, al fabricar una carcasa metálica para un motor, el fresado se emplea para crear superficies planas, ranuras o bordes con alta precisión, asegurando que las partes encajen perfectamente.

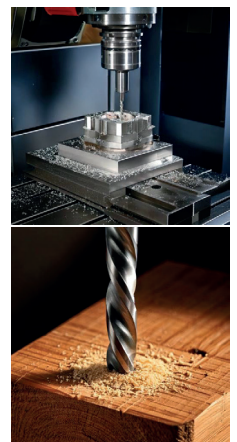


Fig 2.95 Fresado y Taladrado.



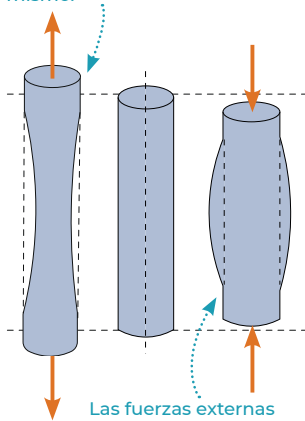
Fig 2.96 Rectificado.

- ▶ Taladrado, utilizado para crear orificios con una broca giratoria. Un ejemplo es la perforación de piezas de metal para ensamblajes o fijaciones.
- ▶ Rectificado, que emplea una piedra abrasiva para lograr superficies lisas. Se utiliza, por ejemplo, para afilar herramientas o dar acabados de alta precisión en piezas metálicas.
- ▶ Rosacado, utilizado para hacer roscas en tornillos o piezas similares, como al fabricar tornillos para maquinaria.

En el capítulo 4, se explorará la física que involucra estos movimientos, proporcionando una comprensión más profunda de cómo se aplican las fuerzas y los principios físicos en cada uno de estos procesos.

Definición de resistencia mecánica

Las fuerzas externas actúan tratando de "estirar" el cuerpo, intentando producir un alargamiento del mismo.



Las fuerzas externas tratan de "comprimir" el cuerpo, actuando hacia el interior del mismo en la misma dirección y sentidos contrarios.

Fig 2.97 Tracción y compresión.

La resistencia mecánica es la capacidad de un material para soportar fuerzas o esfuerzos que intentan deformarlo o romperlo. Es como la fuerza que tiene un material para no doblarse, romperse o cambiar de forma cuando lo aprietan, lo estiran o lo golpean.

Los esfuerzos que tienden a deformar o romper un material pueden ser:

- ▶ **Tracción:** Es cuando algo se estira porque hay fuerzas que tiran de él en direcciones opuestas, como cuando estiras una cuerda o un tornillo.
- ▶ **Compresión:** Es cuando algo se aprieta o se aplasta. Muchos materiales aguantan igual de bien que cuando los estiras. Por ejemplo, un bloque de madera puede soportar mucho peso encima sin romperse.
- ▶ **Torsión:** Es cuando algo gira o se retuerce, como los tornillos o piezas que giran en un motor.
- ▶ **Flexión:** Es cuando algo se dobla. A veces, al doblarse, el objeto vuelve a su forma original (como una regla flexible), pero otras veces puede quedarse doblado para siempre.
- ▶ **Corte:** Es como si una tijera tratara de cortar un material. Puede ser algo bueno, como los pernos que sujetan cosas fuertes, o malo, si hace que algo sea difícil de trabajar, como cortar una chapa muy dura.

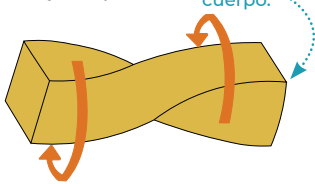
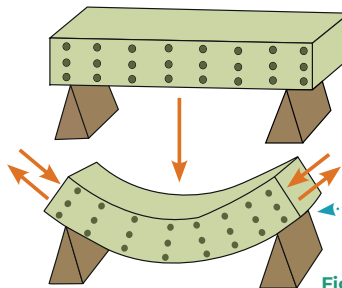


Fig 2.98 Torsión.

Las fuerzas se aplican tratando de "retorcer" el cuerpo.



Las fuerzas externas actúan sobre el cuerpo tratando de "doblarlo", alargando unas fibras internas y acortando otras.

Fig 2.99 Flexión.

Definición de soldabilidad

La soldabilidad es la capacidad de un material para ser unido mediante un proceso de soldadura, como el uso de electrodo, gas, láser u otros métodos, de manera que la unión resultante sea sólida, funcional y cumpla con los requisitos establecidos para una aplicación específica. Un material se considera soldable cuando, utilizando el procedimiento adecuado, se logra una soldadura de calidad que satisface las exigencias técnicas y mecánicas del diseño.

La soldabilidad se divide en tres tipos principales. La soldabilidad operativa se refiere a que las partes metálicas queden bien unidas y continuas durante el proceso de soldadura. La soldabilidad metalúrgica asegura que la unión conserve las propiedades químicas y mecánicas que el material necesita. Por último, la soldabilidad constructiva se enfoca en que toda la estructura soldada funcione correctamente y no tenga problemas como fisuras, grietas o poros.

Para saber si una soldadura está bien hecha, no basta solo con verla a simple vista. Es necesario realizar *ensayos no destructivos*, que son pruebas especiales que permiten examinar la soldadura sin dañarla (**Fig 2.101**). Estos ensayos, como la radiografía, ultrasonido o pruebas con líquidos penetrantes, ayudan a detectar posibles fallos internos o externos que podrían no ser visibles pero que afectarían la resistencia y seguridad de la estructura. ¡Es una forma de asegurarse de que todo esté bien sin tener que romper nada! Estos métodos se utilizan comúnmente en aplicaciones como los tubos de transporte de petróleo (**Fig 2.102**), estructuras de puentes, aeronaves y plantas nucleares, donde la seguridad y fiabilidad son cruciales.

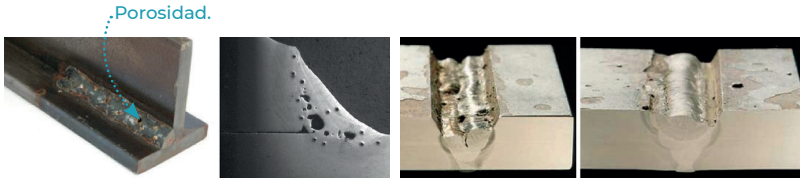


Fig 2.101 Ejemplos de porosidades en soldaduras, vistas en superficie y en sección.

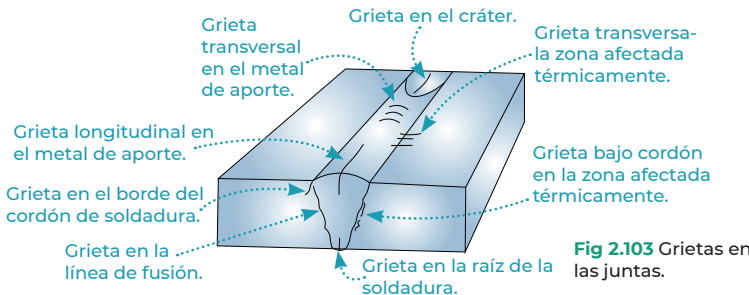


Fig 2.103 Grietas en las juntas.

Las fuerzas actúan en sentidos contrarios sobre dos planos contiguos del cuerpo, tratando de producir el deslizamiento de uno con respecto al otro.

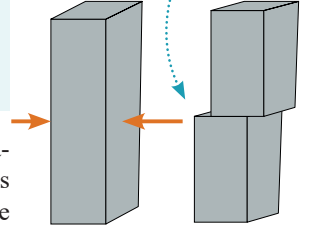


Fig 2.100 Cizalladura o corte.

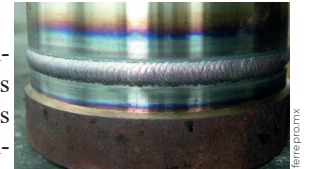
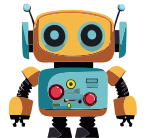


Fig 2.102 Soldadura de un tubo.



Si deseas conocer más sobre soldabilidad, te recomendamos leer los siguientes documentos:

1. A. P. Bocangelino Letona, E. M. Camilla Huaman. Investigación Tecnológica, 2024.

2. Fernanda Elizabeth de Jesús Marín. Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de México, 2024.

3. A. A. R. Castro, B. A. M. Zárate, A. M. B. Orjuela. Documentos de Trabajo ECACEN, (1), 14-27, 2024.

Definición de colabilidad

Capacidad que tiene un material fundido, que le permite producir objetos completos y sin defectos al ser vertido en un molde. Para ello, debe poseer una gran fluidez o fusibilidad.



Fig 2.104 Proceso de colabilidad en metales.



La colada es el proceso en el que se vierte un material líquido, como metal fundido, en un molde para darle forma. Se utiliza para crear piezas como estatuas, maquinaria, je incluso joyas brillantes! Es como hacer un molde de cualquier forma usando material derretido.

En términos prácticos, la colabilidad es similar a verter chocolate derretido en un molde para hacer figuras (**Fig 2.101**). Si el chocolate es lo suficientemente líquido, llenará todos los rincones del molde y la figura quedará perfecta. De manera similar, algunos metales, como el bronce y el latón, tienen buena colabilidad porque fluyen bien al fundirse y se adaptan completamente al molde antes de solidificarse.

Esta capacidad del material para fluir está determinada por factores como la *viscosidad*, la *tensión superficial*, la *conductividad térmica* y la *velocidad de solidificación*. Un material con baja viscosidad y alta densidad tiende a fluir mejor, mientras que una solidificación rápida puede dificultar el llenado del molde. Además, la composición química y la presencia de gases también influyen en la calidad de la colada, ya que ciertos elementos mejoran la fluidez, y la permeabilidad del molde permite la evacuación de gases, reduciendo defectos en la pieza final.

Imagina que tienes una piscina llena de agua. Si te acercas mucho, notarás que la superficie del agua no es completamente plana, aunque a simple vista lo parezca. Esa “capa” que ves en la parte superior es lo que llamamos tensión superficial. La tensión superficial es como una fuerza invisible que actúa en la superficie del agua, formando una especie de “película elástica” que no se rompe fácilmente. Esto sucede porque las moléculas del agua en la superficie se atraen más entre sí que las que están en el interior, ya que no tienen otras moléculas encima para equilibrar las fuerzas. Gracias a esto, algunos insectos, como los mosquitos, pueden posarse sobre el agua sin hundirse. Sus patas no rompen la superficie porque las moléculas del agua en la capa superior están fuertemente unidas, formando una especie de red que los sostiene (**Fig 2.105**).

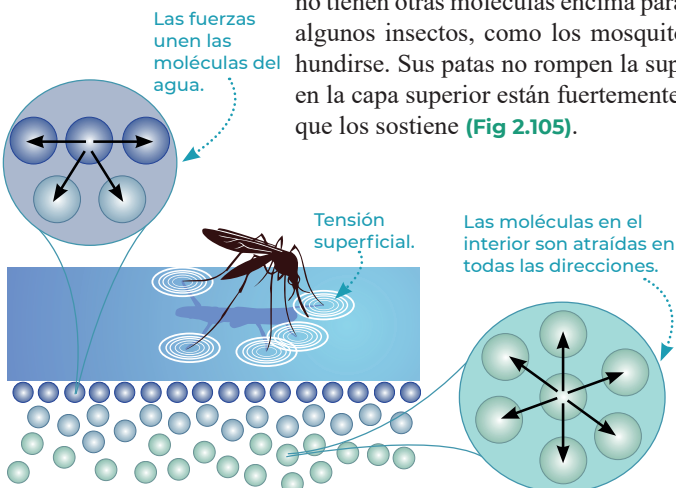


Fig 2.105 Tensión superficial.

En algunos procesos, como la colada, la tensión superficial también juega un papel importante. Si esta fuerza es muy fuerte, puede dificultar el flujo del material fundido dentro del molde, haciendo que no lo llene por completo. Pero si la tensión superficial es baja, el material fluye con más facilidad, logrando un llenado más eficiente y reduciendo defectos en la pieza final.

Imagina que tienes una cuerda muy tensa entre tus manos. Si intentas empujarla o separarla, sentirás una fuerza que la mantiene estirada. Ahora, piensa en la superficie del agua como si fuera una cuerda gigante hecha de moléculas. En cada pequeño pedazo de la superficie del agua, hay una fuerza que tira de las moléculas y las mantiene unidas. Es como si en cada centímetro de la superficie hubiera pequeñas manos invisibles que se sujetan con fuerza para evitar que la superficie se rompa (Szigety et al., 2012). Por lo tanto, matemáticamente, la tensión superficial se define como:

$$\text{Tensión superficial. } \gamma = \frac{F}{L}$$

Fuerza que actúa en la superficie del líquido.
Longitud a lo largo de la cual se aplica esa fuerza.

La templabilidad es la capacidad que tienen los aceros de adquirir dureza mediante el temple.

Esta capacidad del acero para endurecerse mediante el temple es un tratamiento térmico que mejora sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza y la resistencia. Primero, se calienta el acero a una temperatura específica, conocida como temperatura crítica (generalmente entre 800°C y 1000°C), y luego se enfría rápidamente en un medio como agua, aceite o aire. Durante el calentamiento, la estructura del acero se transforma en austenita, y al enfriarse rápidamente, se convierte en martensita, una estructura más dura y resistente, aunque también más frágil.

El temple se utiliza en aplicaciones que requieren alta capacidad para resistir fuerzas o pesos sin romperse, así como resistencia al desgaste y la deformación. Después del temple, es común realizar un proceso adicional llamado revenido, que consiste en calentar el acero templado a una temperatura más baja (generalmente entre 150°C y 650°C) y luego enfriarlo lentamente. Este proceso reduce la fragilidad y mejora la tenacidad del material, que es la capacidad de un material para absorber energía y deformarse antes de fracturarse, lo que lo hace más resistente a la ruptura. Ambos tratamientos, temple y revenido, se utilizan ampliamente en la industria para la fabricación de partes y herramientas que requieren propiedades mecánicas superiores, especialmente resistencia a la deformación.

Un acero con alta templabilidad permitirá obtener martensita tanto en la periferia como en el interior de la pieza, lo que resulta en una distribución de dureza homogénea y elevada. Cuando hablamos de templabilidad, siempre estamos relacionando la dureza con la distancia a la superficie o el tamaño de la pieza (**Fig 2.106**). Un acero con alta templabilidad es adecuado para templar completamente una pieza más grande. En cambio, un acero con baja



La martensita es una fase microestructural del acero que se forma por enfriamiento rápido (temple) de la austenita, que es una fase del acero que aparece a altas temperaturas. Hace que el acero sea más resistente, pero también más frágil.

Definición de templabilidad



Fig 2.106 Tratamiento térmico de temple



Fig 2.107 Alta y baja templabilidad.

templabilidad no será capaz de endurecer el núcleo, quedando blando en esa zona, ya que no se formará martensita en su interior (Stupenengo, 2011) (Fig 2.107).



¿Cómo sabemos cuál es el acero adecuado para nuestra aplicación si necesitamos alcanzar un nivel de dureza determinado? Para ello, es necesario realizar un ensayo de templabilidad, conocido como ensayo Jominy en honor a su creador (Fig 2.108). Este procedimiento está normalizado y puede aplicarse a cualquier tipo de acero.

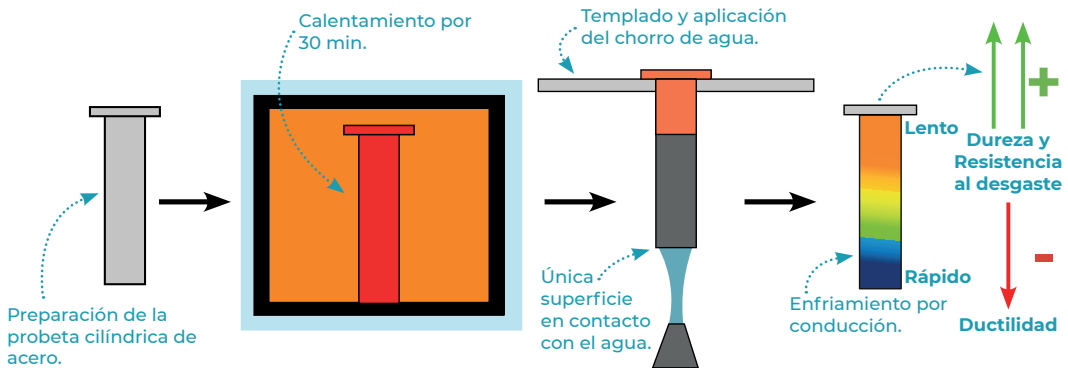


Fig 2.108 Esquema del ensayo Jominy de templabilidad.

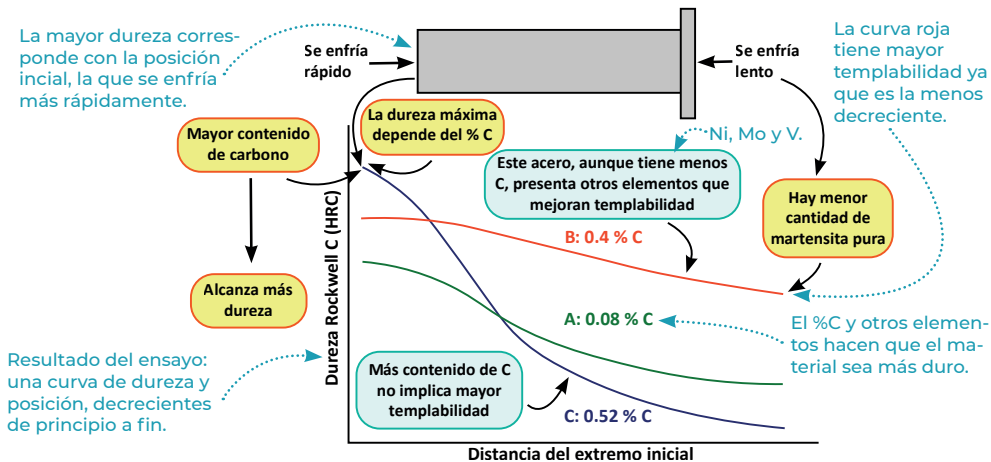


Fig 2.109 Curva de dureza en función de la distancia desde el extremo en el ensayo de Jominy.

- ▶ Se prepara una probeta cilíndrica del acero que se desea analizar.
- ▶ La probeta se introduce en un horno y se calienta durante al menos 30 min, asegurando que toda la probeta alcance la misma temperatura.
- ▶ Se retira la probeta del horno y se coloca en un dispositivo especial en menos de 5 seg.
- ▶ El dispositivo contiene una fuente de agua que suministra un chorro que impacta con la cara inferior de la probeta. Esta cara debe ser plana

y rectificada. Solo esta cara entra en contacto con el agua, actuando como la superficie templante.

- ▶ El resto de la probeta se enfría por conducción térmica, generando un gradiente de velocidades de enfriamiento. Las zonas cercanas al chorro se enfrían rápidamente.
- ▶ A medida que nos alejamos del chorro de agua, la velocidad de enfriamiento disminuye. Esto crea diferentes velocidades de enfriamiento en diferentes puntos de la probeta.
- ▶ El enfriamiento desigual genera una variación en la dureza a lo largo de la probeta, lo que permite evaluar la templabilidad del acero. Se rectifica la probeta y se mide la dureza a lo largo de toda su longitud.

La fusibilidad es la capacidad de un material para derretirse al calentarse.

Definición de fusibilidad

Al calentar ciertos materiales, como los metales, el vidrio o el plástico, se derriten fácilmente, pero esto no siempre es lo más importante al elegir un material para fabricar un objeto. Saber qué tan fácil o difícil es que un material se derrita es clave en procesos como la soldadura, donde un metal debe fundirse antes que los demás para unirlos. Por ejemplo, para soldaduras suaves se usan mezclas de plomo y estaño, y para soldaduras más fuertes se emplean metales como plata, cobre o zinc. La fusibilidad ocurre cuando un material alcanza su *punto de fusión*, la temperatura en la que pasa de sólido a líquido. Esto sucede porque las moléculas o átomos del material ganan suficiente energía térmica para superar las fuerzas que los mantienen unidos en su estado sólido. La facilidad con la que un material se funde depende de su estructura atómica, su composición química y la temperatura necesaria para romper esos enlaces. Los materiales refractarios, como los óxidos de aluminio o magnesio, no se funden fácilmente, ya que requieren temperaturas mucho más altas.

Cada material tiene su propio punto de fusión, lo que ayuda a identificarlo. Sin embargo, cuando los materiales son muy difíciles de fundir, como los minerales, a veces es complicado determinar su temperatura exacta. Para facilitar este proceso, los científicos los comparan con otros minerales cuyo punto de fusión es conocido, utilizando la *escala de Von Kobell*.

La escala de Von Kobell, clasifica la temperatura de fusión de los minerales en siete niveles, desde la antimonita (525 °C) hasta el cuarzo, que es infusible (Fig 2.111). Que el cuarzo sea infusible significa que no se puede derretir, incluso a temperaturas muy altas. El cuarzo tiene un punto de fusión extremadamente alto, por lo que no se funde fácilmente como otros materiales. La fusibilidad permite moldear materiales fundidos y fabricar aleaciones más resistentes. Por ejemplo, los metales puros suelen corroerse con el tiempo, por lo que se combinan con otros para mejorar sus propiedades.



Fig 2.110 Soldadura de estaño en una tubería de cobre.

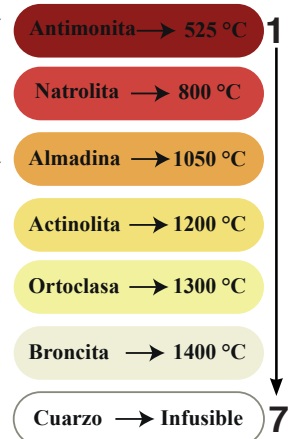


Fig 2.111 Temperatura de fundición de minerales.

En ingeniería, una aleación fusible es una mezcla de metales que se derrite a una temperatura más baja que los metales que la componen. Por ejemplo, el oro de 18 quilates es más común en joyería que el oro de 24 quilates porque se mezcla con cobre y plata, lo que lo hace más resistente y duradero, pero sigue siendo fácil de moldear y trabajar.

Definición de forjabilidad

La forjabilidad se define como la capacidad de un material para deformarse plásticamente mediante golpes o presión sin agrietarse, cuando se encuentra a una temperatura relativamente elevada.



Fig 2.112 Forja.

Para cuantificar la forjabilidad, se utilizan pruebas como:

- ▶ El recalado evalúa la capacidad de un material para soportar deformaciones axiales sin fracturarse. La deformación axial es el cambio en la forma o tamaño de un material cuando se le aplica una fuerza a lo largo de su eje principal. Esta fuerza puede ser de tracción (alargando su longitud) o de compresión (reduciendo su longitud).
- ▶ La torsión en caliente, que mide la resistencia del material a la deformación en condiciones de alta temperatura.

Esta propiedad es clave en la manufactura de piezas metálicas, ya que influye en la selección de materiales y en la optimización de los procesos de forja (Fig 2.112).

Definición de acritud

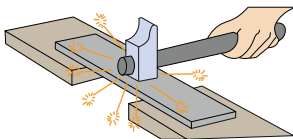


Fig 2.113 Acritud.

La acritud es una propiedad mecánica que adquieren los metales cuando son sometidos a deformación plástica en frío, un proceso también conocido como endurecimiento por acritud (Fig 2.113). Como resultado, el material experimenta un aumento en su dureza, fragilidad y resistencia, pero al mismo tiempo pierde ductilidad y maleabilidad. Este fenómeno es común en procesos de conformado en frío, como el laminado o el estirado, donde el metal se vuelve más resistente pero también más quebradizo.

2.2.4 Propiedades ecológicas

Según el impacto ambiental que generan, las propiedades ecológicas de los materiales se clasifican en tóxicos, reciclables, biodegradables y renovables.

Los materiales tóxicos son aquellos que resultan perjudiciales para el medio ambiente, ya que pueden ser venenosos para los seres vivos (plantas, animales y personas) y causar contaminación en el suelo, el agua y la atmósfera (Fig 2.114). Algunos ejemplos son:



Fig 2.114 Materiales tóxicos.

- ▶ Plomo (presente en baterías y pinturas antiguas).
- ▶ Mercurio (usado en algunos termómetros y lámparas fluorescentes).

- ▶ Pesticidas (químicos utilizados en la agricultura).
- ▶ Plásticos con aditivos peligrosos (como PVC con ftalatos).

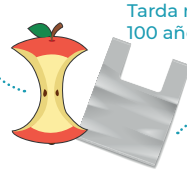
Los materiales reciclables son aquellos que pueden reutilizarse y transformarse en nuevos productos mediante procesos de reciclaje. El reciclaje no solo permite reutilizar materiales, sino que también ayuda a conservar los recursos naturales (Fig. 2.115).

- ▶ Vidrio (botellas, frascos).
- ▶ Papel y cartón (periódicos, cajas, libretas).
- ▶ Metales (latas de aluminio, cobre de cables eléctricos).
- ▶ Plásticos (botellas PET, envases de detergente).



Fig 2.115 Materiales reciclables.

Tarda 20 días en descomponerse.



Tarda más de 100 años.

Fig 2.116 Materiales biodegradables y no biodegradables.

Los materiales biodegradables son aquellos que, con el paso del tiempo, se descomponen de forma natural en sustancias más simples gracias a la acción de microorganismos como bacterias y hongos. Esto permite que se reintegren al medio ambiente sin causar contaminación significativa. Por el contrario, los materiales no biodegradables no se degradan naturalmente y pueden permanecer en el medio ambiente durante cientos o miles de años, acumulándose en ríos, mares y la atmósfera, lo que genera contaminación (Fig 2.116).

Las materias primas renovables son aquellos materiales que existen en la naturaleza en cantidades abundantes y pueden regenerarse de forma natural en un período relativamente corto. Ejemplos de estos materiales incluyen lana, algodón y madera. Por otro lado, existen materias primas no renovables, como el petróleo y los minerales, que tienen recursos limitados y pueden agotarse con el tiempo, ya que su regeneración natural tarda millones de años (Fig 2.117).

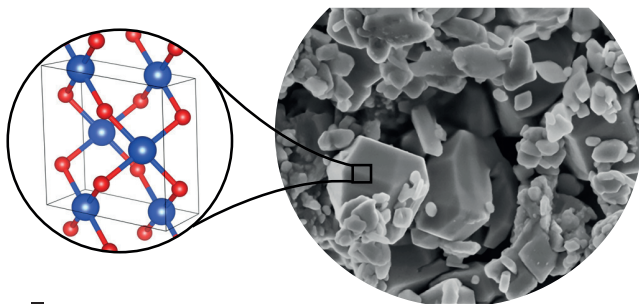


Fig 2.117 Materiales renovables.

Q Ejercicios

1. Elabora un mapa conceptual que organice y relacione todas las propiedades tecnológicas estudiadas en el Capítulo 2. Asegúrate de incluir definiciones, ejemplos y posibles aplicaciones de cada propiedad en distintos materiales o procesos industriales.
2. Si tenemos un bloque de metal cuya masa es de 200 g y su volumen es de 50 cm³, identifica a qué tipo de material podría corresponder según su densidad.
3. Supón que trabajas en una fábrica de componentes automotrices y debes elegir el material adecuado para un eje de transmisión, que estará expuesto a torsión y altas temperaturas. Investiga tres propiedades tecnológicas clave que debes considerar y selecciona dos materiales adecuados, explicando tu elección en base a esas propiedades. Finalmente, discute cómo estas propiedades influirán en el desempeño a largo plazo del eje de transmisión.

03



Física de los nuevos materiales



Se presentarán brevemente los avances actuales en el estudio de materiales, explorando los desafíos que enfrenta la ciencia de los materiales y los límites de lo que antes se consideraba imposible. Además, se analizarán las investigaciones más recientes, los materiales emergentes y su impacto en la tecnología y la industria.

Como lo vimos en el capítulo 2, las propiedades de los materiales son fundamentales, ya que determinan su utilidad en el diseño de productos tecnológicos. Por ello, el desarrollo de nuevos materiales es clave para la innovación. A lo largo de la historia de la humanidad, los materiales y los avances en su ciencia han tenido un gran impacto en nuestra evolución. Hoy en día, estamos en la era de los nuevos materiales, cuando la investigación y el diseño de materiales avanzados están revolucionando múltiples industrias.

Las exigencias del mercado y la tecnología han impulsado la creación de materiales más ligeros, resistentes, flexibles o rígidos, con propiedades optimizadas para soportar el calor, el desgaste y las condiciones más exigentes. Al mismo tiempo, los investigadores están explorando los límites de lo posible, no solo mejorando materiales existentes, sino también desarrollando otros completamente nuevos que, aunque todavía no sean de uso común, podrían transformar la tecnología del futuro.

La industria de los materiales es una base fundamental para el desarrollo económico y tecnológico, y los nuevos materiales representan el motor de innovación en este campo. Materiales como el grafeno, los nanotubos de carbono, las aleaciones amorfas, las espumas metálicas, los nanomateriales, los superconductores, los multiferroicos, las perovskitas y los líquidos iónicos ofrecen un sinfín de posibilidades para el desarrollo de diversas industrias (Newell, 2010). Actualmente, la revolución científica y tecnológica avanza a un ritmo acelerado, con nuevos materiales y productos surgiendo constantemente, impulsando la modernización industrial. La integración de la ciencia de materiales con la nanotecnología, la biotecnología y la tecnología de la información ha dado lugar a materiales con funciones inteligentes y estructuras optimizadas (Farinango et al., 2024). Esta convergencia está redefiniendo el futuro de la tecnología y la manufactura.

3.1 Una mirada al futuro: los nuevos materiales impulsan la tecnología

Como sabemos, las propiedades de los materiales se originan en su estructura cristalina, es decir, a nivel nanométrico. Por lo tanto, las potenciales aplicaciones tecnológicas son posibles gracias a la nanociencia y la nanotecnología (Bhattacharjee & Bandyopadhyay, 2024).

El prefijo “nano-” funciona igual que “mili-” o “mega-”, y significa una millonésima parte, es decir, 10^{-9} . Esto quiere decir que 1 nanómetro (nm) equivale a 10^{-9} metros (m). Para imaginarlo mejor, en 1 milímetro caben un millón de nanómetros, y un cabello humano tiene un grosor aproximado de 100.000 nm. ¡Así de pequeño es el mundo nano!

Definición de nano

La nanociencia es el estudio de los fenómenos y la manipulación de materiales a escala atómica, molecular y macromolecular, donde las propiedades difieren significativamente de las de una escala mayor (Orozco, 2023).

Definición de nanociencia

Definición Nanotecnologías

Las nanotecnologías son el diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas mediante el control de la forma y el tamaño a escala nanométrica (Orozco, 2023)



En este contexto, “**una dimensión**” se refiere a una de las tres medidas espaciales (ancho, alto o profundidad) de un material. Es decir, un nanomaterial tiene al menos una de estas medidas menor a 100 nanómetros (nm).

A pesar de esta definición, el término “nano” se usa con frecuencia de manera inconsistente, incluso en el ámbito científico. Solo se consideran nanomateriales (NMs) aquellos que tienen al menos una dimensión que mide menos de 100 nanómetros (nm). En términos generales, los NMs se clasifican según el número de dimensiones en la escala nanométrica. Dentro de cada clasificación, los NMs pueden caracterizarse aún más según su

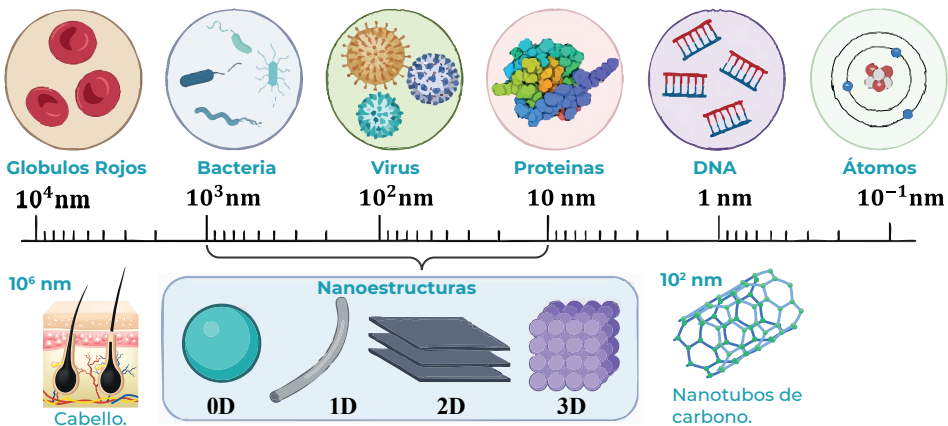


Fig 3.1 Integración a nanoescala de nanopartículas y biomoléculas.

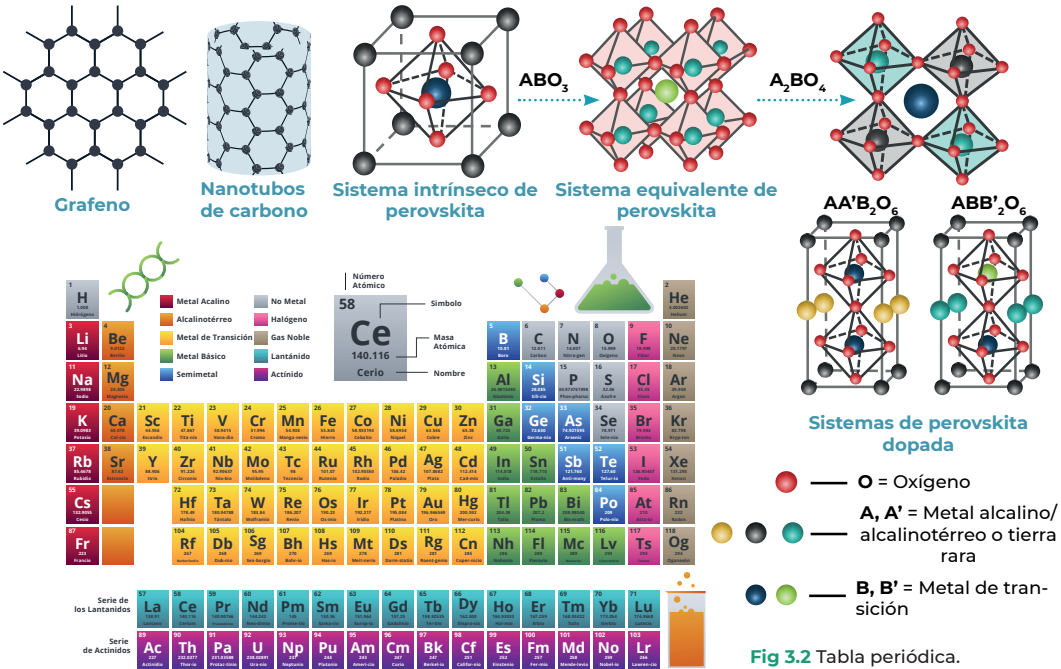


La perovskita y muchos otros materiales, como el oro o el carbono, pueden volverse nanomateriales según la ruta de síntesis o crecimiento utilizada. A escala nanométrica, sus propiedades cambian, dando lugar a nuevas características y propiedades.

composición orgánica o inorgánica. Los NMs orgánicos incluyen aquellos sintetizados a partir de polímeros, fosfolípidos, proteínas y sus híbridos, mientras que los inorgánicos abarcan metales, óxidos metálicos, materiales basados en carbono, semiconductores y puntos cuánticos. Estos pueden clasificarse según su dimensionalidad en 0D, 1D, 2D y 3D, lo que influye en sus propiedades (Fig 3.1). Los 0D (cero dimensiones), como los puntos cuánticos y nanopartículas de oro, tienen todas sus dimensiones confinadas y se utilizan en bioimagen, pantallas LED y catálisis. Los 1D (una dimensión), como los nanotubos de carbono y nanohilos semiconductores, permiten conducción en una dirección y se aplican en electrónica flexible, sensores y baterías avanzadas. En contraste, los 3D (tres dimensiones), como aerogeles y materiales nanoestructurados porosos, poseen nanoarquitecturas internas y se emplean en almacenamiento de energía, filtración y medicina (Thakur et al., 2024).



¡La tabla periódica es clave en la creación de nuevos materiales! Un gran ejemplo es la perovskita (ABO_3), que se forma al combinar distintos elementos. Dependiendo de cómo se sustituyan sus átomos en la red cristalina, se pueden obtener nuevas estructuras. Estas variaciones afectan sus propiedades eléctricas y magnéticas, abriendo un mundo de posibilidades en ciencia y tecnología! Lo mismo ocurre con los nanomateriales, que surgen al manipular átomos y moléculas de la tabla periódica a escala nanométrica. Al combinar diferentes elementos en esta escala, se pueden diseñar materiales con propiedades únicas, como mayor resistencia, mejor conductividad o capacidades avanzadas para electrónica, medicina y energía (Fig 3.2).



La nanoelectrónica avanza enfocándose en superar desafíos y aprovechar las propiedades de los nanomateriales para mejorar el rendimiento y reducir el tamaño de los dispositivos. Las innovaciones recientes han permitido crear componentes ultrapequeños y eficientes mediante el uso de materiales 2D y nanoestructuras 1D. El diseño de dispositivos electrónicos comienza con la nanotecnología, ya que la miniaturización de los componentes depende de materiales con propiedades a nivel atómico. La física, la química y la ingeniería han sido clave en este avance, impulsado por materiales innovadores como el carbono, los multiferroicos y las perovskitas (Saparov & Mitzi, 2016)

Las perovskitas han cobrado gran importancia en este campo gracias a su alta eficiencia electrónica, propiedades semiconductoras ajustables y excelente respuesta optoelectrónica, lo que las hace ideales para aplicaciones en transistores, LEDs, fotodetectores, celdas solares (Fig 3.3). y memorias de almacenamiento de información (Fig 3.4). Su combinación con materiales como el grafeno abre nuevas posibilidades para el desarrollo de dispositivos ultracompactos y de alto rendimiento (Hlali et al., 2025). Los nanomateriales tienen propiedades eléctricas, térmicas y mecánicas mucho mejores que los materiales tradicionales. Sin embargo, llevar la nanoelectrónica a la práctica no es tan sencillo. Existen grandes desafíos, como la creación de materiales adecuados, la fabricación a gran escala y su compatibilidad con la tecnología actual.

Algo muy común en nuestra vida diaria son las memorias de almacenamiento, como las de tu computadora, que funcionan como una gran libreta donde se escriben y borran datos constantemente. Cada dato se guarda en forma de bits (ceros y unos), y en las memorias tradicionales se almacenan utilizando electricidad o magnetismo (Fig 3.5). Para mejorar su rendimiento, se han diseñado materiales multiferroicos, como algunas perovskitas complejas, que tienen la capacidad especial de usar electricidad y magnetismo

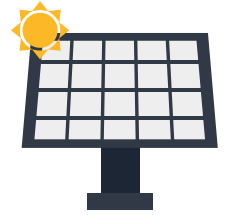


Fig 3.3 Celdas solares.

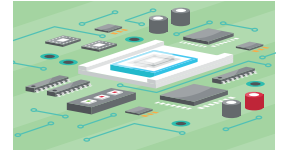


Fig 3.4 Almacenamiento de información.



Un **bit** es la unidad más pequeña de información en una computadora. Solo tiene dos estados posibles, como un interruptor:

Encendido → (1)
Apagado → (0)

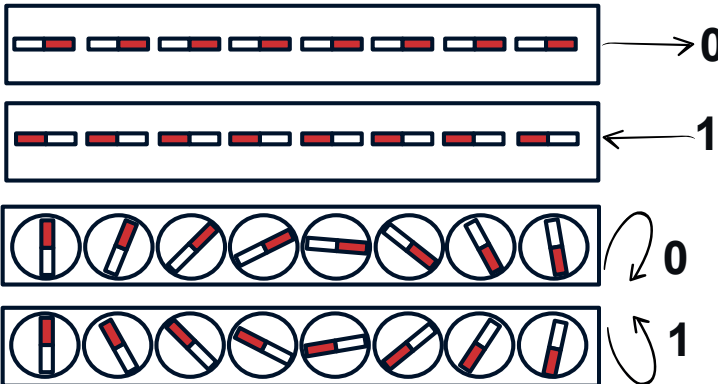


Fig 3.5 Principio de memorias magnetoeléctricas, para almacenamiento de información.

En una memoria magnetoeléctrica tradicional, los diminutos imanes se organizan en líneas rectas.

En una nueva tecnología de memoria magnetoeléctricas, pequeños imanes se alinean formando patrones en espiral.

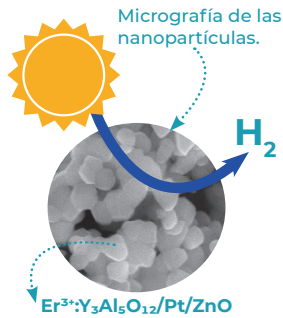


Fig 3.6 Catalizador para producir hidrógeno con el sol.

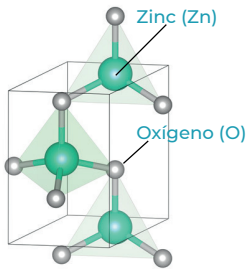


Fig 3.7 Estructura cristalina del ZnO.

al mismo tiempo para guardar información. ¡Es como tener una libreta mágica que se puede escribir de dos maneras diferentes!

Algunas perovskitas, como la ferrita de bismuto (BiFeO_3), el titanato de plomo y bismuto (BiPbTiO_3), las manganitas (LaMnO_3 y derivados) y nuevas modificaciones llamadas perovskitas complejas ($\text{TRBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_7$), se utilizan en memorias avanzadas debido a su capacidad de responder tanto a la electricidad como al magnetismo (Saavedra et al., 2025). Estos materiales permiten el desarrollo de memorias más rápidas, eficientes y de menor consumo energético, abriendo nuevas posibilidades para el almacenamiento de datos (Shang et al., 2018).

A medida que nos adentramos en la escala microscópica y nanoscópica, los científicos buscan formas más precisas de construir materiales, que parten desde los mismos átomos y moléculas (Ding et al., 2025). Hoy en día, muchos productos que usamos a diario ya incorporan materiales y procesos a escala nanométrica, lo que demuestra cómo esta tecnología está transformando nuestra vida cotidiana.

Imagina poder obtener energía limpia a partir del agua con la ayuda de la luz. Esto es posible gracias a los nanomateriales, que están revolucionando la producción de hidrógeno como fuente de energía sostenible. Uno de los métodos más prometedores es la fotocatalisis, donde materiales especiales, como el óxido de zinc (ZnO) y el platino (Pt), aprovechan la luz para descomponer el agua y liberar hidrógeno sin generar contaminación. Para mejorar este proceso, se han desarrollado estrategias innovadoras, como el sistema $\text{Er}^{3+}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}/\text{Pt}/\text{ZnO}$. Este material incorpora nanopartículas luminiscentes que captan mejor la luz solar, aumentando la eficiencia de la reacción (Fig 3.6). Gracias a estas tecnologías, la producción de hidrógeno se vuelve más eficiente y sostenible, ofreciendo una alternativa real a los combustibles fósiles y acercándonos a un futuro más limpio y renovable (Morales et al., 2024).

Definición Catalizador

Un catalizador es una sustancia que ayuda a que una reacción química ocurra más rápido o con menos esfuerzo, pero sin gastarse en el proceso. Puede estar en diferentes formas, incluyendo nanoestructuras, llamadas nanocatalizadores, que son catalizadores a escala nanométrica (Varela et al., 2024).

En el mundo de la ciencia, los médicos y científicos han luchado durante años contra un enemigo difícil de vencer: el cáncer; aunque existen tratamientos como la quimioterapia, estos no distinguen entre células buenas y malas, dañando muchas partes del cuerpo en el proceso. Un grupo de investigadores quería encontrar una solución más inteligente y descubrieron algo asombroso: podían crear diminutas partículas magnéticas, llamadas

nanopartículas superparamagnéticas, que ayudarían a llevar los medicamentos directamente a las células enfermas sin afectar las sanas.

Pero había un problema: para fabricar estas nanopartículas de manera ecológica y segura, necesitaban un ingrediente especial que las estabilizara y ayudara en su formación. Fue entonces cuando miraron algo que usamos todos los días y que, muchas veces, desechamos sin pensar: la cáscara del plátano. Sí, la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) resultó ser un excelente ayudante en este proceso. Gracias a sus propiedades naturales, permitió crear nanopartículas de óxido de hierro (Fe_3O_4 (Fig 3.8)) que, al ser probadas en células cancerosas, lograron reducir su crecimiento de manera significativa. Este descubrimiento podría cambiar el futuro de los tratamientos contra el cáncer, haciendo que los medicamentos sean más efectivos y con menos efectos secundarios. Así, algo tan común y simple como la cáscara de un plátano podría convertirse en un aliado poderoso en la lucha contra una de las enfermedades más desafiantes del mundo (Peréz et al., 2024).

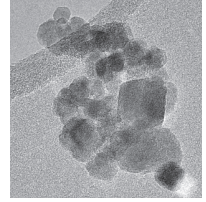


Fig 3.8 Imagen de nanopartículas de Fe_3O_4 tomada con un microscopio de transmisión.

Es importante destacar la búsqueda de métodos eficientes y ecológicos para limpiar el agua contaminada. En termoeléctricas como la de Paipa, Boyacá (Colombia), se generan grandes cantidades de cenizas volantes de carbón (CVC), un material que usualmente se desecha. Esto llevó a los científicos de la UPTC a preguntarse: ¿y si pudiéramos transformarlas en algo útil?

Para responder a esta pregunta, las cenizas se someten a un proceso especial con NaOH y calor, logrando convertirlas en zeolitas, nanomateriales porosos capaces de atrapar contaminantes, como si fueran esponjas microscópicas. Durante el estudio, descubrieron que dos tipos de zeolitas, cancrinita y analcima, tenían una propiedad inesperada: eran magnéticas debido a la presencia de hierro en las CVC. Esto significaba que, además de limpiar el agua, podían recuperarse fácilmente con un imán, facilitando su reutilización. Para comprobar su efectividad, se han realizado experimentos con azul de metileno, un colorante que simula la contaminación. En solo 60 minutos, las zeolitas lograron absorber el colorante, dejando el agua limpia (Fig 3.9). Además, el análisis de la adsorción reveló que la analcima seguía el modelo de Freundlich, mientras que la cancrinita se ajustaba al modelo de Langmuir, lo que indica diferencias en la manera en que capturan los contaminantes (Supelano et al., 2020).

Este hallazgo demuestra que las zeolitas obtenidas de CVC pueden ser una solución sostenible y eficiente para el tratamiento de aguas contaminadas, transformando un residuo industrial en un recurso valioso para el medio ambiente. Además, resaltamos que en Boyacá y en la UPTC se lleva a cabo investigación científica de alto nivel con impacto internacional.

Microestructura de Zeolitas.

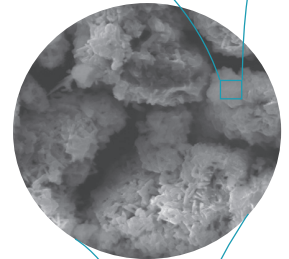
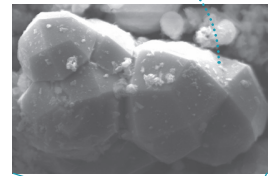


Fig 3.9 Nanomateriales que atrapan contaminantes en aguas.



Un analito es la sustancia que se quiere detectar o medir en un análisis químico o sensor.

Ejemplo: En un sensor de monóxido de carbono (CO), el CO es el analito porque es el gas que el sensor detecta.

Por otro lado, el crecimiento de la industrialización y urbanización ha incrementado la contaminación del aire y el riesgo de fugas de gases inflamables, lo que hace esencial su detección en tiempo real. Por tanto, el diseño de sensores se hace primordial para mitigar estas problemáticas. Entre los sensores de gas, actualmente se han investigado los basados en óxidos metálicos, los cuales se destacan por su alta sensibilidad, selectividad y bajo costo. El óxido de zinc es un material prometedor en este campo, pero su necesidad de operar a altas temperaturas limita su aplicación en entornos peligrosos. Para resolver este problema, se han desarrollado sensores quimioresistivos (Fig 3.10), basados en ZnO dopado con óxidos metálicos (como SnO_2 , CuO , WO_3 y Fe_2O_3) y heterouniones con polímeros conductores, mejorando la sensibilidad, selectividad y estabilidad a temperatura ambiente. Además, la activación mediante luz ha demostrado ser una estrategia efectiva para reducir la temperatura de operación, permitiendo la detección eficiente de gases sin comprometer la seguridad ni el consumo energético (Franco et al., 2022).

Definición Sensor Quimioresistivo

Un sensor quimioresistivo es un dispositivo que detecta la presencia de gases o sustancias químicas mediante cambios en su resistencia eléctrica cuando interactúa con un analito específico (Najafi et al., 2024).

Capa sensitiva: es el material activo que interactúa con el analito y provoca un cambio en la resistencia eléctrica del sensor.

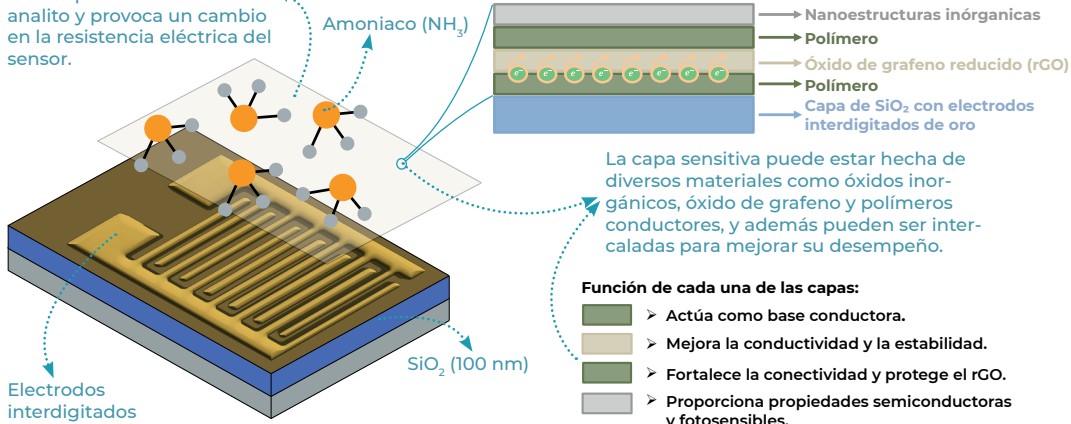


Fig 3.10 Diseño de sensores quimioresistivos, para detección de gases contaminantes.

Otro tipo de materiales prometedores en la actualidad son los llamados MXenes. Los MXenes son una familia de materiales revolucionarios con estructuras bidimensionales que combinan alta conductividad, gran área superficial y propiedades químicas ajustables (Perera et al., 2023). Estos materiales se obtienen a partir de la eliminación selectiva de ciertos

elementos en compuestos llamados fases MAX, lo que les otorga características únicas como su hidrofiliicidad y excelente conductividad eléctrica. Gracias a esto, los MXenes han despertado gran interés en diversas aplicaciones tecnológicas, desde baterías de alto rendimiento y supercondensadores hasta sensores avanzados, electrocatalizadores y biomedicina. También se han explorado en protección electromagnética y filtración de agua, mostrando su potencial para resolver problemas en el ámbito energético y ambiental (Fig 3.11).

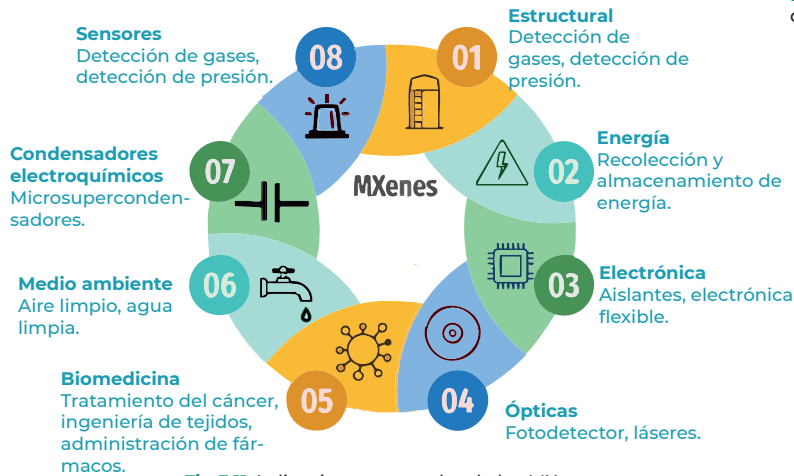


Fig 3.11 Aplicaciones generales de los MXenes.

Los MXenes están revolucionando múltiples campos gracias a sus propiedades únicas. En el ámbito del almacenamiento de energía, se utilizan en baterías de litio y zinc-ion, donde aumentan la capacidad de carga y prolongan la vida útil, lo que se traduce en dispositivos electrónicos más duraderos y eficientes. En el área de la electrónica flexible, estos materiales se han incorporado en sensores de alta precisión, capaces de detectar gases tóxicos en el aire o incluso biomoléculas en fluidos corporales, facilitando el monitoreo ambiental y el diagnóstico médico de manera rápida y confiable (Li et al., 2023).

En el campo de la biomedicina, se investigan como transportadores de fármacos, permitiendo dirigir medicamentos a zonas específicas del cuerpo, y como materiales antibacterianos, con potencial para combatir infecciones sin el uso de antibióticos. Con cada avance, estos materiales están abriendo nuevas puertas hacia un futuro más sostenible e innovador (Li et al., 2025). Los científicos continúan desarrollando materiales innovadores que superan a los convencionales en resistencia, ligereza y funcionalidad. Gracias a los avances en nanotecnología, las posibilidades de nuevos materiales y combinaciones parecen ilimitadas.

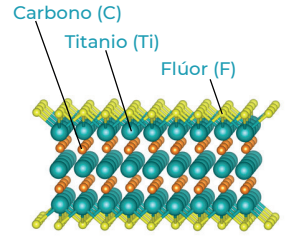


Fig 3.12 Estructura cristalina del MXene $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{F}_2$.



La fórmula general de los MXenes es $\text{M}_{n+1}\text{X}_n\text{T}_x$, donde:

M = Metal de transición (Ti, V, Nb, Mo, etc.)
X = Carbono o nitrógeno.
 T_x = Grupos funcionales en la superficie (O, OH, F, etc.)

Se obtienen a partir de fases MAX ($\text{M}_{n+1}\text{AX}_n$), donde A es un elemento de los grupos 13 o 14 (Al, Si, Ga). La formación de MXenes ocurre eliminando el elemento A mediante grabado químico con ácidos fuertes (HF o mezclas fluoradas), dejando capas atómicas bidimensionales de M y X (Fig 3.12).



Fig 3.13 Imanes de Neodimio (Nd).



Fig 3.14 Turbinas eólicas.

La electrónica flexible es otro campo en el que el descubrimiento de materiales podría impulsar avances.



Fig 3.15 Pantallas flexibles.

Actualmente, la investigación se centra en los elementos de tierras raras, conocidos por sus propiedades únicas. Un ejemplo es el neodimio, cuyos imanes pueden almacenar grandes cantidades de energía magnética, lo que los hace ideales para impulsar los rotores de las turbinas eólicas (**Fig 3.14**). Por su parte, el cerio, cuando se combina con aluminio, mejora su rendimiento a altas temperaturas y confiere a la aleación una mayor resistencia a la corrosión en comparación con la mayoría de las aleaciones de aluminio.

Es necesario comprender que la búsqueda de nuevos materiales que puedan ayudar a impulsar el desarrollo de las próximas tecnologías revolucionarias ha sido un proceso largo y costoso. Esto se debe a la complejidad de muchos materiales a nivel atómico y molecular. Los métodos tradicionales se basan fundamentalmente en el método de ensayo y error y requieren equipos y recursos especializados.

La búsqueda de nuevos materiales es un proceso complejo y largo, ya que implica riesgos e incertidumbre que dificultan su descubrimiento. Los avances en inteligencia artificial (IA), especialmente en un área llamada aprendizaje automático, están revolucionando la forma en que hacemos las cosas. ¿Cómo funciona? Imagina que en lugar de programar cada paso, las computadoras aprenden por sí solas a partir de los datos, usan reglas matemáticas llamadas algoritmos, que analizan la información y mejoran sus tareas con el tiempo, sin necesidad de que una persona les diga exactamente qué hacer teniendo procesos más eficientes y precisos.

MatterGen y MatterSim son dos herramientas que trabajan juntas en el descubrimiento de nuevos materiales. MatterGen genera miles de materiales potenciales con propiedades específicas, como simetría o características mecánicas y electrónicas, mucho más rápido que los métodos tradicionales. Luego, MatterSim analiza cuáles de esos materiales son realmente estables y viables en el mundo real. Gracias a la inteligencia artificial, este proceso acelera el diseño de materiales y ayuda a los investigadores a enfocarse en las mejores opciones (Zeni et al., 2025).

Llegados a este punto, podríamos preguntarnos: ¿cómo es un nuevo material descubierto con este proceso? MatterSim se enfoca en estructuras cristalinas, que son como patrones ordenados de átomos dentro de un material. Estas estructuras no son al azar, sino que se diseñan siguiendo reglas precisas para que tengan propiedades específicas. ¿Para qué sirven? Dependiendo de su composición, pueden utilizarse en cosas tan variadas como baterías más potentes, pantallas flexibles (**Fig 3.15**), paneles solares eficientes o incluso implantes médicos avanzados. ¡Es como crear materiales a la medida para cada necesidad!. Empresas como Microsoft no están solas en la carrera por revolucionar el descubrimiento de materiales. Google DeepMind ha desarrollado Gnome (Graph Networks for Materials Exploration),

una herramienta que promete acelerar este proceso drásticamente. Gnome utiliza una forma avanzada de inteligencia artificial llamada aprendizaje profundo, inspirada en el funcionamiento del cerebro humano (Moi et al., 2025). Con esta tecnología, puede predecir qué materiales serán estables antes de ser fabricados, reduciendo drásticamente el tiempo de exploración. En otras palabras, actúa como un superasistente que ayuda a encontrar más rápido materiales innovadores para el futuro. En el artículo titulado “*Scaling Deep Learning for Materials Discovery*” (Merchant et al., 2023), investigadores de Google DeepMind demostraron el impresionante potencial de su modelo de IA. Su sistema identificó 2,2 millones de nuevos materiales estables, de los cuales 736 ya han sido creados en laboratorio. Esto representa un avance diez veces mayor en comparación con los métodos tradicionales. Muchos de estos materiales eran completamente desconocidos para los científicos hasta ahora y podrían transformar sectores como la energía limpia, la electrónica y más.

Finalmente, las empresas suelen utilizar materiales ya probados por su confiabilidad, pero la incorporación de nuevos materiales permite mejorar la eficiencia y funcionalidad de los productos, abriendo nuevas posibilidades de diseño tras su validación. La investigación en nuevos materiales sigue en constante evolución; la carrera por descubrir y desarrollar soluciones más eficientes y sostenibles aún no ha terminado. Lo que presentamos en este capítulo es solo un pequeño vistazo a la gran cantidad de estudios y avances que se están llevando a cabo en la Física de los Materiales, con impacto en múltiples sectores clave para el futuro (Kim, 2025).

Un ejemplo reciente es el descubrimiento de un nuevo ordenamiento magnético conocido como *altermagnetismo*, identificado en materiales como el dióxido de rutenio (RuO_2) (Fig 3.16), donde se observa un efecto Hall anómalo sin magnetización neta macroscópica. Este fenómeno, reportado por Feng et al. (2022), revela una simetría magnética novedosa que distingue al RuO_2 de los ferromagnetos y antiferromagnetos convencionales, generando grandes expectativas en la física de materiales y de la materia condensada por su potencial impacto en la espintrónica y en futuras tecnologías cuánticas.

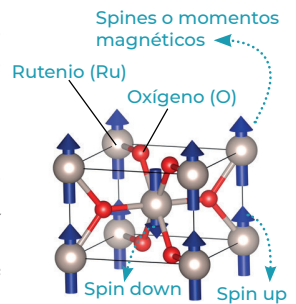


Fig 3.16 Estructura cristalina de RuO_2 .



¿Sabías que...?

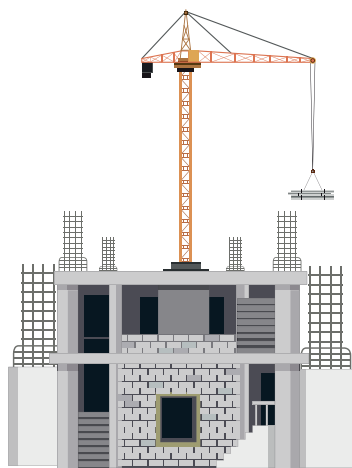
El doctor **Rafael Julián González Hernández**, egresado de Física de la UPTC, hizo parte del equipo de investigación que contribuyó al descubrimiento del *altermagnetismo*, el nuevo ordenamiento magnético que hoy es considerado uno de los avances más relevantes en la física de los materiales. Un logro que es motivo de #OrgulloUPTCista.

Q Ejercicios

1. ¿Qué avances traerá la física de materiales en este siglo y cómo impactarán los nuevos materiales en áreas como la computación, la energía renovable, la biomedicina, la exploración espacial y los dispositivos electrónicos de uso cotidiano?
2. ¿De qué manera ha influido la física de materiales en la evolución del almacenamiento de datos y en propiedades ópticas avanzadas, como el cambio de color en la Copa de Licurgo?

04

Física detrás de las estructuras



4.1 ¿Qué son las estructuras?



Fig 4.1 Estructura en construcción.

Definición de Estructura



Más adelante aclaremos de manera más amplia, qué significan los **conjuntos de elementos y fuerzas**.



Exploraremos las estructuras en detalle, analizando los diversos tipos de cargas y esfuerzos que enfrentan, así como las condiciones que deben satisfacer y los diferentes tipos de estructuras que existen.

Sin mayores rodeos: *Una estructura es un conjunto de elementos unidos entre sí, con la misión de soportar las fuerzas que actúan sobre ellos (Cervera Ruiz & Blanco Díaz, 2002).*

Todos los objetos tienen alguna forma de estructura. Estas estructuras están presentes en la naturaleza, desde las conchas de los moluscos hasta los esqueletos de los animales (Fig 4.2), y se extienden a construcciones humanas como edificios, puentes y más. El ser humano ha desarrollado sus propias estructuras para satisfacer sus necesidades y resolver problemas específicos. Observa en la Fig 4.3 algunos elementos de una estructura.

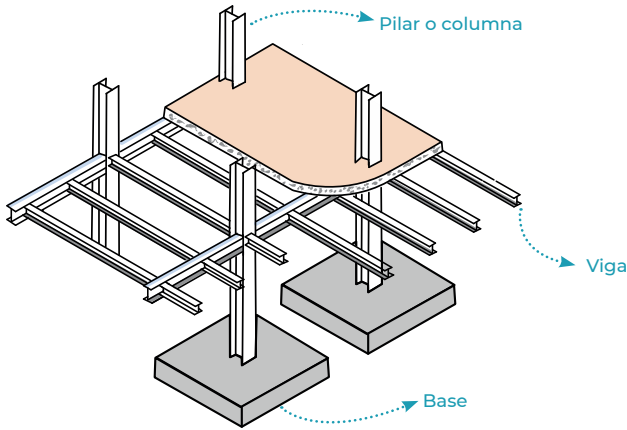


Fig 4.3 Algunos elementos de una estructura desarrollada por el ser humano.

Para seguir comprendiendo cómo funcionan las estructuras y la física que hay detrás, necesitamos abordar el tema de las fuerzas. La siguiente sección nos proporcionará las bases de la *dinámica* que nos permitirán comprender algunos de los conceptos que estudiaremos a lo largo del libro.

Así que presta atención, porque lo que sigue es fundamental. Sin una buena comprensión de las *fuerzas* y la *dinámica*, no podremos entender la física que hay detrás de las estructuras. Pero no te preocupes: iremos explicando todo paso a paso para que lo asimiles con claridad. Una vez que domines estas bases, el resto será mucho más sencillo. Concéntrate en esta sección, porque es el cimiento sobre el que construiremos todo lo que viene después.

4.1.1 Newton y las fuerzas

Como vemos, las estructuras están diseñadas para soportar fuerzas; por ello, comenzaremos estudiando primero qué son las fuerzas y cómo actúan.

Todos tenemos una comprensión básica del concepto de fuerza, basada en nuestra experiencia diaria. Por ejemplo, al alejar un plato de cereal (**Fig 4.4**), ejercemos una fuerza sobre él. De manera similar, al lanzar o golpear una pelota (**Fig 4.5**), aplicamos una fuerza sobre ella. En estos casos, la fuerza implica una interacción con un objeto mediante actividad muscular y puede provocar un cambio en su velocidad. Sin embargo, las fuerzas no siempre resultan en movimiento. Por ejemplo, aunque la fuerza gravitacional actúa sobre nuestro cuerpo cuando estamos sentados, permanecemos en reposo (Arrayás Chazeta & Uriarte González, 2024). Del mismo modo, podemos aplicar una fuerza sobre una roca grande y no lograr moverla (**Fig 4.6**). Déjanos explicarte un poco sobre esto de la *fuerza gravitacional*.



Fig 4.2 Estructura esquelética de la jirafa



Fig 4.4 Fuerza aplicada a un plato de cereal.



Fig 4.5 Fuerza sobre una pelota de baseball.



Fig 4.6 Fuerza aplicada sobre un objeto y este no se mueve.



Todos los objetos son atraídos hacia la Tierra. La fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre un objeto se llama **Fuerza gravitacional** $\vec{F}_g$.

En una estructura, la fuerza gravitacional actúa sobre cada uno de los elementos que la conforman, de hecho, la fuerza gravitacional afecta a todo aquello que tenga masa y que esté cerca al planeta Tierra. Por ejemplo, una manzana o la luna (Fig 4.7).

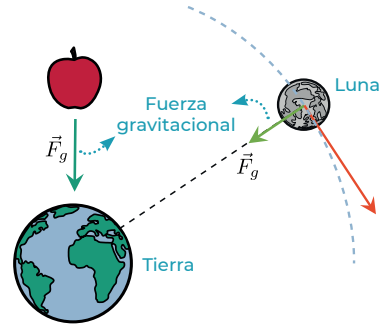


Fig 4.7 Fuerza gravitacional que ejerce la tierra sobre objetos cercanos.



Isaac Newton fue uno de los científicos más brillantes de la historia. Antes de los 30 años, formuló las leyes de la mecánica, descubrió la ley de gravitación universal e inventó el cálculo matemático. Con sus teorías, explicó fenómenos como los movimientos planetarios, las mareas y la dinámica lunar. También interpretó observaciones clave sobre la naturaleza de la luz. Sus aportes dominaron la ciencia durante siglos y siguen siendo relevantes hoy en día (Higgitt et al., 2024).

Ocurren situaciones en las cuales existen las llamadas *fuerzas de contacto*, es decir, implican contacto físico entre los objetos. Por ejemplo, cuando un resorte se jala (Fig 4.8), el resorte se estira. Cuando se jala un carrito que está quieto o en reposo (Fig 4.9), el carrito se mueve. Cuando se patea un balón (Fig 4.10), se deforma y se pone en movimiento o incluso cuando pisas el suelo. También existen otros tipos de fuerzas conocidas como *fuerzas de campo*, ya que no involucran contacto físico entre objetos, sino que actúan a través del espacio vacío (Fig 4.11). Por ejemplo, la fuerza gravitacional que ejerce la Tierra sobre una manzana hace que esta caiga.

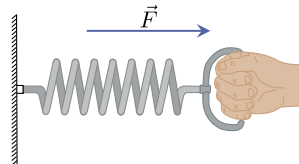


Fig 4.8 Fuerza de contacto jalando un resorte.

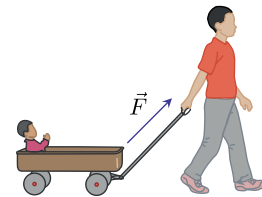


Fig 4.9 Fuerza de contacto jalando un carrito.

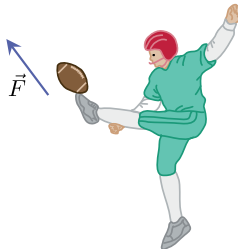


Fig 4.10 La patada requiere de un contacto entre el pie y el balón.

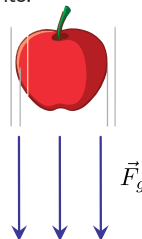


Fig 4.11 Una manzana siendo atraída por la tierra sin necesidad de que se toquen.

Para poder hablar de fuerzas en las estructuras necesitamos entender un poco de la dinámica que nos planteó Isaac Newton, ya que de aquí aparecen las *leyes de Newton*, que son la base con la que trabajaremos (Newton, 1934/1687). ¿Por qué es tan importante comprender las tres leyes de Newton antes de adentrarnos en el estudio de las estructuras en el ámbito de la tecnología? ¡Buena pregunta! Resulta que estas leyes son los cimientos de un gran edificio; en lugar de ladrillos, están formadas por conceptos científicos. A continuación, intentaremos explicar brevemente cada una de ellas.

La Primera de Newton

En ausencia de fuerzas externas, un objeto en reposo se mantiene en reposo y un objeto en movimiento continúa en movimiento con una velocidad constante, es decir, con una rapidez constante en línea recta (Knight et al., 2019).

Primera ley de Newton

La primera ley de Newton explica lo que le sucede a un objeto cuando sobre él no actúan fuerzas: mantiene su movimiento original; permanece en reposo o se mueve en línea recta con rapidez constante.

La tendencia de un objeto a resistir cualquier intento de cambiar su velocidad o su estado de reposo se llama *inercia*. ¿Qué es eso? Bueno, imagina que estás en un coche y el conductor frena de golpe. ¿Qué pasa? Te lanzas hacia adelante, ¿verdad? Pues eso es inercia. Es la tendencia de un cuerpo a seguir en estado de movimiento o de reposo (Fig 4.12). Luego, tu cuerpo se verá desacelerado por el golpe y la velocidad de tu movimiento cambiará. Entender esta ley nos ayuda a comprender cómo los objetos se mueven y por qué, lo cual es vital para diseñar estructuras que sean seguras y eficientes.



Fig 4.12 Tendencia de los cuerpos a seguir en estado de movimiento cuando el carro frena de golpe.

La Primera Ley de Newton, o *Ley de la Inercia*, se manifiesta en numerosas situaciones cotidianas que podemos experimentar directamente (Álvarez, 2009). Uno de los ejemplos más claros ocurre cuando viajamos en un bus (Fig 4.13) y el conductor frena bruscamente. En ese momento, los pasajeros tienden a continuar moviéndose hacia adelante debido a la inercia, es decir, la tendencia de los objetos a mantener su estado de movimiento. Esta situación puede volverse peligrosa en caso de un choque, ya que los pasajeros podrían impactar contra el parabrisas, los asientos o las puertas, lo que puede resultar en heridas graves si no están utilizando el cinturón de seguridad.



La comprensión de la **Primera Ley de Newton** no solo nos ayuda a entender el comportamiento de los objetos en movimiento, sino que también nos permite tomar precauciones adecuadas para garantizar nuestra seguridad en situaciones cotidianas.



Fig 4.13 Tendencia a permanecer en movimiento.

¿Qué es la masa?

Imagina que estás tratando de atrapar un balón de básquetbol y una bola de bolos al mismo tiempo. ¿Cuál de los dos es más probable que siga moviéndose cuando intentes atraparlo? Y, por otro lado, ¿cuál de los dos requeriría más esfuerzo para lanzar en primer lugar? Pues bien, si lo piensas, la bola de bolos sería más difícil de lanzar inicialmente. ¿Por qué? Porque es más pesada y requiere más fuerza para moverla. En términos de física, podríamos decir que la bola de bolos es más resistente al cambio en su velocidad que el balón de básquetbol. Si intentas atrapar tanto el balón de básquetbol como la bola de bolos en movimiento, es más probable que la bola de bolos siga moviéndose después de que lo hayas agarrado. ¿Por qué?

Pues resulta que este concepto puede cuantificarse en lo que llamamos *masa*, ya que no solo es una medida de la cantidad de materia, sino de su *inercia*.

Definición de masa

La masa es una propiedad de un objeto que no solo indica cuánta resistencia ofrece a un cambio en su velocidad, sino que también representa una medida de su inercia (Serway & Jewett, 2004).

La unidad del SI de **masa** es el **kilogramo (kg)**. Los experimentos muestran que mientras más grande sea la masa de un objeto, menos acelera el objeto bajo la acción de una fuerza aplicada conocida.

Es decir, la masa determina tanto la cantidad de fuerza necesaria para cambiar la velocidad de un objeto como su tendencia a mantener su estado de movimiento. Ya vimos en el capítulo anterior que en las estructuras, la masa es una propiedad importante en los materiales y que determina la cantidad de materia que puede tener un objeto.

Distinción entre masa y peso

Es importante distinguir entre la **masa (m)** y el **peso ($\vec{w}$)**, ya que son dos conceptos distintos. El peso de un objeto se refiere a la magnitud de la fuerza gravitacional ejercida sobre dicho objeto.

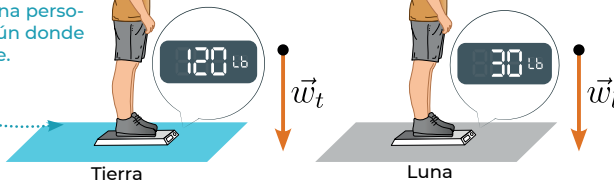


En este contexto la unidad de **lb** es una medida del peso de un objeto. A diferencia de los **kg** que es una medida de su masa.

El peso de una persona varía según donde se encuentre.

La masa de una persona no depende de donde se encuentre.

Fig 4.14 Distinción entre masa y peso.



Una persona que en la Tierra pesa 180 lb (libras), solo pesaría unas 30 lb en la Luna. Sin embargo, la masa de un objeto es constante en cualquier entorno: un objeto que tiene una masa de 3 kg en la Tierra también conserva esa misma masa de 3 kg en la Luna (**Fig 4.14**).

La Segunda de Newton

La primera ley de Newton nos enseña lo que ocurre con un objeto cuando no está sujeto a ninguna fuerza: conserva su estado de movimiento inicial, ya sea en reposo o moviéndose en línea recta con velocidad constante (Parr-Zeltzer et al., 2025). Por otro lado, la *segunda ley de Newton* responde a la pregunta de qué le ocurre a un objeto que tiene una o más fuerzas que actúan sobre él.

Imaginemos que se empuja una caja de masa m sobre una superficie horizontal sin rozamiento (Fig 4.15). Cuando se ejerce una fuerza horizontal $\vec{F}$ sobre la caja, este se mueve con cierta *aceleración* $\vec{a}$. Si el obrero que está empujando la caja decidiera aplicar sobre esta el doble de fuerza, la aceleración que experimentaría sería el doble, y si fuera la fuerza el triple entonces la aceleración de la caja también sería el triple. Por lo cual, se concluye que la aceleración de la caja es *directamente proporcional* a la fuerza que actúa sobre ésta.

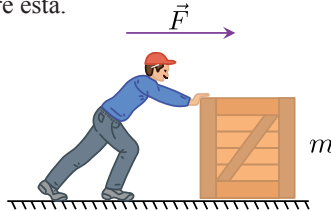


Fig 4.15 Si se aplica el doble de la fuerza, a su aceleración será el doble.

Ahora, si imaginamos que aplicamos la fuerza $\vec{F}$ y duplicamos la masa m entonces al tener mayor masa habrá mayor inercia y su aceleración disminuirá ya que es más difícil variar su velocidad, es así como la masa de la caja es *inversamente proporcional* a la aceleración (Serway & Vuille, 2018). Por lo tanto, la Segunda Ley de Newton relaciona la masa, la aceleración y la fuerza a través de lo siguiente:

“La aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa” (Knight et al., 2019).

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

La unidad del SI (Sistema Internacional de Unidades) de fuerza es el newton (N). El newton es posible expresarlo en términos de unidades fundamentales así:

$$N = kg \cdot \frac{m}{s^2}$$

La fuerza, al ser una cantidad vectorial, se representa por medio de un vector. Los vectores son flechas que poseen *magnitud, dirección y sentido*, por lo cual es importante definir la fuerza como un vector con estas tres propiedades.



La **aceleración** es cuando la velocidad de un objeto cambia con el tiempo. Por ejemplo, la magnitud de la velocidad de un carro aumenta cuando se presiona el acelerador o disminuye si se pisa el freno. La aceleración se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{t_f - t_i}$$

Donde:

$\vec{v}_f$ es la velocidad final dada en un tiempo final t_f .

$\vec{v}_i$ es la velocidad inicial dada en un tiempo t_i .

Y se cumple que $t_f - t_i$ es también el tiempo que se emplea para que varíe la velocidad.

$$\Delta t = t_f - t_i$$

Esto es un delta.

Segunda Ley de Newton

La expresión:

$$\sum \vec{F}$$

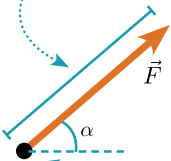
Es la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre un objeto. Al resultado de esta suma se le llama **Fuerza neta** aunque a veces se refieren a ésta como *fuerza total* o *fuerza resultante*.



Recordemos que en física las fuerzas son cantidades vectoriales, es decir, para poder estar completamente definidas debo saber la *magnitud*, la *dirección* y el *sentido*, y es posibles representarlas mediante flechas (Fig 4.16).

Fuerza Gravitacional

El largo indica la magnitud del vector.



La punta indica el sentido del vector.

El ángulo indica la dirección del vector.

Fig 4.16 Propiedades de los vectores.

Fuerza gravitacional

En el estudio de las estructuras, es fundamental reconocer y comprender los tipos de fuerzas que actúan sobre los objetos, pues esto nos permite diseñar edificaciones capaces de sostener cargas significativas de manera eficiente. Estamos de acuerdo en que todos los objetos son atraídos hacia la Tierra, y cuando dejamos caer un objeto libremente, este experimenta una aceleración. Esta aceleración, conocida como la *aceleración de la gravedad* ($\vec{g}$), indica que una fuerza está actuando sobre el objeto. Esta fuerza es denominada *fuerza gravitacional* ($\vec{F}_g$), aunque comúnmente se le llama *peso* ($\vec{w}$). Es esencial comprender este concepto para diseñar estructuras que puedan resistir eficazmente las fuerzas gravitacionales que actúan sobre ellas.

La fuerza gravitacional es la fuerza que actúa sobre un objeto debido a la atracción gravitatoria que existe entre la Tierra y el objeto (Neumann, 2007).

Al aplicar la Segunda Ley de Newton a un objeto atraído por la Tierra se obtiene:

$$\vec{F}_g = \vec{w} = m \cdot \vec{g}$$

Es importante ver en esta expresión que no requiere que el objeto se mueva, es decir, no es necesario que exista una $\vec{a}$ para un objeto o una estructura fija. La anterior expresión se puede aplicar para cualquier fuerza gravitacional. Es decir, si tenemos un objeto en reposo, sobre él ya estamos identificando la primera fuerza, que es su peso, debido a la fuerza gravitacional de la Tierra sobre el objeto o la estructura.

La Tercera de Newton

La tercera ley de Newton comprende uno de los conceptos más importantes a la hora de poder realizar análisis de los tipos de fuerzas que actúan sobre una estructura. Aquí nos daremos cuenta de que no solo actúan fuerzas sobre las estructuras, sino que también las estructuras ejercen fuerza sobre aquellos objetos que interactúan con ellas. Es decir, las fuerzas ahora vienen como en pares. A estos dos tipos de fuerza se le conoce popularmente como *fuerzas de acción* y *fuerzas de reacción* (Bao & Fritchman, 2021). Veamos un poco más en detalle esta ley y su importancia para comprender cómo actúan en las estructuras.

Si presionas con la yema de tu dedo, la esquina de un libro, el libro ejerce un empuje de vuelta y te realiza una marca sobre la piel. Cuanto más fuerte empujes, mayor es la fuerza que ejerce el libro y la marca será más profunda. Así podemos comprender que las fuerzas siempre involucran la *interacción* entre dos objetos.

La interacción que existe entre tu dedo y el libro es que cuando tú empujas el libro, el libro te empuja de vuelta sobre tu dedo. Este principio se conoce como la tercera ley de Newton.

Si dos objetos interactúan, la fuerza $\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$ que ejerce el objeto 1 sobre el objeto 2 es igual en magnitud pero opuesta en dirección a la fuerza $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$ que ejerce el objeto 2 sobre el objeto 1 (Knight et al., 2019).

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$$

Importante: Cada fuerza ocurre como un miembro del par acción/reacción.

- ▶ Los dos miembros (acción/reacción) actúan sobre objetos diferentes.
- ▶ Los dos miembros (acción/reacción) apuntan en dirección opuesta y son de igual magnitud.

Analicemos las siguientes situaciones:

Cuando pateamos un balón de fútbol (fuerza de acción), se realiza una fuerza del pie sobre el balón $\vec{F}_{p \rightarrow b}$ que lo impulsa, pero, a su vez, el balón ejerce otra fuerza de reacción de la misma magnitud y en sentido contrario sobre el pie $\vec{F}_{b \rightarrow p}$ (Fig 4.17).

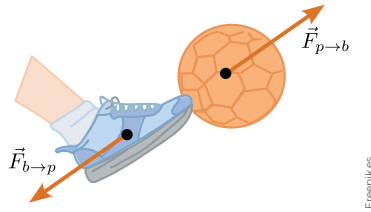


Fig 4.17 Interacción balón (b) - pie (p).

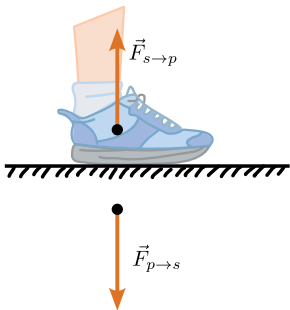


Fig 4.18 Interacción superficie (s) - pie (p).

Debido al escape de gases por la abertura inferior de la cámara de combustión de un cohete (fuerza de acción), se produce el empuje necesario para su ascenso (reacción) (Fig 4.19).

Consideremos ahora una máquina de construcción sobre un edificio que a su vez está construido sobre la superficie del suelo, como se muestra en la Fig 4.20, denotaremos a la máquina con la letra m , al edificio con la letra e y al suelo (planeta Tierra) con la letra t .

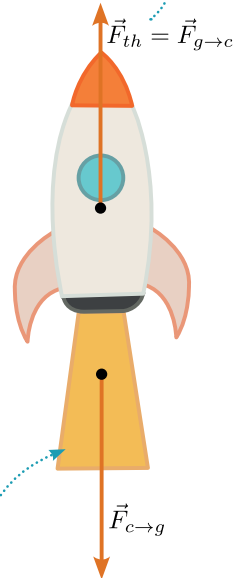
Tercera Ley de Newton

La expresión:

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$$

Se lee la "Fuerza ejercida por el objeto 1 sobre el objeto 2". Esta forma de escribir nos será útil para designar fuerzas cuando las estructuras interactúan con uno o más objetos.

Fuerza del gas sobre el cohete, también llamada fuerza de empuje.



Gas de combustión.

Fig 4.19 Interacción gas de combustión - cohete.

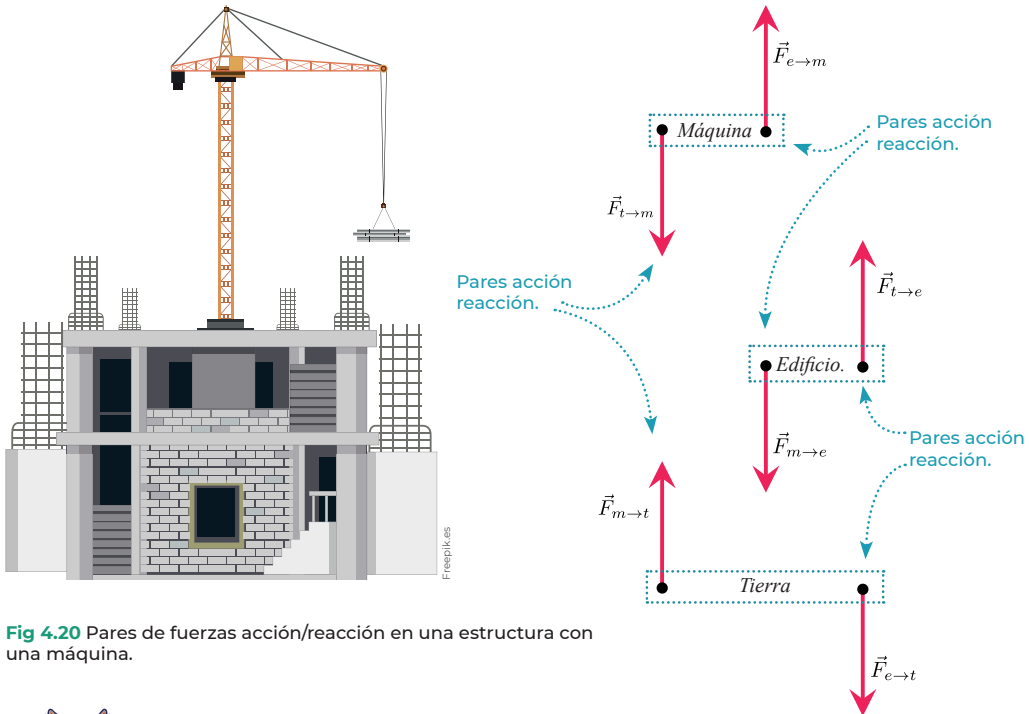


Fig 4.20 Pares de fuerzas acción/reacción en una estructura con una máquina.



En general, siempre que un objeto esté en contacto con una superficie, esta ejerce una fuerza normal sobre el objeto la cual es siempre perpendicular a la superficie de contacto.

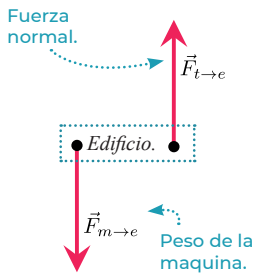


Fig 4.21 Fuerzas que actúan solo en el edificio.

La fuerza que ejerce la Tierra sobre la máquina es la fuerza gravitacional de la máquina, es decir, es una fuerza que representaremos como $\vec{F}_{t \rightarrow m}$. (que es el mismo peso de la máquina). La reacción a esta fuerza es la fuerza $\vec{F}_{m \rightarrow t} = -\vec{F}_{t \rightarrow m}$ que ejerce la máquina sobre la Tierra. Porque sí, aunque no creas, todos los objetos tienden a atraer también a la Tierra, así como la tierra atrae los objetos, solo que la Tierra, al tener muchísima más masa tiene muchísima más inercia y por ende tiene más capacidad de permanecer en estado de reposo con respecto al otro objeto. En esta situación, la máquina no acelera, es decir, no existe un movimiento donde haya variación de velocidad, de hecho está en reposo, y esto es debido a que en medio de la Tierra y la máquina está el edificio que soporta el peso de la máquina. El edificio entonces ejerce una fuerza hacia arriba $\vec{F}_{e \rightarrow m}$ sobre la máquina. A esta fuerza se le conoce como fuerza normal $\vec{N}$. Esta fuerza normal equilibra la fuerza del peso de la máquina y es la que hace que la fuerza neta sobre la máquina sea cero (Sears & Zemansky, 2009) (**Fig 4.20**).

Fijémonos solo en las fuerzas que actúan *sobre* el edificio. Serían dos: una, la fuerza gravitacional o la fuerza del peso de la máquina $\vec{F}_{t \rightarrow m} = \vec{F}_{m \rightarrow e}$ y por otro lado la fuerza normal $\vec{N} = \vec{F}_{t \rightarrow e}$ de la tierra sobre el edificio como se muestra en la **Fig 4.21**. Las fuerzas $\vec{F}_{m \rightarrow t}$ y $\vec{F}_{e \rightarrow m}$ son fuerzas que no se ejercen sobre el edificio sino sobre la máquina o sobre la Tierra.

Breve representación de las fuerzas

Es posible representar las fuerzas por medio de flechas, es decir, vectores, ya que es muy diferente empujar una caja hacia la derecha que hacia la izquierda, lo que le da a la fuerza una naturaleza vectorial, y por lo tanto es importante la dirección y la intensidad de la fuerza (Stewart, 2014). Entonces, solo debemos ponerle flechas a los dibujos que hagamos para que nos permitan interpretar cuáles fuerzas actúan sobre un objeto de interés.

Es así como la física permite que podamos simplificar el objeto de interés a un punto (modelo partícula), y así poder analizar las fuerzas que actúan sobre el objeto (punto), siempre y cuando su tamaño y su forma no sean importantes. De esta manera, nos permite tener una buena aproximación de la situación real (Knight et al., 2013, p. 108). Pero en estructuras, es muy importante saber el tamaño y la forma, ya que estas permitirán definir cómo actúan las fuerzas. En este libro utilizaremos el modelo partícula y así poder identificar las fuerzas que actúan sobre una estructura.



Es importante entender que ya no actúa una fuerza sobre un punto como lo ilustramos anteriormente, sino que es importante comprender ahora cómo se distribuye una carga por una estructura por medio de estos vectores.

CAJA TÁCTICA 1 Dibujando vectores de fuerza.

1 Representemos el objeto como un punto (partícula).

2 Coloque la cola de la flecha sobre el punto.

3 Realiza el vector apuntando en la dirección en la cual la fuerza actúa y con una longitud proporcional a su intensidad.

4 Dale al vector una etiqueta que caracterice el tipo de fuerza.

$\vec{F}$

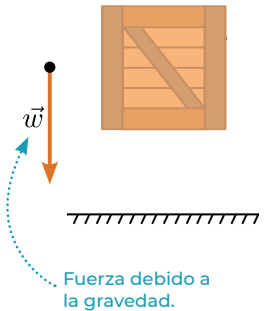
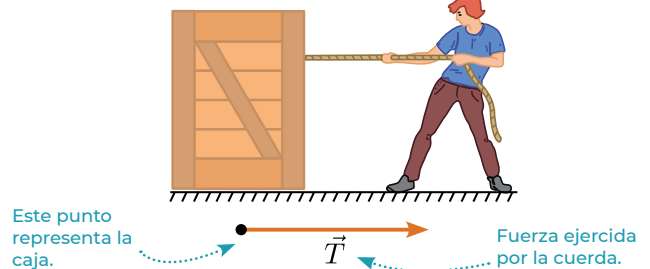


Fig 4.22 Fuerza gravitacional (peso) actuando sobre una caja que está cayendo.

Fig 4.23 Fuerza que actúa sobre una caja.

Luego, si queremos representar una fuerza que actúa sobre una estructura, lo que haremos será representar la estructura como un punto y trazar cada vector según las fuerzas que actúen sobre ella como se indica en la **CAJA TÁCTICA 1**. Miremos los siguientes ejemplos de las **Fig 4.22** y **Fig 4.23**.



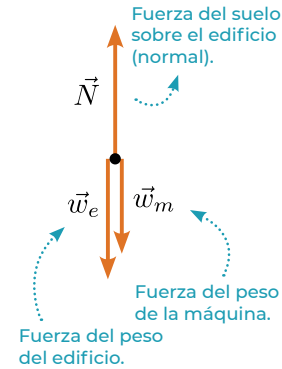


Fig 4.24 Diagrama de cuerpo libre para el edificio.

Para la resolución de problemas que involucran fuerzas sobre objetos como las estructuras, la **Fig 4.20** representa un paso de gran importancia, ya que aquí se pueden ver varias fuerzas actuando en la situación: las que actúan sobre la máquina, las que actúan sobre el edificio y las que actúan sobre la Tierra. El esquema de flechas de la **Fig 4.21**, a diferencia, muestra solo las fuerzas que actúan sobre un objeto, en este caso el edificio y este es llamado *diagrama de cuerpo libre*.

En el diagrama de cuerpo libre se representa el objeto como un punto y desde allí se representan las fuerzas que actúan sobre él por medio de flechas cuyo punto de origen es el centro (**Fig 4.24**).

Cuando se analiza una estructura sujeta a fuerzas, se tiene interés en la **fuerza neta** que actúa sobre un objeto. Así, un **diagrama de cuerpo libre** ayudará a aislar solo aquellas fuerzas que actúan sobre el objeto y elimina otras fuera del análisis que no son necesarias.



4.2 ¡A soportar cargas!

Cuando hablamos de *estructuras tecnológicas*, estamos hablando de todo, desde puentes hasta rascacielos. Ahora, ¿qué pasa con todas esas fuerzas que afectan a estas construcciones? Bien, esas son las cargas.

Definición de cargas ➡

Las cargas son las fuerzas externas que actúan sobre una estructura, las cuales esta debe soportar (Hibbeler, 2016).

Las estructuras se ven sometidas a fuerzas externas, como pesos de objetos sobre ellas, el viento, y deberá soportar también el peso de todos los elementos de sí misma (vigas, pilares, ladrillos...) el peso de personas y sus bienes. Todas estas fuerzas son ejemplos de cargas.

Las cargas pueden hacer que una estructura se mueva, se deforme o incluso colapse. Es por eso que es muy importante poder establecer parámetros que permitan que el diseño y construcción de una estructura soporten las cargas y garantice su estabilidad, seguridad y funcionalidad a lo largo de su vida.

Las cargas pueden clasificarse en dos tipos: *cargas fijas o muertas*, y *cargas variables o vivas*.

4.2.1 Tipos de cargas

Cargas fijas o muertas ➡

Son las fuerzas que actúan sobre la estructura pero que no varían por lo que siempre tienen el mismo valor (Hibbeler, 2016).

Piensa en el peso propio de la estructura sobre sus cimientos o de cuerpos que siempre están sobre la estructura. Esta es posible calcularla con una buena aproximación teniendo en cuenta el diseño, las dimensiones de la estructura y de los tipos de materiales que se usen. Para los edificios, los acabados, el cielo raso y los rellenos se toman usualmente como cargas fijas al igual que iluminaciones, aparatos y ductos.

Son las fuerzas que no son constantes, que pueden variar sobre la estructura con el paso del tiempo (Hibbeler, 2016).

■ Cargas variables o vivas

Por ejemplo, el viento, las vibraciones, golpes o incluso terremotos son algunas cargas que no son constantes. Estos tipos de cargas pueden estar en total o parcialmente en un sitio o no estar presentes ya que pueden cambiar su ubicación. Su magnitud y distribución son inciertas en un momento determinado. Una o varias personas moviéndose en un piso son una ilustración de cargas variables (Fig 4.25).

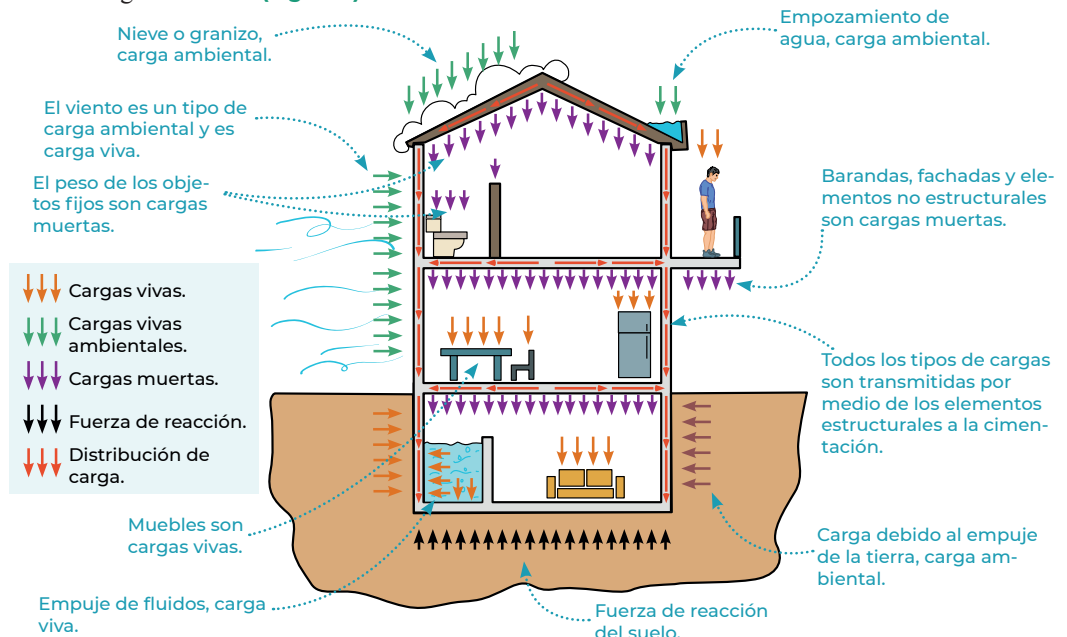


Fig 4.25 Posibles cargas que pueden actuar sobre una estructura.

Existen también otros tipos de cargas de tipo ambiental, en donde se encuentran las cargas debidas a la nieve, presión y succión del viento, sismos, presiones del suelo, posibles acumulaciones de agua debido a las lluvias y también fuerzas causadas por cambios de temperatura. Al igual que las cargas variables, estas cargas debido al medio ambiente también son inciertas tanto en intensidad como en ubicación sobre la estructura.

4.3 Elementos de una estructura

Las estructuras vienen en diferentes tamaños y formas, desde estructuras enormes como una cueva o una presa, hasta más comunes como puentes, edificios y naves industriales. Están compuestas por una variedad de partes que se unen para formar la estructura completa (Silva Rodríguez & Gómez Olalla, 1996).

Los elementos principales de una estructura, conocidos como elementos estructurales simples o elementos resistentes, son los siguientes:



Cuando los pilares que sostienen una estructura son de forma cilíndrica (con base redonda) estos son llamados **columnas**.

Forjado: Es básicamente el suelo y el techo de un edificio, proporcionando la base sobre la que todo se construye.

Pilares: Imagina los pilares como las patas de una mesa que sostienen todo el peso encima. En un edificio, estos elementos verticales soportan tanto el forjado como el resto de la estructura. A veces, si los pilares son redondos, los llamamos columnas.

Vigas: Las vigas son como los travesaños horizontales que sostienen el peso sobre los pilares. Son como los rieles de cortina que mantienen todo en su lugar, o los travesaños horizontales bajo el tablero de un escritorio. En un edificio, las vigas forman parte del forjado y ayudan a distribuir las cargas (**Fig 4.26**).

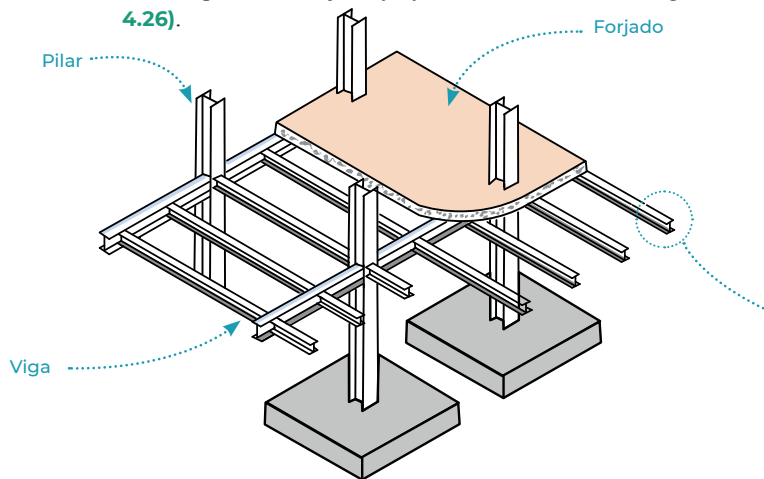


Fig 26 Forjado, pilares y vigas de una estructura.

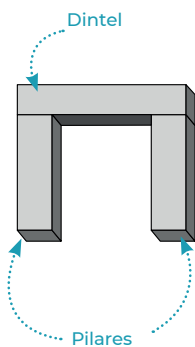


Fig 4.27 Dintel de una estructura.

Dintel: Esta es una viga robusta que se coloca horizontalmente sobre dos soportes verticales, como columnas, o pilares, para cerrar aberturas como ventanas y puertas. Es lo que mantiene todo en su lugar y asegura que no se venga abajo (**Fig 4.27**).

Arco: Piensa en un arco como una especie de puente curvado que une dos pilares o paredes. Es útil para atravesar espacios grandes sin necesidad de columnas intermedias (Fig 4.28).

Tirantes: Estos son como los músculos de una estructura, proporcionando rigidez y apoyo entre vigas y pilares. Son como las tijeras diagonales de un andamio que mantienen todo en su lugar o esa barra horizontal en la parte inferior de un pupitre donde descansan tus pies.

Tensores: Similar a los tirantes, pero en lugar de barras sólidas, son cables que se estiran para proporcionar soporte. Piensa en los cables que mantienen en su lugar la barra de una estructura de gimnasia o sostienen una tienda de campaña (Fig 4.29).

Cerchas: Estas son como las “espinas dorsales” de un techo, especialmente comunes en naves industriales. Se componen de barras dispuestas en forma triangular para formar una estructura resistente y ligera (Fig 4.30).

Perfiles: Son como las estrellas del equipo de la estructura: barras de acero con formas especiales como I, U, T o L. Estos perfiles ayudan a construir estructuras más ligeras que pueden soportar grandes cargas con menos material. Los encontrarás en vigas, pilares y tirantes, trabajando duro para mantener todo en su lugar (Fig 4.31).

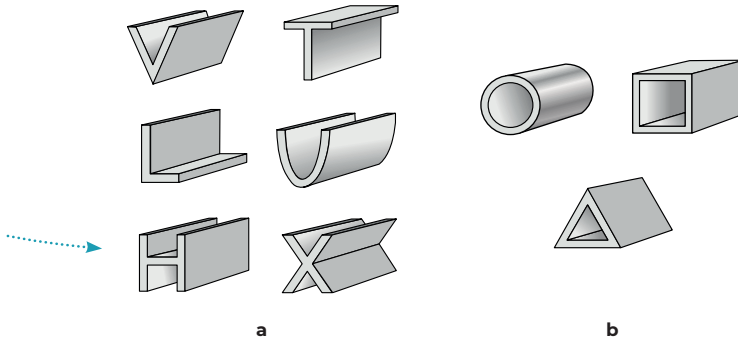


Fig 4.31 Perfiles de dos tipos, los abiertos a, y los cerrados b.

Cimientos: Imagina los cimientos como los “zapatos” de un edificio, pero en lugar de mantener los pies en el suelo, mantienen toda la estructura estable. Son como una base sólida que distribuye el peso de la construcción por el suelo, evitando que todo el peso recaiga en un solo punto (Fig 4.32).

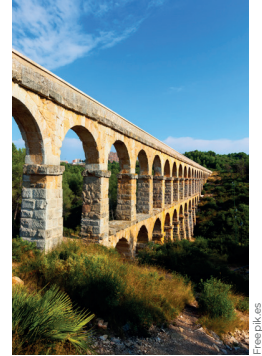


Fig 4.28 Arcos en estructuras.

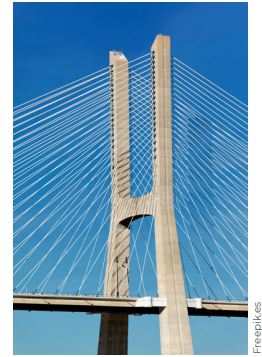


Fig 4.29 Tensores de una estructura.



Fig 4.30 Cerchas de una estructura.

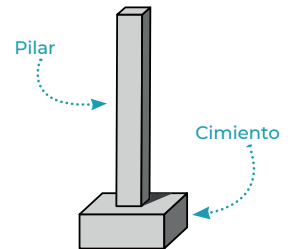


Fig 4.32 Cimientos de una estructura.

C Funciones de las estructuras.

Una vez hemos analizado e identificado algunos tipos de fuerzas que pueden ejercerse sobre las estructuras, tenemos la misión de definir cuáles son las funciones para las cuales son construidas. Las siguientes son cinco funciones de las estructuras.

Soportar cargas: La principal función de cualquier estructura es soportar cargas ya que son estas las que siempre están presentes en la naturaleza: peso, viento, sismos, entre otras.

Conservar la forma: Es importante que la estructura no se deforme, ya que si esto ocurre podría romperse y no podría soportar la carga. Esto puede ocurrir cuando las cargas son muy grandes.

Proteger partes frágiles: La estructura debe proteger partes que sean frágiles de los objetos que esta posea. Por ejemplo, la estructura del esqueleto protege nuestros órganos internos. Sin embargo, existen algunas estructuras que no tienen partes internas que proteger, como los puentes o las grúas.

Ligeras: Las estructuras deben ser lo más ligeras posibles. Si la estructura fuera muy pesada podría no soportarse a sí misma y terminaría derrumbándose, al igual que habría mucho gasto de materiales.

Estable: La estructura no puede volcarse o caerse, aunque reciba diferentes cargas. Esto quiere decir que debe permanecer en estado de equilibrio, en donde la fuerza neta que actúe sea siempre cero.

Esta última función, nos permite dar cuenta de que la estructura debe ser capaz de generar fuerzas de reacción ante cualquier fuerza externa dada como una acción (Tercera ley de Newton).



Fig 4.33 Las estructuras deben ser bien diseñadas para soportar cargas y proteger partes frágiles.

4.4 Esfuerzos sobre una estructura

Las estructuras están diseñadas para soportar cargas externas sin deformarse ni romperse. Estas cargas externas generan fuerzas internas dentro de las estructuras, conocidas como esfuerzos.

Un esfuerzo es la fuerza interna que experimentan los elementos de una estructura cuando son sometidos a cargas (Hibbeler, 2016).

Definición de Esfuerzo

Una estructura tiene que soportar su propio peso, el de las cargas que actúan sobre esta (cargas estáticas) y también fuerzas exteriores como el viento, las olas, etc. (cargas dinámicas). Por eso, cada elemento de una estructura tiene que resistir diversos tipos de cargas sin deformarse ni romperse.

Para comprenderlo mejor, pensemos en un ejemplo sencillo: cuando jalas uno de tus dedos hacia afuera (aplicando una fuerza externa), sientes una tensión interna que puede ser molesta. De manera similar, cuando una viga u otro elemento estructural está sometido a una fuerza externa, soporta tensiones internas, aunque no las podamos ver.

Importante: Si el esfuerzo fuera suficientemente grande, el material podría llegar a deformarse e incluso podría llegar a romperse. Así, existen dos tipos de deformación de un material.

- **Deformación plástica:** el esfuerzo deforma el material de forma definitiva.
- **Deformación elástica:** el esfuerzo deforma el material, pero cuando cesa el esfuerzo, el material recupera su forma inicial.

Suponiendo que el material es lo suficientemente resistente, dependiendo de dónde y en qué área está ejerciéndose la fuerza externa, esta fuerza se distribuirá por su estructura para que llegue al suelo y, de esa manera, exista una reacción y la estructura quede en equilibrio.

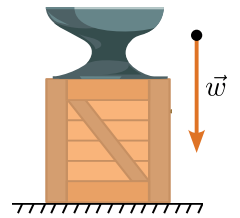
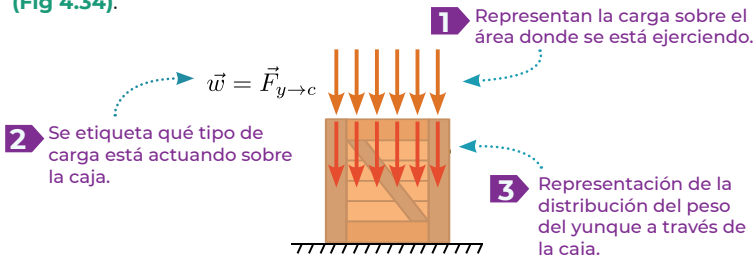


Fig 4.34 El peso del yunque es una carga para la caja ya que es una fuerza gravitacional que realiza el yunque sobre la caja. Así entonces:

$$\vec{w} = \vec{F}_{y \rightarrow c}$$

CAJA TÁCTICA 2 Dibujando cargas sobre estructuras.

Ahora es importante saber dónde actúan las fuerzas en un material o una estructura, es por eso que de ahora en adelante adoptaremos la convención de representar las fuerzas externas (cargas) por medio de flechas dirigidas al lugar donde se aplica la fuerza. Por ejemplo, en el caso del yunque (y) sobre la caja (c) (Fig 4.34).



Es importante entender que ya no actúa una fuerza sobre un punto como lo ilustramos anteriormente, sino que es importante comprender ahora cómo se distribuye una carga por una estructura por medio de estos vectores.

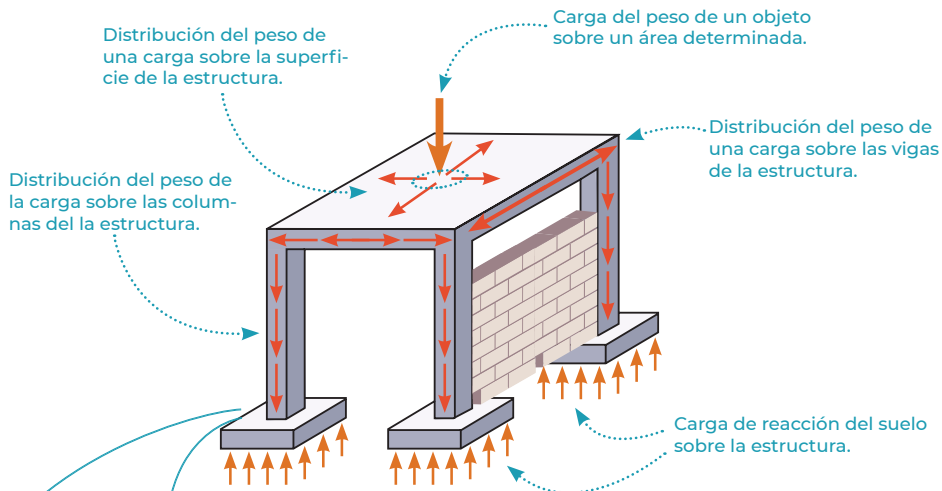


Fig 4.35 Distribución de las cargas por los elementos de la estructura.

Al aplicar una fuerza en un área específica, esta fuerza se expresa como una fuerza de tensión interna que se conduce por los elementos de la estructura hasta llegar a la base o a los cimientos donde experimenta una reacción dada por la fuerza del suelo sobre los cimientos, y de esta manera la fuerza neta sobre la estructura es cero, con lo cual llega a un estado de *equilibrio estático*. (**Fig 4.35**).

Si realizamos una representación del diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre los cimientos tendríamos la **Fig 4.36**.

Donde $\vec{F}_{e \rightarrow c}$ es la fuerza dada por el peso de la misma estructura sobre los cimientos (es bueno que sepas que estamos haciéndolo solo para un solo cimiento, ya que el peso se distribuye, en este caso, de manera proporcional por todos los cimientos, lo cual quiere decir que cuantos más cimientos, menos peso deberá soportar cada uno). La fuerza $\vec{F}_{ca \rightarrow c}$ es la carga (fuerza externa) que se ejerce sobre la estructura y que termina transportándose hasta los cimientos. Y $\vec{F}_{t \rightarrow c}$ es la fuerza que realiza la Tierra sobre los cimientos para contrarrestar las fuerzas descendentes y que la estructura mantenga el reposo sin hundirse. Esta fuerza es la misma *fuerza normal*. Como se consigue el equilibrio estático, decimos que $\vec{F}_{neta} = 0$.

Para que una estructura logre un equilibrio estático cuando sobre ella actúan cargas estáticas o dinámicas, es necesario que los materiales de los cuales esté hecha la estructura sean lo suficientemente resistentes para no romperse.

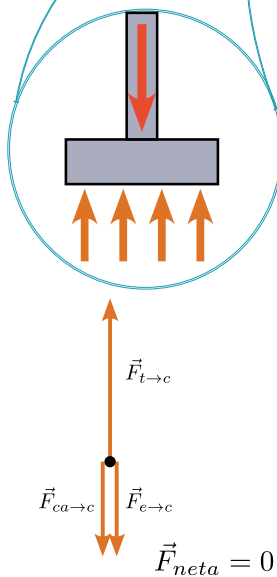


Fig 4.36 Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre los cimientos.

La resistencia de los materiales es una rama de la *mecánica* que estudia el comportamiento de los sólidos cuando son sometidos a cargas (fuerzas externas). Dentro de la mecánica se consideran tres campos fundamentales: la *cinemática*, la *estática* y la *dinámica* (Taylor, 2004).

Área de la física que se encarga del estudio del movimiento de los cuerpos sin tener en cuenta la masa de estos ni las causas que hacen que se muevan.

Definición de cinemática

Área de la mecánica que estudia los sólidos rígidos que se encuentran en equilibrio estático.

Definición de estática

Área de la física que estudia los cuerpos en movimiento, relacionando su masa con la fuerza que produce dicho movimiento.

Definición de dinámica

Estos campos de la mecánica consideran los sólidos como cuerpos indeformables, aunque en realidad esto no es así. Cuando los objetos o elementos de una estructura están sometidos a fuerzas externas (cargas), se deforman. En algunas ocasiones estas deformaciones pueden ser *deformaciones elásticas*. En otras ocasiones las deformaciones pueden ser permanentes, *deformaciones plásticas*.

La resistencia a las deformaciones es una *propiedad física* de los materiales que describe cómo responden cuando se les aplican cargas. Es algo que ya hemos comentado en el primer capítulo. Decimos que un material puede resistir ciertas cargas si no se rompe bajo su acción. Sin embargo, estas cargas pueden causar deformaciones en los materiales de una estructura, lo que puede hacer que su funcionamiento sea menos eficiente.

Es aquí donde entra el concepto de rigidez. Un material será más *rígido* frente a determinadas cargas cuanto menos se deforma.

Para poder comprender los esfuerzos es necesario comprender la geometría de un material. Supondremos que el elemento de la estructura tiene unas dimensiones específicas y adicionalmente tiene un área que corresponde a la sección transversal (Fig 4.37).

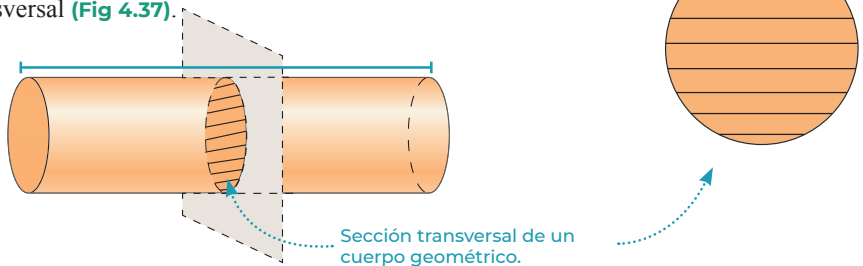


Fig 4.37 Cuerpo geométrico de un material dado, con un área de sección transversal circular.

Bien, pues resulta que las cargas que debe soportar una estructura ocasionan el surgimiento de *fuerzas internas* dentro de la misma estructura, lo que hace que esta se deforme o se rompa si no tiene la suficiente resistencia o rigidez. A esta presión que tiende a deformar la estructura y que es generada por las cargas se les llama “esfuerzos” y existen 5 tipos de esfuerzos: *tracción*, *compresión*, *flexión*, *torsión* y *cortante* (Mora & Albañil, 2017).

El esfuerzo se define como la fuerza por unidad de área de la sección transversal de un material y es la medida de la fuerza de un material. Sus unidades son N/m^2 .

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



Ahora veremos los tipos de esfuerzo a los cuales un material podría estar expuesto, y cómo estos, al actuar, hacen que un material pueda deformarse. Dependiendo de la dirección y sentido relativos entre las fuerzas externas, se consideran diferentes esfuerzos.

4.4.1 Tracción

El esfuerzo de tracción se refiere a las fuerzas internas que existen por una fuerza externa que intenta separar o estirar el material. Muchas de las propiedades mecánicas de un material se pueden determinar a partir de la prueba de tracción. Existe tracción cuando dos fuerzas externas actúan en sentido opuesto sobre el material y tienden a estirarlo.

Cuando se realiza un esfuerzo de tracción sobre un material aparecen unas fuerzas internas llamadas tensiones σ , las cuales son las que se oponen a la deformación del material o a que se estire el material, por lo tanto su dirección es opuesta a las fuerzas externas (Fig 4.38).

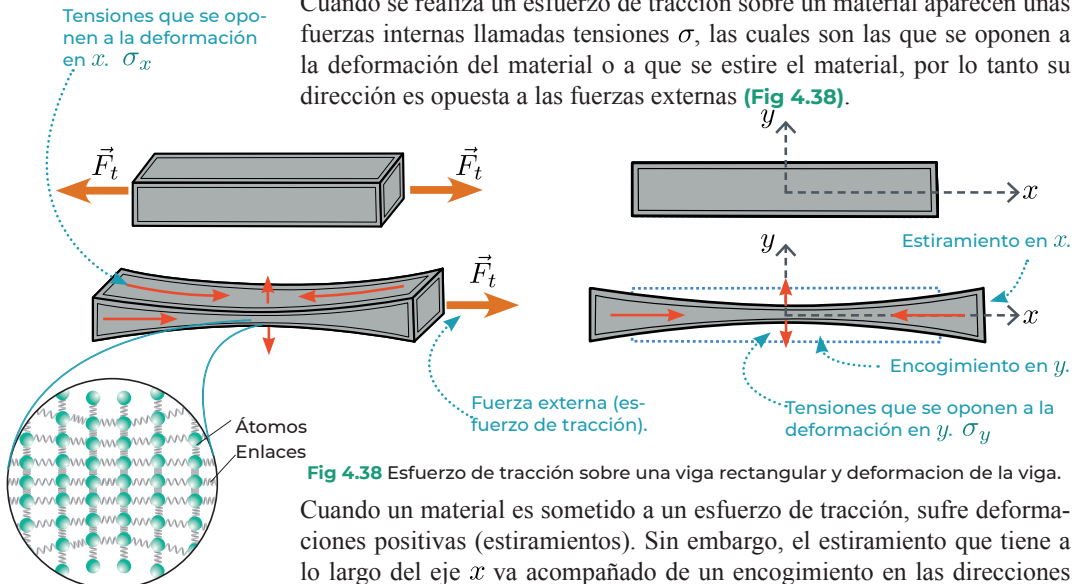


Fig 4.39 Deformación microscópica del material.

Fig 4.38 Esfuerzo de tracción sobre una viga rectangular y deformación de la viga.

Cuando un material es sometido a un esfuerzo de tracción, sufre deformaciones positivas (estiramientos). Sin embargo, el estiramiento que tiene a lo largo del eje x va acompañado de un encogimiento en las direcciones transversales, es decir en los ejes y y z (Fig 4.39).

Como ya vimos en el capítulo de materiales, muchos materiales se someten a tracción en diversos procesos mecánicos. Esto es especialmente importante para aquellos utilizados en estructuras y obras de arquitectura o ingeniería, como las rocas, la madera, el hormigón y el acero.

Hemos mencionado que los materiales tienen propiedades físicas específicas que definen su comportamiento cuando se les aplica un esfuerzo. Algunas de estas propiedades son la elasticidad, plasticidad, ductilidad y fragilidad. Te invito a revisar el capítulo 2 para recordar más acerca estas propiedades físicas.

En las estructuras, se utilizan ampliamente las barras de acero debido a su excelente capacidad para soportar grandes esfuerzos de tracción (**Fig 4.40**), lo que las convierte en uno de los materiales más idóneos. El acero en barras corrugadas se emplea junto con el hormigón para evitar su fisuración, aportando resistencia a la tracción y dando lugar al hormigón armado.

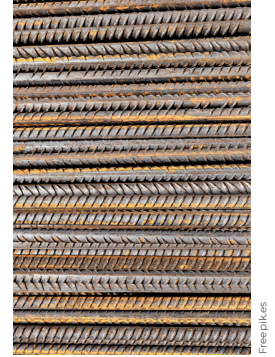


Fig 4.40 Acero en barras corrugadas resistentes a la tracción.

4.4.2 Compresión

La compresión es el resultado de las tensiones internas que existen dentro de un sólido que se deforma. Estas tensiones surgen cuando el sólido tiende a encogerse o a reducir su volumen en una dirección específica. En piezas estructurales, el esfuerzo de compresión puede no solo reducir el volumen del material, sino también provocar deformaciones como abolladuras o pandeo.

Cuando un material está bajo compresión, una fuerza resultante actúa sobre una sección transversal del mismo. Esta fuerza tiene el efecto de acortar la pieza en la dirección en que se aplica el esfuerzo. En términos sencillos, es como si estuviéramos empujando ambos extremos de una varilla hacia el centro, provocando que se haga más corta, dependiendo del material que se deforme (**Fig 4.41**).

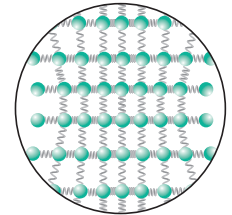


Fig 4.42 Deformación microscópica del material.

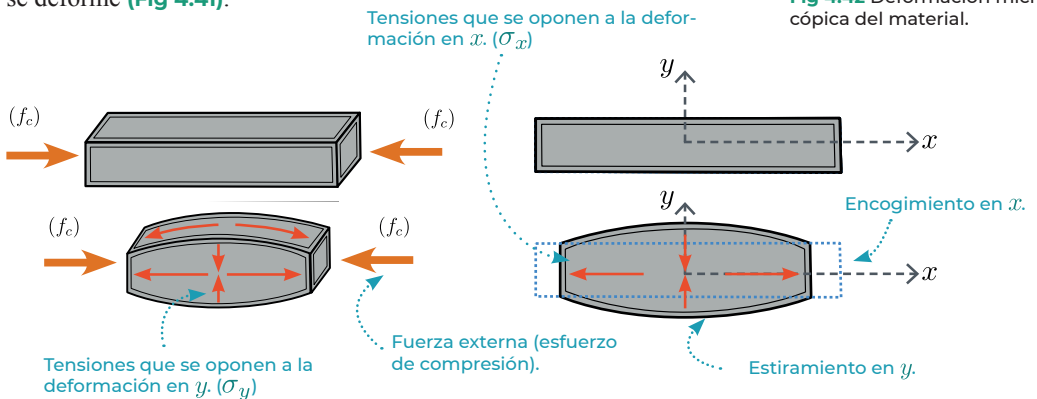


Fig 4.41 Esfuerzo de compresión sobre una viga rectangular.

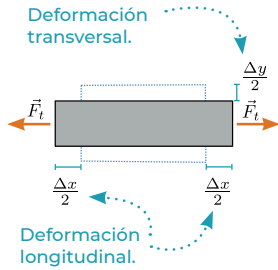


Fig 4.43 Deformación por tracción.

Definición de Deformación

Deformación longitudinal para cada uno de los ejes. Es un número adimensional.

Deformación transversal.

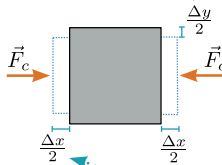


Fig 4.44 Deformación por compresión.

C Coeficiente de Poisson

El coeficiente de Poisson es una de las constantes más importantes en la mecánica de materiales. A continuación, te explicamos en qué consiste, cómo se calcula y cuál es su importancia.

Ya aprendimos que cuando se somete una barra a un esfuerzo de tracción, su longitud en la dirección de la aplicación del esfuerzo aumenta (**Fig 4.43**). De manera contraria, si se aplica una compresión, la longitud de la pieza disminuye (**Fig 4.44**). Sin embargo, también se producen deformaciones en las otras dos direcciones del espacio (ejes y y z), aunque la fuerza externa solo esté aplicada en una dirección.

“Variación de longitud en una dirección dividida por la longitud inicial.”

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta L_x}{L_x} \quad \varepsilon_y = \frac{\Delta L_y}{L_y} \quad \varepsilon_z = \frac{\Delta L_z}{L_z}$$

Así, podemos definir las deformaciones sufridas por la barra en las tres direcciones (**Fig 4.45**).

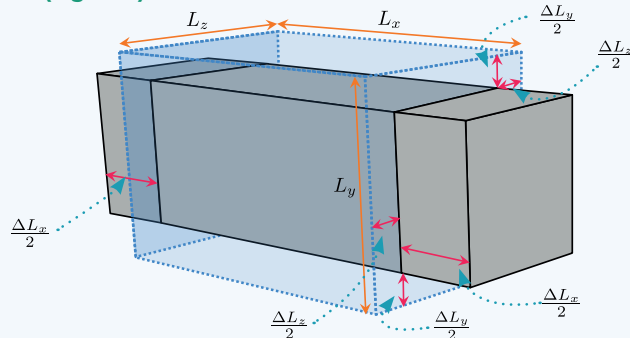


Fig 4.45 Deformación tridimensional de una barra sujeta a un esfuerzo de tracción.

Los materiales usados para las estructuras son materiales *isótropos*, es decir, que tienen las mismas propiedades mecánicas en todas las direcciones; se cumple que las deformaciones laterales o transversales a la dirección de aplicación de la carga son iguales.

$$\varepsilon_y = \varepsilon_z$$

Estas deformaciones transversales guardan una relación constante con la deformación longitudinal, definida por el coeficiente de Poisson, una propiedad del material.

$$\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} = \frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_x} = -\nu \rightarrow \boxed{\nu = -\frac{\varepsilon_{transversal}}{\varepsilon_{longitudinal}}}$$

El signo negativo en la ecuación refleja que una tracción (deformación longitudinal positiva) produce deformaciones laterales de compresión (deformaciones transversales negativas), y viceversa (**Fig 4.46**).

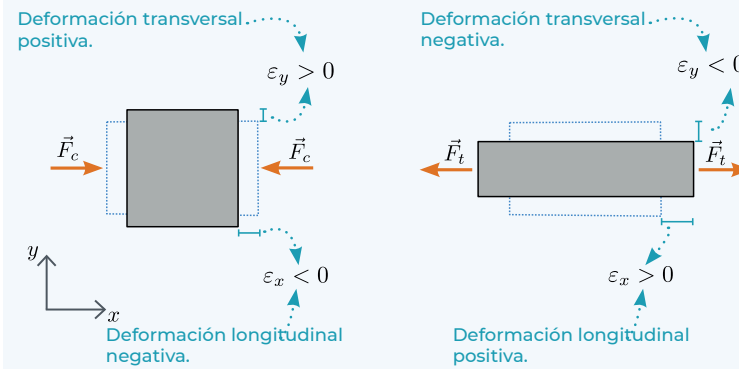


Fig 4.46 Deformaciones transversales y deformaciones longitudinales.

El coeficiente de Poisson es una constante elástica que explica la relación entre deformaciones longitudinales y transversales en la zona elástica de un material, donde las deformaciones son reversibles. En la zona plástica, el estudio de las deformaciones es más complejo (**Fig 4.47**).

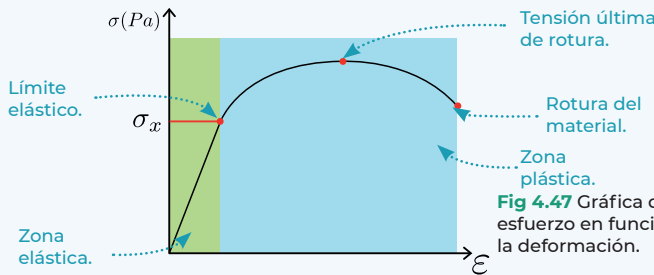


Fig 4.47 Gráfica del esfuerzo en función de la deformación.

Matemáticamente, el coeficiente de Poisson puede variar entre -1 y 0.5, siendo el rango entre 0 y 0.5 el más habitual. Por ejemplo, la mayoría de los metales tienen un coeficiente de Poisson (ν) alrededor de 0.3, lo que significa que la deformación transversal es aproximadamente un tercio de la deformación longitudinal, y de signo contrario (**Fig 4.48**). El corcho presenta un coeficiente de Poisson igual a 0, lo que indica que no varía su longitud transversal cuando es traccionado o comprimido, ideal para usarlo en tapones de botellas (**Fig 4.49**).

Materiales con un coeficiente igual a 0.5, como la goma, son incompresibles, es decir, su volumen no varía durante la deformación. Materiales auxéticos, con un coeficiente de Poisson negativo, se expanden o contraen en todas las direcciones simultáneamente (**Fig 4.50**), lo cual es contraintuitivo. Este comportamiento se observa en algunos minerales, polímeros como el teflón, ciertas espumas y algunas fibras utilizadas en materiales compuestos.

La importancia del coeficiente de Poisson radica en su capacidad para describir deformaciones en un sólido. Si sometemos una barra a una tensión uniaxial (como un esfuerzo de tracción o compresión), la deformación en dirección longitudinal se calcula dividiendo la tensión σ entre el módulo elástico, según la ley de Hooke.

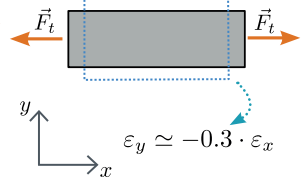


Fig 4.48 Relación de la deformación longitudinal con la deformación transversal.



Fig 4.49 Su longitud transversal no varía si se aplica un esfuerzo.

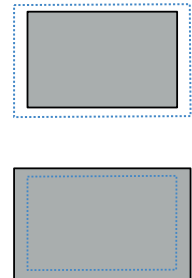


Fig 4.50 Deformación de materiales auxéticos.

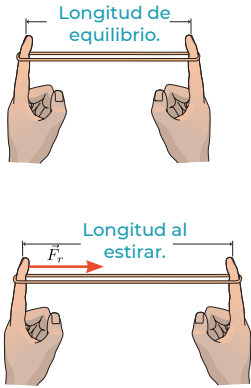


Fig 4.51 Sistema elástico por fuerza restauradora.



Al igual que hemos utilizado cuerdas sin masa, adoptaremos la idealización de un resorte sin masa. Aunque no es una descripción perfecta, es una buena aproximación si la masa unida a un resorte es mucho mayor que la masa del propio resorte.

C Ley de Hooke

Hemos dicho que los objetos en equilibrio mantienen su forma cuando se les aplican fuerzas y la fuerza neta es cero $\vec{F}_{neta} = 0$. Pero también dijimos que esto es una simplificación excesiva. Todo objeto sólido se estira, se comprime o se deforma cuando actúa sobre él una fuerza. Este cambio es fácil de ver cuando presionas una ramita verde de un árbol, pero incluso la rama más grande del árbol se doblará ligeramente debido a tu fuerza aplicada.

Si estiras una banda elástica (**Fig 4.51**), existe una fuerza que intenta llevarla de nuevo a su longitud de equilibrio, o no estirada. Esta fuerza que devuelve a la banda elástica a su posición de equilibrio se denomina fuerza restauradora $\vec{F}_r$. Los sistemas que presentan este tipo de fuerzas restauradoras se denominan *sistemas elásticos*. Los ejemplos más básicos de elasticidad son resortes y bandas elásticas. Sin embargo, también los elementos estructurales tienen propiedades elásticas que les permite tener fuerzas restauradoras que son las que hemos descrito como tensiones internas que se oponen a las fuerzas externas.

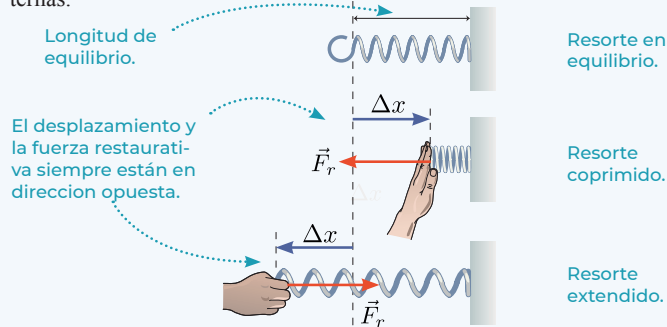


Fig 4.52 Deformación de un resorte y presencia de fuerza restauradora.

Si estiras un resorte, una fuerza parecida a la tensión tirará de vuelta. Del mismo modo, un resorte comprimido intenta volver a expandirse hasta alcanzar su longitud de equilibrio. La elasticidad y las fuerzas de restauración también son propiedades de sistemas mucho más rígidos. Por ejemplo, en estructuras veremos, en esfuerzos de flexión, que las vigas de acero de un puente se doblan ligeramente cuando pasas con tu coche por encima, pero recuperan el equilibrio una vez que el coche ha pasado, o también los huesos de tus piernas se flexionan un poco a cada paso que das.

Cuando sobre un resorte no actúan fuerzas que lo compriman o lo extiendan, descansará en su longitud de equilibrio. Si se estira, el resorte retrocede. Si se comprime, el resorte retrocede, como se ilustra en la **Fig 4.52**. En general, la fuerza del resorte siempre apunta en la dirección opuesta al desplazamiento desde el equilibrio. La fuerza con que el resorte tira hacia atrás depende de cuánto se estire, como se muestra en la **Fig 4.52**. La fuerza del resorte es proporcional al desplazamiento del extremo del resorte. Esta es una relación lineal, donde k es la constante de proporcionalidad.

Al comprimir o estirar el resorte el doble, la fuerza de restauración es el doble de grande.

Si el resorte está comprimido, Δx es positivo. En cambio, si el resorte se estira, Δx es negativo. La forma más general de la relación entre la fuerza restauradora y el desplazamiento del extremo de un resorte se conoce como ley de Hooke:

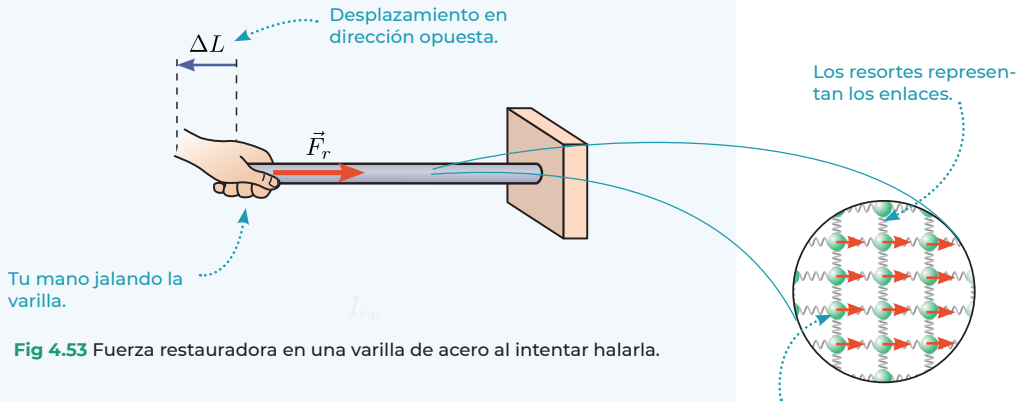
$$F_r = -k \cdot \Delta x$$

Fuerza restaurativa para el eje x. Desplazamiento de la punta del resorte.

El signo negativo nos dice que la fuerza restaurativa y el desplazamiento son siempre opuestos. Constante elástica. (N/m)

C Modulo de Young

Podemos pensar la mayoría de los materiales sólidos como si estuvieran formados por átomos similares a partículas conectados por enlaces elásticos. Así como lo hemos ilustrado en las Fig 4.39 y Fig 4.42. Podemos pensar una varilla de acero como se ilustra en la Fig 4.54. Los enlaces elásticos entre los átomos del acero son bastante rígidos, pero pueden estirarse o comprimirse, lo que significa que incluso una varilla de acero es elástica. Si tiras del extremo de una varilla de acero, como en la Fig 4.53, estirarás ligeramente los enlaces entre las partículas que la componen, y la propia varilla se estirará (Fig 4.54).



Los enlaces estirados tiran de la mano con una fuerza restauradora que hace que la varilla vuelva a su longitud original cuando se suelta. En este sentido, toda la varilla actúa como un resorte muy rígido. Como en el caso de un resorte, también se produce una fuerza de restauración al comprimir la varilla.

Fig 4.54 Los enlaces intentan no dejarse estirar, por lo que surge la fuerza restaurativa.

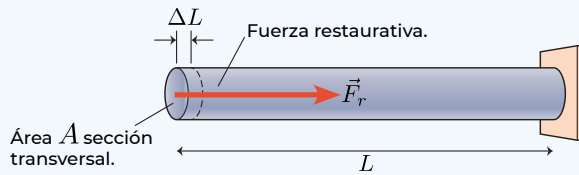


Fig 4.55 Área de sección transversal de una barra con un esfuerzo de tracción y fuerza restaurativa.

La constante elástica de una varilla depende de varios factores, como se muestra en la **Fig 4.55**. En primer lugar, esperamos que una varilla gruesa, con una gran área de sección transversal A , sea más difícil de estirar que una varilla más delgada. En segundo lugar, una varilla con una longitud L larga será más fácil de estirar en una cantidad dada que una varilla corta (piensa en tratar de estirar una cuerda en 1 cm; esto sería fácil de hacer para una cuerda de 10 m de largo, pero sería bastante difícil para un trozo de cuerda de solo 10 cm de largo). Por último, la rigidez de la varilla dependerá del material del que esté hecha. Los experimentos confirman estas observaciones, y se comprueba que la constante elástica de la varilla puede escribirse como

$$k = \frac{Y \cdot A}{L}$$

Donde la constante Y se denomina módulo de Young.

Definición de módulo de Young

El módulo de Young es una propiedad del material del que está hecho un objeto, no depende de la forma ni del tamaño. Es una medida de la rigidez de un material dada por su estructura cristalina.

A partir de la ecuación para la ley de Hooke, la magnitud de la fuerza de restauración de un resorte se relaciona con el cambio en su longitud como $F_r = k \cdot \Delta x$. Al escribir el cambio en la longitud de una varilla como ΔL mostrado en la **Fig 4.55**, podemos usar la ecuación para la ley de Hooke para escribir la fuerza restauradora de una varilla como

$$F_r = \frac{Y \cdot A}{L} \Delta L$$

Si la varilla está en equilibrio estático, entonces la magnitud de la fuerza restauradora es igual a la fuerza que está estirando la varilla, y podemos replantear esta discusión con la deformación de la varilla resultante de una fuerza aplicada. Las matemáticas son las mismas, pero esta forma de pensar es más intuitiva en algunos casos. Si aplicamos una fuerza a un material, la deformación depende de la fuerza que apliquemos, así como del área sobre la que se aplique la fuerza.

La ley de Hooke que hemos aprendido nos permite tener un entendimiento sobre la física que existe detrás de las deformaciones de los sólidos. Y hemos aprendido que, por más rígidos que puedan llegar a ser estos materiales, tienen un módulo de Young que depende de sus propiedades cristalinas y del material. Cuanto mayor es el módulo de Young, mayor es la fuerza restauradora que tiene y por lo tanto más rígido es el material. La **Tabla 4.1** muestra algunos valores del módulo de Young para los materiales más comunes.

4.4.3 Flexión

El esfuerzo de flexión aparece en situaciones muy diversas, siendo determinante en el comportamiento de estructuras o piezas. Por este motivo, todo ingeniero debe conocerlo para realizar correctamente sus diseños. Pongamos como ejemplo una barra a la que se le aplica una carga en el medio teniendo apoyados los extremos en un punto fijo (**Fig 4.56**). Esta situación se conoce como flexión, ya que no existe otro tipo de cargas o fuerzas aplicadas en la barra. Para hacerlo todo un poco más fácil y más sencillo de visualizar, vamos a verlo en dos dimensiones en la **Fig 4.57**.

Material	Módulo de Young (10^{10} N/m^2)
Hierro Fundido	20
Acero	20
Silicio	13
Cobre	11
Aluminio	7
Vidrio	7
Hormigón	3
Madera	1

Tabla 4.1 Módulo de Young para materiales rígidos.

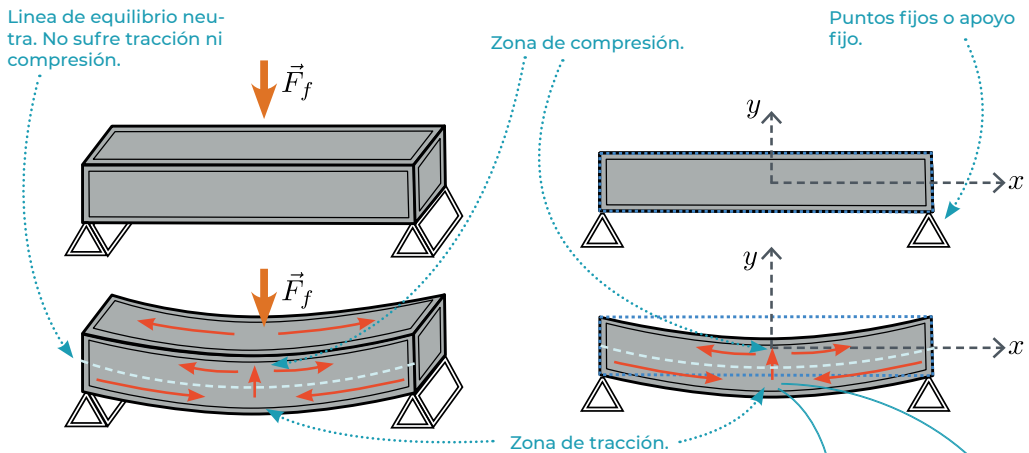


Fig 4.56 Barra rectangular a la cual se le aplica un esfuerzo de flexión.

La barra sufre una deformación, se flexiona curvándose por efecto de la fuerza externa y los puntos de apoyo fijo. Las fibras superiores acortan su longitud, se comprimen, mientras que las fibras inferiores se alargan, es decir, se traccionan. Sin embargo, se producen esfuerzos internos debido a las fuerzas interatómicas que tienden a oponerse a la deformación (**Fig 4.57**).

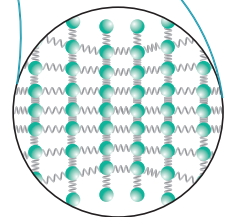


Fig 4.57 Deformación de los enlaces y fuerzas interatómicas

4.4.4 Torsión

Cuando aplicamos una fuerza sobre un objeto y este comienza a girar alrededor de un eje, estamos generando un tipo de esfuerzo llamado torsión. En este contexto, es fundamental entender el concepto de torque, ya que es la fuerza que se aplica a una cierta distancia del centro de giro y que hace que el objeto tienda a rotar. Por ejemplo, cada vez que usas una llave de tuercas para apretar o aflojar un tornillo, estás aplicando un torque.

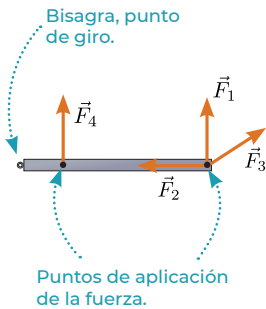


Fig 4.58 Vista superior de una puerta a la que se le aplican diferentes fuerzas.



Aquí ahora, el punto no representa el objeto como lo aprendimos en fuerzas. Aquí el punto negro representa el lugar donde se está aplicando la fuerza que provoca que un cuerpo gire.

Definición de torque ➡

C Torque

Para poder comprender el estudio del movimiento rotacional, necesitamos encontrar un equivalente rotacional a la fuerza. Considera la experiencia de empujar una puerta para abrirla. La **Fig 4.58** es una vista superior de una puerta cuyas bisagras están a la izquierda. Se muestran cuatro fuerzas de igual magnitud que se aplican independientemente. Sin embargo, unas son más efectivas para abrir la puerta que otras. ¿Cuál crees tú que es más efectiva?

Definitivamente la fuerza $\vec{F}_1$ abrirá la puerta, pero pensemos ahora en la fuerza $\vec{F}_2$, en la dirección en la que esta fuerza se aplica no hará que la puerta se abra. La fuerza $\vec{F}_3$ abrirá la puerta, pero no lo hará tan fácilmente como lo hará la fuerza $\vec{F}_1$. Y por otro lado está la fuerza $\vec{F}_4$ que también es perpendicular a la puerta y es de igual magnitud que $\vec{F}_1$. Pero si vas a tu habitación e intentas hacer el experimento de empujar la puerta cerca del punto de giro verás que no es tan efectivo como empujar del punto más alejado del punto de giro. Es por esta razón que la manivela de las puertas se pone en el extremo, ¡es Física!

Importante: Así, la fuerza que causa rotaciones en los cuerpos depende de tres factores.

- ▶ La magnitud de la fuerza $\vec{F}$.
- ▶ La distancia r desde el punto de giro hasta el punto en el cual es aplicada la fuerza.
- ▶ El ángulo en el cual se aplica la fuerza sobre el objeto.

Juntamos estos tres factores en una cantidad la cual es llamada *torque* τ (tau).

El torque es la medida de la eficiencia de una fuerza que produce que un objeto rote sobre un punto de giro (Serway & Jewett, 2004).

Eso quiere decir que en nuestro ejemplo de la puerta, el torque τ_1 debido a la fuerza $\vec{F}_1$ es más grande que el torque τ_4 debido a la fuerza $\vec{F}_4$.

Sabemos también con nuestro ejemplo que la fuerza $\vec{F}_1$, la cual siempre es perpendicular a la puerta, es la más eficiente para abrirla. Y que la fuerza $\vec{F}_2$ que apunta directamente hacia el punto de giro no genera ninguna rotación. Esto sugiere que solo las fuerzas perpendiculares son responsables de que un objeto rote.

Veamos ahora la siguiente situación, pensemos en una llave inglesa que intenta apretar un tornillo. El tornillo sería entonces el punto de giro, la longitud de la llave sería la distancia r y en el extremo libre es donde estaría el punto donde se aplica la fuerza. Para esta situación vamos a suponer que se aplica una fuerza con un ángulo α que no necesariamente es perpendicular a la llave inglesa (**Fig 4.59**).

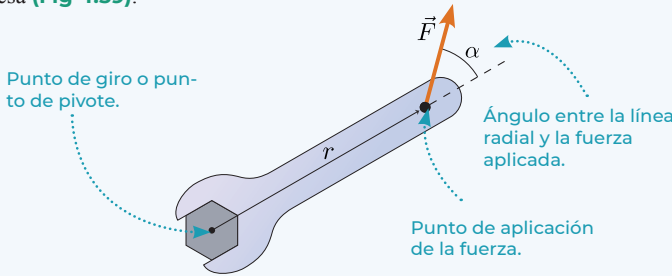


Fig 4.59 Torque generado por aplicación de una fuerza en una llave inglesa.

Hemos comentado que solamente la fuerza que es perpendicular a r es la encargada de que los objetos roten. Quiere decir que en esta situación la fuerza como vector debe dividirse en las dos componentes respectivas: una fuerza $\vec{F}_{\perp}$ que es perpendicular a r y otra fuerza $\vec{F}_{\parallel}$ que es paralela a r (**Fig 4.60**). $\vec{F}_{\parallel}$ tiene una dirección la cual no genera rotación (como la fuerza $\vec{F}_2$ de nuestro ejemplo de la puerta) y no contribuye en el torque. Solo $\vec{F}_{\perp}$ es la responsable de que exista torque por lo que es esta componente de la fuerza $\vec{F}$ la que tiende a rotar el objeto, por lo tanto, *siempre la componente perpendicular a r es la que determina el torque.*

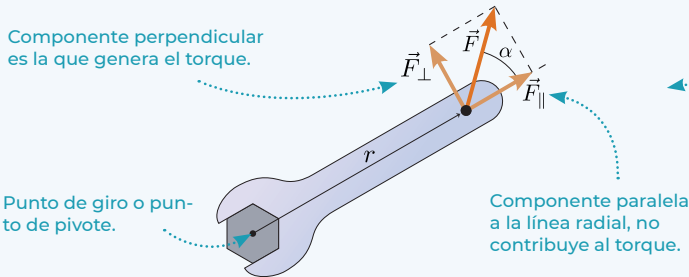
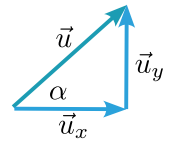


Fig 4.60 Componentes de la fuerza aplicada a la llave, solo la perpendicular genera torque.

Encontramos entonces que una fuerza aplicada a una mayor distancia del punto de giro r genera un mayor efecto de rotación, es decir, mayor torque. Y también que solo la componente perpendicular de la fuerza $\vec{F}_{\perp}$ contribuye a que haya torque, en donde cuanto más grande sea $\vec{F}_{\perp}$, mayor será el torque. Por lo tanto, estas dos variables son directamente proporcionales al torque, y tendremos entonces:

$$\tau = r\vec{F}_{\perp} \quad \longrightarrow \quad \tau = r\vec{F}\sin(\alpha)$$

Recuerda que en trigonometría podemos escribir las componentes de un vector en términos del vector. Si recordamos el triángulo rectángulo.



Las componentes se pueden escribir haciendo uso de la funciones trigonométricas.

$$\vec{u}_x = \vec{u}\cos(\alpha)$$

$$\vec{u}_y = \vec{u}\sin(\alpha)$$

Si aplicamos este concepto en nuestro ejemplo de la llave, tendríamos que...

$$\vec{F}_{\perp} = \vec{F}\sin(\alpha)$$



El torque también es conocido en ingeniería como **momento de giro**.

El esfuerzo de torsión es la reacción que realiza un objeto o material cuando se le aplica un torque sobre el eje longitudinal, como pueden ser vigas o elementos estructurales, en general, elementos donde una dimensión (como el ancho de una viga) predomina sobre las otras dos.

Pongamos como ejemplo la viga que se muestra en la **Fig 4.61** con una sección transversal rectangular, a la cual se le aplican dos torques (también llamado momento de giro) alrededor del eje longitudinal en sentido contrario en cada uno de los extremos. Cuando se aplica este torque, genera que la viga gire y se tuerza alrededor de su eje.

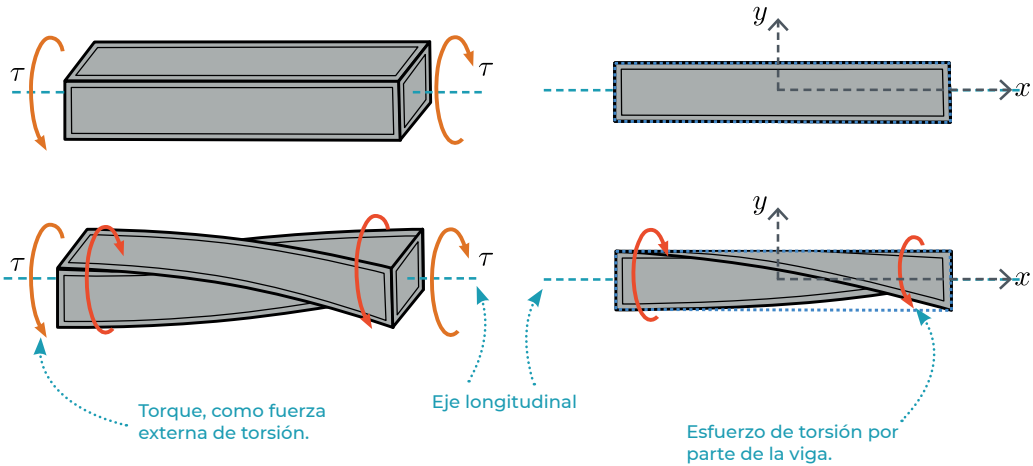


Fig 4.61 Esfuerzo de torsión sobre una viga alrededor del eje longitudinal.

La **Fig 4.61** muestra cómo giran las secciones de la viga, aunque esta no es deforma significativamente. La cantidad de grados que gira la punta de la viga con respecto a la otra se conoce como ángulo de torsión.

También es posible pensar el esfuerzo de torsión, si ahora imaginamos una viga que presenta un extremo como un punto fijo y se aplica una fuerza perpendicular en el otro extremo libre.

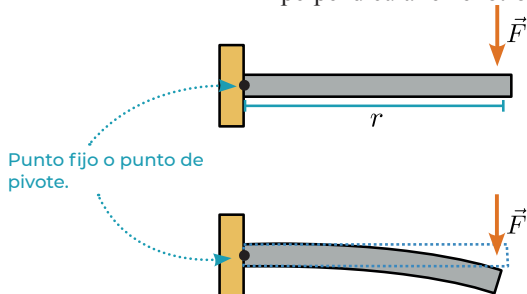


Fig 4.62 Torque aplicado a una viga a una distancia.

Esto, si bien genera un esfuerzo de flexión más que de torsión, sin embargo, si tomamos ahora el punto de giro como el eje longitudinal, se puede entender como un torque sobre la viga, y por lo tanto existe un esfuerzo de torsión interno que va en contra de la deformación de la viga (**Fig 4.62**).

4.4.5 Cortante

El esfuerzo cortante también se conoce como cizalladura. Este esfuerzo es al que se ve sometido un material que provoca fuerzas perpendiculares al eje longitudinal del objeto, aplicadas en sentidos contrarios casi sobre la misma línea vertical que tiende a cortar el material debido a la cercanía de las dos fuerzas.

Imaginemos una viga de sección cuadrada (**Fig 4.63**), a la cual se le aplican dos fuerzas contrarias y perpendiculares al eje longitudinal, las cuales están separadas a una distancia muy pequeña. Esto hace que tienda a cortarla de manera transversal.

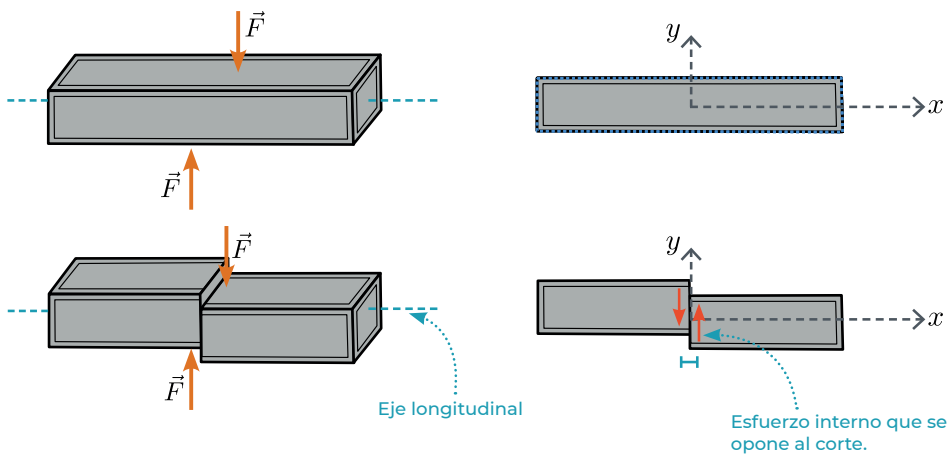


Fig 4.63 Esfuerzo cortante sobre una viga, esto tiende a dividirla.

Cada material presentará una resistencia cortante distinta, que si es superada provocará que el material se rompa o se cizalle. Esto es por ejemplo lo que ocurre cada vez que cortamos con las tijeras, o en procesos de fabricación como el troquelado, donde un punzón cizalla una sección para hacer un orificio.

Cotidianamente se aplican esfuerzos cortantes directos sobre telas, papeles o metales, cuando son ejercidos mediante tijeras, guillotinas o cizallas (**Fig 4.64**), y en estructuras en pernos o tornillos, pasadores, vigas y soldaduras.

Es preciso aclarar que no siempre el esfuerzo cortante pretende cortar o seccionar un objeto, pero el esfuerzo cortante sí tiende a deformar al objeto en el cual se aplican las fuerzas; por eso las vigas sometidas a esfuerzos cortantes tienden a combarse por su propio peso.

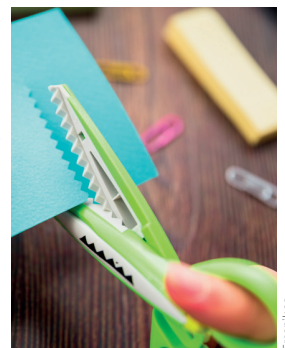


Fig 4.64 Esfuerzo cortante sobre un trozo de papel por medio de tijeras.



En las estructuras masivas se emplean dinteles de piedra o madera para crear ventanas y pasos libres, demostrando la eficacia de estas estructuras en resistir las cargas que actúan sobre ellas.

4.5 ¿Cómo se clasifican las estructuras?

Existen muchos tipos de estructuras que se clasifican según la forma en la que resisten los esfuerzos. A lo largo de la historia, se han utilizado diversas estructuras para edificaciones, desde las primitivas chozas de pieles, madera y piedras, hasta los modernos castillos hinchables y cúpulas geodésicas. También incluyen los acueductos romanos, castillos medievales, grandes catedrales góticas y puentes colgantes. Aunque en la realidad a menudo encontramos combinaciones y estructuras más complejas que podrían incluirse en varios de estos grupos y contener elementos de diferentes tipos, esta clasificación nos ayuda a entender mejor cómo funcionan y resisten las fuerzas que actúan sobre ellas.

Estructuras masivas:

Son estructuras sólidas y macizas construidas utilizando grandes piezas como bloques o material continuo como el hormigón. En este tipo de estructuras, los elementos se unen formando un todo continuo que resiste las cargas debido a su propio peso y la masa del material. Estas estructuras son ideales para soportar esfuerzos de compresión debido a su rigidez. Suelen caracterizarse por el uso de mucho material para su construcción. Por ejemplo las estructuras de la historia (Fig 4.65) (Fig 4.66).



Fig 4.65 Las construcciones históricas por lo general son estructuras masivas.



Fig 4.66 Las pirámides de Egipto son un ejemplo de estructuras masivas.

Estructuras abovedadas:

Son estructuras formadas por arcos y bóvedas que permiten cubrir espacios mayores y aumentar los huecos en las estructuras. Los arcos y las bóvedas están compuestos por piezas llamadas dovelas, que trabajan resistiendo las fuerzas que reciben y transmiten, conocidas como empujes, mediante esfuerzos de compresión. El descubrimiento del arco y la bóveda permitió cubrir espacios cada vez mayores y aumentar tanto los huecos como la altura de las estructuras. Algunos ejemplos notables de estructuras abovedadas incluyen iglesias, acueductos, túneles, anfiteatros romanos, puentes y mezquitas (Fig 4.67).



Fig 4.67 Construcciones con arcos para aprovechar el espacio.

Estructuras entramadas: Estas estructuras utilizan pilares, vigas y viguetas como los principales elementos de sostén. Su empleo ha permitido una gran disminución del peso en comparación con las estructuras masivas o abovedadas, lo que ha posibilitado aumentar la altura de las construcciones. Por esta razón, son las estructuras predominantes en los edificios de bloques de pisos actuales. En estas estructuras, la construcción de pilares (elementos verticales) y vigas (elementos horizontales) es fundamental. Los pilares, generalmente hechos de hormigón armado, se construyen en el mismo lugar donde se erige la estructura. Así, las casas y edificios modernos son ejemplos claros de estructuras entramadas, que combinan eficiencia y estabilidad para satisfacer las necesidades de las construcciones contemporáneas (Fig 4.68).



Fig 4.68 Las estructuras de hoy en día son en su mayoría estructuras entramadas.

Estructuras trianguladas Las estructuras trianguladas o reticulares están formadas por perfiles que crean superficies planas o tridimensionales mediante la repetición de formas triangulares. Estas estructuras se caracterizan por su gran rigidez y ligereza. Generalmente hechas de acero, debido a su alta resistencia a la compresión y a la tracción, y utilizan una variedad de barras y perfiles. En estas estructuras, los elementos lineales de poca sección, llamados barras, se unen de forma que no se generan rigideces perjudiciales, garantizando que los triángulos formados sean indeformables. Ejemplos comunes de estructuras trianguladas incluyen cerchas, vigas trianguladas, grúas, andamios, norias, ciertos puentes, y torres de alta tensión y de telefonía. Estas uniones no rígidas permiten que la estructura mantenga su forma y resistencia, incluso bajo cargas significativas, demostrando la eficiencia y versatilidad del diseño triangular en la ingeniería estructural (Fig 4.69) (Fig 4.70).



Fig 4.69 Las estructuras eléctricas por lo general son trianguladas.

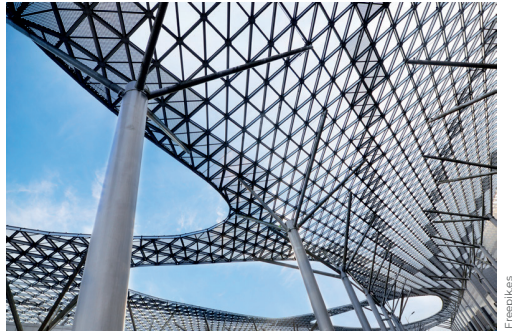


Fig 4.70 Algunos estadios tienen techos con estructuras trianguladas.

Estructuras colgantes:

Las estructuras de este tipo se basan en el uso de elementos como cables o cuerdas, denominados tirantes, que funcionan únicamente a tracción y sirven para sustentar otros componentes de la estructura. Estas estructuras son típicas en puentes colgantes, donde los cables, soportan gran parte de la estructura colgante. Los tirantes, que tienden a estirarse, se emplean en diversas aplicaciones, incluyendo carpas, torres, y puentes colgantes (**Fig 4.71**) (**Fig 4.72**).



Puente colgante de madera en Cangas de Onís. Manuel Torres Búa

Fig 4.71 Puente como una construcción colgante.



Puente peatonal en Valadães, Vigo. Carmen Bardo

Fig 4.72 Puente peatonal colgante por medio de tensores.

Estructuras laminadas:

Estas estructuras están formadas por láminas finas de metal, plástico o materiales compuestos. A pesar de su poco espesor, ofrecen una gran resistencia debido a su curvatura, actuando de manera similar a las bóvedas. Se utilizan como carcasas en una amplia variedad de objetos y en cubiertas onduladas que envuelven y protegen. Ejemplos comunes de estructuras laminadas incluyen la carrocería de los coches, las carcasas de televisores y móviles, las cubiertas de ciertos edificios, los cascos de embarcaciones y juguetes de playa como palas y cubos. Estas láminas proporcionan la protección y rigidez necesarias para los objetos y estructuras en los que se emplean (**Fig 4.73**).



Fig 4.73 Estructura realizada con láminas de materiales rígidos.

Estructuras neumáticas: Estas estructuras están hechas de una delgada pared de material compuesto, llamada membrana, que contiene aire a presión en su interior. El aire es lo que mantiene la estructura en su lugar, sometiendo la membrana a esfuerzos de tracción. Las construcciones neumáticas pueden estar infladas o sostenidas por aire a presión. En ambos casos, estas estructuras son extremadamente ligeras y se montan y desmontan rápidamente, lo que las hace fáciles de transportar y almacenar después de usarlas. Por eso se utilizan en botes inflables, ruedas de vehículos, atracciones infantiles, colchones de aire, carpas, cubiertas de escenarios, y más (**Fig 4.74**).



Fig 4.74 Estructura tipo inflable, como estructura neumática.

Estructuras Geodésicas: Estas son estructuras trianguladas tridimensionales que combinan las propiedades de las bóvedas y las estructuras de barras. En las cúpulas geodésicas, los triángulos forman elementos hexagonales y pentagonales, y todos sus vértices deben coincidir con la superficie de una esfera (si no, ya no se consideran geodésicas). Cuanto más grande es una cúpula geodésica, más resistente se vuelve. Es la única estructura capaz de cubrir grandes áreas sin necesitar soportes interiores como pilares (**Fig 4.75**).



Fig 4.75 Estructura esférica sin necesidad de columnas o pilares.

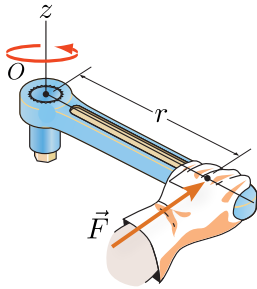


Fig 4.76 Momento de una fuerza aplicada en un tornillo.

4.6 Estabilidad de las estructuras

Ya hemos visto que cuando las fuerzas actúan sobre un objeto pueden tender a acelerarlo, a moverlo o incluso a hacerlo girar alrededor de un punto. Aprendimos que esta tendencia a girar se le conoce como *torque*, sin embargo, en varias áreas de la mecánica, la ingeniería y el análisis estructural, la denominan *momento de una fuerza* o simplemente *momento*. Otro ejemplo de ello es cuando queremos desenroscar un perno de una llanta (**Fig 4.76**). Si se aplica una fuerza $\vec{F}$ alrededor de un punto O , sabemos que la magnitud de este momento es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza y también a la distancia del punto de giro r .

Si escribimos nuestra ecuación para el momento, entonces sería la misma del torque, solo que ahora llamaremos al momento como M .



$$\tau = rF_{\perp}$$

$$\vec{M} = r\vec{F}_{\perp}$$

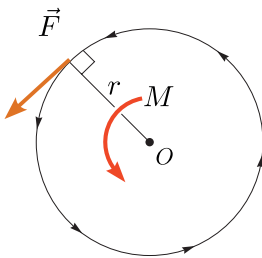
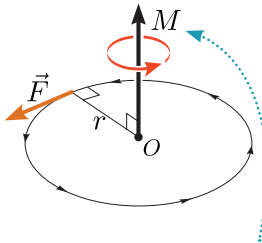
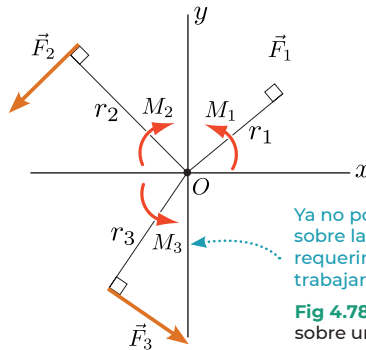


Fig 4.77 Naturaleza vectorial del momento (torque) por medio del producto cruz.

Como $\vec{M}$ es un vector, tiene por lo tanto una dirección la cual es definida por su eje de momento, el cual es perpendicular al plano que podemos imaginar que genera la fuerza $\vec{F}$ y r , como se muestra en la **Fig 4.77**.

Es posible que sobre un mismo elemento, como puede ser una viga estructural, actúe más de una fuerza externa (cargas), en ese momento entonces existe más de un momento, y al igual que en sumatorias de fuerza que genera una fuerza neta resultante, también existe un momento total resultante $\vec{M}_r$ que se puede determinar como una suma algebraica de los momentos de cada una de las fuerzas. Pero, al igual que las fuerzas, hay que tener presente la dirección del giro; en este caso cuando el giro es en contra de las manecillas del reloj diremos que el momento es positivo (+), y si es a favor de las manecillas del reloj, diremos que el momento es negativo (-). Al hacer esto, el sentido de dirección de cada momento puede representarse mediante un signo de más o de menos.



Ya no ponemos la flecha sobre la M debido a que solo requerimos el valor para trabajar las ecuaciones.

Fig 4.78 Momentos aplicados sobre un mismo punto.

Por ejemplo, supongamos que en la **Fig 4.78** se representa un punto y en el cual se están aplicando tres fuerzas alrededor del punto de aplicación. Como vemos, no todas las fuerzas están en el mismo sentido de giro. Por lo que los momentos no tienen todos el mismo signo. Si queremos determinar el momento resultante M_r , entonces debemos aplicar la suma algebraica teniendo en cuenta la ecuación de momento. Es decir:

$$M_r = \sum_{i=1}^n r_i F_{\perp i}$$

Si aplicamos esta ecuación a nuestro ejemplo teniendo en cuenta la convención de los signos dada por la dirección de giro, entonces hallaremos el momento resultante para fuerzas que actúan sobre un objeto:

$$M_r = (+r_1 F_{\perp 1}) + (-r_2 F_{\perp 2}) + (+r_3 F_{\perp 3})$$

Haciendo la respectiva ley de signos tendríamos ya la ecuación en la cual solo sería remplazar y operar.

$$M_r = r_1 F_{\perp 1} - r_2 F_{\perp 2} + r_3 F_{\perp 3}$$

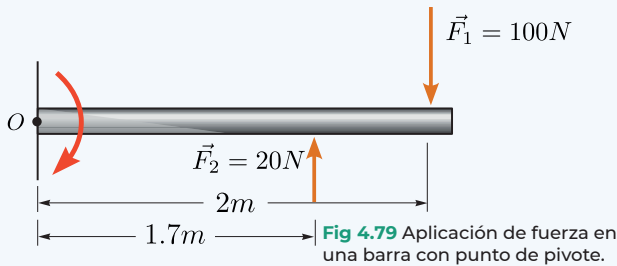


Recuerda que las unidades del momento o del torque son:

$$N \cdot m$$

Ejemplo 2.1

Lo que haremos ahora es hallar el momento resultante $\vec{M}_r$ de la situación ilustrada para una barra que esta fija en el punto O y se le aplican dos fuerzas como se muestra en la **Fig 4.79**.



Determinemos entonces cuál es ese momento total resultante que actúa sobre la barra. Para ello usaremos el principio de suma algebraica de cada uno de los momentos individuales, como ya lo hicimos anteriormente. Tengamos en cuenta que estas fuerzas ya son las fuerzas perpendiculares a r . Si aplicamos la ecuación correcta encontraremos que:

$$M_r = -r_1 F_1 + r_2 F_2$$

Como vemos, el momento dado por $\vec{F}_1$ es negativo porque su dirección es a favor de las manecillas del reloj.

Ahora hacemos el respectivo reemplazo de los datos dados por el ejercicio:

$$M_r = -(2m)(100N) + (1.7m)(20N)$$

$$M_r = -166Nm$$

El signo menos en el resultado nos da cuenta de en qué dirección de giro actúa el momento resultante. En este caso quiere decir que la suma de los momentos que se genera por actuar de las fuerzas es igual a tener solo una fuerza que actúa generando un momento de -166 Nm . Haciendo una rotación a favor de las manecillas del reloj.

Pero resulta que cuando actúan fuerzas sobre elementos como barras y vigas, el momento dado por las fuerzas, no siempre ocasiona rotación. Por ejemplo, la fuerza F con que tiende a girar la viga en sentido de las manecillas del reloj (**Fig 4.80**) en torno a un punto de giro A generando un momento $M_A = -r_A F_1$. Pero en el punto B , que es un punto donde se apoya la viga, también aquí se está ejerciendo una fuerza sobre la viga. Por lo que existe un segundo momento dado en B por $M_B = r_B F_2$. En esta situación $F_1 \neq F_2$, y si observamos bien F_2 es la fuerza que genera la parte de la base donde está siendo soportada la viga, sobre la viga misma. Es decir es un par reacción de la tercera ley de Newton. Es por esto que a todas las fuerzas dadas por los puntos en los cuales una viga es apoyada se le conocen como *reacciones* y existe un área especial del análisis de estructuras llamado *Cálculo de Reacciones* que se encarga de estudiar estructuras en equilibrio estático.

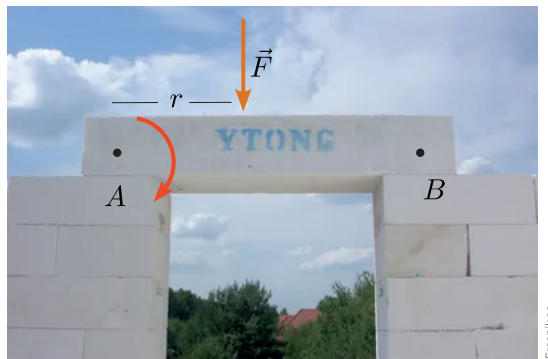


Fig 4.80 Momentos aplicados sobre una viga.

El equilibrio estático se consigue cuando la sumatoria de fuerzas en cada uno de los ejes es igual a cero dada por la segunda ley de Newton. Y adicionalmente, un elemento para estar de forma estática debe no presentar tampoco ningún movimiento de rotación, por lo que la sumatoria de los momentos dados por las fuerzas también debe ser cero.

Así entonces en los elementos de las estructuras que se esperan que sean estables deben cumplir estas dos condiciones para considerarse como un elemento estructural estable.

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum M = 0$$

Cuando una estructura o un elemento de las estructuras cumple con estas tres condiciones se considera entonces que está en equilibrio estático, que es precisamente para lo que las estructuras están hechas.

Q Ejercicio

La llave de cubo que se muestra en la **Fig 4.81** se usa para apretar el perno en O . Si la llave no gira cuando se aplica la carga, determine el momento M_O aplicado por el perno.

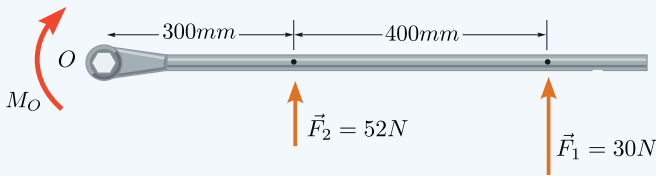
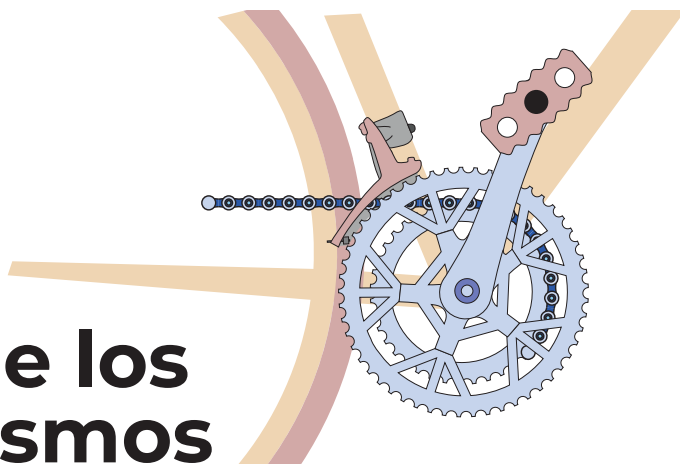


Fig 4.81 Aplicación de fuerza en una barra para apretar un perno.

Estos planteamientos, trabajados a lo largo del capítulo, nos permiten poner en práctica los conceptos en un ámbito específico: los mecanismos. Dichos mecanismos aplican de manera más concreta los principios que hemos desarrollado, con el propósito de construir dispositivos tecnológicos que contribuyen a generar soluciones a problemas de la vida cotidiana. Contar con una noción más precisa sobre las leyes de Newton nos acerca a la comprensión de la física que hay detrás de los mecanismos, los cuales resultan esenciales en muchos de los dispositivos actuales. Este tema será abordado con mayor detalle en el siguiente capítulo.

05

Física de los mecanismos



Exploraremos a fondo los principios físicos detrás de los mecanismos más utilizados en la ingeniería y la tecnología. Comprenderemos cómo la conversión de movimientos circulares a lineales, alternativos o recíprocos, se logra mediante mecanismos como levas, manivelas, entre otros. Además, analizaremos las fuerzas involucradas y cómo estos sistemas permiten optimizar el trabajo y la eficiencia en aplicaciones cotidianas e industriales, proporcionándonos una visión integral de la física aplicada a los mecanismos.



Fig 5.1 Esta máquina permite levantar cargas pesadas.

5.1 ¿Qué son los mecanismos?

El ser humano a menudo necesita realizar trabajos que exceden sus capacidades, como mover rocas muy pesadas, levantar coches para reparaciones, transportar objetos o personas a largas distancias, realizar muchos cálculos rápidamente, hacer tareas largas y repetitivas o de gran precisión, y congelar alimentos. Para solucionar estos desafíos, se inventaron las máquinas (Myszka, 2012). Las máquinas tienen la función de reducir el esfuerzo necesario para realizar un trabajo. En este tema, nos enfocaremos en las máquinas que disminuyen el esfuerzo mecánico, transfieren o transforman el movimiento y tienen elementos móviles. Algunos ejemplos de estas máquinas son la grúa, la excavadora, la bicicleta, el cuchillo, las pinzas de depilar, los montacargas, las tejedoras y los robots.

Las máquinas de las **Fig 5.1** y **Fig 5.2** nos ayudan a realizar trabajos reduciendo esfuerzos que, de otro modo, serían imposibles para el ser humano por sí solo. En general, las máquinas obtienen energía (fuerza o movimiento) de una fuente motriz, como la gasolina o el esfuerzo muscular, y la utilizan para realizar la función para la que fueron diseñadas. Imagina, por ejemplo, cuál sería la fuente de energía de estas máquinas:

- ▶ **Carro:** Utiliza gasolina o diésel como fuente de energía para mover su motor y así propulsarse.
- ▶ **Bicicleta:** Se impulsa mediante el esfuerzo muscular del ciclista que pedalea.
- ▶ **Avión:** Usa combustible para aviones (queroseno) para alimentar sus motores y volar.
- ▶ **Corta-uñas:** Funciona con la fuerza de las manos al presionar para cortar las uñas.

- **Molino de viento:** Aprovecha la fuerza del viento para mover sus aspas y generar energía.
- **Noria hidráulica:** Utiliza la energía del agua en movimiento para girar y realizar su función.
- **Licuada:** Funciona con energía eléctrica que alimenta su motor para mezclar y triturar alimentos.

Estas fuentes de energía permiten a las máquinas realizar tareas que serían muy difíciles para una sola persona, como levantar grandes pesos, desplazarse rápidamente o cortar materiales duros.

Para utilizar adecuadamente la energía proporcionada por el motor, las máquinas están formadas internamente por un conjunto de dispositivos llamados *mecanismos* (Olmedo & Echeverría, 2006).

*Los mecanismos son las partes de las máquinas encargadas de **transmitir o transformar** la energía que proporciona la fuerza motriz al elemento motriz, para que pueda ser utilizada por los elementos conducidos de salida que hace que las máquinas funcionen (Cedenilla et al., 2017).*

La energía que proporciona la fuerza motriz al elemento motriz se conoce como movimiento de entrada, esta fuerza es conducida hasta transferirse o transformarse en un movimiento de salida que hace que la máquina realice su trabajo.

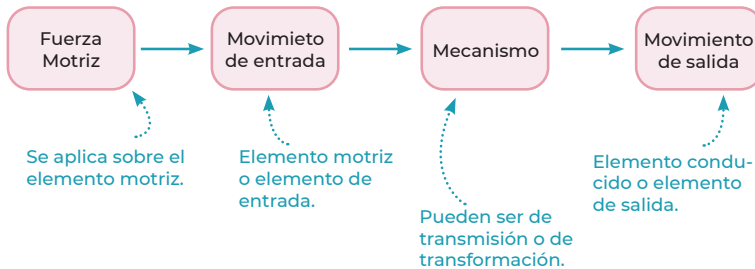


Fig 5.3 Proceso general de la composición de un mecanismo.

La **Fig 5.3** presenta un esquema sobre el proceso de un mecanismo en donde es indispensable contar con un elemento motriz (entrada) que genere el movimiento gracias a una fuerza motriz, que puede ser un resorte, una corriente de agua, nuestros músculos, un motor eléctrico, entre otros (EducaMadrid, s. f.). Este movimiento originado por el motor se transforma y/o transmite a través de los mecanismos hacia los elementos conducidos (salida), como ruedas o brazos mecánicos, realizando el trabajo para el que fueron diseñados. Veamos ahora el siguiente ejemplo.

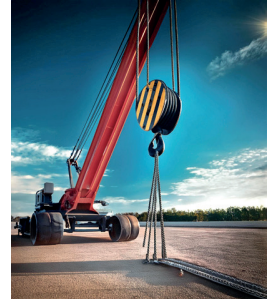


Fig 5.2 Los sistemas de poleas son muy útiles para reducir el esfuerzo necesario para levantar una carga.

Definición de mecanismos



Lo que mencionamos como **fuerza motriz** es aquella fuerza que se requiere y aplica para hacer funcionar algo. Normalmente es una máquina la que recibe la fuerza motriz, y esta energía se transfiere o transforma por medio de los mecanismos (Olmedo & Echeverría, 2006).

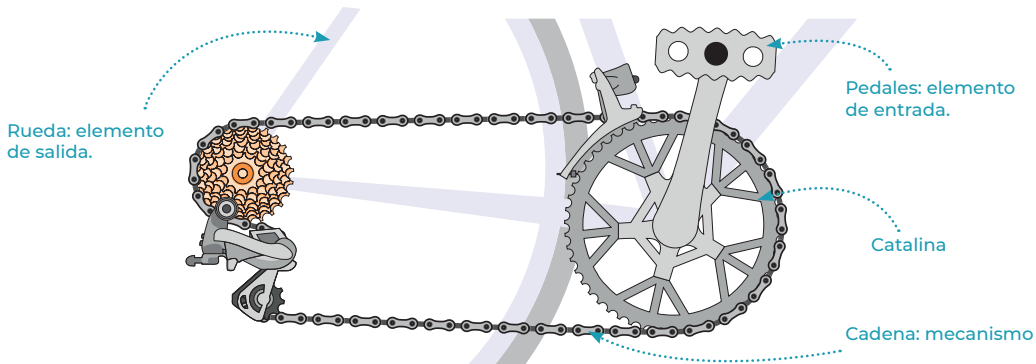


Fig 5.4 Mecanismo de una bicicleta.

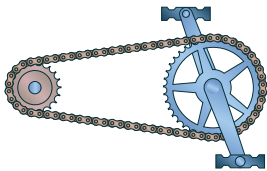


Fig 5.6 Mecanismo de movimiento circular.

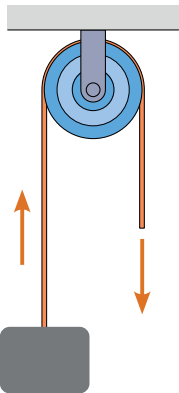


Fig 5.7 Mecanismo de movimiento lineal.



Fig 5.8 Mecanismo de movimiento oscilante.

En la Fig 5.4 se puede ver el mecanismo de la bicicleta. Aquí, el elemento motriz (elemento de entrada) son los pedales, que reciben la fuerza motriz de las piernas del ciclista. El elemento conducido (elemento de salida) es la rueda trasera, que es la que finalmente recibe el movimiento. El mecanismo de la bicicleta (cadena) permite comunicar la fuerza motriz proporcionada por el ciclista desde el plato donde está la catalina con los pedales, al plato de la rueda trasera donde están los piñones (Gobierno de Canarias, 2014).

Observa ahora la Fig 5.5, como podemos representar este mecanismo en el siguiente esquema.

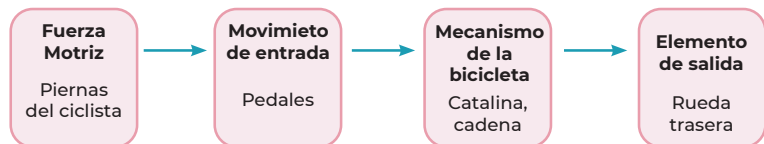


Fig 5.5 Proceso del mecanismo de una bicicleta.

En estos mecanismos los elemento motrices y los conducidos pueden tener cuatro tipos de movimiento:

- ▶ Movimiento **circular** o rotatorio, como el que tiene una rueda (Fig 5.6).
- ▶ Movimiento **lineal**, es decir, en línea recta y de forma continua (Fig 5.7).
- ▶ Movimiento **alternativo**: Es un movimiento de ida y vuelta, de vaivén (Fig 5.9).
- ▶ Movimiento **oscilante**: Sigue una trayectoria de arco de avance y retroceso. Por ejemplo, un péndulo (Fig 5.8).

Los mecanismos pueden cumplir diferentes funciones, como transformar movimientos (como en el motor de un coche (Fig 5.9)), modificar la fuerza aplicada (una prensa), ajustar la velocidad (los cambios de una bicicleta), cambiar la dirección del movimiento (una polea simple) o incluso almacenar energía (un muelle).

Recuerda que los mecanismos son elementos destinados a transmitir o transformar fuerzas y movimientos desde un elemento motriz a un elemento de salida. Permiten al ser humano realizar determinados trabajos con mayor comodidad y con menos esfuerzo. Con base en esta definición podemos clasificar los mecanismos en dos grandes grupos:

- ▶ *Mecanismos de transmisión del movimiento.*
- ▶ *Mecanismos de transformación del movimiento.*

En el primer caso, el movimiento del elemento de entrada (elemento motriz) es el mismo que el del elemento de salida (elemento conducido). Un ejemplo es la cadena de una bicicleta (Fig 5.4). En este caso, el movimiento de rotación de los pedales (entrada) se transmite a la rueda trasera (salida) mediante la cadena, sin cambiar el tipo de movimiento.

En el segundo caso, el movimiento del elemento de entrada se convierte en un tipo de movimiento diferente en la salida, es decir, se transforma de una forma a otra. Por eso se le llama transformación de movimiento. Un ejemplo de mecanismo es un tornillo sin fin (Fig 5.10). Este mecanismo convierte un movimiento de rotación (como el de una manivela) en un movimiento lineal (como el desplazamiento de una tuerca). Veamos con más profundidad cada uno de estos tipos de mecanismos.

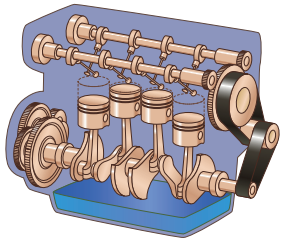


Fig 5.9 Mecanismo de movimiento alternativo.

5.2 Mecanismos de transmisión del movimiento

Hemos visto que los mecanismos nos ayudan a hacer más fáciles las tareas al transmitir o transformar el movimiento. Ahora, vamos a profundizar en la física detrás de estos procesos. Sabemos que los mecanismos de transmisión llevan el movimiento de un punto a otro sin cambiar su naturaleza, es decir, el tipo de movimiento del elemento de entrada es el mismo que el del elemento de salida (Actividades tecnología 902, 2013). Estos movimientos pueden clasificarse en dos tipos principales:

- ▶ **Mecanismos de transmisión lineal:** Tanto el elemento de entrada como el de salida tienen un movimiento lineal.
- ▶ **Mecanismos de transmisión circular:** En este caso, tanto el elemento de entrada como el de salida tienen un movimiento circular.

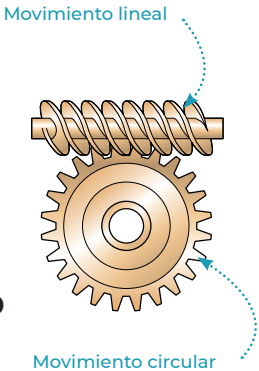


Fig 5.10 Tornillo sin fin.

Por “Lineal “ nos referimos a que su movimiento es en una dimensión, es decir, en línea recta.

En la [Tabla 5.1](#), se clasifican los mecanismos según su tipo. Comprenderemos y aplicaremos sus funcionalidades para resolver problemas que nos ayuden a reconocer su utilidad en el desarrollo de dispositivos tecnológicos. Estos son fundamentales para mejorar el rendimiento y eficiencia en aplicaciones prácticas.

Tabla 5.1 Clasificación de los mecanismos de transmisión.

Tipo de Mecanismo	Mecanismo
Mecanismos de transmisión lineal	Sistemas de poleas
	Palanca
Mecanismos de transmisión circular	Sistemas de poleas con correa
	Sistema de ruedas de fricción
	Sistema de engranajes
	Engranajes con cadenas
	Tornillo sin fin

5.2.1 Mecanismos de transmisión lineal

La palanca



Fig 5.11 Para destapar una cerveza se requiere hacer palanca con un destapador.

Desde tiempos inmemoriales, el ser humano ha creado herramientas y mecanismos para facilitar sus tareas y optimizar su energía. Entre ellos, la palanca ha sido una de las más ingeniosas y útiles, pues permite multiplicar fuerzas o cambiar la dirección del esfuerzo aplicado. Este sencillo pero poderoso mecanismo ha sido clave en innumerables avances tecnológicos y cotidianos (**Fig 5.11**). Sin embargo, no siempre la palanca reduce el esfuerzo necesario; a veces, incrementa la fuerza requerida para lograr mayor precisión o control. En esta sección, exploraremos su funcionamiento, sus principios físicos y su importancia en la tecnología actual. Para comprender el funcionamiento de la palanca, debemos recordar que este mecanismo es de transmisión de movimiento de forma lineal. La palanca es una barra rígida, que no responde a deformaciones al aplicar esfuerzos sobre ella. Esta gira en torno a un punto de apoyo o articulación, denotaremos el punto de apoyo como P_A . También tiene un punto en donde se realiza la fuerza F con el objetivo de poder vencer a una resistencia R . Además la palanca presenta la distancia de la resistencia al punto de apoyo r_R , y la distancia entre el punto donde se aplica la fuerza y el punto de apoyo r_F (**Fig 5.12**).

Por resistencia nos referimos a aquello que se opone a que la barra gire libremente.



Fig 5.13 El punto de apoyo (mano) se encuentra entre el punto de la fuerza aplicada y la resistencia.

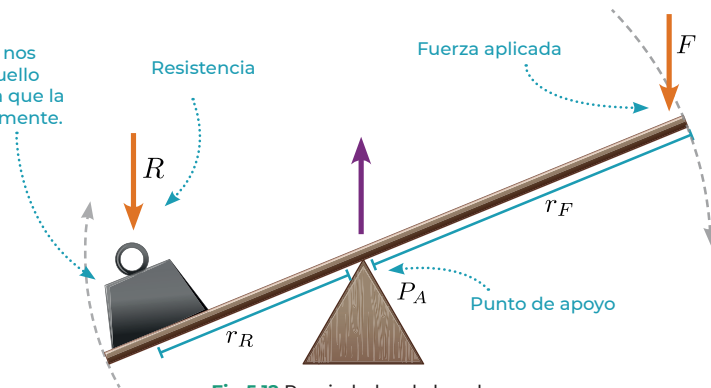


Fig 5.12 Propiedades de la palanca.

Si bien el punto de apoyo no necesariamente siempre estará en la mitad de la fuerza aplicada y la resistencia (**Fig 5.13**), pueden existir situaciones en donde esté a un lado u otro de estos. Según donde se encuentre el punto de apoyo, la fuerza y la resistencia podemos clasificar la palanca en tres tipos.

- ▶ **Palancas de primer grado:** El punto de apoyo se encuentra entre la fuerza aplicada y la resistencia.
- ▶ **Palancas de segundo grado:** La resistencia se encuentra entre el punto de apoyo y la fuerza aplicada.
- ▶ **Palancas de tercer grado:** La fuerza aplicada se encuentra entre el punto de apoyo y la resistencia.

Dependiendo del tipo de palanca es posible que nos den alguna ventaja mecánica o no. Una ventaja mecánica a la hora de utilizar una palanca es si con ella realizamos menos esfuerzo al intentar realizar una fuerza sobre la resistencia (**Fig 5.14**).

En el caso de las *palancas de primer grado*, estas solo proporcionan una ventaja mecánica si la distancia entre el punto de apoyo y la resistencia es menor a la distancia entre el punto de apoyo y el lugar donde se aplica la fuerza es decir si $r_R < r_F$ (**Fig 5.15**).

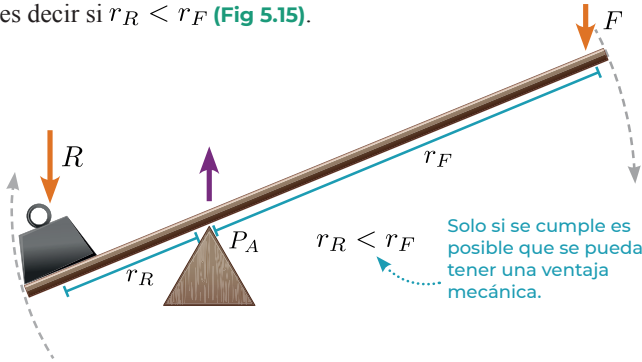


Fig 5.15 Palanca de primer grado; brinda ventaja mecánica.

Los alicates o pinzas son un ejemplo de mecanismo de palanca de primer grado ya que cumple con  y también $r_R < r_F$. El mecanismo transmite el movimiento lineal de un extremo al otro, lo que realmente lo vuelve útil, porque, no solo transmite el movimiento sino que amplifica la fuerza. Aquí la resistencia sería la de un objeto que se encuentra en medio de las pinzas, este objeto intentara oponerse a la fuerza del apretón de las pinzas y dicha fuerza es la resistencia (**Fig 5.16**).

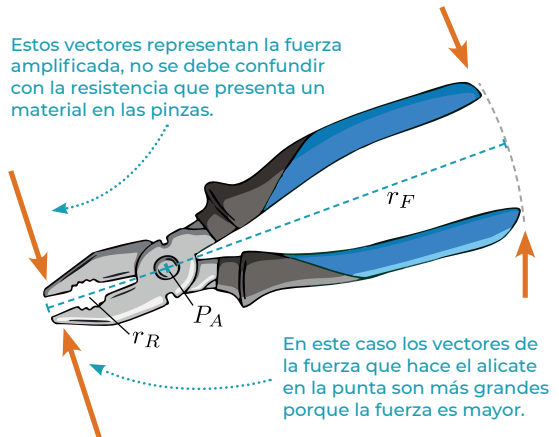


Fig 5.16 Los alicates transmiten el movimiento de un extremo a otro.

Debemos tener cuidado y no confundir la fuerza que resulta de aplicar una fuerza en el extremo más extendido con lo que llamamos resistencia. Ya que la resistencia es esa carga o esfuerzo o peso que es requerido superar, por lo que en la palanca se espera que la fuerza que se amplifica supere la resistencia que se opone a esta. De esta manera el mecanismo resulta verdaderamente útil para simplificar el trabajo en algunas tareas, como lo fue los alicates o pinzas.

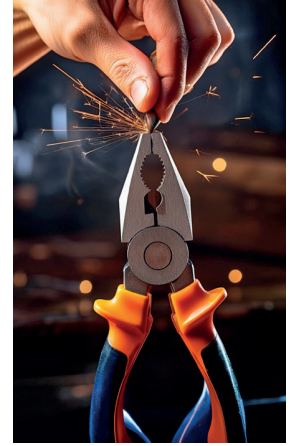


Fig 5.14 Con poco esfuerzo se puede realizar mas fuerza sobre la resistencia a través de los alicates, los cuales brindan ventaja mecánica.



Fig 5.17 Ganchos de ropa como mecanismo de balanca.

A diferencia de las palancas de primer grado, las *palancas de segundo grado* siempre tendrán ventaja mecánica, esto debido a que la resistencia se encuentra en medio del punto de apoyo y donde se aplica la fuerza, es decir,  garantizando siempre que la distancia entre el punto de apoyo y donde se aplica la fuerza es mayor que la distancia entre el punto de apoyo y donde se encuentra la resistencia (carga), es decir, $r_R < r_F$ (**Fig 5.18**).

Solo si se cumple es posible que se pueda tener una ventaja mecánica.

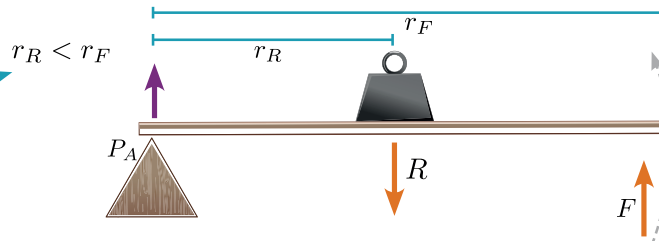


Fig 5.18 Palanca de segundo grado.

La unidad del SI de **masa** es el **kilogramo (kg)**. Los experimentos muestran que mientras más grande sea la masa de un objeto, menos acelera el objeto bajo la acción de una fuerza aplicada conocida.

Un buen ejemplo de palanca de segundo grado es la *carretilla* (**Fig 5.19**). Es curioso comprender que la carretilla es un tipo de mecanismo que brinda una ventaja mecánica, y esto es debido a que su uso es con el fin de poder realizar menos esfuerzo físico a la hora de levantar y desplazar algún tipo de objeto. Pero podemos preguntarnos ¿por qué en la carretilla haríamos menos esfuerzo que si nos echamos al hombro eso que queremos mover?

La carretilla es un ejemplo práctico y cotidiano del uso de una palanca para facilitar el levantamiento y transporte de cargas con menor esfuerzo físico. Esto se debe a cómo distribuye la carga a través de su diseño y a la interacción con el suelo. Al levantar una carretilla desde uno de sus extremos, no estás levantando el peso total de la carga, sino solo una parte de ella. El resto del peso es soportado por la rueda o los soportes, que transfieren esa carga directamente al suelo. Esto significa que el esfuerzo físico necesario para moverla es significativamente menor, ya que el suelo, a través de la rueda, asume gran parte del trabajo de sostener el peso.

Entre más alejado se encuentre el punto de aplicación de la fuerza, menor esfuerzo realizará para levantar la carga.

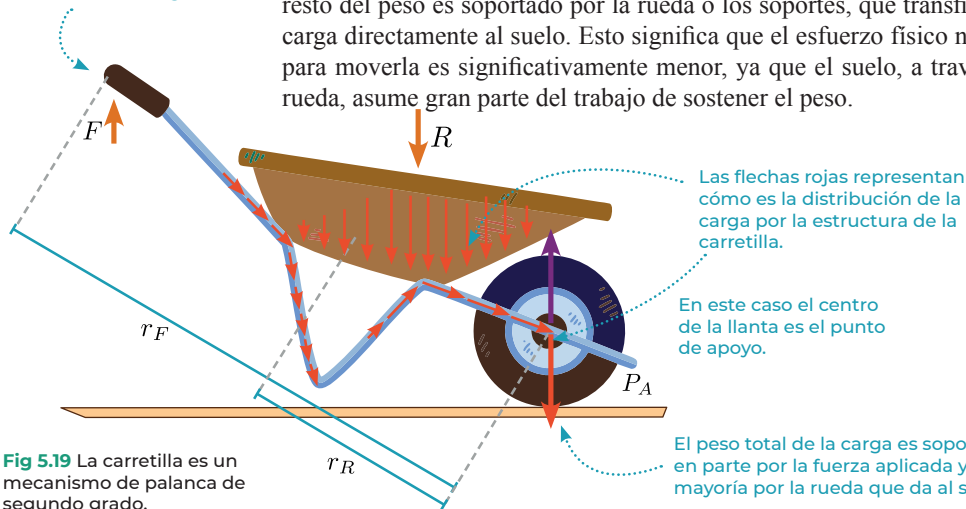


Fig 5.19 La carretilla es un mecanismo de palanca de segundo grado.

También encontramos las *palancas de tercer grado*, estas son particulares en comparación con los otros dos tipos ya que en este caso las palancas de este tipo nunca proporcionan ventaja mecánica, debido a que la fuerza F que se debe aplicar siempre es mayor a la resistencia R que se desea superar. Un buen ejemplo de este tipo son las pinzas que usas para servir la ensalada (Fig 5.20). En estos mecanismos el punto donde se realiza la fuerza se encuentra entre el punto de apoyo y la resistencia (Fig 5.21).

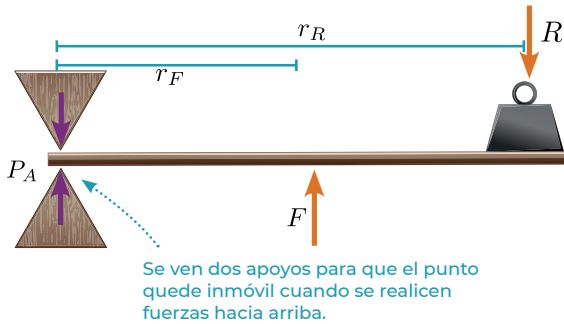


Fig 5.21 Palanca de tercer grado.



Fig 5.20 Las pinzas para servir la ensalada son cómodas pero se requiere más esfuerzo del que proporcionarán.

Si te fijas bien en la Fig 5.22, las distancia del punto de apoyo a donde se aplica la fuerza r_F , comparada con la distancia entre el punto de apoyo y donde se encuentra la resistencia r_R , ya no conservan la relación $r_R < r_F$, de hecho es lo contrario, ahora la relación es $r_R > r_F$ y es por esta razón que ya no se brinda esa ventaja mecánica en el mecanismo.

No proporciona ventaja mecánica.

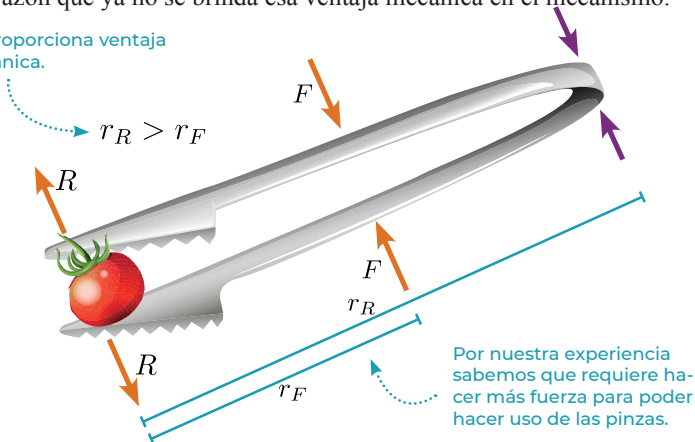


Fig 5.22 Las palancas de tercer grado nunca brindan ventaja mecánica.

A pesar de que $r_R > r_F$, la física nos dice que entre más alejado se esté del la resistencia y más cerca al punto de apoyo, más fuerza es necesario aplicar y viceversa.



Fig 5.23 Usar una escoba para barrer es un ejemplo de palanca de tercer grado.

En el capítulo anterior exploramos el concepto de torque: cuando aplicamos una fuerza sobre un objeto y este comienza a girar alrededor de un eje, estamos generando un tipo de esfuerzo llamado torsión. Aprendimos que el torque es la fuerza que se aplica a una cierta distancia del centro de giro, el cual en este caso podemos asociar como el punto de apoyo y que hace que el objeto tienda a rotar.

En la **Fig 5.24** se ilustra una palanca de primer grado, la cual se representa el punto donde se aplica la fuerza F , el punto de apoyo P_A y la resistencia R .

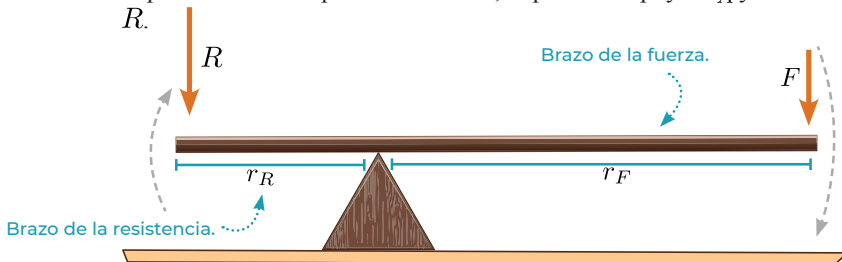


Fig 5.24 La palanca se rige bajo el principio de conservación del momento angular o momento de torsión o torque.

Es posible que en algunos otros textos los encuentres denotados como B_r y B_f para el brazo de la fuerza y para el brazo de la resistencia.

En este texto lo manejaremos con las notaciones que hemos mantenido de r_F y r_R .

Resulta que en una palanca, a la distancia que hay entre el punto de apoyo y donde se aplica la fuerza se le conoce como *brazo de la fuerza*, y a la distancia que hay entre el punto de apoyo y donde se encuentra la resistencia se le conoce como *brazo de la resistencia*.

En este punto, es importante recordar lo que aprendimos sobre las unidades de fuerza. Sabemos que la fuerza se mide en Newtons, una unidad que proviene de la segunda ley de Newton, donde se multiplica la *masa* de un objeto por su *aceleración*. Ahora bien, cuando hablamos de la resistencia de un objeto, nos referimos a su peso. Esto nos lleva de nuevo a la distinción entre masa y peso, conceptos que, aunque están relacionados, no son lo mismo.

La masa es una medida de la inercia de un objeto, es decir, su capacidad para resistir cambios en su movimiento. El peso, por otro lado, es la fuerza gravitacional que actúa sobre la masa de un objeto. Por eso, cuanto mayor sea la masa de un objeto que deseemos mover con una palanca, mayor será su peso, y por ende, más esfuerzo requerirá moverlo.

Es en este escenario donde la palanca demuestra su utilidad. Gracias a este mecanismo, podemos aplicar una fuerza relativamente pequeña en un punto específico de la palanca y multiplicar esa fuerza para superar la resistencia del objeto que queremos mover. De esta manera, la palanca no solo facilita el desplazamiento, sino que también transmite el movimiento con menor esfuerzo físico.

Las palancas en general funcionan siguiendo un mismo principio llamado ley de la palanca, esta ley se deduce del principio de torsión que hemos hablado en el capítulo anterior. Comentamos que cuando se realiza una fuerza alrededor de un punto de giro esto genera un Momento de fuerza. En este caso existen dos momentos de fuerza, uno dado por la fuerza aplicada y otro dado por la resistencia que genera.

De esta manera, una palanca está equilibrada si la suma de los momentos de fuerza es cero, es decir, para que sean cero ambos momentos de fuerza (el de la resistencia y el de la fuerza aplicada) deben ser iguales. Por lo que tenemos la ley de la Palanca.

$$R \cdot r_R = F \cdot r_F$$

El producto de la fuerza aplicada por la distancia al punto de apoyo es igual al producto de la resistencia por la distancia de esta al punto de apoyo (Tippens, 2015).

◀ Ley de la palanca

Si analizamos la ecuación, podemos darnos cuenta de que cuanto mayor sea la distancia r_F de la fuerza aplicada al punto de apoyo P_A , menor será el esfuerzo que se requiere realizar para poder vencer la resistencia; justamente son las palancas de primer y segundo grado las que nos pueden garantizar una ventaja mecánica, en el caso de las de segundo grado, siempre tendremos esa ventaja mecánica. Para las de primer grado, discutimos que se requiere que el punto de apoyo este más cerca de la resistencia que del punto donde se aplica la fuerza. Y por otro lado, las palancas de tercer grado nunca proporcionarán una ventaja mecánica. Es decir, que el esfuerzo que debemos hacer para vencer una resistencia debe ser siempre igual o mayor que la resistencia.

Ejemplo 5.1

Supongamos que queremos levantar un peso de 25 Kg por medio de una palanca. Se aplica una fuerza en el extremo opuesto a donde está ubicado el peso, como se ilustra en la Fig 5.25.

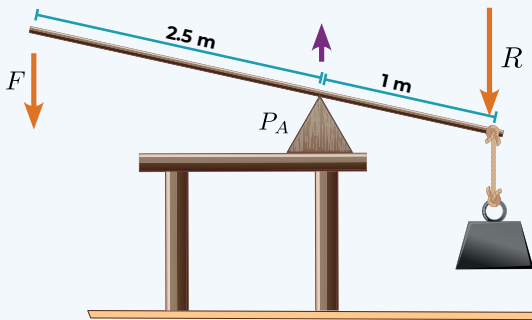


Fig 5.25 Sistema de palanca sobre mesa donde, dadas las proporciones de los brazos de la palanca, es de primer grado y por lo tanto puede haber o no ventaja mecánica.

En esta situación podemos optar por hacernos ciertos tipos de preguntas como las siguientes:

- ▶ **¿Cuál es el grado de la palanca?** Debido a que el punto de apoyo (P_A) se encuentra en medio de donde se aplica la fuerza (F) y de la resistencia (R), la palanca es de primer grado. Y como vemos en la **Fig 5.25** la distancia entre el punto de apoyo y la fuerza (r_F) es mayor que la del punto de apoyo y la resistencia (r_R) lo que nos garantiza una ventaja mecánica en esta situación ($r_R < r_F$).
- ▶ **¿Cuál es el valor de la resistencia?** Como hemos comprendido, la resistencia es una medida de la fuerza que realiza un objeto para oponerse al movimiento, es diferente a la masa. Para calcular la fuerza de resistencia es necesario hacer uso de la segunda ley de Newton multiplicando la masa que corresponde de 25 Kg con la aceleración gravitacional dada por la tierra ($g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$).

$$R = m \cdot g = (25 \text{ Kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) = 245 \text{ N}$$

- ▶ **¿Cuáles son los valores del brazo de la resistencia y del brazo de fuerza?** No es difícil darnos cuenta de que el brazo de fuerza es mayor con un valor de 2,5 m mientras que el brazo de la resistencia es menor con un valor de 1 m.
- ▶ **¿Cuánta fuerza debo aplicar para levantar el peso?** En esta situación debemos hacer uso de la ley de la palanca junto con los datos que hemos obtenido en las anteriores preguntas, y así calcular la fuerza requerida para levantar el peso.

$$R \cdot r_R = F \cdot r_F$$

$$F = \frac{R \cdot r_R}{r_F} \quad \text{Realizamos un despeje.}$$

$$F = \frac{245 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}}{2,5 \text{ m}}$$

$$F = 98 \text{ N}$$

De esta manera nos damos cuenta de que la fuerza necesaria para poder levantar un peso que equivale a 245 N es de un valor de 98 N que es menor, lo cual tiene sentido con el hecho de que es un mecanismo de transmisión del movimiento que brinda una ventaja mecánica.

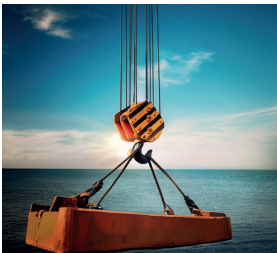


Fig 5.26 Grúa de poleas levantando un peso.

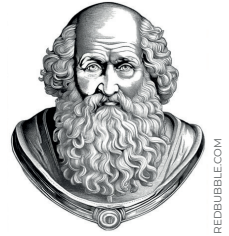
Sistemas de poleas fijas y móviles

Las poleas son mecanismos fascinantes que nos ayudan a transmitir el movimiento de manera eficiente, permitiéndonos levantar o mover objetos con menos esfuerzo. Aunque existen diferentes tipos de poleas, en este capítulo nos centraremos en dos: las poleas simples (**Fig 5.26**), que se utilizan

principalmente para levantar cargas en un movimiento vertical, y las poleas con correa, que son ideales para transferir movimiento entre distintos puntos (Azeheb, s.f.). Comencemos explorando las poleas simples, esas que probablemente has visto en grúas o sistemas de izaje, y que, aunque parezcan sencillas, esconden principios físicos muy útiles.

Las poleas son mecanismos formados por una rueda con una ranura que gira libremente alrededor de un eje. Su función principal es transferir movimiento y energía entre distintos objetos. Según su configuración, pueden clasificarse como fijas o móviles (Ruiz, 2013).

Definición de poleas



Las poleas también permiten transmitir fuerzas, facilitando el movimiento de objetos al reducir la fuerza necesaria para levantarlos. Las *poleas fijas*, sujetas a un soporte que impide su desplazamiento, no ofrecen una ventaja mecánica directa, pero simplifican el esfuerzo requerido para tirar de un objeto (Junquera, s. f.). Esto se debe a que, como se ilustra en la **Fig 5.27**, una polea nos permite aprovechar nuestro propio peso para levantar una carga, algo que sería mucho más difícil sin su ayuda.

La polea funciona como un soporte para una cuerda o correa que se enrolla a su alrededor. En un extremo de la cuerda se coloca la carga o resistencia R , mientras que en el otro extremo aplicamos la fuerza F o potencia necesaria para moverla. En una polea simple, la fuerza que se requiere para levantar la carga es igual al peso de la resistencia que queremos superar. Sin embargo, su ventaja radica en la posibilidad de aprovechar mejor la fuerza del cuerpo al tirar hacia abajo. Cuando utilizamos sistemas que combinan varias poleas, como las *poleas móviles*, es cuando realmente obtenemos una ventaja mecánica significativa, lo que exploraremos más adelante.

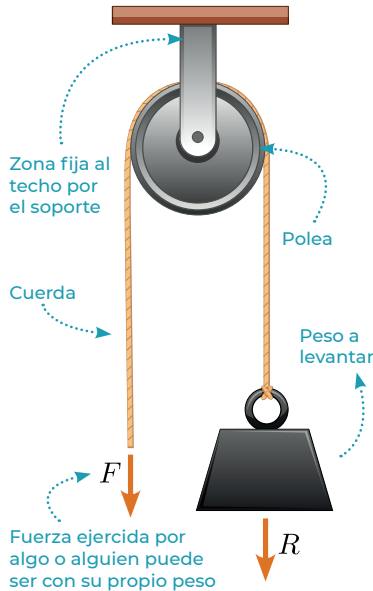


Fig 5.27 Polea fija al techo.

La transmisión de movimiento en una polea es sencilla de entender: al tirar de la cuerda hacia abajo, el objeto en el extremo opuesto se eleva, desplazándose hacia arriba. Además, como hemos visto, las poleas no solo sirven para transmitir movimiento, sino que también pueden ofrecer una ventaja mecánica, facilitando el levantamiento de cargas con menos esfuerzo.

En el año 214 a. C., durante el asedio romano a la ciudad de Siracusa, un físico e inventor local llamado **Arquímedes** destacó por su ingenio al diseñar máquinas que frustraron los avances enemigos. Entre sus creaciones más impresionantes se encontraba un sistema de poleas, capaz de mover grandes cargas con un esfuerzo mínimo.

Para demostrar su eficacia, Arquímedes llevó a cabo un experimento frente al rey Hierón y su corte. En una demostración pública, los soldados siracusanos lograron sacar una nave de la flota real desde el agua hasta la arena de la playa. Luego, Arquímedes pidió al rey que él mismo tirara de una cuerda conectada al sistema de poleas. Sorprendentemente, el monarca logró mover el barco sobre la arena con apenas esfuerzo, mostrando cómo las poleas podían multiplicar la fuerza aplicada y facilitando tareas que parecían imposibles (Ruiz, 2013).



Fig 5.28 Polea móvil para levantamiento de cargas pesadas.

Las **poleas móviles** (**Fig 5.28**) se caracterizan por tener un eje que no está fijo, lo que les permite tanto rotar como desplazarse. Gracias a esta particularidad, como se observa en la **Fig 5.29**, una polea móvil puede proporcionar una ventaja mecánica al dividir la fuerza requerida en dos. Esto significa que, en un sistema sin considerar la fricción, cada polea móvil añadida reduce a la mitad la fuerza necesaria para levantar una carga. Por lo tanto, con cada polea móvil adicional, la ventaja mecánica se incrementa, duplicando su efecto. En esencia, la ventaja mecánica refleja la disminución del esfuerzo necesario para realizar un trabajo (Xunta de Galicia, s. f.).

La ventaja mecánica en este sistema se debe a que la fuerza necesaria para levantar el peso se divide entre dos puntos: uno corresponde al esfuerzo que aplica la persona y el otro al punto donde esta sujeta la cuerda, en este caso el techo (**Fig 5.30**), donde está amarrado un extremo de la cuerda. En otras palabras, el techo soporta la mitad de la carga F_1 , mientras que la persona solo necesita aplicar la otra mitad del esfuerzo F_3 . Esto permite reducir considerablemente el trabajo físico requerido para elevar el peso, destacando así la utilidad de las poleas móviles en combinación con un sistema fijo.

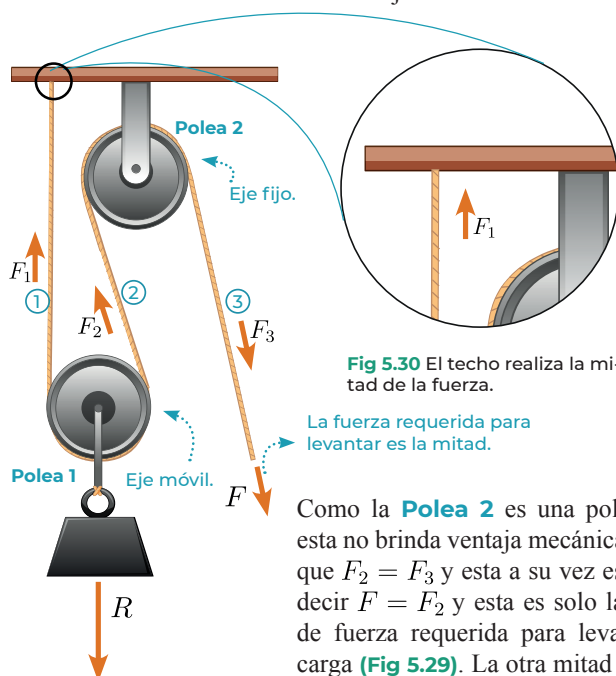


Fig 5.30 El techo realiza la mitad de la fuerza.

La fuerza requerida para levantar es la mitad.

Como la **Polea 2** es una polea fija, esta no brinda ventaja mecánica por lo que $F_2 = F_3$ y esta a su vez es F . Es decir $F = F_2$ y esta es solo la mitad de fuerza requerida para levantar la carga (**Fig 5.29**). La otra mitad la hace el techo hacia arriba F_1 . Esto permite mover objetos con solo la mitad del esfuerzo.

Si analizamos las fuerzas que actúan sobre la **Polea 1**, observaremos que está sostenida por dos segmentos de la cuerda: la parte ① y la parte ②. Esto significa que la carga generada por el peso (resistencia) se distribuye entre estas dos fuerzas que tiran hacia arriba. Para comprender mejor esta interacción, podemos representar un diagrama de cuerpo libre que detalle las fuerzas actuantes sobre la **Polea 1** (**Fig 5.31**).

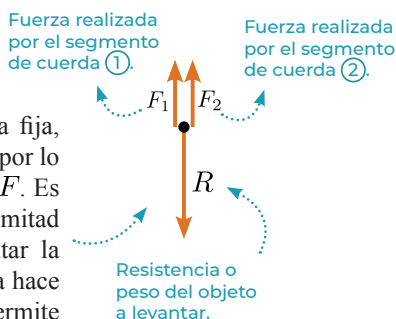


Fig 5.31 Diagrama de cuerpo libre para el sistema de poleas.

Arquímedes utilizó este principio para impresionar al Rey Hierón, destacando la importancia de las poleas, mecanismos que siguen siendo esenciales en la vida cotidiana. Las encontramos en actividades como escalar, el izado de velas en embarcaciones, el manejo de banderas, los elevadores, los tendederos, las grúas, entre otros (Fig 5.32). La Fig 5.33 ilustra una configuración comúnmente empleada hoy en día para integrar poleas de manera compacta. En un sistema con una única polea móvil, aunque la fuerza requerida para levantar el peso del bloque se reduce a la mitad, el desplazamiento que debemos aplicar será el doble de la altura a la que se eleve el bloque (Fig 5.33).



Fig 5.32 Sistema de polea móvil para embarcaciones.

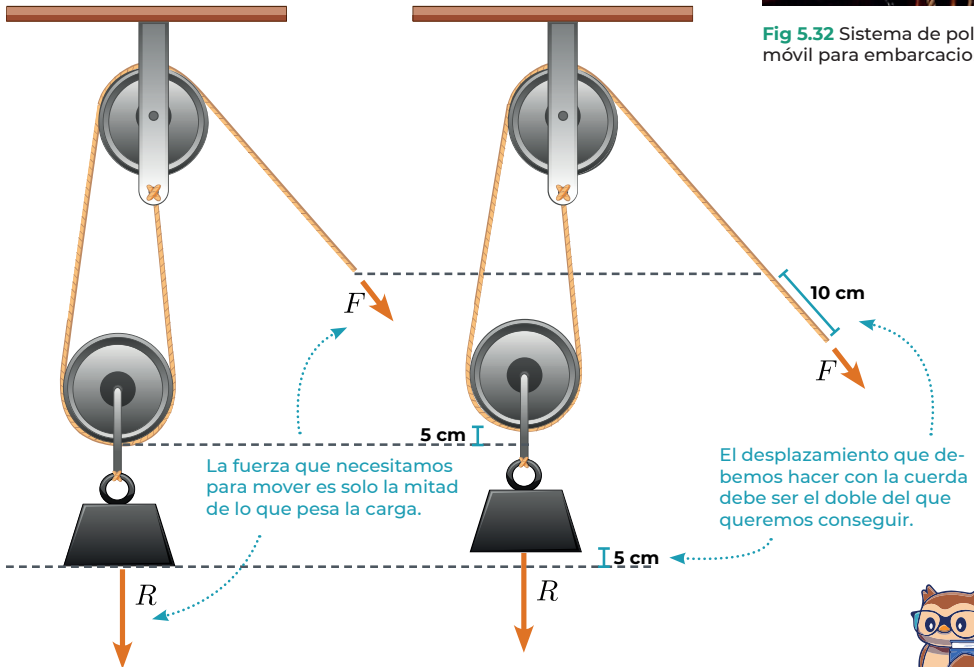


Fig 5.33 Configuración comúnmente empleada para integrar poleas de manera compacta.

La ventaja mecánica en un sistema de poleas está directamente relacionada con la cantidad de cuerdas que sostienen la carga. Para lograr una mayor ventaja, siempre hay un intercambio, y en el caso de las poleas, este intercambio ocurre entre la fuerza y el desplazamiento requerido. Si reducimos a la mitad la fuerza necesaria para levantar un objeto, debemos compensarlo tirando el doble de cuerda para alcanzar la altura deseada. Este principio es clave para entender cómo funcionan y se optimizan los sistemas de poleas.



El hecho de que se requiera desplazarse el doble para conseguir la altura deseada es debido a que la carga, al estar sostenida por dos segmentos de cuerda, a cada uno le corresponde la mitad del trayecto para completar el desplazamiento total realizado por la cuerda.

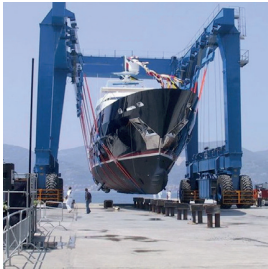


Fig 5.34 Sistemas de poleas levantando un barco.

Hemos visto que en un sistema con polea móvil, la carga se divide en dos partes: una se transfiere al punto de anclaje, como el techo, y la otra se aplica en el extremo donde se ejerce la fuerza. Esto genera una ventaja mecánica, ya que permite mover y levantar cargas utilizando solo la mitad de la fuerza necesaria para contrarrestar el peso de la carga (Fig 5.34). En decir, que la relación entre la fuerza y la carga (resistencia) a levantar es:

Se determina la magnitud $|\vec{F}|$, ya que no nos interesa la dirección.

$$|\vec{F}| = \frac{\vec{R}}{2}$$

Fuerza requerida para levantar el objeto.

Resistencia o peso del objeto a levantar.

Así, la fuerza que debemos aplicar para levantar la carga se reduce a la mitad de la fuerza que ejerce la resistencia de esa carga. Al combinar varias poleas móviles, la fuerza necesaria para mover la carga disminuirá de manera proporcional al número de poleas móviles n en el sistema. Este tipo de configuración, que integra poleas fijas y móviles, recibe el nombre de *polipasto*. Un polipasto es un sistema especial que consta de un número par de poleas, donde la mitad son fijas y la otra mitad móviles (Elebia, s. f.). Estos sistemas son especialmente útiles para elevar cargas pesadas con una fuerza relativamente pequeña, lo que los hace indispensables en aplicaciones como grúas, ascensores y otros equipos de elevación (Ruiz, 2013).

En un polipasto compuesto por cuatro poleas (Fig 5.35), dos de ellas móviles, la fuerza necesaria para levantar una carga se reduce a solo una cuarta parte de su peso total. Esto ocurre porque cada polea móvil en el sistema divide la carga entre dos.

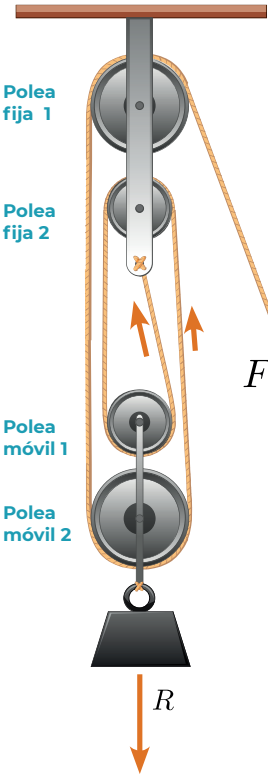


Fig 5.35 Sistema de dos poleas móviles.

Fuerza requerida para levantar el objeto.

$$|\vec{F}| = \frac{\vec{R}}{2^n}$$

Resistencia o peso del objeto a levantar.

Número de poleas móviles del polipasto.

Con la anterior ecuación podemos fácilmente calcular cuánta fuerza requerimos para poder levantar una carga según la cantidad de poleas móviles n .

En este caso, el peso de la carga se reparte en cuatro partes iguales: una de ellas es soportada por la fuerza que aplicamos, mientras que las otras tres cuartas partes son sostenidas por el techo a través de las poleas fijas. Este principio ilustra cómo los polipastos maximizan la eficiencia al distribuir el peso entre múltiples puntos de apoyo (Gran Vertical, 2015). Sin embargo, al igual que con la polea móvil que vimos anteriormente, el desplazamiento que requerimos hacer con la cuerda será ahora cuatro veces más que el que queremos conseguir.

Ejemplo 5.2

¿Cuál será la fuerza y el desplazamiento necesarios para levantar una carga de 50 kg de masa a una altura de 15 cm?

Se aplica una fuerza en el extremo de la cuerda (Fig 5.36).

- **¿Cuál es el valor de la resistencia?** Así como mencionamos en el **Ejemplo 4.1**, para calcular la fuerza de resistencia es necesario hacer uso de la segunda ley de Newton multiplicando la masa que corresponde de 50 Kg con la aceleración gravitacional dada por la tierra ($g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$).

$$R = m \cdot g = (50 \text{ Kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) = 490 \text{ N}$$

- De esta manera podemos ahora calcular la fuerza requerida por medio de la ecuación mencionada anteriormente y teniendo en cuenta que para este ejemplo solo tenemos dos poleas móviles, por lo que $n = 2$.

$$|\vec{F}| = \frac{\vec{R}}{2^n}$$

$$F = \frac{490 \text{ N}}{2^2}$$

$$F = \frac{490 \text{ N}}{4}$$

$$F = 122,5 \text{ N}$$

Esto quiere decir que de los 490 N que tiene de peso la carga, solo requerimos hacer 122,5 N de fuerza para levantarlo. Los otros 367,5 N los realiza el sistema de poleas fijas al techo, por lo que claramente nos permite tener una ventaja mecánica.

- Si bien sabemos que en la medida proporcional que disminuye el esfuerzo, así mismo el desplazamiento debe aumentar, por lo que si realizamos una fuerza que es 4 veces menor que el peso de la carga, requeriremos un desplazamiento que sea 4 veces mayor del que queremos levantar. Es decir de 60 cm.

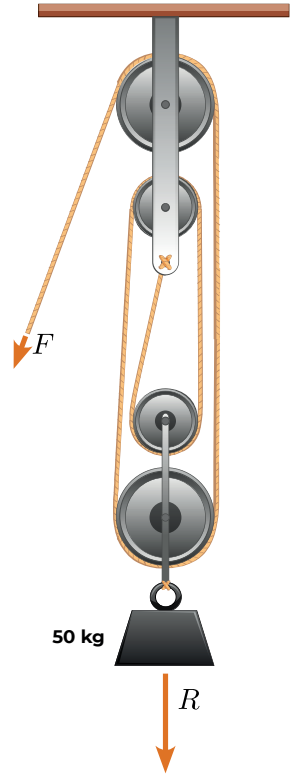


Fig 5.36 Sistema de polea móvil, contiene dos poleas móviles por lo que $n = 2$.

5.2.2 Mecanismos de transmisión circular

Sistemas de poleas con correa

Un sistema de transmisión por poleas y correa se basa en el uso de dos poleas (como las que vimos en el apartado anterior) conectadas por una misma correa o un cable, cuyo propósito principal es transferir el movimiento

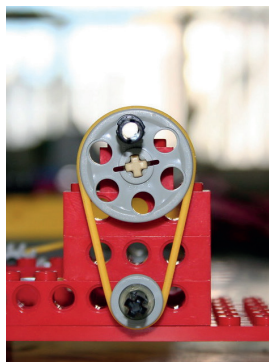


Fig 5.37 Sistema de poleas con correa móvil.



Fig 5.39 Sistema de poleas con correa móvil en lavadora.



Fig 5.40 Sistema de poleas con correa móvil en motor de carro.

circular entre sus ejes (**Fig 5.37**). En este tipo de sistema, la polea motriz, o de entrada, transmite su movimiento a la polea conducida, o de salida, permitiendo que ambas giren de forma simultánea. Estas poleas, generalmente situadas a cierta distancia con ejes paralelos, trabajan de manera conjunta a través de la correa, logrando una transmisión eficiente del movimiento desde un eje al otro (**Fig 5.38**) (Aprendemos Tecnología, 2008). La fuerza es transmitida debido a la presencia de rozamiento que existe entre la correa y la polea.

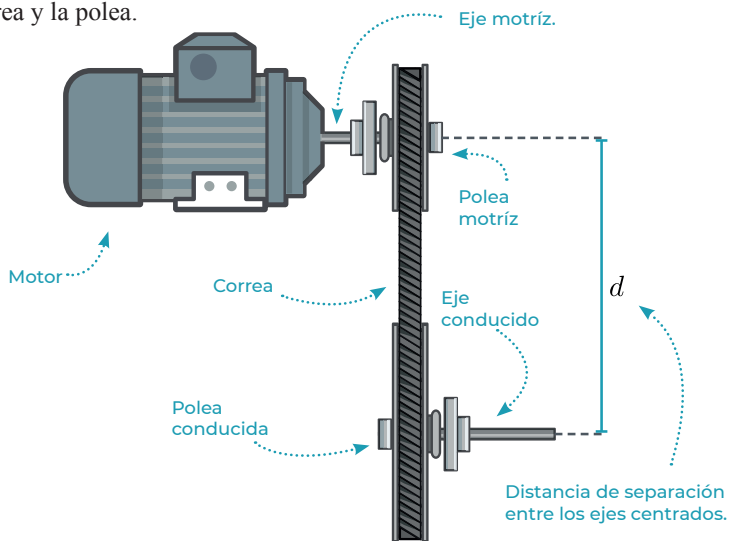


Fig 5.38 Sistema de transmisión por poleas con correa y motor.

La transmisión de movimiento mediante correa es altamente eficiente, con un rendimiento que oscila entre el 95% y el 98%, además de ser una opción económica. Este tipo de sistemas se utiliza en una amplia variedad de dispositivos, desde electrodomésticos como neveras, lavadoras (**Fig 5.39**) etc., hasta equipos electrónicos como videograbadoras y sistemas de audio, e incluso en motores térmicos, donde se accionan componentes como ventiladores, sistemas de distribución (**Fig 5.40**), alternadores y bombas de agua.

A pesar de su versatilidad, estos sistemas tienen como principal desventaja su limitada capacidad para manejar grandes potencias, ya que puede ocurrir deslizamiento entre la correa y la polea. Las poleas, que actúan como ruedas con un canal central diseñado para adaptarse al eje, incluyen una ranura o garganta que asegura el contacto firme con la correa, elemento clave en la transferencia de movimiento (Xunta de Galicia, s. f.).

El funcionamiento de este mecanismo se basa en el rozamiento generado entre la correa y las poleas. Este rozamiento permite la transmisión de

fuerza, lo que convierte a la correa en un componente esencial (Fig 5.41). Sin embargo, es importante tener en cuenta que los tramos de la correa soportan esfuerzos diferentes: mientras un tramo, que conecta la polea motriz con la conducida, permanece flojo, el otro se encuentra en tensión constante.

Para poder comprender de una mejor manera la física detrás de este mecanismo, explicaremos primero un poco sobre el movimiento circular, sus propiedades y cómo podemos describirlo.



Fig 5.41 El grabado de la correa permite una mayor transmisión de fuerza sin deslizarse.

C Movimiento Circular Uniforme

En el movimiento circular uniforme, los objetos se desplazan siguiendo un trayecto circular a rapidez constante. Sin embargo, aunque la rapidez del objeto no varía, su velocidad sí lo hace, ya que esta incluye la dirección, y en este caso, la dirección cambia constantemente a medida que el objeto sigue la trayectoria circular (Knight et al., 2019) (Fig 5.42).

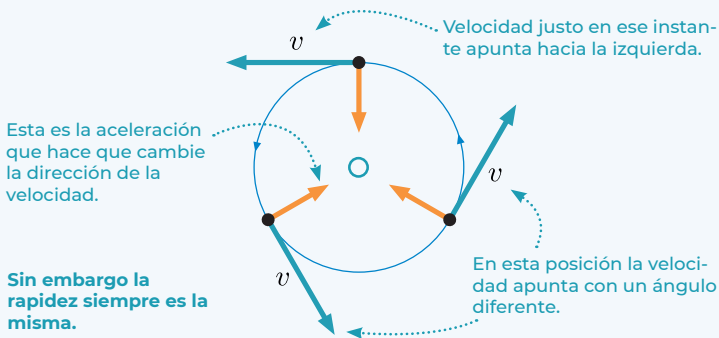


Fig 5.42 Movimiento circular.

No es necesario que un objeto complete un círculo completo para estar en movimiento circular uniforme, pero en muchos ejemplos prácticos se considera que los objetos realizan múltiples revoluciones (aquí entendemos revoluciones como vueltas) completas. Al ser un movimiento uniforme, cada vuelta es idéntica a la anterior, lo que convierte este movimiento en periódico (Hewitt, 2007). El tiempo que tarda un objeto en completar una revolución, es decir, en dar una vuelta completa al círculo, se denomina período y se representa con la letra T .

En lugar de expresar el tiempo que tarda un objeto en completar una revolución, el movimiento circular también puede describirse mediante su frecuencia, que indica el número de revoluciones por segundo y se representa con el símbolo f . Por ejemplo, si un objeto tiene un período de medio segundo, esto significa que realiza 2 revoluciones por segundo. De manera similar, si el período es de una décima de segundo, el objeto completará 10 revoluciones en un segundo. Esto demuestra que la frecuencia es el inverso del período, expresado matemáticamente como:



Para describir qué tan rápido gira un objeto, no utilizamos directamente la velocidad, ya que esta, al ser un vector, incluye cambios de dirección. En su lugar, preferimos hablar de su **rapidez** de giro, una magnitud escalar que resulta más adecuada para cuantificar el movimiento rotacional.

Una forma efectiva de medir esta rapidez es a través de la frecuencia, que indica el número de giros o revoluciones realizadas en un intervalo de tiempo. Por esta razón, las revoluciones por minuto (rpm) se convierten en una herramienta práctica y precisa para expresar la velocidad de giro de un objeto (Tipler & Mosca, 2010).

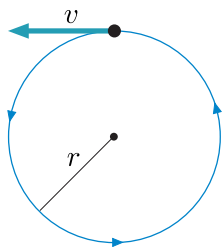


Fig 5.43 Movimiento circular a rapidez constante y radio r .

$$f = \frac{1}{T}$$

Aunque a menudo se describe la frecuencia como “revoluciones por segundo,” estas revoluciones no son unidades físicas reales, sino un conteo de eventos. Por esta razón, la unidad del SI para la frecuencia es el inverso del segundo (s^{-1}). También es común encontrar la frecuencia en unidades como revoluciones por minuto (r.p.m) u otros intervalos de tiempo, pero estas deben convertirse a s^{-1} para realizar cálculos precisos (Tipler & Mosca, 2010).

En la **Fig 5.43** se observa un objeto que se mueve a rapidez constante siguiendo una trayectoria circular con un radio r . Dado que conocemos el tiempo que tarda en completar una revolución, es decir, el periodo T , y la distancia recorrida durante ese tiempo (circunferencia de un círculo $2\pi r$), podemos establecer una ecuación que relacione la rapidez R del objeto con su periodo y el radio de la trayectoria.

Rapidez a la cual se está girando.

$$R = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}} = \frac{2\pi r}{T}$$

Circunferencia de un círculo.

Si intentamos escribir esta ecuación en términos de la frecuencia dejándola en función del radio tendríamos la siguiente ecuación.

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{R}{r}$$

Esto nos lleva a una conclusión importante: en un movimiento circular con rapidez constante, como ocurre en las poleas con correa, el radio y la frecuencia son inversamente proporcionales. *Esto significa que, a medida que el radio disminuye, la frecuencia aumenta, lo que implica un mayor número de revoluciones por segundo. De igual manera, si el radio aumenta, la frecuencia disminuye, realizando menor cantidad de vueltas por segundo.*

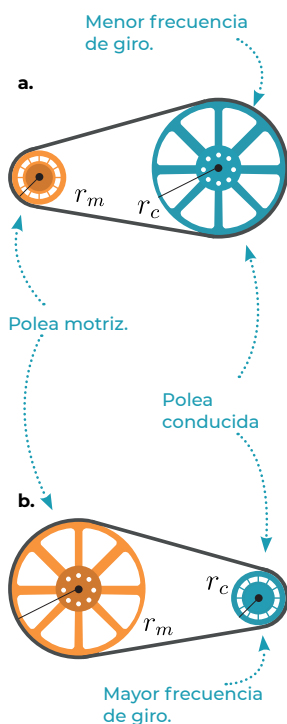


Fig 5.44 Relación de rapidez de giro/frecuencia con el radio r .

A partir de lo anterior podemos ahora tener una mejor comprensión sobre cómo se transmite el movimiento circular por medio de las poleas y cuáles serían los efectos y cambios de frecuencias de giro al transferirse de una a otra.

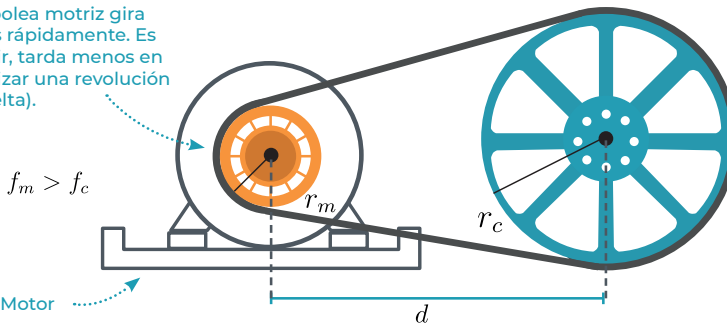
La relación entre el tamaño de las poleas y la frecuencia con la que giran está directamente influenciada por sus radios. Cuando el movimiento se transmite desde una polea pequeña (polea motriz) hacia una más grande (polea conducida), la frecuencia de giro disminuye al pasar de la primera a la segunda (**Fig 5.44a**). Por el contrario, si el movimiento se transfiere de una polea grande (polea motriz) a una más pequeña (polea conducida), la frecuencia de giro aumenta en la segunda polea (**Fig 5.44b**).

Esto se debe a que una polea con un radio mayor tiene una circunferencia más grande, lo que implica que la correa debe recorrer una mayor distancia para completar una vuelta. En cambio, en una polea más pequeña, la circunferencia es menor, por lo que el recorrido de la correa es más corto y se completa en menos tiempo, lo que da como resultando en una mayor rapidez de giro. Sin embargo, es importante destacar que la velocidad lineal de la correa permanece constante en ambas poleas, independientemente de sus tamaños.

Sabiendo esto podemos entonces pensar en que existen dos tipos de sistemas de poleas según el tamaño:

- **Sistemas de reducción de rapidez:** En este sistema la rapidez con la que gira la polea conducida es menor que la polea motriz $f_m > f_c$ (Fig 5.45). Esto se debe a que el radio de la polea conducida es mayor que el de la polea motriz $r_m < r_c$.

La polea motriz gira más rápidamente. Es decir, tarda menos en realizar una revolución (vuelta).



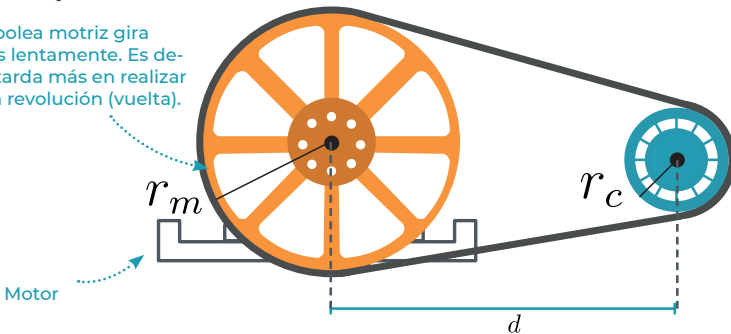
En este libro usaremos como medida de la rapidez de giro de una polea la frecuencia (f) medida en r.p.m o r.p.s.

La polea conducida gira más lentamente. Es decir, tarda más en realizar una revolución (vuelta).

Fig 5.45 Sistema de reducción de rapidez, la polea motriz gira con mayor frecuencia que la polea conducida.

- **Sistemas de multiplicación de rapidez:** En este sistema la rapidez con la que gira la polea conducida es mayor que la polea motriz $f_m < f_c$ (Fig 5.46). Esto se debe a que el radio de la polea conducida es menor que el de la polea motriz $r_m > r_c$.

La polea motriz gira más lentamente. Es decir tarda más en realizar una revolución (vuelta).



La polea conducida gira más rápidamente. Es decir tarda menos en realizar una revolución (vuelta).

Fig 5.46 Sistema de multiplicación de rapidez, la polea motriz gira con menor frecuencia que la polea conducida.

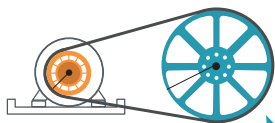
Relación de transmisión

Hemos aprendido que en un sistema de transmisión circular, como el de poleas con correa, es evidente que las poleas de diferentes tamaños giran con rapidez distinta. En estos casos, la polea más pequeña siempre gira a mayor rapidez que la más grande. Para cuantificar esta diferencia, en mecánica se utiliza una magnitud conocida como *relación de transmisión*, que permite determinar la rapidez relativa de una polea en comparación con la otra.

Definición de relación de transmisión

“La relación de transmisión, representada por i , se define como la proporción entre la rapidez de la polea conducida (f_c) y la rapidez de la polea motriz (f_m) (Rojas, 2014).”

$$i = \frac{f_c}{f_m}$$



Mientras que la polea conducida da una vuelta, la polea motriz da dos vueltas.

Fig 5.47 Relación de transmisión sistema de reducción.

Por ejemplo, en un sistema de poleas con una relación de transmisión de $i = \frac{1}{2}$, la polea conducida (de salida) gira a la mitad de la rapidez de la polea motriz (de entrada) (**Fig 5.47**). Esto significa que, mientras la polea de salida completa una vuelta, la polea de entrada habrá girado dos veces. Lo cual es un sistema de reducción de rapidez.

Si bien la relación de transmisión se escribe con un fraccionario, al ser una relación no se debe realizar la división, es decir, siempre presentaremos esta relación como una razón con un valor para el numerador y otro para el denominador.

Por ejemplo, la rapidez de la polea motriz es de 600 r.p.m y para la polea conducida es de 200 r.p.m, estamos en un sistema de reducción de rapidez cuya relación de transmisión es:

$$i = \frac{f_c}{f_m} = \frac{200\text{rpm}}{600\text{rpm}} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

Por cada tres vueltas de la polea motriz, la polea conducida realiza una.

Esta relación se puede expresar como 1:3, lo que indica que la polea conducida gira a una rapidez tres veces menor que la polea motriz. En otras palabras, por cada tres vueltas que completa la polea motriz, la polea conducida realiza únicamente una.

Si planteamos ahora un sistema multiplicador de rapidez, podemos plantear una rapidez de giro para la polea motriz de 100 r.p.m y para la conducida de 200 rpm. En este caso la relación de transmisión que obtendríamos sería:

$$i = \frac{f_c}{f_m} = \frac{200\text{rpm}}{100\text{rpm}} = \frac{2}{1}$$

Por cada vuelta de la polea motriz, la polea conducida realiza dos.

La relación siempre se escribe con el numerador y el denominador.

$$i = \frac{2}{1}$$

No se debe realizar la división por lo que **NO** se puede presentar de la siguiente manera.

$$i = 2$$

Pero sí se puede simplificar.

Para este ejemplo la relación sería 2:1, lo cual quiere decir que por cada vuelta que realiza la polea motriz, la polea conducida realiza dos. Es decir, la rapidez de giro de la polea conducida es el doble de la polea motriz.

También es posible calcular la relación de transmisión utilizando la relación entre los radios de las circunferencias de las poleas. Esto se basa en el principio del movimiento circular uniforme, que establece que *la frecuencia y el radio son inversamente proporcionales*. Así, se puede obtener la siguiente ecuación para representar esta relación.

$$i = \frac{r_m}{r_c}$$

Con solo saber el valor de los radios de las poleas podemos encontrar la relación de transmisión incluso antes de que empiecen a girar.

Si combinamos las dos ecuaciones para la relación de transmisión, encontramos una tercera ecuación que podemos escribir de dos maneras:

$$\frac{f_c}{f_m} = \frac{r_m}{r_c} \quad \text{o} \quad f_m \cdot r_m = f_c \cdot r_c$$

Estas ecuaciones son muy útiles para el cálculo de sistemas de poleas con correa, debido a que podemos determinar la rapidez de las poleas a partir de los tamaños de las mismas.

Ejemplo 5.3

En un proyecto, necesitamos determinar el tamaño adecuado de la polea de mayor radio. Contamos con los siguientes datos: el motor gira a 1600 r.p.m., la polea de menor radio mide 2 cm, y la polea conducida debe girar a 400 r.p.m. Con esta información, podemos calcular el radio requerido para cumplir con las especificaciones del sistema.

- ▶ **¿Qué tipo de sistema de poleas es?** Con los datos proporcionados, podemos identificar el tipo de sistema. Al comparar las velocidades de giro, observamos que la polea motriz gira a 1600 r.p.m., mientras que la polea conducida lo hace a 400 r.p.m. Esta disminución en la rapidez indica que se trata de un sistema diseñado para reducir la rapidez de giro (**Fig 5.48**).
- ▶ **¿Cuáles son los tamaños de las poleas?** Al identificar que se trata de un sistema de reducción de rapidez, podemos concluir que la polea motriz es más pequeña que la polea conducida. Esto implica que el dato proporcionado de 2 cm corresponde al radio de la polea motriz. Por lo tanto, debemos calcular el radio de la polea conducida, que necesariamente será mayor para cumplir con la relación de transmisión requerida.

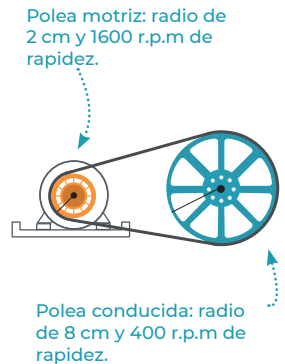
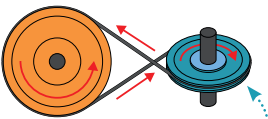
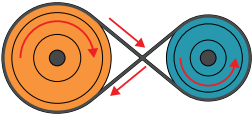


Fig 5.48 Valores de rapidez y radio para el sistema de reducción.

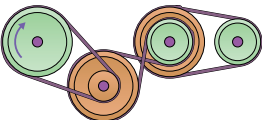
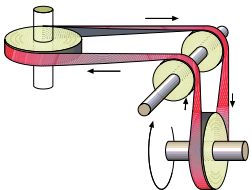


Las poleas de transmisión, aparte de transmitir el movimiento circular, también pueden modificar el sentido de giro. Los ejes a los cuales están sujetas, pueden ser paralelos o perpendiculares (Cedenilla et al., 2017).



Ejes perpendiculares.

Las poleas se pueden combinar para conseguir distintos movimientos o para transmitir el movimiento entre varios ejes. Para ello se usan los trenes de poleas.



Radio de la polea conducida: Hacemos uso de la ecuación que nos relaciona la rapidez con los radios de las poleas y despejamos la variable que necesitamos.

$$f_m \cdot r_m = f_c \cdot r_c$$

$$r_c = \frac{f_m \cdot r_m}{f_c} \quad \text{Realizamos despeje}$$

$$r_c = \frac{1600\text{rpm} \cdot 2\text{cm}}{400\text{rpm}}$$

Se puede dividir normal porque no es la relación de transmisión.

$$r_c = \frac{3200\text{cm}}{400}$$

$$r_c = 8\text{cm}$$

Como bien lo habíamos pensado, el radio de la polea conducida debe ser mayor. Y en efecto es mayor, son 8 cm, con estos datos podemos calcular de varias maneras la relación de transmisión.

► **Relación de transmisión:** En este ejemplo, y utilizando las ecuaciones disponibles, podemos calcular la relación de transmisión ya sea mediante la rapidez de giro de cada polea o a través de sus radios. Cualquiera de estos métodos proporcionará el mismo resultado, lo que refuerza la coherencia de los principios aplicados. Si hacemos uso de sus radios tendríamos.

$$i = \frac{r_m}{r_c}$$

$$i = \frac{2}{8} = \frac{1}{4}$$

Por cada cuatro vueltas de la polea motriz, la polea conducida da una vuelta.

Q Ejercicio 5.1

Determina la relación de transmisión en el siguiente sistema de poleas e indica si se trata de un sistema reductor o multiplicador de rapidez. Además, calcula cuántas vueltas completará la polea conducida cuando la polea motriz haya girado dos veces (Fig 5.49).

$$\begin{aligned} r_m &= 2,5\text{cm} \\ r_c &= 5\text{cm} \\ f_m &= 300\text{rpm} \end{aligned}$$

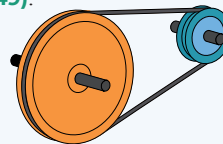


Fig 5.49 Sistemas de poleas con correa.

Engranajes

Los engranajes son ruedas con dientes que se acoplan entre sí para transferir el movimiento circular de una a otra. Para que el mecanismo funcione correctamente, es fundamental que los dientes de todos los engranajes tengan el mismo tamaño (**Fig 5.50**).

En estos sistemas, los engranajes más pequeños giran a una rapidez mayor que los más grandes, siguiendo un principio similar al de las poleas con correa. Sin embargo, en lugar de considerar el radio de las ruedas como en las poleas, aquí se toma en cuenta el número de dientes de cada engranaje.

Existen varios tipos de dientes de diferentes formas que son útiles en función de la posición de los ejes de los engranajes.

► Engranajes rectos

Sus dientes son paralelos, lo que les permite transmitir el movimiento entre ejes paralelos (**Fig 5.51**).

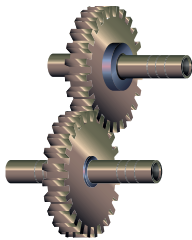


Fig 5.51 Los ejes de giro son paralelos.

► Engranajes cónicos

La posición de sus dientes permite transmitir el movimiento circular por medio de ejes perpendiculares (**Fig 5.52**).

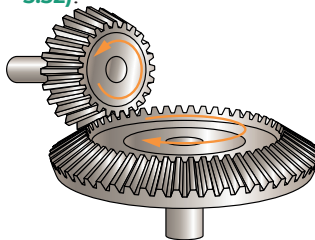


Fig 5.52 Los ejes de giro son perpendiculares.

► Engranajes helicoidales

Sus dientes son en diagonal lo que les permite transmitir el movimiento de manera cruzada (**Fig 5.53**).

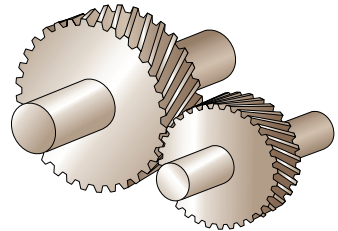


Fig 5.53 Sus dientes forman un patrón en diagonal.

La interacción de dos engranajes siempre genera un cambio en el sentido de giro. Por eso si se pretende mantener el sentido de giro se coloca un tercer engranaje intermedio que no altera la rapidez. Este engranaje se conoce como engranaje loco (**Fig 5.54**).

Este tipo de mecanismos es ampliamente utilizado en el ámbito de la ingeniería y en diversas máquinas, como las cajas de cambios de los automóviles y algunos electrodomésticos. Además, su presencia no se limita a sistemas complejos, ya que también se pueden encontrar en juguetes y otros dispositivos mecánicos de uso cotidiano.

Como mencionamos anteriormente, los engranajes, al igual que las poleas de transmisión, poseen una relación de transmisión. Sin embargo, en el caso de los engranajes, esta relación se determina a partir del número de dientes Z de cada rueda dentada, suponiendo que todos los dientes tienen el mismo tamaño.



Fig 5.50 Sistema de engranajes.

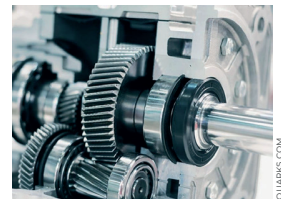


Fig 5.54 Ubicación de un tercer engranaje en medio de otros dos para mantener el sentido de giro.

Esta relación de transmisión es posible calcularla por medio de la siguiente expresión:

$$i = \frac{Z_m}{Z_c}$$

Número de dientes del engranaje motriz (entrada).

Número de dientes del engranaje conducido (salida).

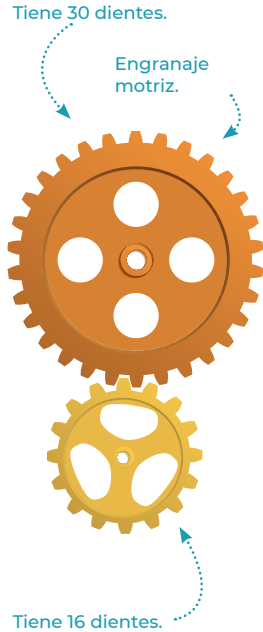


Fig 5.55 Relación de transmisión a partir del sistema de dos engranajes.

Fijémonos en la **Fig 5.55**, supongamos que el engranaje más grande lo tomaremos como el engranaje motriz, y el más pequeño como el engranaje conducido. Si contamos los dientes de cada uno encontraremos que:

$$i = \frac{Z_m}{Z_c} = \frac{30}{16} = \frac{15}{8}$$

La relación de transmisión 15:8 significa que por cada 8 vueltas que da el engranaje motriz, el engranaje conducido, que en este caso es el más pequeño, completa 15 vueltas. Esto indica que el engranaje de menor tamaño gira a una mayor rapidez, lo que caracteriza al sistema como un mecanismo de multiplicación de rapidez.

Los engranajes permiten transmitir movimiento circular entre ejes cercanos con gran eficiencia, ya que, a diferencia de las poleas con correa, sus dientes encajan sin deslizar, garantizando una transmisión de fuerza más efectiva. Además, pueden combinarse en configuraciones específicas, como los trenes de engranajes (**Fig 5.56**), para modificar la velocidad o dirección del movimiento y conectar múltiples ejes (Cedenilla et al., 2017). Un ejemplo común de esta aplicación es la caja de cambios de un carro (**Fig 5.57**).

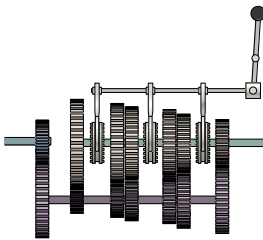


Fig 5.57 Mecanismo de caja de cambios de un carro.

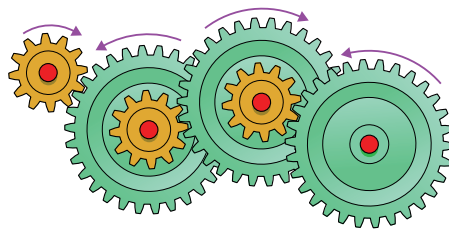


Fig 5.56 Tren de engranajes.

Gracias a esta capacidad de modificar la rapidez y la dirección del movimiento, los engranajes se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones mecánicas. Su precisión y eficiencia los convierten en elementos fundamentales en maquinaria industrial, relojería, bicicletas y muchos otros dispositivos donde la transmisión de movimiento debe ser confiable y controlada.

Al igual que en los sistemas de poleas con correa, en los engranajes también es posible establecer una relación matemática entre el número de dientes y la rapidez de giro. Esto se debe a que la relación de transmisión permite expresar cómo varía la rapidez de rotación en función del tamaño de los engranajes, asegurando así una conexión directa entre ambos parámetros.

$$i = \frac{Z_m}{Z_c} = \frac{f_c}{f_m} \quad \text{o} \quad Z_m \cdot f_m = Z_c \cdot f_c$$

En este tipo de mecanismos normalmente al engranaje más grande se le denomina *rueda*, y al más pequeño se le denomina *piñón*. Esto independiente de cuál es motriz (Pelandintecno, 2011).

De la misma manera que con el sistema de poleas con correa, los sistemas de engranajes también pueden ser clasificados en dos tipos según si reducen o aumentan la rapidez de giro.

- ▶ **Sistemas de reducción de rapidez:** Aquí el piñón es el engranaje motriz y la rueda sería el engranaje conducido. Para esta situación la rapidez de giro se reduce.
- ▶ **Sistemas de multiplicación de rapidez:** Aquí la rueda es el engranaje motriz y el piñón sería el engranaje conducido. Para esta situación la rapidez de giro aumenta.

El sistema de transmisión por piñón y cadena es un mecanismo en el que una rueda dentada se acopla a una cadena para transferir el movimiento a otra rueda conducida (Fig 5.58). A diferencia de otros sistemas, este permite modificar tanto la fuerza como la rapidez sin alterar el sentido de giro. Para que funcione correctamente, los ejes de ambas ruedas deben mantenerse paralelos (Cedenilla et al., 2017). Este mecanismo, ampliamente utilizado en bicicletas, opera de manera similar a los engranajes en términos de relación de transmisión, ya que se calcula en función del número de dientes de cada rueda dentada o piñón (Fig 5.59).

Las cadenas, aunque menos flexibles que las correas, ofrecen una mayor eficiencia en la transmisión del movimiento. Por esta razón, se emplean en diversos mecanismos como bicicletas, puertas de garaje y motores, donde es crucial una transferencia de energía confiable y precisa.



Fig 5.58 Sistema cadena piñón.

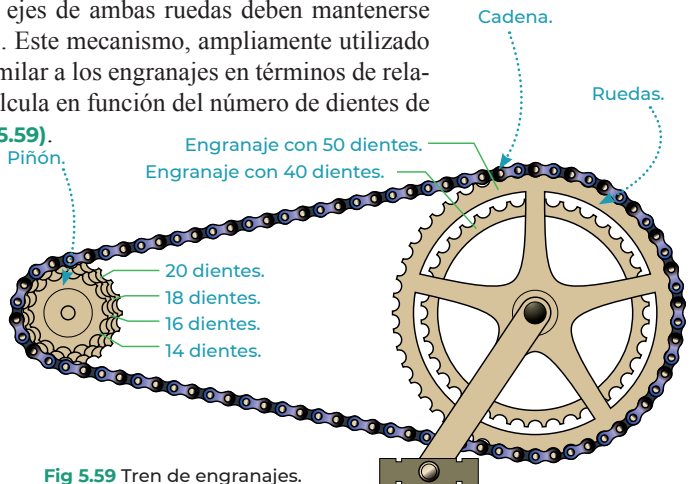


Fig 5.59 Tren de engranajes.

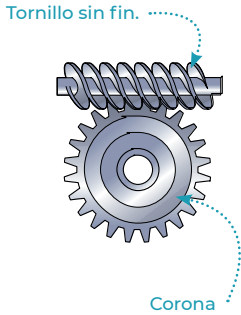


Fig 5.60 Tornillo sin fin



El sistema de tornillo sin fin y corona, es un sistema **irreversible**, esto quiere decir, que siempre el tornillo es el elemento motriz y la corona el elemento conducido y nunca al contrario.

Esto es debido a que un engranaje en esa posición no puede realizar fuerza sobre un tornillo y hacerlo girar, pero debido a la geometría el tornillo sí puede hacer girar el engranaje.

Tornillo sin fin y corona

El mecanismo de tornillo sin fin y corona es un sistema de *transmisión circular* que podemos utilizar para transferir movimiento entre dos ejes que se cruzan perpendicularmente. Consiste en un tornillo que engrana con un engranaje que para este mecanismo llamamos corona, cuya rotación se ve condicionada por el giro del tornillo (Fig 5.60). A diferencia de otros sistemas de transmisión, esta configuración no es reversible, es decir, el tornillo siempre actúa como elemento motriz y la corona como conducida. Su principal característica es la gran *reducción de rapidez* que produce, ya que **por cada vuelta completa del tornillo, la corona avanza un número de dientes determinado por la cantidad de entradas del sin fin**.

El mecanismo de tornillo sin fin y corona es ampliamente utilizado en sistemas que requieren una reducción significativa de rapidez y un control preciso del movimiento ya que su relación de transmisión es muy baja. Gracias a esta característica, se emplea en dispositivos como reductores de motores eléctricos, cuentakilómetros, manivelas para andamios y en las clavijas de las guitarras para tensar las cuerdas con precisión (Fig 5.62).

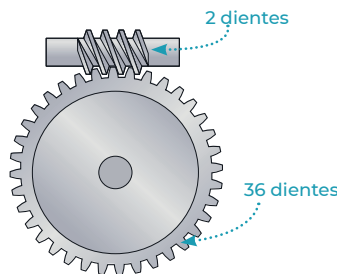
Si la corona (rueda de salida o engranaje conducido) tiene Z , entonces podemos tener una nueva ecuación para la relación de transmisión de un sistema de tornillo sin fin de la siguiente manera:

Relación de transmisión para el tornillo sin fin y corona.

$$i = \frac{1}{Z}$$

Número de dientes de la corona.

Así, por ejemplo, si tenemos un sistema en donde la corona tiene 36 dientes (Fig 5.61) así entonces la relación de transmisión es:



Vueltas de la corona

$$i = \frac{1}{Z} = \frac{1}{36}$$

Vueltas del tornillo

Esto quiere decir que, por cada 36 vueltas que da el tornillo sin fin, la corona solo da 1 vuelta.

Fig 5.61 Barra rectangular a la cual se le aplica un esfuerzo de flexión.

A partir de la relación de transmisión, como lo hemos hecho para las poleas con correa y los engranajes, podemos calcular la rapidez a la que gira tanto el tornillo sin fin como la corona o engranaje conducido.

En las guitarras, el mecanismo de tornillo sin fin y corona se utiliza en las clavijas de afinación para ajustar la tensión de las cuerdas con precisión (Fig 5.62). Este sistema permite reducir considerablemente la rapidez de giro, lo que facilita pequeños ajustes sin riesgo de que la cuerda se afloje o se tense bruscamente (Pelandintecno, 2018).

Cuando el músico gira la clavija, el tornillo sin fin mueve la corona dentada, que a su vez enrolla o desenrolla la cuerda alrededor del eje de afinación. Gracias a que es un mecanismo irreversible (es decir, la cuerda no puede hacer girar el tornillo por sí sola) la afinación se mantiene estable, incluso después de tocar durante largos periodos (Xunta de Galicia, s. f.).



Fig 5.62 Tornillo sin fin para ajustar las cuerdas de la guitarra con precisión.

Q Ejercicio 5.2

Para el montaje presentado en la (Fig 5.63) contesta las preguntas 1, 2, 3 y realiza los ejercicios 4 y 5.

- **1. ¿En qué sentido girará la corona?**

A. En el mismo que el motor.
B. En el sentido contrario del motor.

- **2. ¿Qué tipo de sistema se muestra en la figura?**

A. Un sistema multiplicador de rapidez.
B. Un sistema reductor de rapidez.
B. Un sistema en donde la rapidez de giro del motor no se modifica.

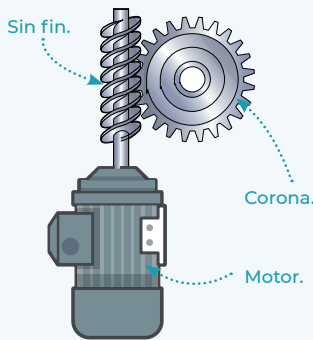


Fig 5.63 Sistema de motor, tornillo sin fin y corona.

- **3. ¿Es el tornillo reversible? ____ ¿Por qué?**
► **4. Calcula la relación de transmisión del mecanismo.**
► **5. Si el motor gira a 2200 rpm. ¿A que velocidad gira la rueda dentada?**

Ruedas de fricción

Las ruedas de fricción son elementos mecánicos utilizados para transmitir movimiento circular entre ejes cercanos mediante el contacto directo entre sus superficies. Esta transmisión se basa en la fuerza de rozamiento, por lo que suelen estar fabricadas con materiales antideslizantes, como la goma, para evitar deslizamientos y mejorar la eficiencia del sistema.



Fig 5.64 Rueda de fricción usada para impulsar una atracción mecánica.



La **fricción** es la fuerza que se opone al deslizamiento entre dos superficies en contacto. En el caso de las ruedas de fricción, esta fuerza es crucial porque permite que el movimiento se transmita de una rueda a otra sin resbalamiento y que funcionen eficazmente, asegurando que el movimiento se transfiera de manera controlada y precisa.

Una característica fundamental de este mecanismo es que siempre se invierte el sentido de giro entre las ruedas en contacto. Además, existe una relación inversa entre rapidez de giro y fuerza: cuando una rueda gira más rápido, su capacidad de transmitir fuerza disminuye (**Fig 5.64**).

Las ruedas de fricción presentan varias ventajas que las hacen atractivas para ciertos sistemas mecánicos. Son fáciles de fabricar, lo que reduce costos de producción, y su funcionamiento es silencioso, lo que las hace ideales para dispositivos que requieren bajas vibraciones y poco ruido. Además, al estar diseñadas para operar entre ejes cercanos, resultan compactas y eficientes en espacios reducidos.

Sin embargo, también tienen algunas desventajas. Su capacidad de transmisión de potencia es limitada, por lo que no son adecuadas para aplicaciones que requieren grandes esfuerzos mecánicos. Debido a que dependen del rozamiento para funcionar, existe el riesgo de que las ruedas patinen o se deslicen si la *fricción* no es suficiente, lo que puede comprometer su eficiencia. Además, el constante contacto entre las superficies genera un desgaste significativo en los materiales, lo que puede reducir su vida útil y requerir reemplazos frecuentes. Para minimizar estos inconvenientes, se utilizan materiales con alto coeficiente de fricción que evitan el deslizamiento y mejoran el rendimiento del sistema.

Este tipo de transmisión es común en diversos dispositivos, como impresoras, donde se utiliza para arrastrar el papel, o en las dinamos de bicicleta, donde el giro de la rueda acciona el generador eléctrico.

Al igual que las poleas con correa, las ruedas de fricción mantienen la misma relación de transmisión. En este sistema, la rueda motriz, que es impulsada por el motor, transmite el movimiento a la rueda conducida, la cual genera el movimiento de salida (**Fig 5.65**).

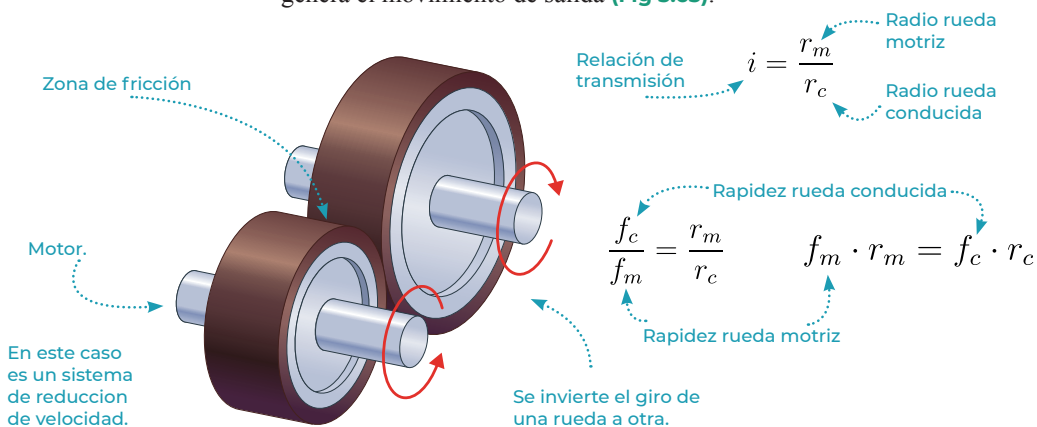


Fig 5.65 Sistema de poleas de fricción.

Aquí también existen sistemas de reducción o multiplicación de rapidez para las ruedas de fricción y el calculo es exactamente igual que se realizo con las poleas con correa, la diferencia solo esta en que al estar en contacto en la superficie los giros de las ruedas son contrarios, mientras que en las poleas con correa estas giran en el mismo sentido.

Tren de sistemas de poleas

Un sistema de tren de poleas con correa es una cadena de poleas conectadas unas con otras, de las cuales la primera polea es la polea motriz principal y la polea de salida (última) es la polea conducida principal (**Fig 5.66**).

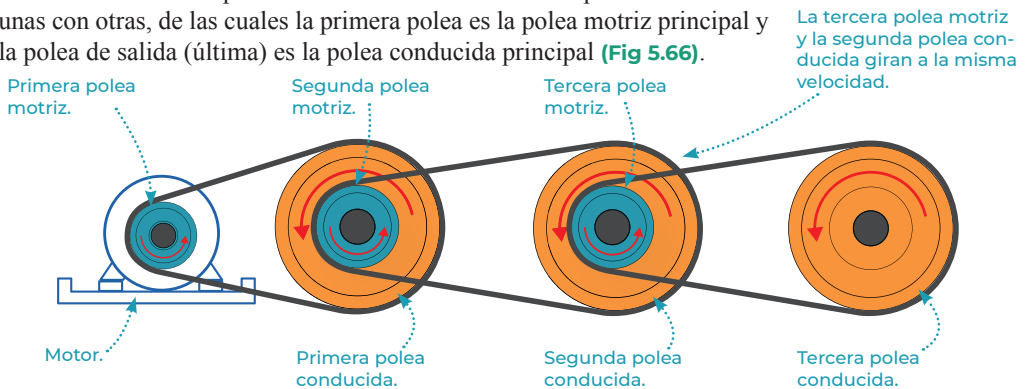


Fig 5.66 Tren de poleas con correa.

En este sistema, el movimiento circular se transfiere mediante tres correas, cada una actuando como un vínculo de transmisión. Inicialmente, el giro del eje principal se comunica al segundo eje a través de la primera polea motriz y su correspondiente polea conducida 1. Como la segunda polea motriz y la primera polea conducida están montadas en el mismo eje, ambas giran a la misma rapidez. Luego, la segunda polea motriz impulsa la segunda polea conducida por medio de otra correa. Del mismo modo, la tercera polea motriz y la segunda polea conducida comparten el mismo eje, manteniendo idéntica rapidez de giro. Finalmente, una tercera correa transmite el movimiento desde la tercera polea motriz hasta la tercera polea conducida, completando así el sistema de transmisión.

También pueden haber en un tren de poleas correas que se encuentren cruzadas con el objetivo de cambiar el sentido de giro tanto para la polea motriz como para la conducida que se encuentren acopladas (**Fig 5.67**).

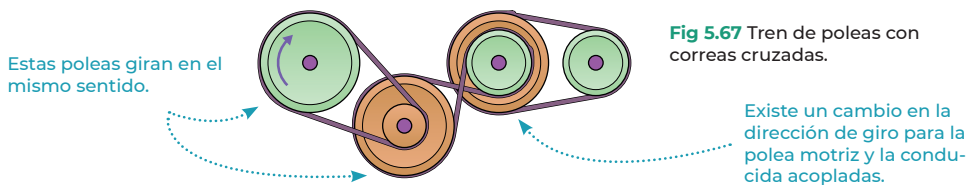


Fig 5.67 Tren de poleas con correas cruzadas.

En la polea de la **Fig 5.68** podemos observar que debido a la transmisión del movimiento y el sistema empleado, la rapidez de giro cada vez es menor, por lo que el tren de poleas es un sistema de reducción de rapidez.

Aquí también podemos hacer el cálculo para determinar la relación de transmisión para todo el tren de poleas. Para ello tendremos presente primero la rapidez de giro de cada una de las poleas.

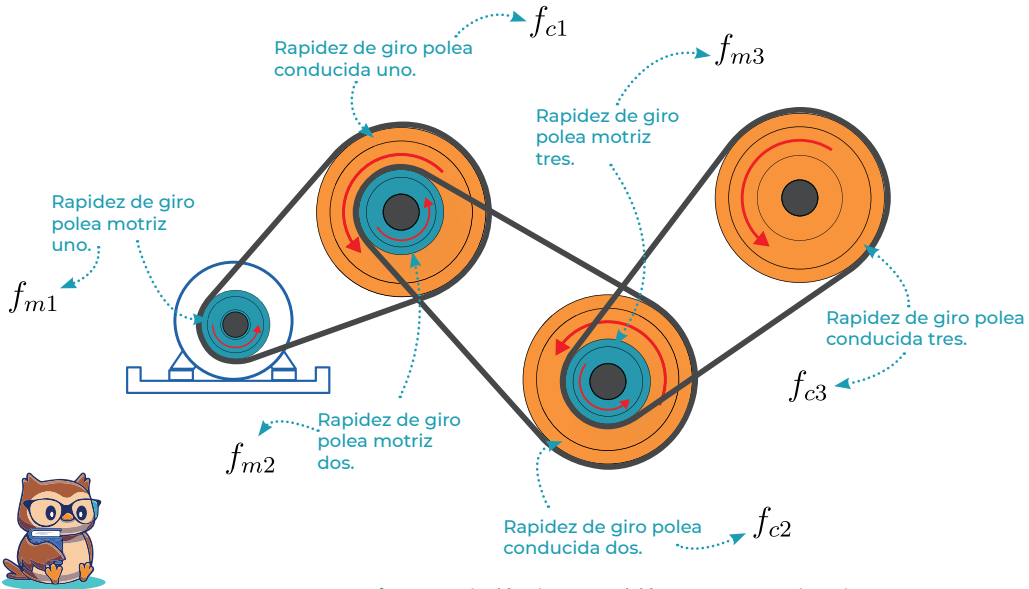


Fig 5.68 Relación de transmisión para un tren de poleas con correa.

Así entonces una manera sencilla de poder establecer la relación de transmisión es por medio de la rapidez de giro de la primera polea motriz f_{m1} con la última polea conducida f_{c3} .

$$i = \frac{f_{c3}}{f_{m1}}$$

Esta representa la relación de transmisión de todo el tren de poleas.

También se puede determinar la relación de transmisión dados los radios de las poleas, teniendo en cuenta que para este caso sí se requiere tener todos los radios de las poleas ya que su relación es de la siguiente manera:

$$i = \frac{r_{m1} \cdot r_{m2} \cdot r_{m3} \cdot \dots}{r_{c1} \cdot r_{c2} \cdot r_{c3} \cdot \dots}$$

Multiplicación de los radios de las poleas motrices.

Multiplicación de los radios de las poleas conducidas.

Los **engranajes** pueden agruparse en un sistema denominado **tren de engranajes**, el cual presenta la ventaja de ser más compacto en comparación con un sistema de poleas. Su principio de funcionamiento es similar al de un tren de poleas, con la diferencia de que no requiere correas para transmitir el movimiento. Además, la relación de transmisión total en este tipo de sistema **se calcula de la misma manera que en el caso de las poleas**.

5.3 Mecanismos de transmisión del movimiento

Hasta ahora, hemos explorado mecanismos que simplemente transmiten el movimiento sin modificar su naturaleza; es decir, el tipo de movimiento del elemento motriz y del elemento conducido sigue siendo el mismo. Dentro de estos, hemos visto:

- ▶ **Mecanismos de transmisión lineal:** Estos reciben un movimiento en línea recta y lo transmiten de la misma manera. Un ejemplo clásico es la palanca, que conserva el movimiento lineal de un punto a otro, permitiendo levantar o mover objetos en línea recta.
- ▶ **Mecanismos de transmisión circular:** Estos mantienen el movimiento rotacional. Ejemplos claros son los engranajes, que transfieren el giro de un eje a otro manteniendo la rotación constante, ideal para sistemas donde se requiere un movimiento continuo y uniforme.

Sin embargo, en muchas situaciones necesitamos mecanismos que no solo transmitan el movimiento, sino que también lo transformen, adaptando el tipo de movimiento del elemento motriz a otro tipo en el elemento conducido. Aquí es donde entran los mecanismos de transformación del movimiento, que pueden ser:

- ▶ **Mecanismos que transforman el movimiento circular en lineal:** Permiten convertir la rotación en desplazamiento lineal.
- ▶ **Mecanismos que transforman el movimiento circular en alternativo:** Logra convertir el giro en un movimiento de vaivén.

Algunos de estos sistemas son reversibles, lo que significa que el elemento motriz puede intercambiar su función con el conducido, ofreciendo una gran versatilidad en diversas aplicaciones.

La siguiente **Tabla 5.2** organiza los mecanismos que exploraremos en esta sección del capítulo. Comenzaremos analizando aquellos que transforman un movimiento circular en un movimiento lineal. Además, estudiaremos su funcionamiento y la base física que hay detrás de estos.

Tipo de Mecanismo	Mecanismo
Mecanismos de transformación circular a lineal	Tornillo - tuerca
	Piñón - cremallera
	Manivela - tornillo
Mecanismos de transformación circular a alternativo	Levas
	Biela - manivela
	Cigüeñal

Tabla 5.2 Clasificación de los mecanismos de transformación.

5.3.1 Mecanismos de transformación de movimiento circular a lineal

Tuerca - Tornillo



Fig 5.69 Sistema tuerca tornillo.



A lo que nos referimos con paso, es la distancia que hay entre una hélice y otra dentro de la rosca del tornillo o la tuerca.

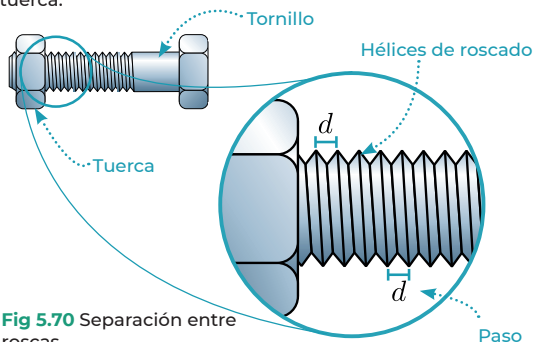


Fig 5.70 Separación entre roscas.

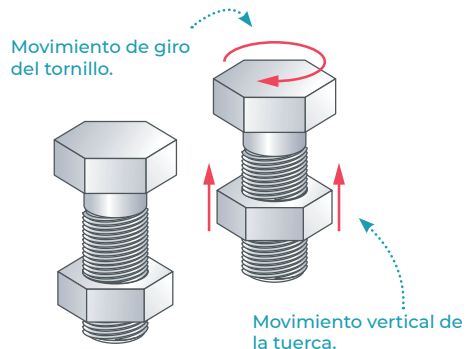


Fig 5.71 Relación de giro con desplazamiento vertical.

Una de las principales ventajas de este sistema es su capacidad para multiplicar la fuerza aplicada, proporcionando una ventaja mecánica significativa. Por esta razón, se utiliza en una gran variedad de aplicaciones, como gatos para automóviles (**Fig 5.72**), tornos, grifos, prensas, lápices labiales y tornillos en maquinaria industrial. Su versatilidad y eficiencia lo convierten en un mecanismo ampliamente presente en la tecnología.

A veces, estos mecanismos resultan muy útiles para controlar con precisión el desplazamiento, ya que el movimiento lento de la tuerca al girar el tornillo permite un ajuste detallado de la distancia recorrida (**Fig 5.71**). Gracias a esta característica, se emplean en aplicaciones que requieren alta precisión, como en el caso del compás.



Fig 72 Gato para automóviles.

Es posible calcular de manera sencilla el desplazamiento de una tuerca a lo largo de un tornillo. Para ello, es fundamental conocer la distancia entre cada una de las hélices marcadas en la rosca, lo que equivale a la separación entre los dientes de un engranaje, pero aplicado a este mecanismo. En el sistema tornillo-tuerca, estas hélices están espaciadas a una distancia específica y constante d , que es el ya mencionado *paso*, que determina cuánto avanzará la tuerca por cada giro completo del tornillo.

Para que la tuerca se desplace una distancia d sobre el tornillo, solo es necesario que realice una vuelta alrededor de este, es decir, que el número de vueltas n multiplicado por el paso d que realiza por vuelta, nos permitirá saber cuál es el desplazamiento de la tuerca sobre el tornillo (**Fig 5.74**).

$$x = n \cdot d$$

Desplazamiento de la tuerca $\rightarrow$ $x = n \cdot d$ $\leftarrow$ Paso

$\leftarrow$ Número de vueltas

Por ejemplo, si el paso de un tornillo es de 1,5 mm y queremos saber cuántas vueltas necesitamos dar para desplazarnos 20 mm, podemos hacer uso de la ecuación y realizar el cálculo despejando n .

$$n = \frac{x}{d} = \frac{20mm}{1,5mm} = 13,3$$

$\leftarrow$ Vueltas que se deberían dar.

Q Ejercicio 4.3

¿Cuántas vueltas debe dar una tuerca alrededor del tornillo de 4 cm de longitud, para que se desplace a lo largo de todo el tornillo? Supón que el tornillo tiene un paso de 1,2 mm (**Fig 5.75**).

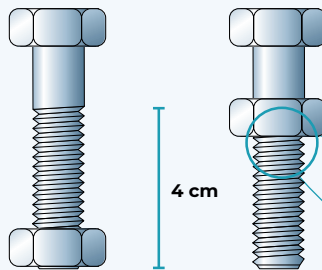


Fig 5.75 Cálculo de desplazamiento de la tuerca y número de vueltas.

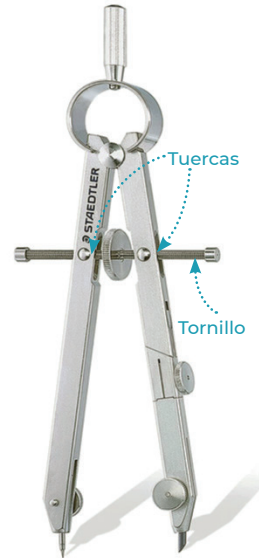


Fig 5.73 Compás en donde se presenta el mecanismo de tornillo y tuerca.

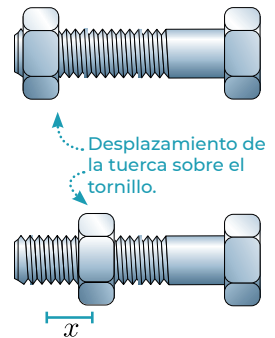


Fig 5.74 Desplazamiento de la tuerca sobre el tornillo.

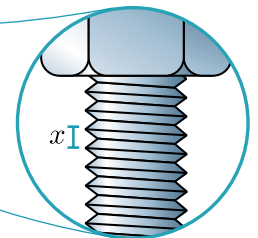




Fig 5.76 Sistema piñón cremallera.

Piñón - Cremallera

El mecanismo de piñón-cremallera está compuesto por un engranaje o rueda dentada (piñón) que se acopla con una barra lineal dentada (cremallera). Para que su funcionamiento sea eficiente, ambos deben tener el mismo paso, es decir, la misma distancia entre los dientes, lo que garantiza un encaje preciso y un movimiento fluido a medida que el piñón gira (**Fig 5.76**).

Cuando el piñón gira, la cremallera se desplaza en línea recta, lo que indica que este mecanismo transforma el movimiento circular en lineal. Además, es un sistema reversible, lo que significa que si se aplica un desplazamiento lineal a la cremallera, este se traduce en un giro del piñón. De esta manera, el mecanismo permite la conversión bidireccional entre ambos tipos de movimiento (Cedenilla et al., 2017) (**Fig 5.78**).



Fig 5.77 El sentido de giro de los piñones se transforma a lineal en la cremallera.

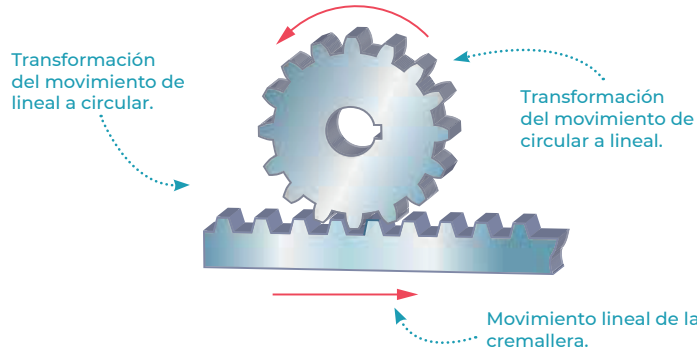


Fig 5.78 Transformación del movimiento en el sistema piñón cremallera.

Este mecanismo tiene una amplia variedad de aplicaciones en la vida cotidiana y en la industria, gracias a su capacidad para transformar el movimiento con precisión y eficiencia. Se utiliza en sistemas que requieren desplazamientos lineales controlados, como en los microscopios para ajustar con precisión el enfoque (**Fig 5.79**), en los trípodes para regular su altura o en estanterías móviles utilizadas en archivos, farmacias y bibliotecas. Además, es un componente clave en dispositivos como cerraduras, funiculares y puertas automáticas de corredera. En el ámbito industrial, el piñón-cremallera se emplea en máquinas herramientas como taladros, tornos y fresadoras. Su versatilidad lo convierte en un mecanismo esencial en múltiples sistemas mecánicos y tecnológicos (**Fig 5.77**).



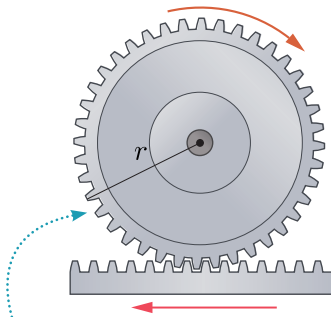
Fig 5.79 Sistema de control de precisión de enfoque con piñón cremallera.

En un sistema de piñón-cremallera es posible establecer una relación entre el giro del piñón y el desplazamiento lineal de la cremallera utilizando principios geométricos. A partir de esta relación, se puede obtener una expresión que nos permita calcular cuánto se desplazará la cremallera por cada vuelta completa del piñón. Este desplazamiento depende únicamente

del radio del engranaje, siempre que se garantice que el paso de los dientes es el mismo en ambos componentes (**Fig 5.80**). Recordando conceptos básicos de geometría, sabemos que la circunferencia de un círculo puede determinarse en función de su radio mediante la siguiente ecuación:

$$C = 2\pi r$$

Pues bien, este será exactamente el mismo desplazamiento que tendrá la cremallera de forma lineal.



El desplazamiento depende del radio del piñón (Engranaje).

Fig 5.80 Relación de giro con el desplazamiento lineal de la cremallera.

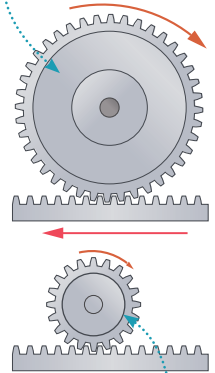
Si queremos saber el desplazamiento que realiza la cremallera dado un número de vueltas realizado por el piñón entonces podemos multiplicar este desplazamiento de una vuelta por la cantidad de vueltas que realice.

$$x = 2\pi r n$$

Donde n es la cantidad de vueltas que realiza el piñón.

Si vemos con más detalle nos damos cuenta que cuanto mayor sea el radio (que el piñón sea más grande) más desplazamiento realizará la cremallera por vuelta del piñón.

Si el radio es mayor, habrá mayor desplazamiento pero menor fuerza.



Si el radio es menor, habrá menor desplazamiento pero mayor fuerza.

Fig 5.81 Relación de giro con el desplazamiento lineal de la cremallera según el tamaño del piñón.

De igual manera, podemos despejar y calcular cuántas vueltas dará el piñón por un valor dado del desplazamiento de la cremallera.

Ejemplo 5.4

Un sistema de elevación de un trípode consiste en una cremallera y un piñón cuyo radio es de 1,5 cm. ¿Cuántos giros deberá realizar el camarógrafo para desplazar la cámara una altura de 25 cm?

► **Realizamos el despeje de la ecuación anteriormente definida**

$$x = 2\pi r n \quad n = \frac{x}{2\pi r}$$

► **Reemplazamos los valores y operamos !**

$$n = \frac{25\text{cm}}{2\pi \cdot 1,5\text{cm}} = \frac{25\cancel{\text{cm}}}{3\pi \cdot \cancel{\text{cm}}} = \frac{25}{3 \cdot (3,14)} = 2,6$$

Solo son necesarias 2,6 vueltas para poder elevar la cámara los 25 cm.

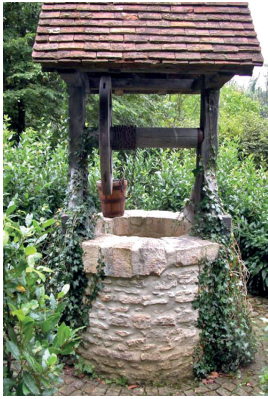


Fig 5.82 Pozo con sistema de manivela torno para sacar agua.

Manivela - Torno

El mecanismo de la manivela-torno es en principio una palanca acoplada a un eje o cilindro que, al girarse, genera el movimiento de rotación de este último, lo que puede emplearse para enrollar una cuerda de la cual uno de sus extremos se ancla al propio cilindro y el otro extremo se sujeta al objeto que se pretende levantar o resistencia (R). En el eje se acopla una manivela, donde se aplica la fuerza o bien se acopla el eje de un motor para hacer girar el eje. Gracias a su diseño es posible aplicar la ley de la palanca, lo cual permite aplicar una fuerza menor para levantar y mover una carga, en comparación con la que sería necesaria si se ejerciera directamente sobre el eje o cilindro (**Fig 5.82**).

Este mecanismo facilita la conversión de un movimiento circular en un desplazamiento lineal, lo que lo hace útil en diversas aplicaciones mecánicas. En esencia, la manivela es un dispositivo simple pero eficiente que amplifica la fuerza aplicada y facilita la manipulación de objetos en distintos sistemas mecánicos.

La **Fig 5.83** muestra un torno con manivela, en donde podemos verificar la relación de los radios del torno y de la manivela para poder aplicar la conservación del momentum angular; este fue un tema que tratamos en el capítulo sobre las estructuras (**Fig 5.84**).

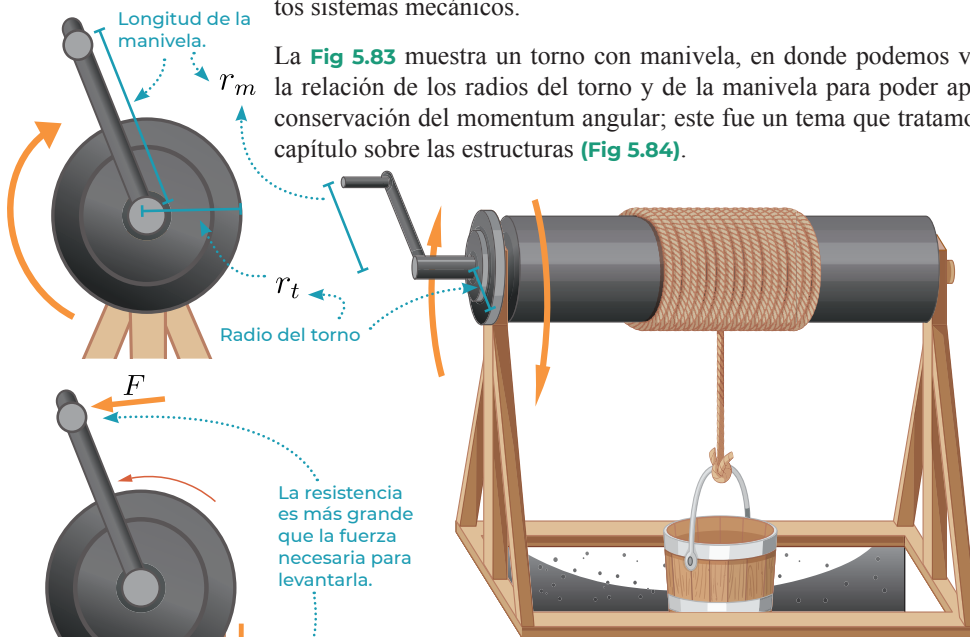


Fig 5.83 Sistema de manivela - torno.

Fig 5.84 Relación de esfuerzo con resistencia para mover cargas.



La relación entre los radios nos permite determinar que, cuando la longitud de la manivela es mayor que el radio del torno $r_m > r_t$, el mecanismo proporciona una ventaja mecánica. Esto significa que se requiere menos esfuerzo o fuerza para levantar una carga o vencer una resistencia.

A partir de esta relación, solo es necesario aplicarla en el contexto de la ley de la palanca para el mecanismo de manivela-tornillo. Dado que este sistema proporciona una ventaja mecánica gracias a la proporción entre los radios, podemos utilizar la siguiente ecuación para calcular la fuerza necesaria para levantar una carga o vencer una resistencia con este mecanismo.

$$F \cdot r_m = R \cdot r_t$$

Fuerza a aplicar Resistencia debido a la carga.

Esto quiere decir que entre menor sea el radio del tornillo r_t , y mayor sea la longitud de la manivela r_m , el esfuerzo dado por la fuerza F que se debe aplicar es menor. Sin embargo, al estar enrollada la cuerda alrededor del tornillo, a menor radio, mayor número de vueltas necesarias para realizar un desplazamiento vertical. Es por eso que el tornillo no puede ser muy delgado: porque si bien puede disminuir el esfuerzo, tendrá que aumentarse el número de giros para subir o mover una carga. Un buen ejemplo son los pozos de agua que utilizan este mecanismo para subir agua en un recipiente (Fig 5.82).



No olvides que la resistencia de un objeto R al ser una fuerza presenta unidades de Newtons (N), y que estos a su vez se definen por la segunda ley de Newton ($F = m \cdot a$), como (kg m/s). Adicionalmente, las unidades de longitudes pueden ser metros (m), o en el sistema anglosajón pulgadas (in) (Knight et al., 2019).



Recuerda que la resistencia es lo mismo que el peso, es decir, la fuerza gravitacional que realiza la tierra sobre la carga.

Aceleración gravitacional
 $R = F_g = m \cdot g$
 Fuerza gravitacional
 Esta fuerza es la responsable de que todo se sienta pesado y que tienda a caer hacia el centro de la tierra.

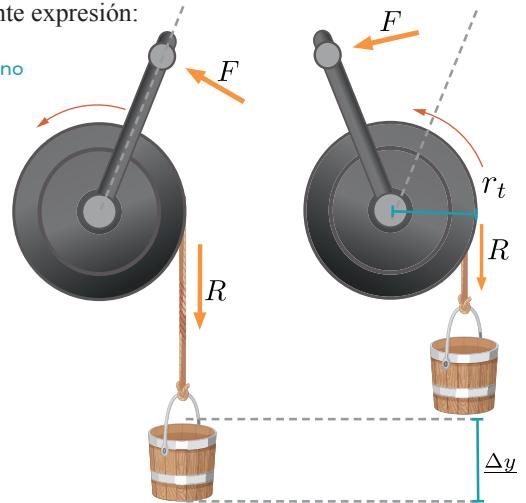
Al igual que en el mecanismo de piñón-cremallera, el desplazamiento vertical de la cuerda en función del número de vueltas que da el tornillo se determina utilizando la misma ecuación. Sin embargo, en este caso, el radio corresponde al del tornillo r_t (Fig 5.85). Por lo tanto, si queremos calcular dicho desplazamiento, podemos emplear la siguiente expresión:

$$\Delta y = 2\pi \cdot r_t \cdot n$$

Desplazamiento vertical Radio del tornillo Número de vueltas

Por ejemplo, si tenemos un sistema de manivela-tornillo donde el radio del tornillo es de 20 cm, la longitud de la manivela es de 50 cm y la carga a levantar es de 200 N, podemos plantearnos dos preguntas fundamentales. Primero, ¿cuánta fuerza es necesaria aplicar en la manivela para elevar la carga? Y segundo, ¿cuántas vueltas debe dar la manivela para subir la carga una distancia de 3 metros?

Fig 5.85 Relación de esfuerzo con los radios para mover cargas.



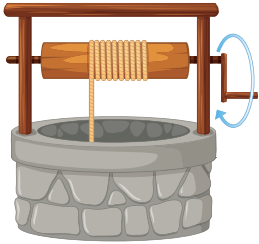


Fig 5.86 En un pozo la masa del torno es relevante para brindar ventaja mecánica.



Es importante mencionar que estos cálculos no consideran la **masa** del torno. Si el torno está fabricado con un material denso, como metal o madera, su masa le confiere **inerencia**, lo que significa que será necesario aplicar una fuerza adicional para iniciar su movimiento de rotación.

Estos cálculos nos permitirán entender mejor la ventaja mecánica del mecanismo y su eficiencia en la transmisión del movimiento.

► **¿Cuánta fuerza es necesaria aplicar en la manivela para elevar la carga?**

Para realizar este procedimiento podemos hacer uso de la ecuación que establece la relación entre fuerzas y distancias dada por la ley de la palanca.

$$F \cdot r_m = R \cdot r_t$$

$$F = \frac{R \cdot r_t}{r_m}$$

Realizando el despeje

Remplazando

$$F = \frac{200N \cdot 20cm}{50cm}$$

$$F = 80N$$

Según las características dadas para este mecanismo, y con la carga de 200 N se requiere para levantarla solo 80 N de fuerza aplicada a la manivela.

► **¿Cuántas vueltas debe dar la manivela para subir la carga una distancia de 3 metros?**

Haciendo uso de la ecuación que me relaciona el desplazamiento con el número de vueltas, podemos despejar y reemplazar para determinar el valor solicitado.

$$\Delta y = 2\pi \cdot r_t \cdot n$$

$$n = \frac{\Delta y}{2\pi \cdot r_t}$$

Realizando el despeje

Realizando conversión de unidades y reemplazando.

$$n = \frac{300cm}{2\pi \cdot 20cm}$$

$$n \approx 12$$

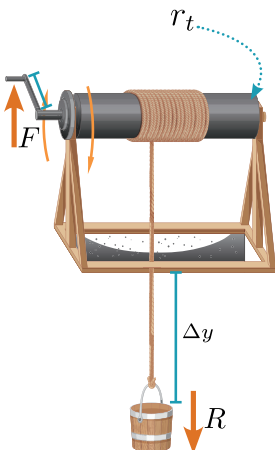


Fig 5.87 Determinación del desplazamiento vertical a partir del radio del torno.

Q Ejercicio 4.4

Un operario utiliza un torno manual para levantar una carga de 300 N aplicando una fuerza de 80 N sobre la manivela. El torno tiene un radio de 15 cm (**Fig 5.87**).

► **¿Cuál debe ser la longitud de la manivela para que el sistema funcione con la fuerza aplicada?**

► **Si la manivela da 10 giros completos, ¿cuánto se desplazará la carga en metros?**

5.3.2 Mecanismos de transformación de movimiento circular a alternativo

Levas

La leva es un elemento mecánico que permite transformar un movimiento circular en un movimiento alternativo. Se trata de una rueda unida a un eje que presenta un contorno con salientes o deformaciones específicas (Fig 5.88) (Fig 5.89). A medida que gira, su perfil empuja o desplaza una pieza llamada seguidor, que es el encargado de realizar el movimiento alternativo.

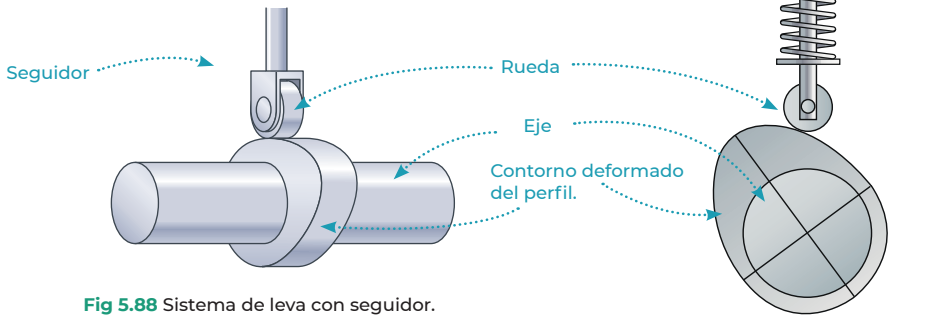


Fig 5.88 Sistema de leva con seguidor.

Una característica importante de este mecanismo es que no es reversible, lo que significa que el movimiento alternativo del seguidor no puede transformarse nuevamente en un movimiento circular para la leva. Su funcionamiento depende exclusivamente de la forma de su perfil, la cual determina la trayectoria y la intensidad del desplazamiento del seguidor (Fig 5.90).

Fig 5.89 Deformaciones específicas según la leva.

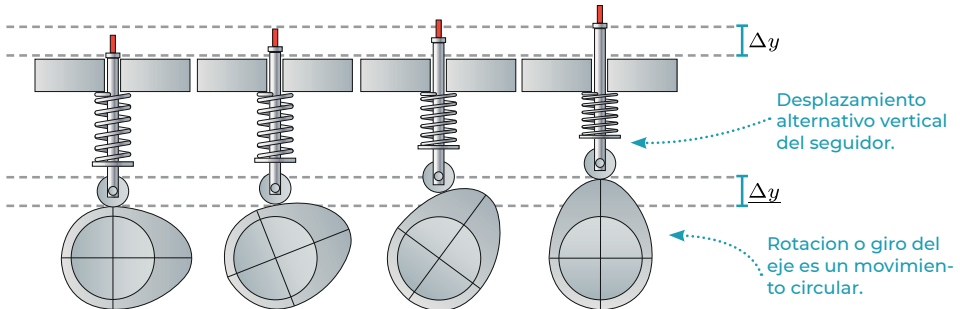


Fig 5.90 La forma de perfil determina el desplazamiento del seguidor.

Las levas tienen una gran variedad de aplicaciones en distintos sistemas mecánicos. Son fundamentales en motores de combustión interna (Fig 5.91), donde regulan la apertura y cierre de las válvulas del motor. También se utilizan en programadores de lavadoras, donde controlan la activación de los circuitos eléctricos, y en dispositivos como carretes de pesca, cortapelos, depiladoras y cajas de música, en los que se requiere un movimiento preciso y repetitivo.



Fig 5.91 Árbol de levas.

En un mecanismo de leva, el desplazamiento del seguidor depende de la geometría de la leva y de cómo varía su perfil a medida que gira. Para describir de forma física este movimiento, podemos considerar que el seguidor se desplaza una distancia Δy en función del ángulo de rotación de la leva, denotado como θ (Fig 5.92).

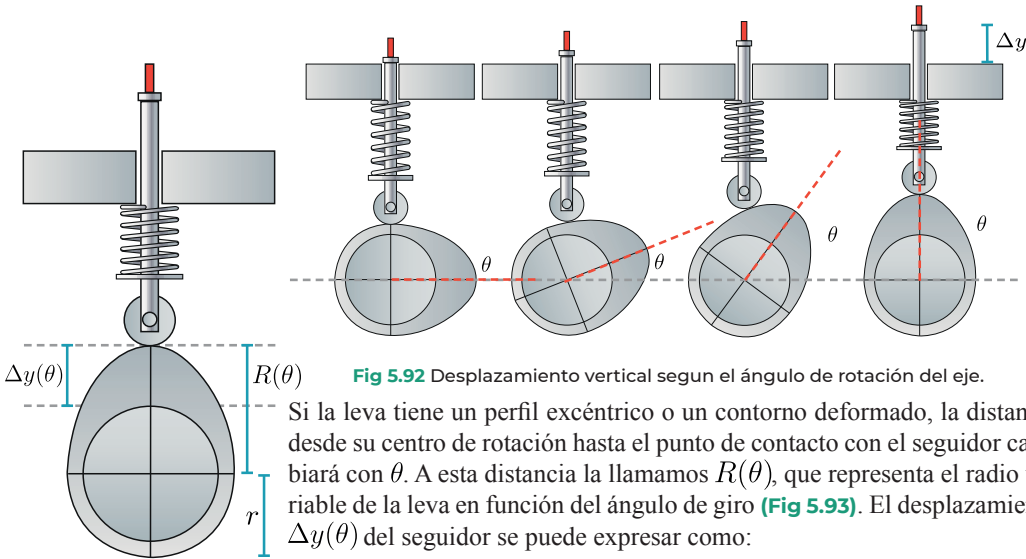


Fig 5.92 Desplazamiento vertical según el ángulo de rotación del eje.

Si la leva tiene un perfil excéntrico o un contorno deformado, la distancia desde su centro de rotación hasta el punto de contacto con el seguidor cambiará con θ . A esta distancia la llamamos $R(\theta)$, que representa el radio variable de la leva en función del ángulo de giro (Fig 5.93). El desplazamiento $\Delta y(\theta)$ del seguidor se puede expresar como:

$$\Delta y(\theta) = R(\theta) - r$$

Fig 5.93 Distancias y radios relativos según estructura de la leva.

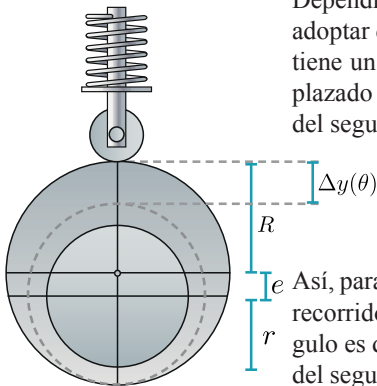


Fig 5.94 Caso particular leva circular con desplazamiento del centro.

Dependiendo de la forma de la leva, el desplazamiento del seguidor puede adoptar diferentes comportamientos. Si vemos un caso particular, si la leva tiene un perfil circular (Fig 5.94) de radio R , pero con su centro está desplazado una distancia e respecto al eje de giro de radio r , el desplazamiento del seguidor sigue una relación sinusoidal:

$$\Delta y(\theta) = \frac{(R + e - r)(1 + \sin(\theta))}{2}$$

Así, para cuando el ángulo sea de cero, el seguidor solo estará a la mitad del recorrido, si el ángulo es de 90, será el mayor desplazamiento, y si el ángulo es de 270 será un desplazamiento nulo. El estudio del desplazamiento del seguidor es crucial en el diseño de mecanismos de leva, ya que permite predecir su comportamiento y garantizar un funcionamiento eficiente en aplicaciones como motores de combustión, máquinas, herramientas, programadores de lavadoras y otros sistemas mecánicos que dependen de un control preciso del movimiento.

Biela - Manivela

El mecanismo de biela-manivela es un sistema ampliamente utilizado en la transformación de movimiento, compuesto por una manivela (que gira de manera circular) y una biela, una barra rígida articulada que experimenta un movimiento alternativo (**Fig 5.95**). Dependiendo de cómo se accione el sistema, este mecanismo puede operar en ambos sentidos, lo que lo hace reversible:

- ▶ Si la manivela es el elemento motriz, su giro transmite un movimiento oscilante a la biela, generando un desplazamiento alternativo en el otro extremo (**Fig 5.96**).
- ▶ Si la biela es el elemento motriz, su movimiento de vaivén se convierte en un movimiento circular en la manivela.

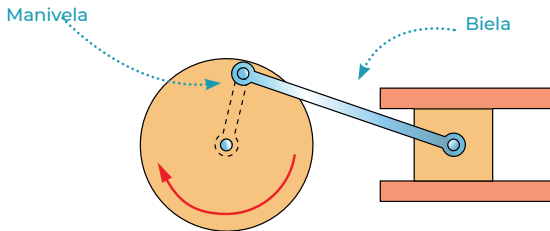


Fig 5.96 Sistema biela y manivela.

Un ejemplo cotidiano de este mecanismo lo encontramos en la bicicleta: cuando pedaleamos, nuestras piernas actúan como bielas, transmitiendo un movimiento alternativo a los pedales, que a su vez hacen girar la manivela (bielas y platos), generando el movimiento circular que impulsa la rueda trasera.

Este sistema ha sido clave en el desarrollo de tecnologías como la máquina de vapor, donde la combustión generaba un movimiento rectilíneo que luego se transformaba en rotación para impulsar las ruedas de la locomotora (**Fig 5.98**). Actualmente, su uso es fundamental en los motores de combustión interna, donde los pistones (bielas) convierten la explosión del combustible en un giro del cigüeñal (manivela). También se encuentra en dispositivos como limpiaparabrisas, máquinas de coser y compresores, donde la transformación de movimiento es esencial para su funcionamiento.

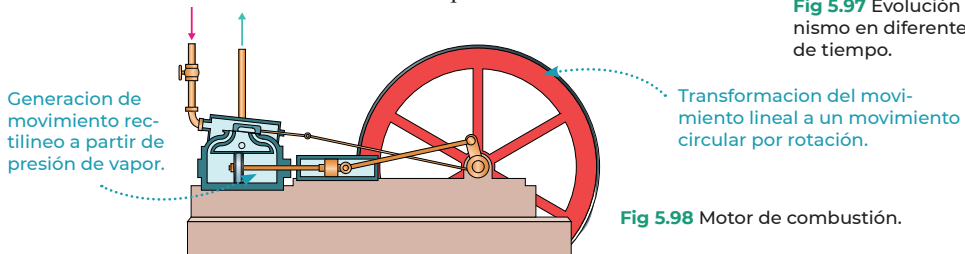


Fig 5.98 Motor de combustión.

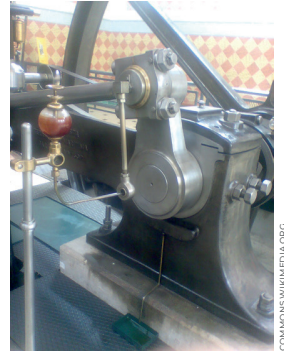


Fig 5.95 Mecanismo de biela-manivela usado en la industria.

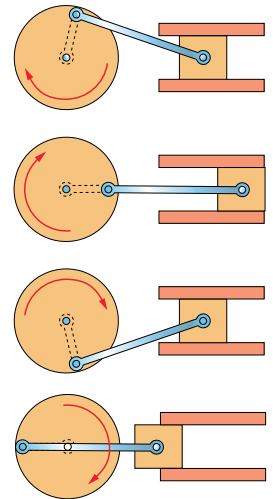


Fig 5.97 Evolución del mecanismo en diferentes instantes de tiempo.

Cigüeñal

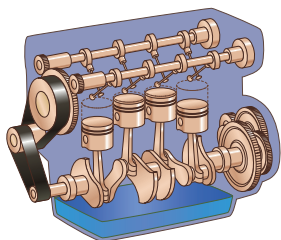


Fig 5.99 Motor de combustión interna.



Fig 5.100 Cigüeñal.



El **pistón** es un componente clave en los motores de combustión interna, donde su movimiento alternativo dentro de un cilindro permite transformar la energía de los gases en expansión en un movimiento útil. A medida que el pistón sube y baja, su desplazamiento se transmite a la biela, que a su vez acciona el cigüeñal, convirtiendo el movimiento lineal en rotación (**Fig 5.102**).



Fig 5.102 Pistón.

Como un ejemplo de aplicación más complejo del mecanismo de biela-manivela está el cigüeñal, un mecanismo compuesto por un conjunto de manivelas dispuestas sobre un mismo eje, donde los codos sirven de punto de conexión para las bielas (Quarks, s. f.). Estas bielas, al moverse, generan un desplazamiento cuyo recorrido equivale al doble del radio del cigüeñal. Para asegurar un funcionamiento preciso, las bielas deben desplazarse sobre guías, manteniendo un movimiento alternativo controlado (**Fig 5.100**).

Este sistema permite la conversión entre movimiento circular y alternativo, siendo un mecanismo reversible. Es decir, si las bielas son el elemento motriz, su movimiento de vaivén genera un giro en el cigüeñal (Autobild, s. f.). Por otro lado, si el cigüeñal es el elemento motriz, transmite un movimiento alternativo a las bielas (**Fig 5.101**).

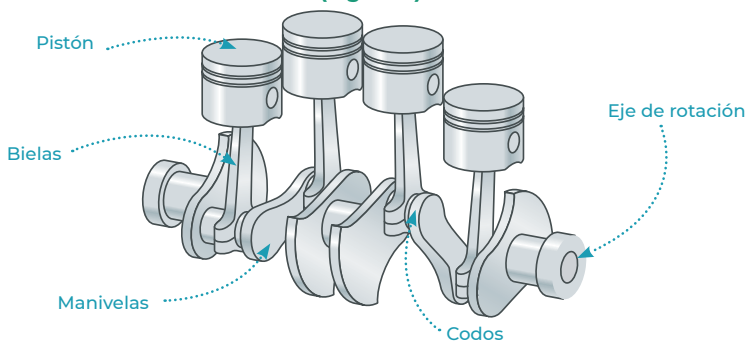


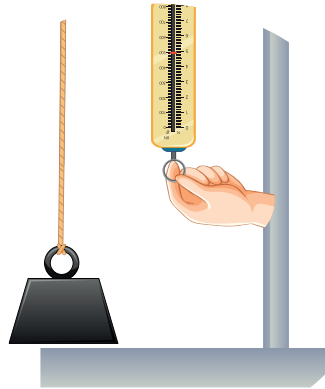
Fig 5.101 Sistema de bielas, con manivelas y pistones.

Una de las aplicaciones más importantes del cigüeñal se encuentra en los motores de combustión interna (**Fig 5.99**), donde se convierte el desplazamiento de los pistones en un movimiento de rotación que impulsa el vehículo. Al conectar varias bielas a un mismo cigüeñal, se logran movimientos alternativos sincronizados, lo que permite el funcionamiento secuencial de los cilindros en los motores de automóviles y motocicletas.

Cada uno de los mecanismos abordados en este capítulo nos permite acercarnos a la comprensión e interpretación de los principios físicos aplicados a dispositivos tecnológicos de tipo mecánico. El propósito es brindar una experiencia más sólida en el manejo de la física desde sus fundamentos. Con esta base, podemos avanzar hacia la práctica a través de actividades de laboratorio. Este será el tema del siguiente capítulo, donde encontrarás la parte experimental que muestra la aplicación de los planteamientos desarrollados a lo largo de los primeros cinco capítulos.

06

Prácticas de laboratorio



Definición de práctica de laboratorio

Una práctica de laboratorio es una actividad experimental realizada en un entorno controlado con el propósito de aplicar, comprobar o profundizar en conocimientos teóricos adquiridos en una disciplina científica. Estas prácticas permiten a los estudiantes o investigadores manipular instrumentos, analizar fenómenos, interpretar datos y desarrollar habilidades técnicas esenciales para su formación.



Aplicar los conceptos teóricos de física a través de prácticas de laboratorio, permitiendo la observación, análisis y comprensión de los fenómenos físicos relacionados con materiales, estructuras, y mecanismos.

En este capítulo pondremos en práctica la física aprendida en los capítulos anteriores. Esta compuesto por seis sesiones de laboratorios prácticos diseñados para que los estudiantes fortalezcan sus habilidades aplicando los conceptos de la física en un entorno experimental. Estas guías de laboratorio articulan experiencias fundamentales, incluyendo normativas, recursos a utilizar, procedimientos, cálculos y un cuestionario de análisis. A través de estas actividades, se podrán reforzar los conocimientos adquiridos sobre materiales, estructuras y mecanismos, consolidando así la integración de la teoría y la práctica en el ámbito tecnológico.

Los laboratorios pueden realizarse tanto en un aula convencional como en un espacio especializado destinado a prácticas de laboratorio. Se recomienda el uso de bata para proteger la ropa y garantizar mayor seguridad durante las actividades. Además, es importante que los estudiantes con cabello largo lo mantengan recogido para evitar accidentes. Estas son las primeras prácticas diseñadas en el ámbito de la *Educación en Tecnología* en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, ofreciendo a los estudiantes una oportunidad para aplicar los conceptos de física en un entorno práctico. Con ello, esperamos que fortalezcan sus conocimientos y puedan llevarlos a la cotidianidad.

6.1 Laboratorio: Densidad de sólidos y líquidos

La **densidad** describe cuánto material hay en un cierto volumen y varía entre sólidos y líquidos según la disposición de sus moléculas. La historia de Arquímedes y la corona del rey ejemplifica este concepto. El rey Hierón II de Siracusa sospechaba que su corona no era de oro puro y pidió a Arquímedes que lo verificara sin dañarla. Mientras se bañaba, Arquímedes notó que al sumergirse, el nivel del agua subía. Esto le dio la idea de medir el volumen de la corona al sumergirla en agua y, con el volumen y la masa, calcular la densidad. Al descubrir que podía comparar la densidad de la corona con la del oro puro, gritó “¡Eureka!” (que significa “¡Lo encontré!”) (**Fig 6.1**) y salió corriendo por las calles de Siracusa, emocionado por su hallazgo, que reveló si la corona había sido adulterada.



Fig 6.1 Arquímedes gritando “Eureka”.

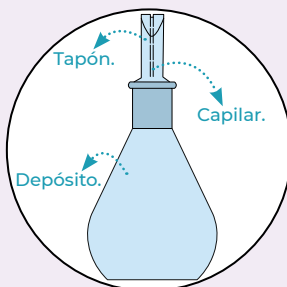


Objetivo

Durante esta práctica de laboratorio demostraremos cómo, mediante el cálculo de la densidad de diferentes líquidos y sólidos irregulares, comprenderemos de manera precisa la naturaleza de una propiedad fundamental de la materia.

Materiales

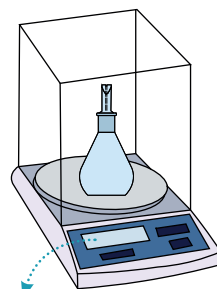
- Termómetro (0 °C a 50 °C).
- Balanza.
- Picnómetro y densímetro.
- Agua, agua salada, alcohol, glicerina y aceite.
- Kit de perdigones (Al, Cu y Fe).
- Probetas.
- Hoja de papel milimetrado.



Procedimiento

Parte I: Densidad de líquidos

- 1 ▶ Mide la masa del picnómetro vacío y tapado usando una balanza. Luego, llena el picnómetro con agua hasta que el capilar rebose, asegurándote de eliminar cualquier burbuja en el interior (**Fig 6.2**). Seca el exceso de agua alrededor del orificio superior y mide nuevamente la masa del picnómetro con agua (picnómetro+agua).
- 2 ▶ Calcula la masa del agua restando la masa del picnómetro vacío (obtenida en el primer paso) de la masa del picnómetro con agua.
- 3 ▶ Mide la temperatura del agua con el termómetro. Usando la



Antes de colocar el picnómetro, asegúrate de tarar la balanza.

Fig 6.2 Masado de un picnómetro vacío.

Sustancia	ρ (kg/m ³)
Agua (20 °C)	998.29
Agua de mar	1020.00
Glicerina	1260.00
Alcohol	987.30
Hierro, acero	7800.00
Cobre	8930.00
Aluminio	2700.00
Bronce	8600.00
Oro	19310.00
Platino	21460.00
Latón	8600.00
Concreto	2000.00
Plata	10500.00

Tabla 6.1 Densidad de algunas sustancias a 1 atm = 101.3 KPa.

Lectura del densímetro sumergido es aproximadamente 1.235 g/cm^3 .

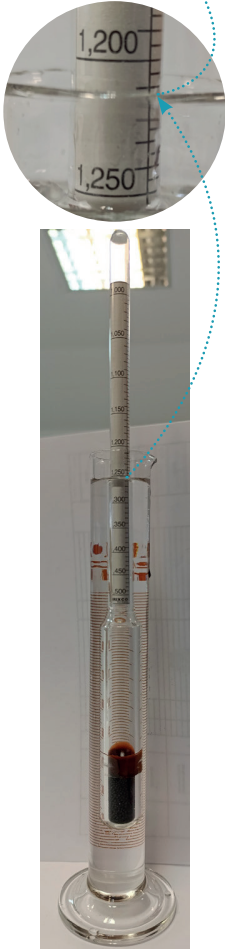


Fig 6.3 Densímetro sumergido en una probeta con glicerina.

masa del agua y la densidad del agua, calcula el volumen del picnómetro.

- 4 ▶ Reemplaza el agua con agua salada, glicerina y alcohol en el picnómetro, y repite los pasos 1 y 2 para calcular la densidad de cada líquido.

Existen equipos como el densímetro de Michelsen para medir la densidad de líquidos. Si lo tienes, sigue los siguientes pasos:

- 5 ▶ Dentro de una probeta con glicerina, vierte el densímetro de Michelsen, hasta que flote, apunta la medida que se observa en la escala del densímetro (Fig 6.3).
- 6 ▶ Repite el procedimiento anterior con los demás líquidos estudiados.
- 7 ▶ Calcula el error porcentual con respecto a los valores teóricos de densidad reportados en la literatura (Fig 6.4).

Parte II: Densidad de sólidos

- 1 ▶ Llena la probeta con una cantidad conocida de agua (por ejemplo, hasta 5 ml) y anota este volumen (V_i).
- 2 ▶ Deposita los perdigones en la probeta con agua y observa cómo sube el nivel del líquido. Anota el nuevo nivel del agua después de sumergir los perdigones (V_f) (Fig 6.5).
- 3 ▶ Calcula el volumen de los perdigones restando el volumen inicial del agua (antes de agregar los perdigones) del volumen final del agua (después de agregar los perdigones) $V = V_f - V_i$.

► **Recopilación de datos:** Aquí podrás registrar los datos que vas tomando de masa y volumen.

Líquidos

Sustancia	Masa del picnómetro vacío (g)	Masa del picnómetro + líquido (g)	Masa del líquido (g)	Volumen del líquido (mL)	Densidad (g/mL)
Agua					
Agua salada					
Glicerina					
Alcohol					

Tabla 6.2 Datos densidad de líquidos.

Sólidos

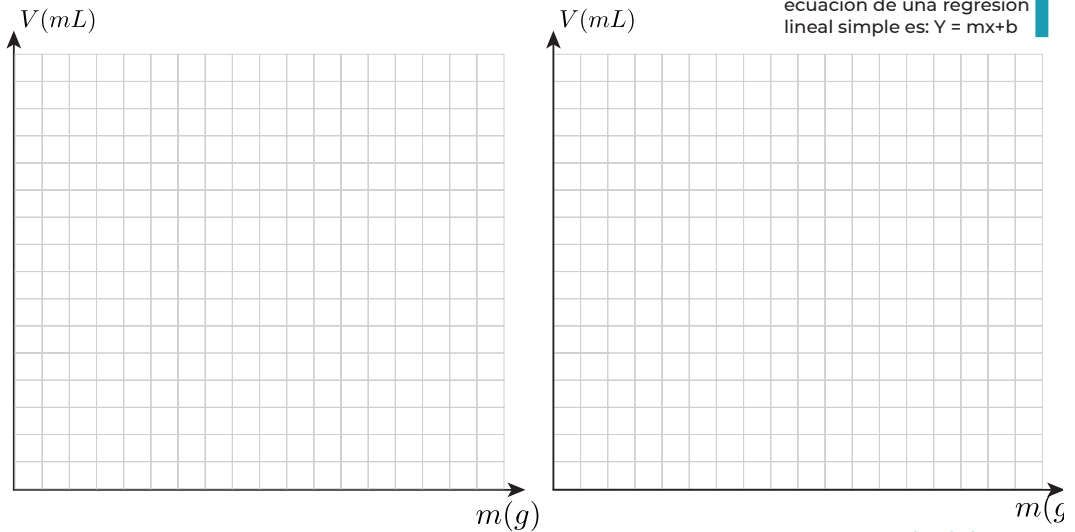
Número de perdigones	Masa de perdigones (g)	Volumen inicial del agua (mL)	Volumen final del agua con perdigones (mL)	Volumen de los perdigones (mL)	Densidad de los perdigones (g/mL)



Tabla 6.3 Datos densidad de sólidos.

► **Análisis de datos**

- 1 ► Grafica el volumen en función de la masa, y utiliza una regresión lineal para determinar la densidad. Luego, compara los resultados obtenidos con los datos de la tabla, calculando el error relativo porcentual.



La regresión lineal es un método estadístico que se usa para modelar la relación entre una variable dependiente (Y) y una o más variables independientes (X). Su objetivo es encontrar la línea recta que mejor se ajuste a los datos y que pueda predecir valores de Y en función de X. La ecuación de una regresión lineal simple es: $Y = mx + b$

- 2 ► Registra las medidas según la escala elegida y traza una línea de mejor ajuste que conecte los puntos.
- 3 ► ¿Las líneas de mejor ajuste para líquidos y sólidos se ajustan a los datos? Sí o no. Si es así, notarás que la pendiente de las gráficas corresponde a la densidad $\rho = m/V$.

Lugar donde la recta corta al eje-y

Valor de la coordenada-x

$y = mx + b$

Pendiente

Valor de la coordenada-y

Valor experimental:
densidad obtenida por el
densímetro o el ajuste.

Error porcentual.

$$\%E = \left(\frac{|V_T - V_E|}{V_T} \right) * 100$$

Valor teórico: densidad
reportada en la literatura.

Fig 6.4 Cálculo error porcentual.

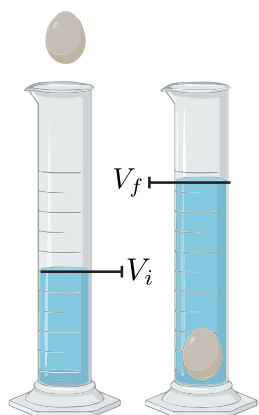


Fig 6.5 Probeta antes y después de poner un sólido.



Cuando mides la masa de un objeto en una balanza, la pantalla de la balanza muestra 50.2 g, pero ¿es este valor 100 % exacto? No del todo.

Si la balanza tiene una precisión de ± 0.1 g, significa que el objeto, en realidad, podría pesar entre 50.1 g y 50.3 g. Esa pequeña variación es la **incertidumbre**.

► Recuerda que para hallar la pendiente de la gráfica, utilizamos la siguiente expresión.

◦ Densidad:

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{m_2 - m_1}{V_2 - V_1}$$

A partir de los datos recopilados y de los gráficos realizados anteriormente, responde las siguientes preguntas para analizar los resultados obtenidos.

► ¿La densidad de una sustancia siempre es la misma o puede cambiar? Explica por qué.

► ¿Por qué los objetos flotan o se hunden en un líquido en función de su densidad?

► ¿Cómo se aplica el concepto de densidad en la industria y la vida cotidiana? Explica.

► Calcula el error porcentual de las densidades obtenidas para los líquidos y sólidos analizados en el experimento. Si uno de los materiales presenta un porcentaje de error mayor que los demás, ¿a qué factores crees que se debe? Explica cómo las incertidumbres en la medición de la masa y volumen pueden afectar el resultado.

6.2 Laboratorio: Formación de imágenes a través de lentes

Una aplicación de la **refracción** es la formación de imágenes. Una forma de generarlas es mediante lentes, que pueden ser *convergentes*, *divergentes* o *planas*. Las lentes son objetos transparentes hechos de vidrio, cristal o plástico. Están formadas por dos superficies, que pueden ser curvas o planas, aunque, en la mayoría de los casos, al menos una de ellas es curva. En el caso de las lentes planas, ambas superficies son rectas.

Una lente óptica puede refractar la luz y formar imágenes. Cuando la luz incide de forma recta sobre una lente, su comportamiento varía según el tipo de lente:

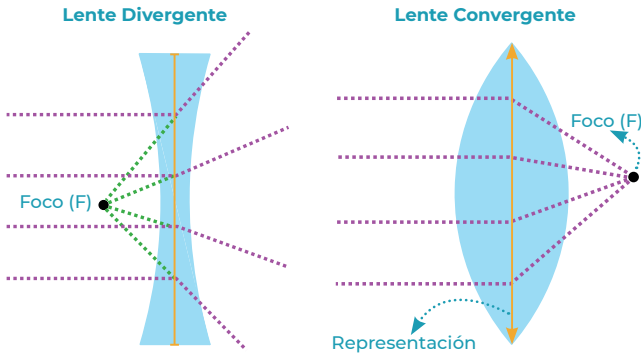


Fig 6.6 Lente divergente y convergente.

- ▶ En una lente divergente, la luz llega en rayos paralelos. Al atravesar la lente, los rayos se separan, es decir, se divergen. Si seguimos sus trayectorias hacia atrás (líneas punteadas verdes), parecen provenir de un punto llamado foco, que se encuentra antes de la lente, en el lado de donde proviene la luz. Esto se debe a que el foco en las lentes divergentes es siempre virtual y está ubicado detrás de la lente, ya que los rayos no convergen realmente en un punto, sino que su extensión imaginaria hacia atrás los hace parecer provenir de un foco.
- ▶ En una lente convergente, la luz llega en rayos paralelos. Al atravesar la lente, los rayos se desvían y se concentran en un punto en común llamado foco, que se encuentra después de la lente. A diferencia de las lentes divergentes, el foco en las lentes convergentes es real, ya que los rayos de luz realmente se cruzan en ese punto. Gracias a esta propiedad, las lentes con-



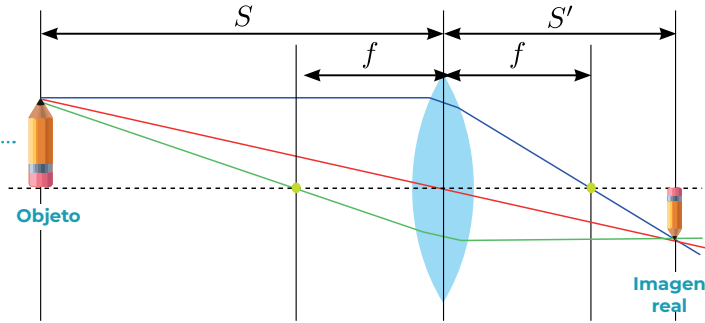
Objetivo

Comprender y analizar cómo se forman las imágenes a través de lentes convergentes y divergentes, identificando las características de las imágenes (posición, tamaño y orientación) según la ubicación del objeto respecto a la lente y a su foco. Además, aplicar la ecuación de la lente delgada para calcular la posición y el tipo de imagen formada.

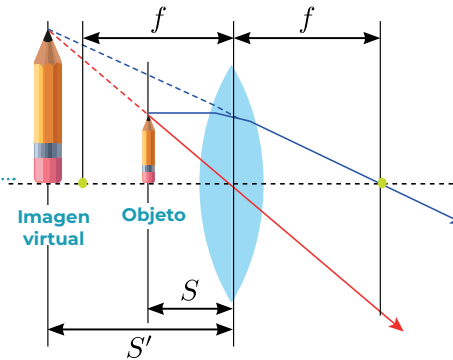
vergentes se usan en lupas, cámaras y telescopios, permitiendo enfocar la luz y formar imágenes nítidas.

Formación de imágenes

Si tomas una lente convergente y la acercas o alejas de una hoja blanca, notarás que, a cierta distancia, aparece una imagen invertida y más pequeña de un lápiz u otro objeto que coloques a lo lejos. Si esta imagen puede proyectarse en la hoja, se llama imagen real. Si no puede proyectarse y solo la ves al mirar a través de la lente, es una imagen virtual.



Si miras un objeto cercano a través de la lente convergente, verás una imagen ampliada y con la misma orientación que el objeto que coloques delante de la lente.

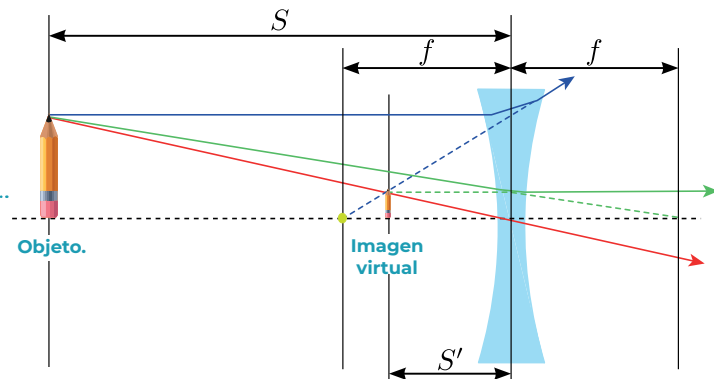


Rayo que incide de forma recta al eje del espejo que pasa por el objeto.

Rayo que pasa por el objeto y el foco.

Rayo que pasa por el objeto y el centro del espejo.

En una lente divergente, no podrás proyectar una imagen sobre el papel. Sin embargo, al mirar a través de ella, verás una imagen derecha y más pequeña que el objeto original.



S = Distancia entre el objeto y el espejo.

S' = Distancia entre la imagen y el espejo.

f = Distancia entre el punto focal y el espejo.

Fig 6.7 Formación de imágenes.

► Materiales

- En esta práctica utilizaremos una plataforma virtual. Ingresa al siguiente enlace: <https://www.educaplus.org/luz/lente2.html>

► Procedimiento

- 1 ► **Elige el tipo de lente:** selecciona si deseas trabajar con una lente convergente o divergente.
- 2 ► **Ajusta los focos (f):** arrastra los puntos focales para modificar la configuración de la lente.
- 3 ► **Configura el lápiz (objeto):**
 - Arrastra la punta del lápiz para modificar su altura y su distancia respecto a la lente.
 - También puedes mover el lápiz completo para acercarlo o alejarlo de la lente, manteniendo la altura constante.
- 4 ► **Opciones de visualización:** selecciona las opciones que te permitan a observar mejor el experimento.
- 5 ► **Activa la regla:** para medir distancias y realizar cálculos, haz clic en 'Ver regla'.
- 6 ► **Relación entre distancias en un espejo:** vas a explorar cómo se relacionan las diferentes distancias en un espejo
Medirás lo siguiente:
 - S : la distancia entre el objeto y el espejo.
 - S' : la distancia entre la imagen formada y el espejo.
 - f : la distancia entre el foco (punto focal) y el espejo.
- 7 ► **Herramientas para cálculos:** apóyate en las siguientes ecuaciones para realizar los cálculos:

Ecuación de los lentes delgados y espejos esféricos

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$$

Te permite calcular dónde se va a formar la imagen cuando conoces la posición del objeto y la distancia focal de la lente o del espejo.

Ecuación del aumento o magnificación

$$T = -\frac{S'}{S}$$

Indica qué tan grande o pequeña es la imagen en comparación con el objeto.

- Si el resultado es negativo, la imagen se encuentra invertida.
- Si el valor es mayor que 1, la imagen se encuentra más grande que el objeto.

- Si es positivo, la imagen es derecha.
- Si el valor es menor que 1, la imagen es más pequeña que el objeto.

► Convención de signos utilizada en óptica para interpretar los valores de las variables relacionadas con las lentes.

Parámetros	Significado
$f > 0$	Lente convergente (como una lupa)
$f < 0$	Lente divergente (como las de las gafas para miopía)
$S > 0$	El objeto esta delante de la lente (en el lado de donde viene la luz)
$S < 0$	El objeto estaría detrás de la lente, lo que es poco común
$S' > 0$	La imagen es real y se forma detrás de la lente (puedes proyectarla en una pantalla).
$S' < 0$	La imagen es virtual, se forma delante de la lente (no se puede proyectar, pero la ves al mirar a través de la lente).

Tabla 6.4 Convención de signos para lentes.

► **Recopilación de datos**

1 ► Selecciona la lente convergente (o divergente) y marca las opciones para mostrar el rayo paralelo, el rayo central y el rayo que pasa a través del foco. Luego, coloca el lápiz en el punto -30 y el foco en -15. Realiza las acciones que se indican en la **Tabla 6.5** y observa cómo cambia la imagen que se forma a la derecha de la lente. Después de cada acción, recuerda volver a colocar el lápiz en -30 y el foco en -15 antes de continuar.

Acción	Efecto en la imagen
Mover el lápiz a la izquierda.	
Mover el lápiz a la derecha.	
Mover el foco de la derecha a la izquierda.	
Mover el foco de la izquierda a la derecha.	

Tabla 6.5 Descripción de formación de imágenes.

2 ► Usa la regla para medir la distancia S' en cada caso, según los valores de S y f que te indican. En las tres últimas filas de la

Tabla 6.6. elige tú los valores de S y f y completa las mediciones. Utiliza la lente convergente y divergente.

S	f	S'	$\frac{1}{S}$	$\frac{1}{S'}$	$\frac{1}{f}$
5					
10					

Tabla 6.6 Datos ecuación de la lente delgada.

► Análisis de datos

Formación de imágenes

- 1 ► ¿Cómo cambia el tamaño de la imagen según la distancia que hay entre el lápiz y el foco?
- 2 ► Coloca el lápiz en el punto -10 y el foco en -20. Acorta el lápiz para que puedas ver la imagen completa sin que se salga de la pantalla. Observa qué ocurre cuando el lápiz se encuentra entre el foco y la lente. ¿Cómo es la imagen que se forma?
- 3 ► ¿Qué sucede con la imagen cuando el objeto se encuentra más lejos del doble de la distancia focal ($2f$)?
- 4 ► ¿Qué diferencias notaste entre los resultados obtenidos con lentes convergentes y divergentes en tus mediciones?

Ecuación de la lente delgada

- 5 ► Coloca el lápiz en el punto -10 y el foco en -20. Acorta el lápiz para que puedas ver la imagen completa sin que se salga de la pantalla. Observa qué ocurre cuando el lápiz se encuentra entre el foco y la lente. ¿Cómo es la imagen que se forma?
- 6 ► Coloca el lápiz en el punto -10 y el foco en -20. Acorta el lápiz para que puedas ver la imagen completa sin que se salga de la pantalla. Observa qué ocurre cuando el lápiz se encuentra entre el foco y la lente. ¿Cómo es la imagen que se forma?
- 7 ► Grafica $1/S$ vs $1/S'$ y determina si la relación es lineal. De ser así, ¿qué se puede calcular a partir de la pendiente y la intersección?

6.3 Laboratorio: Ley de Hooke

La **Ley de Hooke** explica la relación entre la fuerza ejercida sobre un resorte el estiramiento de la cadena, y la constante de resorte del resorte. Los resortes son muy especiales porque tienen una fuerza de recuperación, lo que significa que cuando se aplica una fuerza sobre ellos, ejercen una fuerza opuesta para restaurar su forma original.

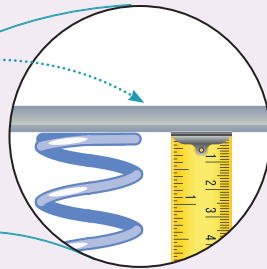


Objetivo

Durante esta práctica de laboratorio, se demostrará la ley de Hooke y se encontrará el valor para la constante de dos resortes.

Materiales

- Soporte universal.
- Abrazaderas.
- Regla o cinta métrica.
- 2 resortes.
- Conjunto de pesas de 5 piezas.



Ajusta bien el cero de tu regla o instrumento de medición justo donde inicie el resorte.

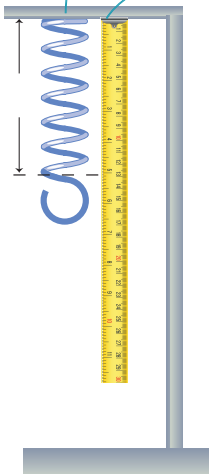


Fig 6.8 Resorte con longitud inicial sin masa colgando.

Recuerda que el peso lo calculas multiplicando la masa por la constante de gravedad, puedes tomar este dato como:

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

Para cada uno de los dos resortes:

- 1 ▶ Coloca el resorte colgado al soporte y que un miembro de tu grupo mantenga la marca 0 de una regla hasta el extremo del resorte (por lo general con un gancho o una abrazadera) (**Fig 6.8**).
- 2 ▶ Para cada una de las 5 o 6 pesas: Fija la pesa al final del resorte, mide el alargamiento del resorte, y registra esta medición en la tabla proporcionada. (Advertencia: Colocar dos pesas al mismo tiempo en un resorte puede dañarlo permanentemente, es mejor que añadas solo de una pesa a la vez) (**Fig 6.9**).

► **Recopilación de datos** Aquí podrás poner los datos que vas tomando para diferentes masas.

Datos resorte 1

Masa (kg)	Peso (N)	Estiramiento (m)

Datos resorte 2

Masa (kg)	Peso (N)	Estiramiento (m)

► Análisis de datos

- 1 ► Traza la gráfica de fuerza aplicada, $\vec{F}$. Esta fuerza es el peso total de las pesas m colgando del resorte. La fuerza se grafica en el eje y versus el estiramiento, x (m), en el eje x .

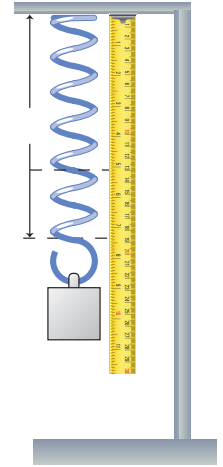
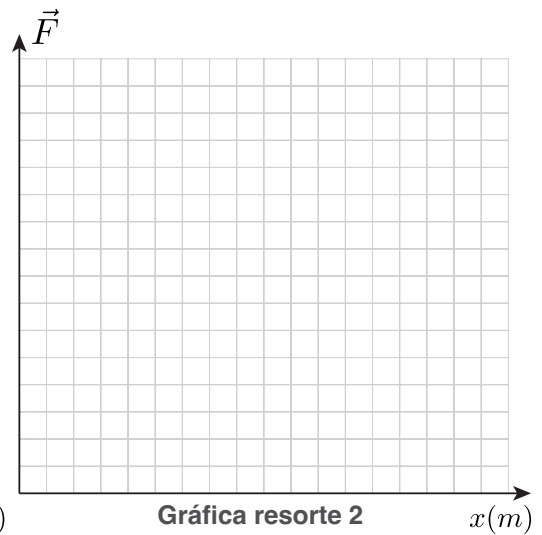
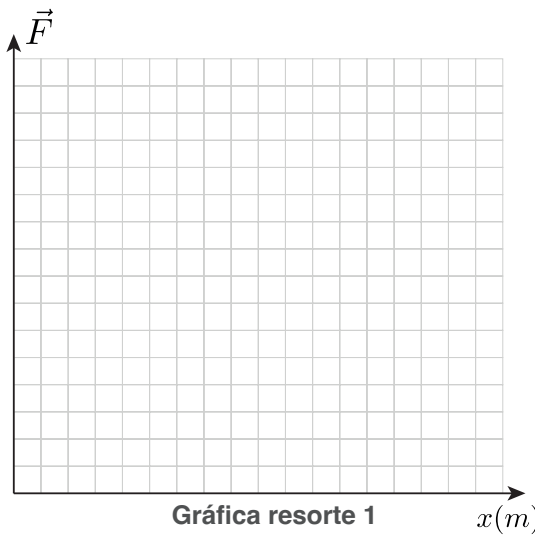


Fig 6.9 Resorte con longitud final con masa colgando.



- 2 ► Coloca las medidas según la escala de tu elección. Dibuja una línea de mejor ajuste uniendo los puntos.
- 3 ► ¿Las líneas de mejor ajuste se aproximan a los datos? Sí o no. Si es así, entonces establece la ley de Hooke $F = k \cdot \Delta x$.

Recuerda realizar las conversiones de unidades de longitud para poder graficar.

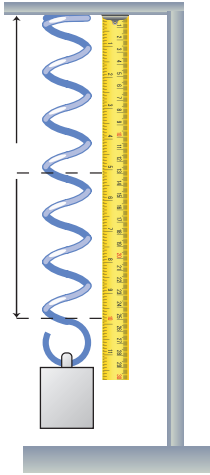


Fig 6.10 Resorte con longitud final con masa mayor colgando.

- 4 ▶ Utiliza la pendiente de la gráfica para encontrar la constante de resorte.
- ▶ Recuerda que para hallar la pendiente de la gráfica, utilizamos la siguiente expresión.

- Resorte 1:

$$k = \frac{\Delta F}{\Delta x} = \frac{F_2 - F_1}{x_2 - x_1}$$

- Resorte 2:

$$k = \frac{\Delta F}{\Delta x} = \frac{F_2 - F_1}{x_2 - x_1}$$

► Aplicación

- 5 ▶ Utiliza el valor de k que has encontrado para el resorte 1 para predecir su estiramiento del resorte 1 colocando dos pesas que no se han utilizado en mediciones anteriores.

► Ejercicios propuestos

A continuación tendrás algunos ejercicios para que aplique lo aprendido sobre la ley de Hooke.

- 1 ▶ El resorte se estira 0.02 m cuando se cuelga una pesa de 100 g. ¿Cuánto será el estiramiento del resorte cuando se le coloca una pesa de 500 g?
- 2 ▶ Un resorte tiene una constante de 100 N / m. ¿Cuál sería el estiramiento del resorte si se le aplicara una fuerza de 4 N?

6.4 Laboratorio: Identificación de fuerzas

Las **fuerzas** o **cargas** (en el contexto de las estructuras) se representan mediante vectores, los cuales indican su magnitud, dirección y sentido. Es posible analizar distintos sistemas cotidianos, como máquinas simples, mesas con objetos sobre ellas, poleas en equilibrio o en movimiento, entre otros. En cada uno de estos casos, las fuerzas que actúan pueden representarse gráficamente mediante diagramas de fuerzas o **diagramas de cuerpo libre**. Estos diagramas permiten visualizar e interpretar cómo interactúan las fuerzas en diferentes situaciones físicas, facilitando el análisis del equilibrio o el movimiento del objeto.

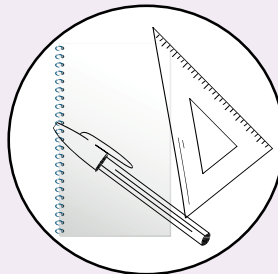


► Objetivo

El objetivo de esta práctica es representar, mediante diagramas de cuerpo libre, las fuerzas que actúan en distintos sistemas físicos, identificando su dirección y magnitud relativa en diferentes contextos. A través de este análisis, se busca comprender cómo estas fuerzas influyen en el movimiento o equilibrio de los cuerpos.

► Materiales

- Hojas blancas.
- Lápices o bolígrafos de diferentes colores.
- Regla.
- Imágenes de situaciones.



► Procedimiento

- 1 ► **Identifica el objeto de interés:** Se trata del objeto cuyo movimiento deseas estudiar, como un bloque de queso en reposo sobre una rampa, donde actúen fuerzas.
- 2 ► **Haz el dibujo de la situación:** Señala el objeto principal y todos los elementos que lo tocan, como cuerdas, resortes, superficies y planos inclinados (rampas) (Fig 6.11).
- 3 ► **Encierra el objeto que quieres destacar con un círculo u otra línea cerrada:** Solo ese objeto debe quedar dentro; todo lo demás debe quedar afuera (Fig 6.12).
- 4 ► **Encuentra cada lugar en el borde de la curva donde otros objetos tocan al objeto principal:** Esos puntos son donde se aplican fuerzas sobre el objeto (Fig 6.12).
- 5 ► **Nombra y etiqueta todas las fuerzas de contacto que actúan sobre el objeto:** Dibuja un sistema de coordenadas y marca las

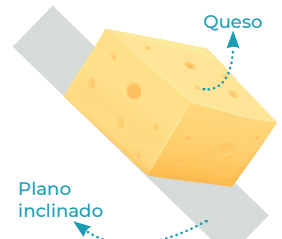
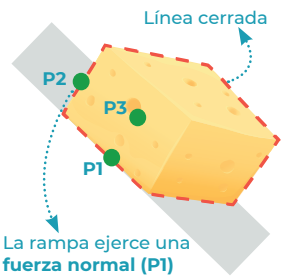


Fig 6.11 Bloque de queso sobre una rampa.



La rampa ejerce una **fuerza normal (P1)** y **fricción (P2)** sobre el bloque de queso, mientras que el **peso (P3)** actúa en su centro de masa debido a la gravedad.

Fig 6.12 Identificación de puntos donde actúan fuerzas.

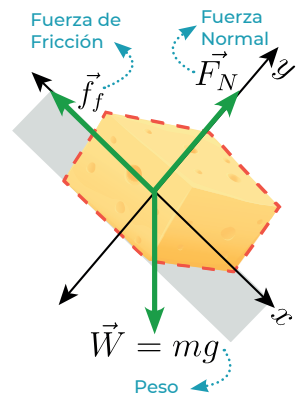


Fig 6.13 Fuerzas que actúan sobre el sistema

Fuerza	Notación
Fuerza general	$\vec{F}$
Fuerza normal	$\vec{F}_N$
Peso	$\vec{W}$
Fuerza de resorte	$\vec{F}_{sp}$
Tensión	$\vec{T}$
Fuerza de fricción	$\vec{f}_f$
Fricción estática	$\vec{f}_s$
Fricción cinética	$\vec{f}_k$
Arrastre	$\vec{D}$
Empuje	$\vec{E}$

Tabla 6.9 Fuerzas comunes y su notación.

las direcciones positivas, alineando los ejes con la inclinación si el objeto no está en posición horizontal. Representa cada fuerza con flechas en los puntos de contacto, indicando correctamente su dirección y sentido (**Fig 6.13**). En cada punto de contacto hay al menos una fuerza, y, en algunos casos, puede haber más de una. Usa subíndices si es necesario para diferenciar fuerzas del mismo tipo. Considera todas las fuerzas presentes y guíate por la **Tabla 6.9**.

6 ▶ Dibuja el diagrama de cuerpo libre para cada sistema: Representa el sistema como un punto y dibuja los vectores de las fuerzas que actúan sobre él, indicando claramente su dirección y sentido (**Fig 6.14**).

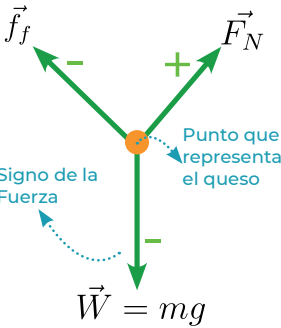


Fig 6.14 Diagrama de cuerpo libre.

Q Ejercicio 6.1

Fuerzas en un ascensor

Un ascensor, suspendido por un cable, acelera a medida que sube desde la planta baja. Dibuja un diagrama de cuerpo libre del ascensor.

▶ **1. Estrategia:** Observamos que el ascensor se mueve hacia arriba y que su velocidad aumenta. Eso significa que la aceleración se dirige hacia arriba, por lo que $\vec{F}_{net}$ también debe dirigirse hacia arriba.

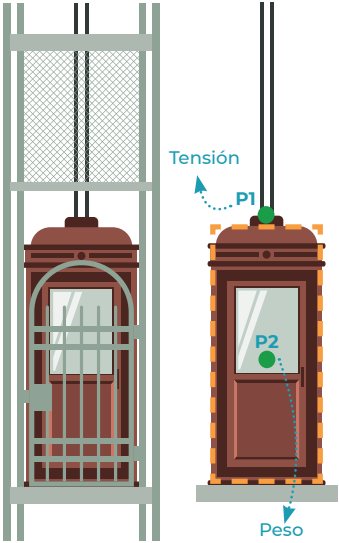


Fig 6.15 Identificación de todas las fuerzas que actúan sobre el objeto.

La fuerza neta $\vec{F}_{net}$ es la suma de todas las fuerzas que actúan sobre un objeto. Es la responsable de cambiar su movimiento, según la segunda ley de Newton $\vec{F}_{net} = m\vec{a}$.

- **2. Preparación:** En la Fig 6.16 se ilustran los pasos del procedimiento. Como la fuerza neta apunta hacia arriba, la tensión debe ser mayor que el peso que actúa hacia abajo.

Si ambas fuerzas fueran iguales, el ascensor no aceleraría. Pero, como sube cada vez más rápido, la tensión debe superar al peso. Esto se representa en el diagrama de cuerpo libre con un vector de tensión más largo que el del peso, mostrando que la fuerza hacia arriba es mayor.

- **3. Evaluación:** Miremos la Fig 6.17 y comprobemos si tiene sentido. Los ejes de coordenadas incluyen un eje vertical y , que es el adecuado para representar el movimiento del ascensor. Además, la tensión se ha dibujado más larga que el peso, lo que indica una $\vec{F}_{net}$ hacia arriba y, por lo tanto, una aceleración en esa dirección. ¡Todo concuerda!

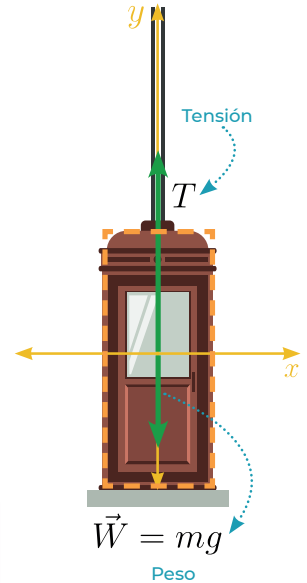


Fig 6.16 Identificación de todas las fuerzas que actúan en el objeto.

► ¡Ahora es tu turno!

Para cada una de las siguientes situaciones, identifica las fuerzas involucradas.

- 1 ► Una niña se balancea en una cuerda. Identifica las fuerzas que actúan sobre ella en la parte superior de su balanceo.
- 2 ► Estás explorando una cueva. De pie en una caverna baja, te estabilizas impulsándote hacia arriba sobre el techo de roca. Identifica las fuerzas que actúan sobre ti.
- 3 ► Un jugador de béisbol se desliza hacia la segunda base. Identifica las fuerzas que actúan sobre él.
- 4 ► Un avión a turbina acelera por la pista durante el despegue. La resistencia del aire no es despreciable. Identifica las fuerzas que actúan sobre él.
- 5 ► Un esquiador se desliza por una pendiente de 15° . La fricción tiene un efecto importante y no se puede ignorar. Identifica las fuerzas que actúan sobre él.
- 6 ► Un halcón está suspendido sobre el suelo. De repente, retrae sus alas y comienza a caer. La resistencia del aire no es despreciable. Identifica las fuerzas que actúan sobre él.
- 7 ► Un dron se encuentra flotando en el aire. De repente, sus hélices dejan de girar y comienza a caer. La resistencia del aire debe tenerse en cuenta. Identifica las fuerzas que actúan sobre él.

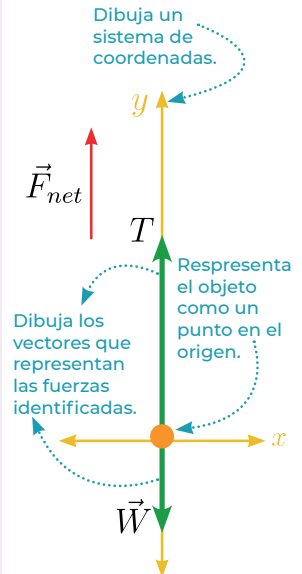


Fig 6.17 Diagrama de cuerpo libre.

6.5 Laboratorio: Trabajando con poleas

Las **poleas** son dispositivos que permiten cambiar la dirección de una fuerza y, en algunos casos, multiplicar su intensidad. Al estar compuestas por ruedas y cuerdas, las poleas fijas y móviles son herramientas que logran reducir el esfuerzo al mover objetos pesados, haciendo más fácil tareas como levantar cargas o moverlas a largas distancias.

Objetivo

Explorar cómo funcionan las poleas en diferentes configuraciones, permitiendo una comprensión práctica de sus principios y aplicaciones.

Materiales

- 2 poleas simples.
- 2 poleas móviles.
- Soporte universal.
- Dinamómetro.
- Cinta métrica.
- Pesa de 0.5 kg.

Procedimiento

1 ▶ Cuelga la pesa directamente al dinamómetro para determinar y corroborar su peso (**Fig 6.18**).

2 ▶ Posiciona la polea fija al soporte universal. Luego, coloca el peso a un extremo de la cuerda pasando por la polea y con el otro extremo atado al dinamómetro. Con el dinamómetro quieto mide la fuerza que tienes que realizar para mantener la pesa colgando de forma estable. Guíate por el montaje de la **Fig 6.19**.

3 ▶ Hala el dinamómetro hacia abajo de forma suave y con velocidad constante haciendo que la pesa se mueva de forma vertical hasta que la pesa se encuentre a una distancia de la superficie de 15 cm. Mide el desplazamiento que se movió el dinamómetro y registra los datos en la **Tabla 6.10 (Fig 6.20)**.

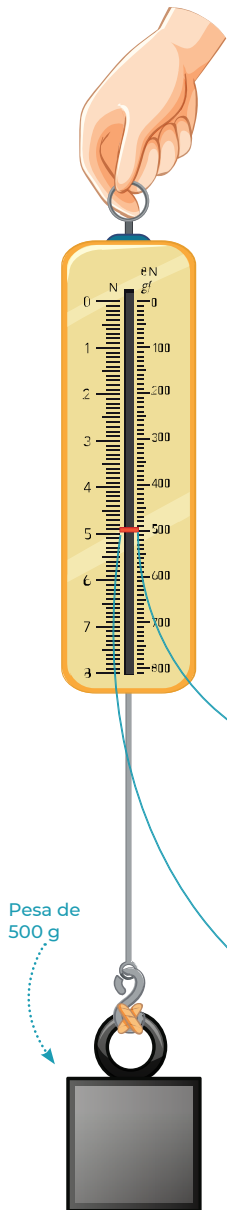
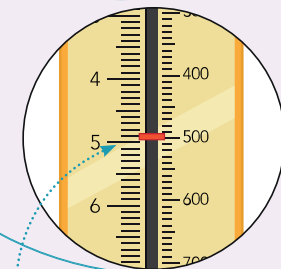
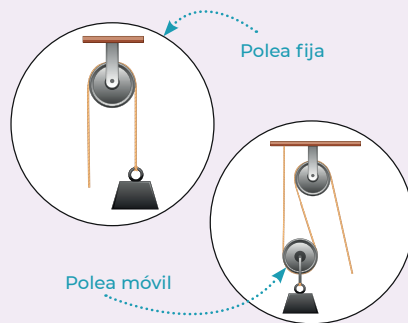


Fig 6.18 Cuelga la pesa al dinamómetro y determina su peso.



Determinación del peso de la pesa en N.

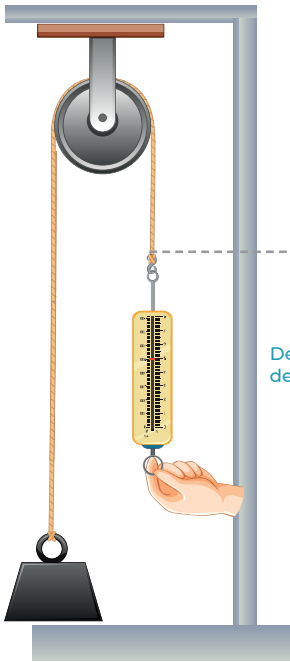


Fig 6.19 Medición de la fuerza por medio de la polea fija.

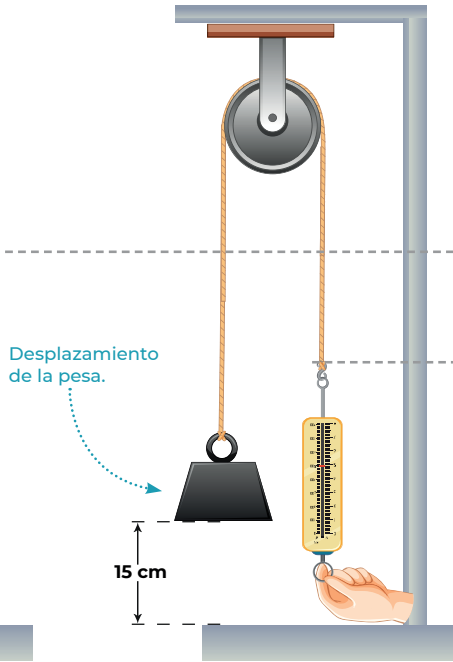


Fig 6.20 Medición del desplazamiento del dinamómetro al levantar la pesa.

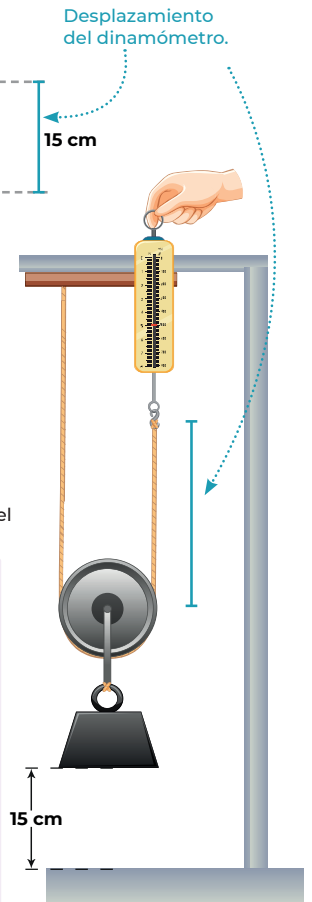


Fig 6.21 Medición del desplazamiento del dinamómetro al levantar la pesa.

- 4 ▶ Ahora fija un extremo de la cuerda al soporte universal, coloca la polea en medio de la cuerda y en el otro extremo hala el dinamómetro con velocidad constante. Mide la fuerza que debes aplicar para levantar la pesa a una altura de 15 cm y la distancia que debes mover el dinamómetro hacia arriba (**Fig 6.21**). Registra los datos en la **Tabla 6.10**.
- 5 ▶ Arma los montajes de sistemas de poleas de las figuras **Fig 6.22** y **Fig 6.23**. Mide la fuerza que debes realizar en cada caso para levantar la pesa una distancia de 15 cm con velocidad constante. Mide la distancia que debes desplazar el dinamómetro. Registra los datos en la **Tabla 6.10**.

	Fuerza medida por el dinamómetro.	Distancia desplazada del dinamómetro.
S1 - Polea fija.		
S2 - Polea móvil.		
S3 - Polea fija y móvil.		
S4 - Polea doble fija y doble móvil.		

Tabla 6.10 Tabla para consignación de datos medidos.

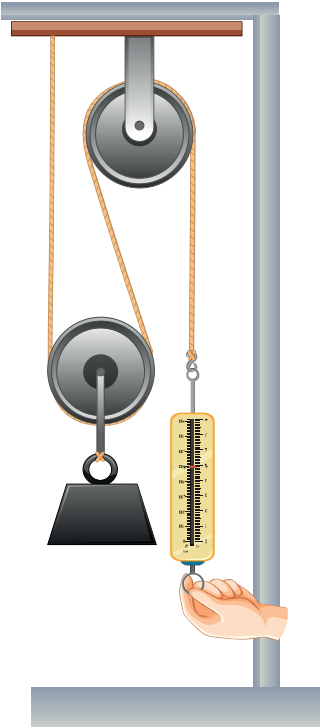


Fig 6.22 Medición de la fuerza y desplazamiento por medio de la polea fija y móvil.

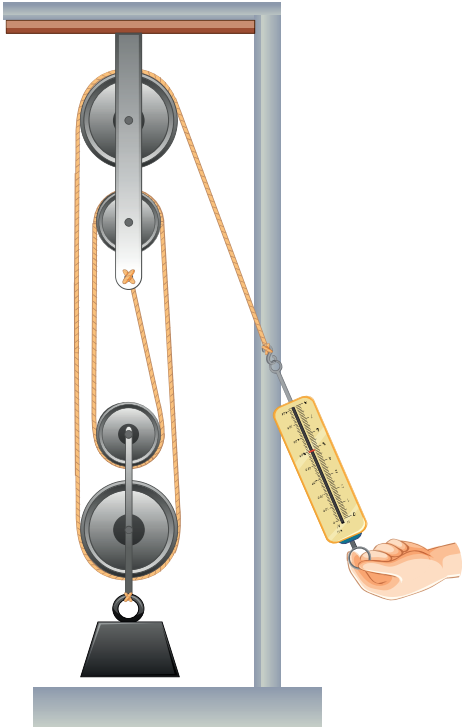
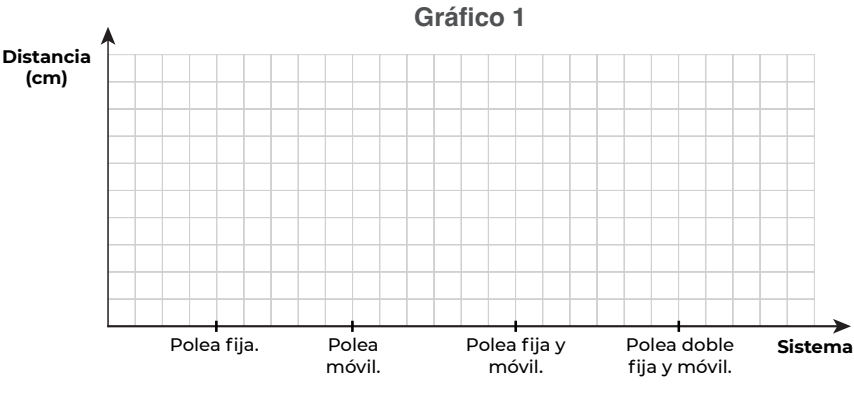


Fig 6.23 Medición de fuerza y desplazamiento del dinamómetro en sistema de poleas doble móvil y fija.

6 ▶ Realiza la comparación de la distancia que se mueve el dinamómetro en cada caso para subir la pesa 15 cm verticalmente. Ubica los puntos en el siguiente gráfico y únelos con segmentos de línea rectos.



► Análisis de datos

1 ► A partir de los datos de la **Tabla 6.10** y del gráfico realizado anteriormente. Responde las siguientes preguntas para realizar un análisis de los resultados que se obtuvieron.

- ¿Las poleas nos ahorran esfuerzo? ¿En cuáles sí o en cuáles no? Propón ejemplos.

- ¿Para qué es útil la polea de la **Fig 6.19** si no disminuye la fuerza que se requiere para levantar la pesa?

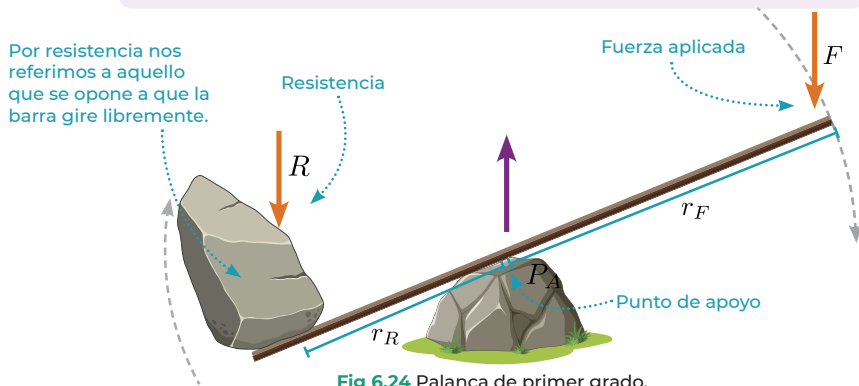
- ¿Qué sistema de poleas usarías para levantar el doble de tu peso? Explica.

- Explica cuál es la ventaja de usar las poleas en cada caso. Comenta los resultados obtenidos.

6.6 Laboratorio: La palanca

La **palanca** es una máquina simple que consiste en una barra rígida que puede girar alrededor de un punto de apoyo. Existen diferentes tipos de palancas:

- **Palanca de primer grado:** el punto de apoyo se encuentra ubicado entre la resistencia y el punto de aplicación de la fuerza (**Fig 6.24**). F es la fuerza que se debe aplicar para vencer otra fuerza llamada resistencia $-R$. Ejemplos de este tipo de palanca son las tijeras, el alicate y el sube y baja, que hemos visto en el capítulo 5.
- **Palanca de segundo grado:** la resistencia se encuentra ubicada entre el punto de apoyo y la fuerza aplicada. Ejemplos de este tipo son la carretilla y las pinzas rompe nueces.
- **Palanca de tercer grado:** La fuerza aplicada se encuentra ubicada entre el punto de apoyo y la resistencia. Ejemplos de este tipo de palanca son las cañas de pescar, la escoba, el brazo humano y la pala.



Objetivo

Aplicar la condición de equilibrio en distintos tipos de palancas a través de diversas situaciones, para deducir una expresión matemática que relacione la potencia con los demás elementos de la palanca y comprobar su validez en diferentes situaciones.

Materiales

- En esta práctica utilizaremos una plataforma virtual. Ingresa al siguiente enlace: https://phet.colorado.edu/sims/html/balancing-act/latest/balancing-act_all.html?locale=es

► Procedimiento

1 ► Configurar la palanca

- Accede al simulador PhET en la opción "Laboratorio de equilibrio".
- Coloca una carga en el extremo izquierdo de la palanca.

2 ► Seleccionar la fuerza aplicada

- En la parte derecha del simulador, observa el cuadro con diferentes cargas (ladrillos, personas y objetos misteriosos).
- Elige una persona como fuerza aplicada.
- Coloca la persona en algún punto del lado derecho de la palanca de tal manera que logres levantar la carga y la palanca quede horizontal (**Fig 6.25**).

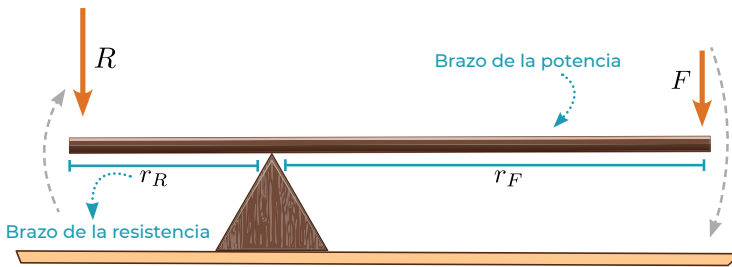


Fig 6.25 Posición de equilibrio en la palanca.

3 ► Medir distancias

- Activa la regla en la cajita de posición para medir:
 - Distancia de la carga (R) al punto de giro $\rightarrow r_R$.
 - Distancia de la fuerza aplicada (F) al punto de giro $\rightarrow r_F$.
- Anota estos datos en la **Tabla 6.11**.

4 ► Repetir con diferentes cargas

- Cambia la carga por una de diferente peso.
- Modifica el punto de aplicación de la fuerza aplicada en el lado derecho.
- Mide y anota nuevamente los valores en la tabla.

5 ► Aplicar la Ley de la Palanca

- Verifica si se cumple la ecuación:

$$R \cdot r_R = F \cdot r_F$$

Realiza los cálculos para cada experimento y compara los valores obtenidos.

Nº	r_R	r_P	R	F	F_{Teo}

Tabla 6.11 Datos distancias.

► **Análisis de datos**

- 1 ► ¿Cómo afecta la distancia al punto de giro en el equilibrio de la palanca?
- 2 ► ¿Qué sucede si la carga es mayor o menor?
- 3 ► ¿Cómo puedes prever dónde colocar la fuerza aplicada para lograr el equilibrio?
- 4 ► ¿Se cumple la ecuación $R \cdot r_R = F \cdot r_F$ con los datos obtenidos?
- 5 ► ¿Qué sucede si aplicas la fuerza en un punto más alejado del punto de apoyo? ¿Necesitas más o menos fuerza?
- 6 ► ¿Cómo cambiarían los resultados si la palanca fuera de segundo o tercer grado?
- 7 ► ¿Podrías predecir la ubicación ideal para la fuerza antes de realizar los cálculos? ¿Cómo?
- 8 ► ¿Podrías predecir la ubicación ideal para el punto de apoyo antes de realizar los cálculos? ¿Cómo?

Referencias

- Abellán Nebot, J. V., Vila Pastor, J. C. (2023). Deformación plástica volumétrica: Fundamentos teóricos y ejercicios resueltos. Marcombo.
- Actividades tecnología 902. (2013, 18 de febrero). Objetivo: *Identificar y resolver problemas técnicos relacionados con la transmisión del movimiento*. http://actividadestecnologia902.blogspot.com/2013/02/objetivo-identificar-y-resolver_18.html
- Álvarez G., J. L. (2009). El principio de la inercia. *Ciencias*, (067). Recuperado a partir de <https://revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/11844>
- Alonso, M., & Finn, E. J. (2018). *Física: Um curso universitário – mecânica (Vol. 1)*. Editora Blucher.
- Andrade, F. A. (1987). *El desarrollo de la tecnología: la aportación de la física*. Fondo de Cultura Económica.
- Aprendemos Tecnología. (2008, 28 de agosto). *Sistema simple de poleas con correa*. <https://aprendemostecnologia.org/2008/08/28/sistema-simple-de-poleas-con-correa/>
- Araújo, F. B. D. L., & Barbieri, P. F. (2024). Iniciação ao método científico com ensaios de determinação de coeficientes de atrito. In *Física: Contextualizando a educação e a prática pedagógica – Volume 1* (pp. 86-99). Editora Científica Digital.
- Área Tecnología. (s.f.). Propiedades de los materiales. <https://www.area-tecnologia.com/TUTORIALES/PROPIEDADES%20DE%20LOS%20MATERIALES.htm>
- Arrayás Chazeta, M., & Uriarte González, C. (2024). Guía de estudio de la asignatura Física Aplicada a Estructuras e Instalaciones. Universidad Rey Juan Carlos. URI: <https://hdl.handle.net/10115/39572>
- Autobild. (s.f.). *Mecánica básica: Cómo funciona la caja de cambios*. <https://www.autobild.es/practicos/mecanica-basica-como-funciona-caja-cambios-287971>

- Avendaño Abarca, V. H. (2019). *Influencia de la intensidad y calidad de luz en el crecimiento y propiedades antioxidantes en cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) bajo sistema fábrica de plantas* Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Azeheb. (s.f.). *La física de las poleas*. <https://es.azeheb.com/blog/la-fisica-de-las-poleas/>
- Ballesteros, M. N. S. (2009). *Tecnología de proceso y transformación de materiales*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Bao, L., & Fritchman, J. C. (2021). Knowledge integration in student learning of Newton's third law: Addressing the action-reaction language and the implied causality. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 020116. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020116>
- Belmonte, P. M. (2024). El sonido del aprendizaje: análisis acústico del IES Floridablanca. *REIF: revista de educación, innovación y formación*, (11), 173-197.
- Bhattacharjee, M., & Bandyopadhyay, D. (2024). Overview on Nanomaterial Based Sensors for Environmental and Healthcare Applications. In *Nanotechnology in Miniaturization* (pp. 51-63). Springer, Cham.
- Bocangelino Letona, A. P., & Camilla Huaman, E. M. (2024). Efecto de la soldadura multipasadas en la composición química del depósito de soldadura en la soldabilidad del acero *ASTM A36 por el proceso SMAW* (Investigación Tecnológica).
- Brooks, C. N. (2002). *Architectural Acoustics*. McFarland & Company.
- Buck, W., & Rudtsch, S. (2011). Thermal properties. *Springer handbook of metrology and testing*, (pp. 453-483). Springer.
- Castro, A. A. R., Zárate, B. A. M., & Orjuela, A. M. B. (2024). La sostenibilidad y el desarrollo de la soldadura en el futuro: un análisis bibliométrico y revisión sistemática de literatura desde Scopus y Web of Science 2013-2023. *Documentos de Trabajo ECACEN*, (1), 14-27.
- Cedenilla M. & Cedenilla M. (2017). Lastres García Henar y Morales Caudel Rafael. *Tecnología y digitalización*. España: McGraw Hill.

- Cervera Ruiz, M., & Blanco Díaz, E. I. (2002). Mecánica de estructuras. In Mecánica de estructuras. <https://doi.org/10.5821/ebook-9788498802139>
- Chalmers, A. F. (2023). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia? siglo XXI*.
- Chang Nieto, G., & Pérez Avendaño, D. (2015). *Guías de laboratorio de resistencia de materiales*. Editorial Unimagdalena.
- Coey, J. M. (2010). *Magnetism and magnetic materials*. Cambridge University Press.
- Couso, D., Hernández, M. I., & Pintó, R. (2009). Las propiedades acústicas de los materiales. Una propuesta didáctica de modelización e indagación sobre ciencia de materiales. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 59, 66-78.
- Crawford, J. (2012). *Ondas* (Berkeley Physics Course). Reverté.
- D. LLamosa Pérez, I. Puentes, G.M. Romero, I.M. Saavedra Gaona, C.A. Parra Vargas, & R. J. Rincón, (2024). Synthesis of superparamagnetic iron oxide nanoparticles coated with polyethylene glycol as potential drug carriers for cancer treatment. *Journal of Nanoparticle Research*, 26(1), 2.
- De la Fuente, J. M. M. (2013). *Las vibraciones de la música*. Editorial Club Universitario.
- Deiana, C., Granados, D., & Sardella, M. F. (2018). El método científico. Obtenido de *Introducción a la ingeniería*: <http://www.fi.unsj.edu.ar/ asignaturas/introing/MetodoCientifico.pdf>.
- Ding, Y., Wang, C., Zeng, M., & Fu, L. (2025). Atomic manufacturing of advanced nanomaterials. *Advanced Materials*, 37(31), 2306689.
- EducaMadrid. (s.f.). *Elementos de máquinas y mecanismos*. https://www.educa2.madrid.org/web/tecnologia-industrial-i/mecanismos/-/book/elementos-de-maquinas-mecanismos?_book_viewer_WAR cms_tools_chapterIndex=24190a32-7289-4f89-a42d-43fefaa06642
- Elebia. (s.f.). *Polipastos*. <https://elebia.com/es/polipastos/>

- Encinas Galán, P., Contreras Ibáñez, F., & Alemán Peral, F. J. (1994). *Tecnología: Guía didáctica*. Editorial Paraninfo.
- Farinango Aules, D. M., & Tenelema Toapanta, E. G. (2024). Estado del arte de la nanotecnología relacionado al medio ambiente y la sostenibilidad.
- Feng, Z., Zhou, X., Šmejkal, L., Wu, L., Zhu, Z., Guo, H., ... & Liu, Z. (2022). An anomalous Hall effect in altermagnetic ruthenium dioxide. *Nature Electronics*, 5(11), 735-743.
- Ferrer, J. F., & Carrera, M. P. (2021). *Iniciación a la física*. Tomo II. Reverté.
- Franco, M. A., Conti, P. P., Andre, R. S., & Correa, D. S. (2022). A review on chemiresistive ZnO gas sensors. *Sensors and Actuators Reports*, 4, 100100.
- Gay, A., & Ferreras, M. (2016). *La educación tecnológica*. Editorial Brujas.
- Gobierno de Canarias. (2014). *Mecanismos 3ESO*. <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/fsancac/2014/12/02/mecanismos-3eso/>
- González Gaya, C., Rosales Prieto, V. F., Fuentes Bargues, J. L., Sánchez Nogales, M., Díaz Martínez, D., & Sánchez Lite, A. (2020). *El código técnico de la edificación*. Ejercicios y cuestiones resueltas: Tomo III. DB-HS: Documento básico salubridad.
- Gran Vertical. (2015). *Polipastos y su funcionamiento*. <https://www.gran-vertical.com/2015/05/23/98/>
- Griffiths, D. J., & Schroeter, D. F. (2018). *Introduction to quantum mechanics*. Cambridge University Press.
- Gutiérrez, M. I. C. (2024). Proceso tecnológico para la obtención de harina nutritiva a partir de semillas de *Artocarpus camansi*. *Revista Científica Estelí*, (51), 137-152.
- Hernández, C. A. O. (2025). Óptica. *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4*, 13(25), 31-32.

- Hewitt, P. G. (2007). *Física conceptual*. Pearson.
- Hibbeler, R. C. (2016). *Engineering Mechanics: Statics and Dynamics*. In Pearson.
- Higgitt, R., Iliffe, R., & Keynes, M. (2024). Anon., *Memoirs of Sir Isaac Newton, The Times (21 September 1855), pp. 8e–9a. In Early biographies of Isaac Newton, 1660–1885 (Vol. 2, pp. 245–252)*. Routledge.
- Hlali, S., Kalboussi, A., & Souifi, A. (2025). *Nanomaterials and Nanoelectronics: Synthesis, Properties, and Applications for Nanotechnology*. <https://tecnoinformgr.wixsite.com/tecnologia/proceso-tecnologico>
- Jesús Marín, F. E. D. (2024). Caracterización estructural mediante microscopía electrónica de transmisión (MET) de un acero TWIP.
- Junquera, J. (s.f.). *Poleas*. Universidad de Cantabria. https://personales.unican.es/junqueraj/javierjunquera_files/fisica-1/poleas.pdf
- Kim, Y. H. (2025). *Physics And Mechanics Of New Materials And Their Application*. World Scientific.
- Knight, R. D., Jones, B., & Field, S. (2013). *College physics: a strategic approach: technology update*. Pearson.
- Knight, R., Jones, B., & Field, S. (2019). *College physics: a strategic approach* 4th edition. Pearson.
- Krane, K. S. (2019). *Modern physics*. John Wiley & Sons.
- Li, H., Fan, R., Zou, B., Yan, J., Shi, Q., & Guo, G. (2023). Roles of MXenes in biomedical applications: recent developments and prospects. *Journal of nanobiotechnology*, 21(1), 73.
- Li, W., Xu, Z., Yan, Y., Gao, Q., Song, Y., Wang, T., ... & Hou, G. (2025). *2D MXenes: Synthesis, Properties, and Applications in Silicon-Based Optoelectronic Devices*. Small, 2410001.
- Mangonon, P. L., & Escalona y García, H. J. (2001). *Ciencia de materiales: selección y diseño*. Pearson Educación.

- Marín, F. E. (2024). Caracterización estructural mediante microscopia electrónica de transmisión (MET) de un acero TWIP. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Merchant, A., Batzner, S., Schoenholz, S. S., Aykol, M., Cheon, G., & Cubuk, E. D. (2023). Scaling deep learning for materials discovery. *Nature*, 624(7990), 80-85.
- Moi, J., Spallarossa, D., Bonetti, S., Burioni, R., & Caldarelli, G. (2025). The quest for new materials: the network theory and machine learning perspectives. *arXiv:2502.09250*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.09250>.
- Montero, J. S. N., & Hidalgo, M. L. M. (2021). *La investigación científica en el contexto académico*. Infinite Study.
- Mora, É. E., & Albañil, H. H. (2017). *Análisis de fallas de estructuras y elementos mecánicos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Morales Rivera, A. M., Varela, C. F., Parra-Vargas, C. A., & Moreno-Aldana, L. C. (2024). Er³⁺: Y₃Al₅O₁₂/Pt/ZnO material for photocatalytic hydrogen production under UV-Vis light. *Ceramics International*, 50(24), 53382-53395. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.10.189>.
- Myszka, D. H. (2012). *Machines and mechanisms: Applied Kinematic Analysis*. PHI - Pearson Education.
- Najafi, P., & Ghaemi, A. (2024). Chemiresistor gas sensors: Design, Challenges, and Strategies: A comprehensive review. *Chemical Engineering Journal*, 154999. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.154999>.
- Navalpotro, F. R. D., & Pastor, J. M. A. (2024). Tecnología global, iv revolución industrial y mutaciones sociales. *Historia Actual Online*, (63), 183-198.
- Nebot, J. V. A., & Pastor, C. V. (2023). Deformación plástica volumétrica: Fundamentos teóricos y ejercicios resueltos. Marcombo.
- Neumann, D. A. (2007). *Fundamentos de rehabilitación física*. Editorial Paidotribo.
- Newell, J. (2010). *Ciencia de materiales-aplicaciones en ingeniería*. Alfa-omega Grupo Editor

- Newton, I. (1934 [1687]). *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. London: Joseph Streater for the Royal Society.
- Núñez, C., Roca, A., & Jorba, J. (2013). Comportamiento mecánico de los materiales. Volumen II. *Ensayos mecánicos. Ensayos no destructivos*. Edicions Universitat Barcelona.
- Olmedo, J., & Echeverría, J. (2006). *Máquinas y Mecanismos*. In Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (Vol. 1999, Issue December).
- Orozco, J. (2023). Nanociencia, nanotecnología y tecnologías disruptivas en el contexto de la medicina de precisión. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 47(183), 221-241.
- Ospino, M. J. Z., Torres, R. V., Monterrosa, M. J. A., Montes, E. T., & Padilla, B. H. (2018). *Ensayo de impacto Charpy*.
- Parra-Zeltzer, V. R., Huincahue, J., & Abril, D. (2025). Newton's second law teaching strategies—Identifying opportunities for educational innovation. *Education Sciences*, 15(6), 748. <https://doi.org/10.3390/educsci15060748>
- Pelandintecno. (2011). *Transmisión por cadena*. <http://pelandintecno.blogspot.com/2011/04/viadeos-transmision-por-cadena.html>
- Pelandintecno. (2018). *Tornillo sin fin: Descripción y aplicaciones*. <http://pelandintecno.blogspot.com/2018/02/tornillo-sin-fin-descripcion-y.html>
- Perera, A. A. P. R., Madhushani, K. A. U., Punchihewa, B. T., Kumar, A., & Gupta, R. K. (2023). MXene-based nanomaterials for multifunctional applications. *Materials*, 16(3), 1138. <https://doi.org/10.3390/ma16031138>
- Pérez Montiel, H. (2014). Hidrodinámica. In *Física general* (4a. ed.). McGraw-Hill.
- Peréz, D. L., Puentes, I., Romero, G. M., Gaona, I. S., Vargas, C. P., & Rincón, R. J. (2024). Synthesis of superparamagnetic iron oxide nanoparticles coated with polyethylene glycol as potential drug carriers for cancer treatment. *Journal of Nanoparticle Research*, 26(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s11051-023-05900-5>

- Poh, T.Y., Ali, N. A. T. B. M., Mac Aogáin, M., Kathawala, M. H., Setyawati, M. I., Ng, K. W., & Chotirmall, S. H. (2018). Inhaled nanomaterials and the respiratory microbiome: clinical, immunological and toxicological perspectives. *Particle and Fibre Toxicology* 15 (1), 46. <https://doi.org/10.1186/s12989-018-0282-0>
- Quarks. (s.f.). *Caja de cambios*. <https://www.quarks.com.co/glosario-de-autopartes/Caja%20de%20cambios-6491b9b021ba69c72ecb4295>.
- Quezada, A. (2020). Los orígenes de la vacuna. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 31(3), 367-373. <https://doi.org/10.1016/j.rm-clc.2020.07.002>
- Raba, A. Castañeda, M. y Parra, C. (2024). *Reseña sobre métodos de síntesis de materiales inorgánicos*. Editorial UPTC. DOI: 10.19053/uptc.9789586608947
- Rojas, E. S. (2014). *Análisis de mecanismos*. <https://www.researchgate.net/publication/304451733>
- Ruiz, M. (2013). *Poleas y polipastos*. Seguridad Industrial, Alturas y Salud Ocupacional.
- Saavedra Gaona, I. M., Angarita, A. C., Farfán, J. A., Duarte, J. E., & Vargas, C. A. (2025). Effects of (Y, Nd)/Mn interaction on the structural, morphological, and magnetic properties of the (Y, Nd) BaCu-Fe_{1-x}Mn_xO_{5+δ} system. *Journal of Materials Science*, 1-25. <https://doi.org/10.1007/s10853-024-10279-2>
- Sánchez, J. C. (2011). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Ediciones Díaz de Santos.
- Saparov, B., & Mitzi, D. B. (2016). Organic–inorganic perovskites: structural versatility for functional materials design. *Chemical reviews*, 116(7), 4558-4596. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00715>
- Sears, W., & Zemansky, Mark. W. (2009). *Física Universitaria con física moderna*. Pearson Educación.
- Serway, R. A. (2015). *Física para ciencias e ingeniería*. Cengage Learning Editores.

- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2004). *Physics for Scientists and Engineers*. Cengage Learning Editores.
- Serway, R. A., & Vuille, C. (2018). *College Physics Eleventh Edition*. Cengage Learning Editores
- Serway, R. A., Moses, C. J., & Moyer, C. A. (2006). *Física moderna*. Cengage Learning Editores.
- Shang, T., Canévet, E., Morin, M., Sheptyakov, D., Fernández-Díaz, M. T., Pomjakushina, E., & Medarde, M. (2018). Design of magnetic spirals in layered perovskites: Extending the stability range far beyond room temperature. *Science Advances*, 4(10). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aau6386>
- Silberberg, M. S., & Amateis, P. (2006). *Chemistry: The molecular nature of matter and change (Vol. 4)*. McGraw-Hill.
- Silva Rodríguez, F., & Gómez Olalla, L. A. (1996). *Educación en tecnología 2*. McGraw-Hill. <https://es.scribd.com/document/446751051/educacion-en-tecnologia-2-pdf>
- Smith, W. F. (2004). *Ciencia e ingeniería de materiales*. McGraw-Hill.
- Solans, J., & Domenech, M. V. (1978). Naturaleza y significado de la dureza de los minerales. *Trabajos de geología*, (10), 407–425.
- Stewart, J. (2014). *Cálculo*. Cengage Learning Editores.
- Stupenengo, F. (2011). *Materiales y materias primas*. Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- Supelano, G. I., Cuaspué, J. G., Moreno-Aldana, L. C., Ortiz, C., Trujillo, C. A., Palacio, C. A., ... & Gómez, J. M. (2020). Synthesis of magnetic zeolites from recycled fly ash for adsorption of methylene blue. *Fuel*, 263, 116800. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116800>
- Szigety, E., Viau, J., Ferreira, M. A. T., & Gibbs, H. (2012). Tensión superficial: Un modelo experimental con materiales sencillos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(3), 393–400. <https://doi.org/10.498/14866>
- Taylor, J. R. (2004). *Classical mechanics*. University Science Books.

- Tecnología A ESO. (2025). *Contenidos que complementan tu formación y se adaptan a tus necesidades*. McGraw-Hill Education. <https://www.mheducation.es>
- Thakur, A., Thakur, P., Suhag, D., & Khurana, S. P. (Eds.). (2024). *Green Nanobiotechnology*. CRC Press.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2010). *Física para la ciencia y la tecnología* - vol 2. In Física general.
- Tippens, P. E. (2015). *Física. Conceptos y aplicaciones*. Séptima edición revisada. McGraw Hill.
- Varela, C. F., Saavedra Gaona, I. M. Barrera Angarita, A. C., Morales Rivera, A. M., & Parra Vargas, C. A. (2024). Ultra-fast and highly-reversible dyes adsorption using a prepared in-situ Fe (PO₃)₂/bio-char composite from corn cob. *Industrial Crops and Products*, 218, 118966. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118966>
- Vats, M., Mendiratta, T., Singh, H., Kumar, A., Verma, M., Behera, K., & Kumar, S. (2024). Application of Magnetic Nanomaterials as Biosensors. In *Nanotechnology in Miniaturization* (pp. 65-88). Springer, Cham.
- Xunta de Galicia. (s.f.). *La polea*. https://recursos.edu.xunta.gal/sites/default/files/recurso/1464947673/22_la_polea.html
- Xunta de Galicia. (s.f.). *Sistemas de polea y correa*. https://recursos.edu.xunta.gal/sites/default/files/recurso/1464947673/42_sistemas_de_polea_y_correa.html
- Xunta de Galicia. (s.f.). *Tornillo sin fin y corona*. https://recursos.edu.xunta.gal/sites/default/files/recurso/1464947673/52_tornillo_sinfincorona.html
- Young, T. (1802). II. The Bakerian lecture. On the theory of light and colours. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 92, 12–48.
- Zeni, C., Pinsler, R., Zügner, D., Fowler, A., Horton, M., Fu, X., ... & Xie, T. (2025). A generative model for inorganic materials design. *Nature*, 639, 624-632. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08628-5>



Este libro se terminó de imprimir
en el mes de abril de 2026, en
Búhos Editores Ltda.
Tunja - Boyacá - Colombia

Esta obra aborda el estudio de algunos principios físicos que se hallan a la base de la educación en tecnología, y que son el fundamento de muchos de los discursos explicativos que nos permiten comprender el mundo. Mediante un enfoque didáctico dirigido a la comunidad educativa de nivel medio y superior, se pretende estimular el desarrollo de habilidades y conocimientos referidos a la relación entre estos dos campos del saber.

Con este enfoque, se presenta este escrito como un soporte teórico para ser utilizado dentro de los procesos educativos de la Licenciatura en informática y áreas afines a la facultad de educación, convirtiéndose así en una herramienta didáctica y una estrategia que facilita el aprendizaje de fundamentos físicos a través de procesos tecnológicos. De esta manera, se logra un acercamiento para aquellos estudiantes y docentes que, en principio, no tienen formación en física, ofreciéndoles una oportunidad para aplicar principios físicos en el desarrollo de proyectos tecnológicos. A través de este contenido, se busca que el lector no solo comprenda la funcionalidad de un producto tecnológico, sino que también adquiera las habilidades necesarias para explicar los fenómenos que lo sustentan desde una perspectiva científica.



Subcomité
de Obra - FCE



Uptc®

Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia
VIGILADA MINECUCION

