

El dossier de hidrostática, mecánica de fluidos y física cuántica para el ingeniero químico - UTMACH

**Freddy Alberto Pereira Guanuche
Kennya Selene Ruiz Veintimilla**




© **Freddy Alberto Pereira Guanuche**
Kennya Selene Ruiz Veintimilla

Primera edición, 2025-11-06

ISBN: 978-9942-53-023-3

DOI: <http://doi.org/10.48190/9789942530233>

Distribución online

 Acceso abierto

Cita

Pererira, F., Ruiz, K. (2025) El dossier de hidrostática, mecánica de fluidos y física cuántica para el ingeniero químico - UTMACH. Editorial Grupo Compás

Este libro es parte de la colección de la Univesidad Técnica de Machala y ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad de la publicación. El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Prefacio

Introducción del libro

La física constituye una ciencia esencial dedicada a explicar las leyes que gobiernan la naturaleza, abarcando desde los fenómenos más sencillos hasta los más complejos. A lo largo de la historia, su estudio ha sido la base para el desarrollo de importantes avances científicos y tecnológicos que han transformado la sociedad. En este contexto, el presente libro tiene como propósito acercar al lector a los fundamentos principales de la física, presentados de manera clara, práctica y en estrecha relación con situaciones de la vida cotidiana, la ingeniería y las ciencias aplicadas.

En la primera parte se examina la hidrostática, rama que analiza los fluidos en reposo y que, gracias a aportes de pensadores como Arquímedes y Pascal, permitió comprender fenómenos esenciales como la flotación, la presión ejercida en represas y la transmisión de fuerzas en sistemas hidráulicos.

Más adelante, se desarrolla el estudio de la electricidad y el magnetismo, cuyo progreso histórico hizo posible la creación de tecnologías que transformaron radicalmente la vida humana, desde los medios de comunicación y transporte hasta la producción y distribución de energía eléctrica. Comprender estos principios resulta clave para interpretar y aplicar los fenómenos electromagnéticos presentes en nuestro entorno.

La tercera unidad se centra en la mecánica de fluidos, disciplina que estudia el comportamiento de líquidos y gases en movimiento. Sus aplicaciones se extienden a campos como la ingeniería, la medicina, la aeronáutica y la industria, donde leyes como la de Bernoulli o el número de Reynolds explican procesos que van desde el vuelo de las aeronaves y la circulación sanguínea, hasta el diseño y funcionamiento de sistemas hidráulicos y neumáticos.

Finalmente, el texto introduce al lector en los fundamentos de la física cuántica y las tecnologías emergentes, ámbito que revolucionó nuestra visión del universo al explicar el comportamiento de la materia y la energía en escalas microscópicas. Estos principios no solo sustentan la ciencia moderna, sino que también impulsan innovaciones en semiconductores, telecomunicaciones, computación cuántica y aplicaciones médicas de vanguardia.

Cada unidad ha sido estructurada con contenidos teóricos, ejemplos prácticos, ejercicios resueltos y evaluaciones, con el propósito de desarrollar el pensamiento crítico y proporcionar herramientas que permitan aplicar los principios físicos en la resolución de problemas reales.

Objetivo general del libro

Adquirir un conocimiento amplio y sólido de los fundamentos esenciales de la hidrostática, abarcando su origen, evolución histórica y transformación conceptual, con el propósito de examinar de manera profunda el comportamiento de los fluidos en estado de reposo. De igual manera, emplear los saberes obtenidos para analizar, representar y solucionar situaciones relacionadas con la presión hidrostática en distintos ámbitos científicos, tecnológicos e industriales, fomentando a la vez el desarrollo de capacidades analíticas y de pensamiento crítico, necesarias para idear propuestas innovadoras en áreas como la ingeniería, la medicina, la arquitectura y las ciencias naturales.

Unidades

Unidad 1

1	Hidrostática	11
1.1	¿Qué es la hidrostática?	11
1.2	¿Cómo surge la hidrostática?	12
1.3	¿De dónde viene la presión hidrostática?	12
1.4	Concepto de hidrostática	12
1.5	¿Cómo se aplica la presión hidrostática?	13
1.6	¿Qué efecto produce la presión hidrostática en las personas?	14
1.7	¿Cómo afecta la presión hidrostática a las personas?	15
1.8	Conceptos fundamentales de la hidrostática	15
1.9	Principios de la hidrostática	16
1.10	Principio de Pascal	16
1.11	Principio de Arquímedes	16
1.12	Arquímedes y su ¡eureka!	17
1.13	Ley de la palanca	17
1.14	Muerte de Arquímedes	18
1.15	Fluidos	18
1.16	Tipos de fluidos	19
1.17	Fluidos líquidos	19
1.18	Fluidos gaseosos	20
1.19	Presión en un fluido de reposo	21
1.20	Características de la presión hidrostática	21
1.21	Presión hidrostática positiva y negativa	22
1.22	Presión hidrostática positiva	22
1.23	Presión hidrostática negativa	22
1.24	Fórmula de la presión hidrostática	23
1.25	Ecuación fundamental de la hidrostática	23
1.26	Aplicaciones de la hidrostática	23
1.27	Aplicaciones específicas de la hidrostática	24
1.28	Ejemplos de hidrostática	24
1.29	Test de evaluación del capítulo	26
1.30	Ejercicios de opción múltiple teórico	26
1.31	Ejercicios prácticos resueltos	28
2	Electricidad y magnetismo	40

2.1	Historia del electromagnetismo	41
2.2	Flujo magnético	42
2.3	Ley de Ampère	44
2.4	Fundamentos de la ley de Ampère	45
2.5	Imanes	45
2.6	Campo magnético	48
2.7	Campo magnético y cargas en movimiento	49
2.8	Magnetismo y corriente eléctrica	50
2.9	Inducción electromagnética	51
2.10	Ley de Faraday	52
2.11	Áreas de aplicación del electromagnetismo	53
2.12	Test de evaluación del capítulo	58
2.13	Ejercicios de opción múltiple teórico	58
2.14	Ejercicios prácticos resueltos	60
2.15	Bibliografía	72
3	Mecánica de fluidos	76
3.1	Tipos de fluidos	77
3.2	Características básicas de los fluidos	78
3.3	Propiedades termodinámicas	79
3.4	Propiedades de comportamiento específico	82
3.5	Ecuación de Bernoulli	84
3.6	Principio de la ecuación de Bernoulli	84
3.7	Interpretación de los términos de la ecuación	85
3.8	Condiciones ideales para aplicar la ecuación de Bernoulli	85
3.9	Aplicaciones prácticas de la ecuación de Bernoulli	86
3.10	Limitaciones de la ecuación de Bernoulli	86
3.11	Número de Reynolds	87
3.12	Flujo Laminar ($Re < 2000$):	87
3.13	Flujo Turbulento ($Re > 4000$):	87
3.14	Régimen Transicional ($2000 < Re < 4000$):	87
3.15	El número de Reynolds tiene una gran importancia en diversas áreas de la mecánica de fluidos:	88
3.16	Transferencia de fluidos en sistemas hidráulicos y neumáticos	88
3.17	Comparación entre sistemas hidráulicos y neumáticos	94
3.18	Conductividad eléctrica y térmica en sólidos	95
3.19	Conductividad eléctrica en sólidos	95

3.20	Tipos de materiales según su conductividad	96
3.21	Factores que afectan la conductividad eléctrica	96
3.22	Conductividad térmica en sólidos	97
3.23	Ley de Fourier de la conducción de calor	97
3.24	Relación entre conductividad térmica y conductividad eléctrica	97
3.25	Materiales avanzados y su impacto en la ingeniería moderna	98
3.26	Tipos de materiales avanzados en la mecánica de fluidos	98
3.27	Impacto de los materiales avanzados en la ingeniería de fluidos	100
3.28	Test de evaluación del capítulo	101
3.29	Ejercicios de opción múltiple teórico	101
3.30	Ejercicios prácticos resueltos	103
3.31	Bibliografía	112
4	Física cuántica y tecnologías emergentes	116
4.1	La radiación del cuerpo negro	117
4.2	El efecto fotoeléctrico	117
4.3	Los espectros de emisión de los gases	118
4.4	Dualidad onda-partícula	118
4.5	Principio de incertidumbre de Heisenberg	119
4.6	Superposición	120
4.7	Principio de exclusión de Pauli	120
4.8	Entrelazamiento cuántico	121
4.9	Espectro de emisión del cuerpo negro. Teoría cuántica de Planck	121
4.10	Ley de Stefan-Boltzmann (1884)	121
4.11	Ley de Wien (1896)	122
4.12	La contribución de Max Planck (1900)	122
4.13	Hipótesis de Planck	123
4.14	El efecto fotoeléctrico	123
4.15	Teoría cuántica de Einstein	125
4.16	Interacción fotón-electrón en el efecto fotoeléctrico	125
4.17	Casos posibles en el efecto fotoeléctrico	126
4.18	Espectros atómicos	126
4.19	Modelo atómico de Bohr	127
4.20	Postulados del modelo de Bohr	127
4.21	Semiconductores	128
4.22	Tipos de Semiconductores	129

4.23	Semiconductores Intrínsecos	129
4.24	Semiconductores Extrínsecos	130
4.25	Materiales semiconductores	130
4.26	Materiales conductores	130
4.27	Materiales aislantes	131
4.28	Aplicaciones de los semiconductores	132
4.29	Física y su relación con el avance tecnológico y social	132
4.30	La electricidad y la electrónica	132
4.31	La física de las comunicaciones	133
4.32	La relación entre la física y la medicina	133
4.33	La física y la energía	133
4.34	Física y su participación en la producción de dispositivos electrónicos	134
4.35	Electricidad y magnetismo	134
4.36	Circuitos eléctricos	134
4.37	Óptica	135
4.38	Física en la construcción de máquinas y herramientas tecnológicas	135
4.39	Mecánica y diseño de maquinarias	135
4.40	Electricidad y electromagnetismo en la tecnología	136
4.41	Termodinámica y Producción de Energía	136
4.42	Física en la fabricación de vehículos y transportes modernos	136
4.43	Mecánica: Movimiento y seguridad en los vehículos	137
4.44	Aerodinámica: Reducción de la resistencia al aire	137
4.45	Electricidad y electromagnetismo: Tecnología en los vehículos modernos	137
4.46	Test de evaluación del capítulo	138
4.47	Ejercicios de opción múltiple teóricos	138
4.48	Ejercicios prácticos resueltos	140
4.49	Bibliografías	Error! Bookmark not defined.

Unidad I: Hidrostática

Introducción

La hidrostática es una rama de la mecánica de fluidos que se encarga del estudio de los fluidos en reposo y la presión que ejercen sobre los objetos que los rodean. A diferencia de la hidrodinámica, que analiza el movimiento de los fluidos, la hidrostática se centra en el equilibrio y las fuerzas que actúan dentro de un fluido confinado o en su interacción con superficies sólidas. Su estudio es fundamental en diversas disciplinas, como la ingeniería civil, la hidráulica y la biología, ya que permite comprender fenómenos como la presión ejercida por el agua en embalses, el comportamiento de los cuerpos flotantes y la transmisión de fuerzas en sistemas hidráulicos (Ariza, 2023).

A lo largo de la historia, la hidrostática ha sido objeto de estudio por grandes científicos, destacando Arquímedes, quien formuló el principio que lleva su nombre y que explica la flotabilidad de los cuerpos en un fluido, y Blaise Pascal, quien estableció que la presión en un fluido incompresible se transmite uniformemente en todas las direcciones. Estos principios han permitido el desarrollo de numerosas aplicaciones tecnológicas, como los gatos hidráulicos, los sistemas de frenos de automóviles y los mecanismos de control de presión en tanques y tuberías.

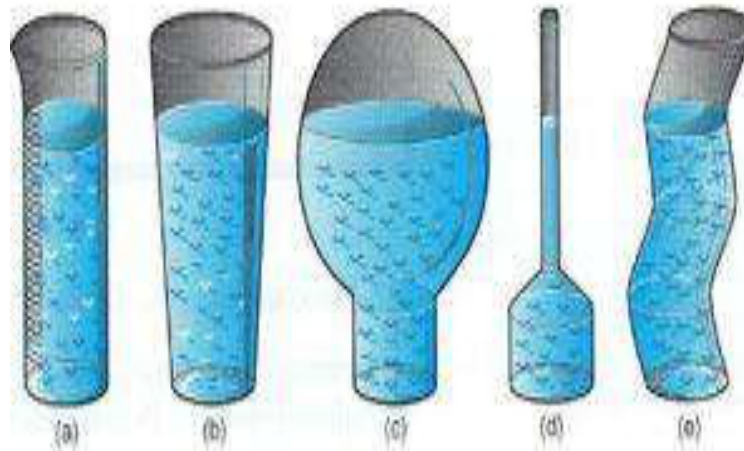
El concepto de presión hidrostática es clave dentro de esta disciplina, ya que describe cómo la presión en un fluido varía con la profundidad y depende de factores como la densidad del fluido y la aceleración gravitatoria. Este principio es fundamental en la construcción de presas, submarinos y estructuras sumergidas, así como en la exploración de los efectos de la presión en organismos vivos, como en la fisiología del buceo. Además, la hidrostática se relaciona con fenómenos como la tensión superficial y la capilaridad, que juegan un papel crucial en la dinámica de los líquidos en tubos estrechos y en la absorción de agua por las raíces de las plantas (Zapata, 2020).

El estudio de la hidrostática no solo tiene aplicaciones prácticas en la ingeniería y la tecnología, sino que también es esencial para comprender principios físicos básicos que rigen el comportamiento de los fluidos en nuestro entorno. A lo largo de este capítulo, se explorarán los conceptos fundamentales de la hidrostática, sus principios teóricos y sus aplicaciones en la vida cotidiana, proporcionando una base sólida para el análisis y resolución de problemas en esta área de la física.

1 Hidrostática

Figura 1.

Hidrostática de los fluidos en ejemplos prácticos.



Fuente. Tomada de CITATION Bri18 \l 12298 (Briceño V., Euston, 2018).

La hidrostática es una subdivisión de la mecánica que se especializa en el análisis de los fluidos cuando se encuentran en reposo. Su campo de estudio se centra en la forma en que estos fluidos ejercen presión en su entorno, evaluando tanto líquidos como gases, y no limitándose exclusivamente al agua.

Uno de los conceptos fundamentales en hidrostática es la definición de fluido. Un fluido se caracteriza por su incapacidad para resistir esfuerzos cortantes, lo que significa que no puede mantener una forma definida bajo la influencia de fuerzas externas. Como consecuencia, la presión que ejerce un fluido en reposo siempre actúa de manera perpendicular sobre las superficies que lo contienen (Briceño V., Euston, 2018).

Aunque la variable tiempo no es un factor determinante en los estudios hidrostáticos, esta disciplina se enfoca en el concepto de equilibrio hidrostático, que describe el estado en el que las fuerzas dentro del fluido están en perfecto balance, evitando cualquier tipo de movimiento espontáneo dentro del sistema.

El estudio de la hidrostática es fundamental en diversas aplicaciones científicas e industriales, desde el diseño de presas y embarcaciones hasta la comprensión de fenómenos naturales como la presión atmosférica y la flotabilidad.

1.1 ¿Qué es la hidrostática?

La hidrostática es una disciplina esencial dentro de la mecánica de fluidos, dedicada al estudio y comprensión de los fluidos que se encuentran en un estado de reposo absoluto. Su propósito fundamental es analizar cómo estos fluidos interactúan con su entorno cuando no están sometidos a fuerzas que alteren su posición o provoquen desplazamientos internos.

Esta rama de la física examina las características de los fluidos en equilibrio, considerando factores como la presión que ejercen sobre las superficies que los

contienen, la distribución de esta presión en diferentes puntos del fluido y los efectos que pueden surgir debido a la variación de la profundidad. Además, la hidrostática desempeña un papel clave en múltiples aplicaciones prácticas, desde la ingeniería hidráulica hasta la meteorología y la oceanografía, proporcionando principios esenciales para el diseño de estructuras como presas, embalses y embarcaciones (Cremades, 2022).

1.2 ¿Cómo surge la hidrostática?

Arquímedes (287 a.C.- 212 a.C.), destacado matemático, físico, ingeniero, inventor y astrónomo de la Antigua Grecia, es reconocido como el fundador de la hidrostática. Según la historia, el rey Hierón II le solicitó verificar si una corona que había recibido estaba fabricada con oro puro.

1.3 ¿De dónde viene la presión hidrostática?

La presión hidrostática surge como resultado de la acción de la gravedad sobre un fluido en reposo, como el agua subterránea o acumulada en depósitos naturales y artificiales. Cuando el agua permanece en estado estático, su peso genera una fuerza que se distribuye en todas direcciones, presionando contra las estructuras que la rodean, especialmente aquellas que se encuentran parcial o completamente sumergidas por debajo del nivel freático o en terrenos inclinados (Briceño V., Euston, 2018).

A medida que la profundidad aumenta, la columna de agua sobre un punto específico se vuelve mayor, lo que incrementa la presión ejercida en esa zona. Además, la humedad presente en el suelo también influye en la intensidad de la presión hidrostática, ya que un terreno con alta saturación de agua puede transmitir mayores fuerzas hacia cimientos, sótanos y otras construcciones subterráneas.

Este fenómeno es crucial en diversas disciplinas como la ingeniería civil, la geotecnia y la hidrología, ya que un mal manejo de la presión hidrostática puede generar filtraciones, erosión del suelo e incluso comprometer la estabilidad estructural de edificaciones y obras hidráulicas.

1.4 Concepto de hidrostática

La hidrostática es una disciplina dentro de la mecánica de fluidos o hidráulica que se encarga del estudio de los fluidos en estado de reposo. Es decir, analiza aquellas sustancias líquidas o gaseosas que no están sometidas a fuerzas externas que provoquen su movimiento o desplazamiento. Su objetivo principal es comprender cómo se comportan los fluidos en equilibrio, cómo ejercen presión sobre los cuerpos sumergidos y las superficies que los contienen, así como los efectos que esta presión genera en su entorno (Cremades, 2022).

Este campo de estudio se basa en dos principios fundamentales:

Principio de Pascal: Establece que cualquier cambio en la presión aplicada a un fluido confinado se transmite de manera uniforme en todas las direcciones dentro del fluido. Este principio es la base del funcionamiento de sistemas hidráulicos como frenos de automóviles, prensas hidráulicas y elevadores.

Principio de Arquímedes: Explica que todo cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido experimenta una fuerza de empuje hacia arriba equivalente al peso del fluido desalojado. Este principio es esencial para entender la flotabilidad y la estabilidad de objetos en medios líquidos, como barcos y submarinos.

La hidrostática tiene aplicaciones clave en la ingeniería, la arquitectura, la hidrología y la oceanografía, ya que sus principios permiten diseñar estructuras resistentes a la presión del agua, calcular la flotabilidad de embarcaciones y desarrollar sistemas hidráulicos eficientes.

1.5 ¿Cómo se aplica la presión hidrostática?

La presión hidrostática es una propiedad esencial de los fluidos en reposo y desempeña un papel crucial en diversos ámbitos, tanto en la naturaleza como en la ingeniería y la industria. Este tipo de presión surge debido al peso del fluido y se distribuye uniformemente dentro de él, ejerciendo fuerzas sobre cualquier superficie que se encuentre sumergida o en contacto con el fluido. Su comprensión es fundamental para el diseño de estructuras hidráulicas, el estudio del comportamiento de fluidos en diferentes entornos y la optimización de sistemas de almacenamiento y transporte de líquidos.

Cuando un fluido se encuentra contenido dentro de un recipiente cerrado o un medio específico, genera una presión que actúa sobre las paredes del contenedor, el fondo del recipiente y cualquier objeto sumergido en su interior. Esta presión se transmite en todas direcciones y es perpendicular a cada superficie con la que entra en contacto. De esta manera, influye en la estabilidad y resistencia de estructuras como presas, embalses, tanques de almacenamiento y tuberías, garantizando que sean diseñadas para soportar las fuerzas generadas por el fluido en su interior (Cremades, 2022).

La magnitud de la presión hidrostática depende de tres factores clave: la profundidad del fluido, su densidad y la aceleración gravitacional. A mayor profundidad, la presión aumenta, ya que la cantidad de fluido sobre un punto determinado es mayor y ejerce un peso adicional sobre las capas inferiores. Por esta razón, en ambientes submarinos, los buceadores y vehículos sumergibles deben estar diseñados para soportar el incremento de presión a medida que descienden. Del mismo modo, en sistemas de suministro de agua, los depósitos elevados generan la presión necesaria para distribuir el líquido sin necesidad de bombeo.

Además de sus aplicaciones en la ingeniería y la naturaleza, la presión hidrostática es fundamental en procesos médicos e industriales. En el cuerpo humano, la presión de los líquidos internos juega un papel crucial en el sistema circulatorio y en la regulación de fluidos en los tejidos. En la industria, se aprovecha en sistemas hidráulicos como frenos, prensas y elevadores, donde la transmisión de la presión permite realizar trabajos mecánicos con eficiencia. En la geología y la oceanografía, su estudio es clave para comprender fenómenos como la presión en las capas subterráneas de la Tierra y el comportamiento del agua en los océanos (Cremades, 2022).

En la práctica, la presión hidrostática juega un papel crucial en diversas áreas, tales como:

Ingeniería hidráulica: Diseño de presas, diques y tuberías para soportar la presión ejercida por el agua.

Medicina y biología: Aplicación en procedimientos como la medición de la presión sanguínea y la presión en fluidos corporales.

Navegación y buceo: Influye en la flotabilidad de barcos y submarinos, así como en la resistencia del cuerpo humano a diferentes profundidades en el agua.

Construcción y geotecnia: Evaluación del impacto del agua subterránea en estructuras como sótanos y túneles, evitando filtraciones o daños estructurales.

Gracias a su importancia, el estudio y manejo de la presión hidrostática es esencial para garantizar la seguridad y eficiencia en múltiples aplicaciones tecnológicas y científicas.

1.6 ¿Qué efecto produce la presión hidrostática en las personas?

Cuando una persona se sumerge en un fluido, la presión hidrostática actúa sobre su cuerpo, generando efectos fisiológicos significativos. Uno de los principales impactos es el aumento del volumen sanguíneo central, lo que ocurre porque la presión ejercida por el agua en el entorno impulsa la sangre desde las extremidades hacia el tórax y el corazón. Este fenómeno puede provocar una mayor carga en el sistema circulatorio y afectar la frecuencia cardíaca.

Además, la presión hidrostática influye en la función pulmonar. A medida que una persona desciende en el agua, la presión sobre la cavidad torácica aumenta, lo que reduce los volúmenes pulmonares y dificulta la expansión de los pulmones. Como resultado, se requiere mayor esfuerzo para respirar, especialmente en inmersiones profundas, lo que puede generar fatiga respiratoria y afectar la oxigenación del cuerpo (Cremades García, 2019).

En el ámbito de la medicina y la terapia física, la presión hidrostática se utiliza de manera beneficiosa en hidroterapia y rehabilitación, ya que mejora la circulación, reduce la inflamación y favorece la movilidad de personas con problemas musculoesqueléticos. Sin embargo, en condiciones extremas, como el buceo a grandes profundidades, los efectos de la presión pueden generar riesgos como la hiperoxia o el síndrome de sobrepresión pulmonar, lo que hace necesario un control cuidadoso de la inmersión y la respiración. El conocimiento de estos efectos es fundamental tanto para la seguridad de los buceadores como para el desarrollo de terapias y entrenamientos en entornos acuáticos.

1.7 ¿Cómo afecta la presión hidrostática a las personas?

La presión hidrostática tiene efectos notables en el organismo cuando una persona se encuentra sumergida en un fluido, especialmente en el agua. Uno de sus beneficios principales es su capacidad para aliviar el dolor y reducir la inflamación (edema), ya que

la presión ejercida de manera uniforme sobre el cuerpo favorece la redistribución de líquidos y minimiza la acumulación excesiva en los tejidos (Briceño V., Euston, 2018).

Otro efecto importante es la mejora en la circulación sanguínea y el retorno venoso. Al comprimir suavemente los vasos sanguíneos, la presión hidrostática ayuda a movilizar la sangre desde las extremidades hacia el corazón, reduciendo la carga cardiovascular y facilitando una mejor oxigenación de los tejidos. Esto es particularmente beneficioso para personas con problemas circulatorios, como insuficiencia venosa, varices o linfedema.

Además, esta presión contribuye a incrementar la amplitud de movimiento en articulaciones y músculos, lo que es de gran utilidad en terapias de rehabilitación y ejercicios acuáticos. Al reducir la resistencia al movimiento y proporcionar soporte al cuerpo, el agua permite realizar ejercicios con menor impacto en las articulaciones, beneficiando a personas con artritis, lesiones musculares o condiciones neurológicas (Cremades García, 2019).

Gracias a estos efectos, la presión hidrostática se aprovecha en diversas áreas médicas y deportivas, como la hidroterapia, fisioterapia acuática y programas de entrenamiento en piscinas, donde se utiliza para mejorar la recuperación muscular, la movilidad y la salud cardiovascular.

1.8 Conceptos fundamentales de la hidrostática

La hidrostática es una rama de la mecánica de fluidos que estudia los fluidos en reposo y las fuerzas que actúan sobre ellos. Para comprender sus principios y aplicaciones, es esencial conocer varios conceptos clave:

Fluidos: Se definen como sustancias capaces de fluir y adaptarse a la forma del recipiente que los contiene. Dentro de esta categoría se incluyen tanto los líquidos como los gases, los cuales se caracterizan por la movilidad de sus moléculas y la incapacidad de resistir esfuerzos cortantes.

Líquidos: Son un tipo específico de fluido con una densidad mayor que la de los gases y una capacidad limitada de compresión. A diferencia de los gases, los líquidos mantienen un volumen constante bajo condiciones normales y solo pueden ser comprimidos bajo presiones extremadamente altas.

Equilibrio hidrostático: En hidrostática, el equilibrio de los fluidos implica la ausencia de movimiento interno o deformación. Esto significa que todas las fuerzas que actúan dentro del fluido están balanceadas, evitando el flujo o la alteración de su estructura.

Presión: Se define como la fuerza ejercida sobre una unidad de área. En el contexto de la hidrostática, la presión de un fluido en reposo se distribuye de manera uniforme en todas direcciones y actúa perpendicularmente sobre las superficies que lo contienen. La magnitud de esta presión aumenta con la profundidad del fluido.

Principio de Pascal: Este principio establece que cualquier variación en la presión aplicada a un fluido confinado se transmite de manera uniforme en todas las direcciones.

sin disminuir su intensidad. Este concepto es fundamental en dispositivos hidráulicos como prensas, frenos y sistemas de elevación.

Principio de Arquímedes: Explica que todo objeto sumergido en un fluido experimenta una fuerza de empuje dirigida hacia arriba, cuya magnitud es igual al peso del fluido desplazado. Este principio es crucial para entender la flotabilidad y el diseño de embarcaciones, submarinos y dispositivos de control de flotación.

Estos conceptos constituyen la base teórica de la hidrostática y tienen aplicaciones en múltiples disciplinas, desde la ingeniería y la arquitectura hasta la biología y la medicina.

1.9 Principios de la hidrostática

La hidrostática se basa en dos principios esenciales que rigen el comportamiento de los fluidos en reposo. Estos principios son fundamentales para comprender cómo se distribuyen las presiones en un fluido y cómo interactúan con las superficies y los objetos sumergidos en él, los cuales son los siguientes:

1.10 Principio de Pascal

Es una ley formulada por el físico y matemático francés Blaise Pascal, que establece que "el aumento de la presión aplicada a una superficie de un fluido incompresible dentro de un recipiente indeformable se transmite con la misma magnitud a todas las partes del fluido". En otras palabras, cuando se aplica presión a un líquido en un recipiente cerrado, esta se distribuye de manera uniforme en todas las direcciones (Briceño V., Euston, 2018).

1.11 Principio de Arquímedes

El principio de Arquímedes establece que todo cuerpo sólido, ya sea total o parcialmente sumergido en un fluido, experimenta una fuerza de empuje hacia arriba equivalente al peso del volumen de líquido desplazado. No es necesario que el objeto esté completamente sumergido, ya que, si la fuerza de empuje supera su peso aparente, flotará y quedará parcialmente sumergido (Briceño V., Euston, 2018).

1.12 Arquímedes y su ¡eureka!

El principio de Arquímedes es la ley fundamental de la náutica, que establece que cualquier cuerpo sumergido en un líquido recibe una fuerza ascendente igual al peso del volumen de fluido desplazado (Cremades García, 2019).

Esta fuerza, conocida como empuje hidrostático, se mide en Newtons y depende de la densidad del fluido, el volumen del cuerpo y la gravedad en ese lugar. Actúa verticalmente hacia arriba y su punto de aplicación se encuentra en el centro de gravedad del cuerpo.

Se dice que cuando Arquímedes descubrió su famoso principio, exclamó "¡Eureka!", una expresión que se ha vuelto emblemática en la ciencia. "¡Eureka!" simboliza la alegría del descubrimiento y representa el momento en que se alcanza aquello que se ha buscado con gran esfuerzo (Cremades García, 2019).

Santiago García, del canal Raíz de Pi, señala que la famosa exclamación "¡Eureka!" no surgió cuando Arquímedes descubrió su principio, sino cuando logró desenmascarar a un orfebre que intentaba engañar al rey Hierón II.

El rey deseaba una corona de oro para conmemorar sus logros y encargó su fabricación a un orfebre. Sin embargo, este intentó estafarlo mezclando oro con plata para aparentar que la corona era de oro puro. Lo que el orfebre no consideró, pero sí Arquímedes, es que la densidad se calcula dividiendo la masa entre el volumen. Al finalizar la corona, el peso total no coincidía con el de una pieza hecha completamente de oro, lo que levantó sospechas (Cremades García, 2019).

1.13 Ley de la palanca

La palanca es uno de los inventos más significativos de la historia, ya que permitió a la humanidad levantar objetos que antes resultaban inamovibles. Este dispositivo se basa en una simple pero poderosa idea que transformó la forma en que interactuamos con el mundo físico. La famosa frase de Arquímedes, "Dame un punto de apoyo y moveré el mundo", refleja la magnitud de su descubrimiento, que se fundamenta en la relación entre la fuerza, el punto de apoyo y la distancia en la palanca. Este principio no solo tuvo un impacto directo en el desarrollo de herramientas para mover grandes cargas, sino que también revolucionó áreas como la arquitectura, la ingeniería y la construcción, donde se aplicaron para levantar estructuras pesadas o realizar tareas de gran precisión (Briceño V., Euston, 2018).

Según la leyenda, Arquímedes también ideó los espejos ustorios, un tipo de espejo cóncavo diseñado para concentrar la luz solar en un solo punto, creando un rayo de gran intensidad capaz de incendiar las velas de los barcos enemigos. Este ingenioso invento, aunque más discutido en términos históricos, se cuenta que jugó un papel crucial en la defensa de Siracusa contra el ejército de Marco Claudio Marcelo, que no logró conquistar la ciudad durante más de dos años, debido en parte a las innovaciones militares de Arquímedes.

A pesar de sus grandes contribuciones en la física, los logros de Arquímedes en matemáticas continúan siendo de una relevancia inmensa, particularmente en áreas como la geometría, el cálculo y la teoría de la mecánica. Sus tratados matemáticos, preservados en gran parte gracias a su correspondencia con otros grandes pensadores como Eratóstenes y Dositeo, han influido profundamente en el desarrollo de las ciencias exactas. Esos escritos llegaron a la Biblioteca de Alejandría, cuyo posterior incendio destruyó gran parte de este conocimiento, pero el legado de Arquímedes sigue presente en el estudio moderno de las matemáticas y las ciencias (Cremades García, 2019).

1.14 Muerte de Arquímedes

La leyenda más famosa sobre Arquímedes está relacionada con las matemáticas. Se dice que, mientras investigaba y dibujaba circunferencias en la arena, un soldado irrumpió en la habitación. Arquímedes, absorto en su trabajo, le respondió con la frase: «No molestes a mis círculos». Sin embargo, el soldado no dudó en matarlo.

Tres frases icónicas resumen su legado: «¡Eureka!», que expresa la emoción del descubrimiento; «Dame un punto de apoyo y moveré el mundo», que refleja su dominio de la física; y «No molestes a mis círculos», que muestra su dedicación a la ciencia hasta el final de su vida. Su genialidad no solo se destacó en sus hallazgos, sino también en la elocuencia de sus palabras (Cremades García, 2019).

1.15 Fluidos

Un fluido es una sustancia que se caracteriza por su capacidad para fluir, compuesta por moléculas que interactúan entre sí a través de fuerzas de atracción débiles. A diferencia de los sólidos deformables, los fluidos no resisten cambios de forma; cuando se les aplica una fuerza, su forma cambia sin generar una fuerza interna que intente devolverlos a su configuración inicial. Este comportamiento distingue a los fluidos de los sólidos, que tienden a recuperar su forma después de ser deformados. Los fluidos pueden ser líquidos o gases, y en ambos casos, sus partículas tienen un grado de cohesión tenue, lo que les permite moverse con relativa libertad (Cremades García, 2019).

Cuando un fluido cambia de forma, la posición de sus moléculas se ajusta debido a la aplicación de una fuerza externa. En el caso de los líquidos, estos se adaptan a la forma del recipiente que los contiene, pero mantienen un volumen constante, ya que las moléculas están lo suficientemente cerca como para no comprimirlas fácilmente. A pesar de esta cohesión parcial, las moléculas en los líquidos se deslizan unas sobre otras, permitiendo el flujo del líquido. Por otro lado, los gases no tienen forma ni volumen definidos; sus moléculas están mucho más separadas y se mueven con mayor libertad, lo que hace que los gases tiendan a expandirse y llenar cualquier espacio disponible.

A pesar de estas diferencias, tanto los líquidos como los gases comparten el hecho de que se comportan como fluidos, capaces de fluir y adaptarse a su entorno. Sin embargo, los gases tienen una viscosidad mucho menor que los líquidos, lo que significa que fluyen con más facilidad y se acercan más al comportamiento de los fluidos ideales, que se describen con modelos matemáticos simplificados debido a su comportamiento casi perfecto y la ausencia de fuerzas de fricción interna. La comprensión de estas propiedades es esencial en diversas áreas de la ciencia y la ingeniería, desde la dinámica de fluidos hasta el diseño de sistemas hidráulicos y el estudio de la atmósfera.

1.16 Tipos de fluidos

En términos generales, los fluidos se dividen en dos tipos principales, cada uno con características y comportamientos distintos según las condiciones a las que se ven expuestos. Estos tipos se clasifican con base en la composición de las partículas que los conforman, así como en la forma en que reaccionan ante cambios de presión, temperatura y velocidad (Cremades García, 2019).

1.17 Fluidos líquidos

El líquido es uno de los estados fundamentales de la materia, y se distingue por su capacidad para fluir, siendo prácticamente incompresible. Esto significa que, en comparación con los gases, su volumen permanece casi constante a pesar de los cambios en la presión, lo que lo hace relativamente resistente a la compresión. Los

líquidos se encuentran entre el estado sólido y el gaseoso, con partículas que están más separadas que en los sólidos, pero mucho más unidas que en los gases, lo que les confiere una estructura más ordenada que los gases, pero menos rígida que los sólidos.

En el estado líquido, las moléculas se disponen de forma aleatoria y experimentan movimientos constantes. Estas moléculas mantienen una distancia constante entre sí dentro de un rango específico, lo que contribuye a que los líquidos sean menos densos que los sólidos, pero más densos que los gases. En algunos líquidos, especialmente aquellos con una estructura molecular más compleja, las moléculas pueden organizarse en orientaciones específicas, lo que lleva a propiedades anisotrópicas. Por ejemplo, el índice de refracción de un líquido puede variar según la dirección en que se mida, lo que afecta cómo la luz interactúa con el material (Cremades, 2022).

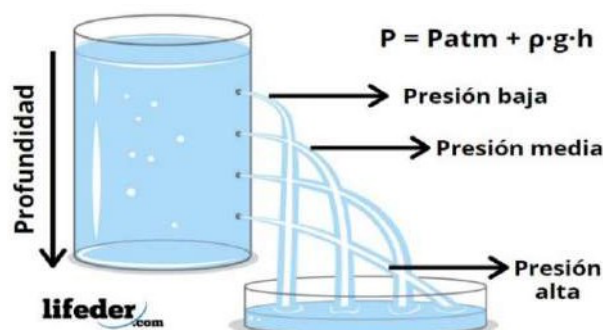
Además de sus propiedades estructurales, los líquidos muestran varios fenómenos físicos interesantes. Entre estos se encuentran la tensión superficial, que hace que la superficie de un líquido se comporte como una membrana elástica, y la capilaridad, que permite que los líquidos asciendan en tubos delgados debido a las fuerzas de adhesión y cohesión entre las moléculas del líquido y las del material del tubo. Los líquidos también experimentan expansión térmica al aumentar la temperatura y contracción al enfriarse, aunque esta variación de volumen es mucho más pequeña en comparación con los gases (Briceño V., Euston, 2018).

Un aspecto clave de los líquidos es el fenómeno de flotabilidad. Cuando un objeto se sumerge en un líquido, experimenta una fuerza de empuje hacia arriba, conocida como fuerza de flotación, que depende del peso del fluido desplazado por el objeto sumergido. Este principio es crucial para entender la flotación de embarcaciones, la navegación de submarinos, y también se aplica en varios procesos naturales y tecnológicos.

1.18 Fluidos gaseosos

Figura 2.

Hidrostática en función a la presión.



Fuente. Tomada de CITATION Bri18 \l 12298
(Briceño V., Euston, 2018).

El gas es uno de los estados fundamentales de la materia y se caracteriza por un comportamiento altamente expansivo y compresible, lo que significa que puede

adaptarse a cualquier volumen disponible. Bajo condiciones específicas de temperatura y presión, un gas permanece en su estado gaseoso, sin cambiar a un líquido o sólido. Las moléculas que componen un gas están muy separadas entre sí y se mueven a gran velocidad en todas direcciones, lo que les permite dispersarse rápidamente y llenar completamente cualquier espacio en el que se encuentren (Briceño V., Euston, 2018).

Una de las propiedades clave de los gases es que las fuerzas de atracción entre sus moléculas son extremadamente débiles. Esto permite que las moléculas de gas se muevan independientemente unas de otras, sin ser influenciadas significativamente por las interacciones moleculares, a diferencia de los líquidos y sólidos, donde las moléculas están más fuertemente unidas. Debido a esta baja interacción, los gases tienen una densidad mucho menor que los líquidos y los sólidos, y pueden expandirse indefinidamente hasta ocupar el espacio total disponible (Cremades, 2022).

Cuando un gas está contenido en un recipiente cerrado, sus moléculas se mueven libremente y colisionan constantemente con las paredes del recipiente, lo que genera una presión sobre ellas. Este comportamiento es el que da lugar a fenómenos como la expansión o la compresión de los gases, los cuales son fundamentales para entender los principios detrás de sistemas como los motores de automóviles, la atmósfera terrestre y muchos procesos industriales.

Los gases también están sujetos a leyes físicas que describen su comportamiento, como la ley de los gases ideales, que establece una relación entre la presión, el volumen y la temperatura de un gas en condiciones ideales. Aunque los gases reales no siempre siguen estas leyes de manera perfecta debido a factores como la interacción entre las moléculas, el concepto de gas ideal sigue siendo muy útil en la práctica, especialmente en situaciones donde las interacciones moleculares son mínimas, como con el aire o el helio.

1.19 Presión en un fluido de reposo

La presión hidrostática es la fuerza que un líquido en reposo ejerce sobre un objeto sumergido en él. Esta presión aumenta proporcionalmente con la profundidad del objeto; es decir, a mayor profundidad, mayor será la presión ejercida por el líquido.

La fórmula para calcular la presión hidrostática es: $P = pgh$, donde P representa la presión hidrostática, p es la densidad del líquido, g la aceleración de la gravedad y h la profundidad del objeto.

Este concepto tiene numerosas aplicaciones en la vida cotidiana y la industria. En la construcción, se utiliza para calcular la fuerza que el agua ejerce sobre estructuras como presas o tuberías subterráneas. En biología marina, ayuda a comprender cómo los organismos sobreviven a grandes profundidades. Además, es crucial para los buceadores, quienes deben considerar la presión hidrostática para evitar daños en sus órganos al descender a profundidades significativas (Zapata, 2020).

1.20 Características de la presión hidrostática

La presión hidrostática presenta varias características importantes. En primer lugar, aumenta con la profundidad, ya que a medida que un objeto se sumerge en un líquido, la presión ejercida sobre él se incrementa debido al peso del líquido superior. Además, depende de la densidad del fluido, lo que significa que un líquido más denso ejercerá una presión mayor sobre los objetos sumergidos en él.

Esta presión se mide en unidades como el pascal (Pa) o el bar (bar) y se calcula mediante la fórmula $P = \rho gh$, donde P es la presión, ρ la densidad del líquido, g la aceleración gravitatoria y h la profundidad. También está estrechamente relacionada con el principio de Arquímedes, que establece que un objeto sumergido experimenta una fuerza de empuje igual al peso del líquido desplazado, lo que influye en la presión ejercida sobre él (Zapata, 2020).

Otro factor relevante es la presión atmosférica, que actúa sobre la superficie del líquido y contribuye a la presión total experimentada por un objeto sumergido. Comprender estas características es esencial para su aplicación en campos como la ingeniería, la biología marina y el buceo.

1.21 Presión hidrostática positiva y negativa

La presión hidrostática es un fenómeno físico que ocurre en los fluidos en reposo, como el agua, y es el resultado de la acción de la fuerza gravitacional sobre las moléculas del fluido. Este tipo de presión se manifiesta cuando un fluido está en un estado estático, es decir, sin movimiento. Se puede clasificar en presión positiva y presión negativa, dos conceptos que describen diferentes interacciones entre el fluido y las fuerzas externas que actúan sobre él (Álvarez J. , 2022).

1.22 Presión hidrostática positiva

La presión hidrostática positiva se refiere a la presión que un fluido en reposo ejerce sobre los objetos sumergidos en él. En este caso, la fuerza generada por el fluido es mayor que la fuerza externa que actúa sobre el fluido. Un ejemplo típico de presión hidrostática positiva es cuando un objeto se sumerge en agua. La presión ejercida por el agua sobre el objeto es superior a la presión que el objeto ejerce sobre el agua, debido a la fuerza gravitacional que atrae las moléculas de agua hacia el fondo. En el ámbito biológico, un ejemplo claro es cuando una persona respira bajo el agua. En este caso, la presión del agua sobre los pulmones aumenta con la profundidad, lo que genera una presión positiva en los pulmones, que puede dificultar la respiración debido a la compresión de los órganos internos.

La presión hidrostática positiva es importante en una variedad de situaciones, desde la navegación (donde los barcos flotan gracias al equilibrio entre la presión ejercida por el agua y la fuerza de flotación) hasta la medicina (en el caso de la presión que se ejerce sobre el cuerpo de los submarinistas a grandes profundidades).

1.23 Presión hidrostática negativa

Por otro lado, la presión hidrostática negativa ocurre cuando la fuerza externa aplicada al fluido supera la presión ejercida por el fluido mismo. Este fenómeno se da en situaciones donde el fluido es sometido a una presión inferior a la que normalmente generaría debido a su propia fuerza. Un ejemplo de presión hidrostática negativa se puede observar en el uso de una bomba de vacío. Al extraer el aire de un recipiente lleno de agua, la presión dentro del agua disminuye, lo que crea una cavidad de presión negativa en la que la fuerza de las moléculas del agua es menor que la de las fuerzas externas. Este tipo de presión es la responsable de fenómenos como la formación de burbujas de vapor cuando la presión sobre un líquido disminuye y su temperatura aumenta, provocando la evaporación (Cremades García, 2019).

La presión hidrostática negativa tiene aplicaciones en diversos campos, como en la creación de condiciones de vacío para experimentos científicos, la tecnología de bombas y sistemas de vacío, e incluso en ciertos procesos industriales en los que se requieren presiones inferiores para inducir cambios en el estado físico de un fluido.

1.24 Fórmula de la presión hidrostática

Se define como:

$$P = \rho \times g \times h$$

La fórmula $P = \rho gh$ describe la presión hidrostática, donde P es la presión en pascales (Pa), ρ es la densidad del líquido en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3), g es la aceleración debida a la gravedad en metros por segundo al cuadrado (m/s^2), y h es la altura del líquido sobre el punto de interés en metros (m).

Esta fórmula está relacionada con la Ley de Pascal, que establece que la presión aplicada a un líquido se transmite de manera uniforme en todas las direcciones. Es importante señalar que la presión hidrostática aumenta de manera lineal conforme aumenta la profundidad, lo que significa que cuanto más profundo se encuentre un objeto en un líquido, mayor será la presión ejercida sobre él.

1.25 Ecuación fundamental de la hidrostática

La ecuación es la siguiente:

$$p_2 - p_1 = \rho g (h_2 - h_1)$$

Este principio nos señala que, para un líquido específico y una presión externa constante, la presión interna solo depende de la altura. Por lo tanto, todos los puntos del líquido ubicados al mismo nivel experimentan la misma presión.

1.26 Aplicaciones de la hidrostática

La hidrostática es una rama fundamental de la física que tiene una gran variedad de aplicaciones en múltiples áreas, tanto en nuestra vida diaria como en diversas disciplinas de la ciencia y la ingeniería. A través de sus principios, se pueden entender y resolver

muchos de los problemas relacionados con la presión ejercida por los fluidos en reposo. Algunas de las aplicaciones más comunes y significativas de la hidrostática incluyen:

Ingeniería Civil: En el campo de la ingeniería civil, la hidrostática juega un papel crucial en el diseño y construcción de estructuras que están en contacto con líquidos o fluidos en reposo. Ejemplos típicos incluyen la construcción de presas, tanques de almacenamiento de agua, y sistemas de tuberías. Las estructuras como las presas deben ser diseñadas para soportar la presión constante que el agua ejerce sobre ellas debido a su peso y volumen. El principio de la hidrostática es esencial para calcular la presión a diferentes profundidades del agua, lo que permite asegurar que las construcciones sean seguras y estables (Serrana, 2021).

Hidráulica: La hidráulica, que se deriva de los principios de la hidrostática, se enfoca en el estudio y la aplicación de los fluidos en movimiento. Los sistemas hidráulicos son fundamentales en la industria pesada, donde se emplean para accionar maquinaria pesada, prensas y máquinas de construcción. También se utilizan en los frenos hidráulicos de vehículos, donde el principio de la presión uniforme en un fluido es utilizado para transferir la fuerza de un pistón a otro en el sistema de frenos. Esta tecnología también es clave en sistemas de riego, bombas hidráulicas y ascensores.

Medicina: En el ámbito médico, los principios de la hidrostática son esenciales para comprender diversos aspectos de la circulación sanguínea. La presión arterial en los vasos sanguíneos es un fenómeno hidrostático que puede ser monitorizado y ajustado para prevenir problemas de salud. Además, en oftalmología, la medición de la presión intraocular es crucial para el diagnóstico de enfermedades como el glaucoma. Estos principios también son utilizados en tecnologías médicas como sistemas de diálisis y equipo de perfusión, donde se controla el flujo y la presión de los líquidos dentro de los sistemas corporales o artificiales (Cremades García, 2019).

1.27 Aplicaciones específicas de la hidrostática

Gato Hidráulico: Un ejemplo destacado de la aplicación de la hidrostática es el gato hidráulico. Este dispositivo utiliza un émbolo pequeño al que se le aplica una fuerza. Esta fuerza genera una presión sobre el fluido, la cual se transmite igual a un émbolo mayor, lo que permite levantar objetos pesados con un esfuerzo relativamente pequeño. El principio fundamental es que, aunque la fuerza aplicada al émbolo pequeño sea pequeña, la presión se distribuye de manera uniforme y permite multiplicar la fuerza en el émbolo grande, facilitando tareas que requieren levantar grandes pesos con una fuerza mínima, como levantar un coche usando solo el peso de una persona (Zapata, 2020).

Frenos Hidráulicos: En los sistemas de frenos hidráulicos de vehículos, el proceso de frenado está basado en la hidrostática. Al presionar el pedal del freno, se ejerce una fuerza sobre un pistón dentro de un cilindro, lo que provoca una presión sobre el fluido hidráulico. Este fluido se transmite a través de los conductos hacia los cilindros en las ruedas, generando la fuerza necesaria para frenar el vehículo. La capacidad del sistema de frenos hidráulicos de transmitir una fuerza significativa con una aplicación de esfuerzo relativamente pequeña es un ejemplo claro de cómo los principios de la

hidrostática pueden ser utilizados para mejorar la eficiencia y seguridad en sistemas de transporte.

1.28 Ejemplos de hidrostática

La hidrostática, al ser una rama fundamental de la física, se manifiesta de diversas maneras en la vida cotidiana y en aplicaciones tecnológicas y naturales.

La prensa hidráulica: La prensa hidráulica es un dispositivo que emplea el principio de Pascal, el cual establece que una presión aplicada a un fluido confinado se transmite uniformemente en todas las direcciones. Este principio permite amplificar la fuerza aplicada en el émbolo pequeño para generar una fuerza mucho mayor en el émbolo grande. Gracias a este principio, la prensa hidráulica puede levantar objetos pesados con solo aplicar una pequeña cantidad de fuerza, lo que es fundamental en aplicaciones industriales como la forja de metales, la reparación de vehículos y la prensa de residuos (Ariza, 2023).

Flotación de una embarcación: El principio de Arquímedes es clave para comprender la flotación de las embarcaciones. Según este principio, cualquier objeto sumergido en un fluido experimenta una fuerza de empuje hacia arriba que es igual al peso del fluido desplazado. En el caso de un barco, este principio explica cómo una embarcación, aunque sea más densa que el agua, puede flotar. Al desplazar una cantidad suficiente de agua, el peso del fluido desplazado genera una fuerza de empuje igual al peso del barco, lo que permite que permanezca a flote sin hundirse. Este principio es esencial en la ingeniería naval y en el diseño de embarcaciones y submarinos (Conceptualista, 2024).

La presión en un tanque de agua: La presión ejercida por el agua en un tanque también es un claro ejemplo de hidrostática. A medida que se aumenta la profundidad del agua en un tanque, la presión que ejerce el fluido sobre las paredes y las canillas del tanque aumenta proporcionalmente. Esta presión hidrostática es directamente proporcional a la profundidad, lo que significa que las válvulas o grifos ubicados a mayor profundidad experimentarán una presión mucho mayor que los ubicados cerca de la superficie. Este principio es clave para el diseño de sistemas hidráulicos y contenedores de agua, y es utilizado, por ejemplo, en presas, tanques de almacenamiento y tuberías subterráneas (Serrana, 2021).

Presión a gran profundidad en el mar: Cuando una persona se sumerge en el mar, experimenta un aumento progresivo de la presión a medida que desciende. Esta presión hidrostática aumenta con la profundidad, ya que la cantidad de agua que se encuentra por encima de la persona aumenta, lo que incrementa el peso del agua y, en consecuencia, la presión que se ejerce sobre su cuerpo. A grandes profundidades, esta presión puede ser extremadamente alta, lo que requiere equipos especiales para soportarla, como en los submarinos o en la exploración submarina. El aumento de la presión también afecta el cuerpo humano, lo que puede generar dolores en los oídos y otros efectos fisiológicos, como la compresión de los gases en los pulmones (Álvarez J. , 2022).

Estos ejemplos demuestran cómo la hidrostática está presente en una variedad de contextos que van desde tecnologías industriales hasta fenómenos naturales.

Comprender los principios detrás de la presión en los fluidos no solo es esencial para la ingeniería y la ciencia aplicada, sino que también permite optimizar muchos de los sistemas que utilizamos en la vida cotidiana.

1.29 Test de evaluación del capítulo

1.30 Ejercicios de opción múltiple teórico

1. Un submarino se encuentra a 50 m de profundidad soportar una presión de (densidad del agua de mar $1,1 \text{ g/cm}^3$).

- a. 5500 Pa
- b. 55 Pa
- c. 550000 Pa
- d. 55000 Pa
- e. Ninguna

Respuesta correcta: Literal c

2. Dos vasos comunicantes poseen mercurio y aceite, en equilibrio. La superficie libre del mercurio está 3 cm arriba de la superficie de separación de los, líquidos, en cuanto que la del aceite este 60 cm arriba. Densidad del mercurio $13,6 \text{ g/cm}^3$, determine la masa específica del aceite.

- a. $0,68 \text{ g/cm}^3$.
- b. $1,2 \text{ g/cm}^3$.
- c. $4,5 \text{ g/cm}^3$.
- d. $7,8 \text{ g/cm}^3$.
- e. Ninguna

Respuesta correcta: Literal a

3. Un cubo de 10 cm de lado flota en agua, si la densidad de la madera es de $0,2 \text{ g/cm}^3$, calcule el volumen que se encuentra fuera del agua.

- a. $0,2 \text{ dm}^3$
- b. $0,8 \text{ dm}^3$
- c. 80 cm^3
- d. $0,002 \text{ m}^3$
- e. Ninguna

Respuesta correcta: Literal b

4. ¿Qué fracción de un iceberg que está bajo del nivel del agua? Densidad del hielo es de 917 kg/m^3 y la del agua salada es de 1030 kg/m^3 .

- a. 0,89.
- b. 0,6.
- c. 0,4.
- d. 0,10.
- e. 0,75

5. Un barril alberga aceite hasta $\frac{1}{4}$ de su altura. Después de una fuerte lluvia, se llena en su totalidad, sin llegar a rebosarse. Si la altura del barril es 1 m, la presión en el fondo, después de la lluvia, debida solamente a su contenido será (densidad del aceite es $0,8 \text{ g/cm}^3$)

- a. 950 Pa.
- b. 9000 Pa.
- c. 1800 Pa.
- d. 9500 Pa.
- e. 900 Pa

Respuesta correcta: Literal d

6. ¿Qué estudia la hidrostática?

- a) El comportamiento de los fluidos en movimiento.
- b) La interacción de los gases con la temperatura.
- c) El estudio de los fluidos en reposo y la presión que ejercen.
- d) La relación entre la viscosidad y la temperatura en líquidos.

Respuesta correcta: Literal c

7. ¿Cuál de los siguientes principios es fundamental en la hidrostática?

- a) Ley de Ohm.
- b) Principio de Bernoulli.
- c) Ley de Coulomb.
- d) Principio de Pascal.

Respuesta correcta: Literal d

8. ¿Qué establece el principio de Arquímedes?

- a) La presión en un fluido disminuye con la altura.

- b) Un cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje hacia arriba igual al peso del fluido desplazado.
- c) La presión en un fluido se distribuye de manera uniforme en todas direcciones.
- d) Un líquido ideal no tiene viscosidad.

Respuesta correcta: Literal b

9. ¿Qué sucede con la presión en un fluido a medida que la profundidad aumenta?

- a) Se mantiene constante.
- b) Disminuye.
- c) Aumenta.
- d) No afecta la presión hidrostática.

Respuesta correcta: Literal c

10. ¿Cómo se mide la presión hidrostática?

- a) $P = F/A$
- b) $P = \rho gh$
- c) $P = mv$
- d) $P = qV$

Respuesta correcta: Literal b

1.31 Ejercicios prácticos resueltos

- 1. ¿Cuál es la presión que soporta un buzo sumergido a 10 metros de profundidad en el mar?

Datos: Densidad del agua de mar = 1,025 kg/L.

Presión atmosférica 101325 Pa.

$$1,025 \frac{kg}{l} = 1,025 \frac{kg}{dm^3} = 1025 \frac{kg}{m^3}$$

Solución:

$$P = \rho \cdot g \cdot h + P_0$$

$$P = 1025 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 10m + 101325 Pa$$

$$P = 201775 Pa$$

2. Un submarino experimenta una presión de 4 atm bajo el agua de mar.
¿A qué profundidad se encuentra sumergido?

Datos: Densidad del agua de mar = 1,025 kg/L. Presión atmosférica = 1 atm = 101325 Pa.

Solución:

$$1,025 \frac{kg}{l} = 1,025 \frac{kg}{dm^3} = 1025 \frac{kg}{m^3}$$

$$1 atm = 101325 Pa \Rightarrow 4 atm = 101325 Pa \cdot 4 = 405300 Pa$$

$$P = \rho \cdot g \cdot h + P_0$$

$$h = \frac{P - P_0}{\rho \cdot g}$$

$$h = \frac{405300 Pa - 101325 Pa}{1025 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} = 30,26 m$$

3. ¿Cuál es la fuerza ejercida sobre una chapa cuadrada de 30 cm de lado que se encuentra en el fondo de un tanque de agua lleno hasta 1,5 m, sin considerar la presión atmosférica?

Datos: Densidad del agua = 1 kg/dm³.

Solución

$$S = 0,3m \cdot 0,3m = 0,09 m^2$$

$$\rho = 1 \frac{kg}{dm^3} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 1,5m$$

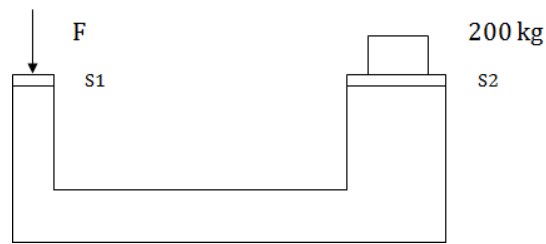
$$P = 14700 Pa$$

$$P = \frac{F}{S} \Rightarrow F = P \cdot S$$

$$F = 14700 \frac{N}{m^2} \cdot 0,09 m^2 = 1323 N$$

4. Determinar la fuerza que equilibra el sistema, sabiendo que las superficies S_1 y S_2 tienen diámetros circulares de 10 y 40 cm respectivamente.

Solución:



$$d1 = 10 \text{ cm} = 0,1\text{m}$$

$$d2 = 40 \text{ cm} = 0,4\text{m}$$

$$r1 = 0,05\text{m}$$

$$r2 = 0,2\text{m}$$

$$s1 = \pi \cdot r^2 = 3,14 \text{ m} \cdot (0,05 \text{ m})^2 = 3,14 \cdot 0,0025 \text{ m}^2 = 0,00785 \text{ m}^2$$

$$s2 = \pi \cdot r^2 = 3,14 \text{ m} \cdot (0,2 \text{ m})^2 = 3,14 \cdot 0,04 \text{ m}^2 = 0,1256 \text{ m}^2$$

$$P = m \cdot g$$

$$P = 200 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1960 \text{ N}$$

$$\frac{F}{S_1} = \frac{P}{S_2} \Rightarrow F = \frac{P \cdot S_1}{S_2}$$

$$F = \frac{1960 \text{ N} \cdot 0,00785 \text{ m}^2}{0,1256 \text{ m}^2} = 122,5 \text{ N}$$

5. ¿Cuál es la variación de presión entre dos puntos situados a una profundidad diferente en el agua, con una separación vertical de 1 metro? Dato: La densidad del agua es de 1000 kg/m^3 .

Solución:

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\gamma = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

A continuación, utilizamos el principio básico de la hidrostática, el cual establece que la variación de presión entre dos puntos dentro de un fluido es equivalente al producto

del peso específico del fluido por la diferencia de altura entre dichos puntos.

$$P_B - P_A = \gamma \cdot h$$

$$P_B - P_A = 9800 \frac{N}{m^2} \cdot 1m = 9800 Pa$$

6. Un estanque contiene agua hasta una profundidad de 3.5 m. ¿Qué presión total se registra en el fondo del estanque lleno de agua? (Supón que la presión atmosférica es 1.01×10^5 Pa y la densidad del agua es 1000 kg/m^3).

Solución:

Presión total = Presión atmosférica + Presión hidrostática

$$P = P_{\text{atm}} + \rho gh$$

$$P = 1.01 \times 10^5 + (1000)(9.8)(3.5)$$

$$P = 1.01 \times 10^5 + 34300 = 135300 \text{ Pa}$$

7. ¿Qué fuerza aplica el agua sobre una compuerta de 1.2 m^2 situada a 2 m de profundidad?

Solución:

Primero calculamos la presión a 2 m:

$$P = \rho gh = (1000)(9.8)(2) = 19600 \text{ Pa}$$

Luego, la fuerza:

$$F = PA = 19600 \times 1.2 = 23520 \text{ N}$$

8. En un manómetro en forma de U hay mercurio ($\rho = 13,600 \text{ kg/m}^3$). La diferencia de altura entre las dos ramas es de 0.15 m. ¿Qué diferencia de presión existe entre los dos gases conectados al manómetro?

Solución:

$$\Delta P = \rho gh = (13600)(9.8)(0.15) = 19992 \text{ Pa}$$

9. Una jeringa tiene un émbolo de área 0.005 m^2 . Si se aplica una fuerza de 25 N, ¿cuál es la presión generada en su interior?

Solución:

$$P = F / A = 25 / 0.005 = 5000 \text{ Pa}$$

10. Un buzo experimenta una presión absoluta de 3.5×10^5 Pa bajo el agua de mar ($\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$). ¿A qué profundidad se encuentra el buzo considerando una presión atmosférica de 1.01×10^5 Pa?

Solución:

$$P = P_{\text{atm}} + \rho gh \Rightarrow h = (P - P_{\text{atm}}) / (\rho g)$$

$$h = (3.5 \times 10^5 - 1.01 \times 10^5) / (1025 \times 9.8)$$

$$h \approx 24.8 \text{ m}$$

11. Un pequeño lingote de metal grisáceo brillante tiene un volumen de 25 cm^3 y una masa de 535 g. ¿Qué metal corresponde a este lingote según su

densidad? (Véase la tabla 15.1.)

Solución:

Por dato:

Volumen = 25 cm^3

Masa = 535 g

Entonces:

$$\rho = 535 / 25 = 21.4 \text{ g/cm}^3$$

O equivalente a:

$$\rho = 21.4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

En consecuencia se trata del platino.

12. Un rey manda a hacer una corona de oro con una masa de 0.5 kg. Cuando ésta llega del taller de orfebrería, se mide su volumen y se encuentra que es igual a 185 cm^3 . ¿Se puede confirmar que la corona está hecha de oro puro?

Solución:

Sabemos que:

$$\rho = (0.5 / 185) \times 10^6$$

$$\rho = 2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Como la densidad del oro es: $19.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, entonces:

La corona no es de oro sólido.

13. Una mujer de 50 kg se balancea sobre uno de los altos tacones de sus zapatos. Si el tacón es circular con radio de 0,5 cm, ¿Qué presión aplica sobre el suelo la mujer con tacones?

Solución:

$$\text{Radio} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$F = 50 \times 9.80$$

Por definición:

$$P = F / A$$

$$P = (50 \times 9.80) / \pi(5 \times 10^{-3})^2 = (50 \times 9.80) / (3.1416 \times (5 \times 10^{-3})^2)$$

$$P = 6.24 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

14. Calcule la masa de una esfera de hierro sólida que tiene un diámetro de 3,0 cm.

Solución:

$$\text{Sabemos que: } \text{masa} = \rho \cdot V \quad \rho_{\text{hierro}} = 7,86 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Por otro lado volumen} = (4/3)\pi(D/2)^3$$

$$\Rightarrow V = (4/3)(3,1416)[3,0 / 2]^3 = 14,14 \text{ cm}^3 = 14,14 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\text{Luego: Masa} = (7,86 \times 10^3)(14,14 \times 10^{-6}) = 111,1 \times 10^{-3} \text{ kg} = 0,111 \text{ kg}$$

15. Encuentre la densidad de una estrella de neutrones. Se cree que uno de dichos objetos tiene un radio de sólo 10 km y una masa igual a la del Sol. ($M_{\text{sol}} = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$).

Solución:

Sabemos que: $\rho_{\text{estrella}} = M / V$

$$\Rightarrow \rho_{\text{estrella}} = M_{\text{sol}} / V = 1,99 \times 10^{30} / [(4/3)(\pi)(10^4)^3]$$

$$\Rightarrow \rho_{\text{estrella}} = 4,75 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

16. ¿Qué presión experimenta un buzo a 10 metros bajo el nivel del mar?

Datos:

$$\rho_{\text{del mar}}: 1.025 \frac{\text{Kg}}{\text{L}} \quad P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa}$$

Convertimos:

$$1.025 \frac{\text{Kg}}{\text{L}} = 1.025 \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3} = 1025 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$P = \rho \times g \times h + P_0$$

$$P = 1.025 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 10 \text{ m} + 101325 \text{ Pa}$$

$$P = 201775 \text{ Pa}$$

17. Determine la fuerza que actúa sobre una placa cuadrada de 30 cm de lado ubicada en el fondo de un tanque con 1,5 m de agua, ignorando la presión atmosférica.

Datos:

$$\rho_{\text{del agua}}: 1 \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3}$$

Convertimos:

$$S = 0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} = 0.09 \text{ m}^2$$

$$\rho = 1 \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$P = \rho \times g \times h$$

$$P = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1.5 \text{ m}$$

$$P = 14700 \text{ Pa}$$

La fórmula de presión y despejamos fuerza

$$P = F / S \quad F = P \times S$$

$$F = 14700 \frac{N}{m^2} \times 0.09 m^2 = 1323 N$$

18. Determine la diferencia de presión entre dos puntos situados a 1 m de separación vertical en el agua. Dato: Densidad del agua = 1000 kg/m³.

Convertimos:

$$Pe = p \times g$$

$$Pe = 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 9.8 \frac{m}{s^2} = 9800 \frac{N}{m^3}$$

Teorema fundamental de la hidrostática:

$$P_B - P_A = Pe \times h$$

$$P_B - P_A = 9800 \frac{N}{m^3} \times 1m = 9800 Pa$$

19. Calcule la presión hidrostática a 1200 m de profundidad y la fuerza sobre una superficie de 4 cm² a ese nivel.

$$p - p_o = dhg$$

$$p - p_o = (10^3 \frac{kg}{m^3})(1200m)(\frac{9.8m}{s^2})$$

$$p - p_o = 11,76 \times 10^6 Pa$$

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

$$p \times A = F$$

$$F = (11,76 \times 10^6 Pa)(4cm^2)$$

$$F = 4704 N$$

20. Una represa tiene un muro de contención de 50 m de altura, estando el agua a 1 m del borde. En la base hay una compuerta rectangular de 4 m de altura y 5 m de anchura. ¿Cuál es la fuerza ejercida por el agua sobre la compuerta en la base de la represa?

$$h_1 = h_2 = 2 m$$

$$h = H - h_1$$

$$h = 47 m$$

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

$$p = (47 m) \cdot (10^3 kg/m^3) \cdot (9.8 m/s^2)$$

$$p = 460.6 \times 10^3 Pa$$

$$F_a = p \cdot A$$

$$F_a = (460.6 \times 10^3 \text{ Pa}) \cdot (4 \text{ m} \times 5 \text{ m})$$

$$F_a = 9.21 \times 10^6 \text{ N}$$

1.32 Referencias bibliográficas

- ABC, D. (2018). *INFOLIBROS*. Obtenido de ELECTROMAGNETISMO: <https://infolibros.org/pdfview/11945-electromagnetismo-dpti-servicios-abc/>
- Álvarez. (2022). *Divulgación Superconductividad*. Obtenido de Superconductividad (ICMM-CSIC): <https://wp.icmm.csic.es/superconductividad/materiales-superconductores/superconductores-convencionales/>
- Álvarez, J. (2022). *Cuadro comparativo*. Obtenido de Ejemplos de hidrostática en la vida cotidiana: <https://cuadros-comparativos.com/ejemplos-de-hidrostatica-en-la-vida-cotidiana/>
- Ariza, I. (12 de abril de 2023). *todoagua.com*. Obtenido de ¿Qué es la presión hidrostática?: <https://www.todoagua.es/que-es-presion-hidrostatica/#:~:text=La%20presi%C3%B3n%20hidrost%C3%A1tica%20es%20un%20concepto%20que%20se%20refiere%20a,que%20se%20encuentra%20el%20objeto>
- Briceño V., G. (2018). *Euston*. Obtenido de Hidrostática: <https://www.euston96.com/hidrostatica/>
- Briceño V., G. (2018). *EUSTON*. Obtenido de Principio de Bernoulli.: <https://www.euston96.com/principio-de-bernoulli/>
- Carmora, A. (Mayo de 2023). *química*. Obtenido de Física: la clave detrás del avance tecnológico y social: <https://quimica.diaonia.com/fisica-la-clave-detras-del-avance-tecnologico-y-social/>
- Coluccio Leskow, E. (24 de OCTUBRE de 2024). *FISICA*. Obtenido de Imán: <https://concepto.de/iman/>
- Coluccio, L. E. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Magnetismo: <https://concepto.de/magnetismo/>
- Conceptualista*. (2024). Obtenido de Hidrostática: <https://conceptualista.com/hidrostatica/>
- Cremades García, S. (2019). *AQUAE FUNDACIÓN*. Obtenido de ¿Conoces la historia de Arquímedes?: <https://www.fundacionaquae.org/principio-arquimedes-eureka/#:~:text=El%20principio%20de%20Arqu%C3%ADmedes%20y%20su%20%C2%A1eureka%21%20El,hacia%20arriba%20equivalente%20al%20peso%20del%20volumen%20desalojado.>
- Cremades, G. S. (2022). *EQUAE FUNDACIÓN*. Obtenido de ¿Conoces la historia de Arquímedes?: <https://www.fundacionaquae.org/principio-arquimedes-eureka/#:~:text=El%20principio%20de%20Arqu%C3%ADmedes%20y%20su%20%C2%A1eureka%21%20El,hacia%20arriba%20equivalente%20al%20peso%20del%20volumen%20desalojado.>
- Delgado, M. (24 de octubre de 2024). *conceptos*. Obtenido de Propiedades de los fluidos: <https://concepto.de/propiedades-de-los-fluidos/>

Educación, U. P. (2022). *INFOLIBRO*. Obtenido de Electromagnetismo: <https://infolibros.org/pdfview/11946-electromagnetismo-universidad-peruana-cayetano-heredia-facultad-de-educacion/>

Electromagnetismo. (13 de octubre de 2017). Obtenido de Aplicaciones Del Electromagnetismo: <https://electromagnetismoluz2017.wordpress.com/2017/10/13/holaaa/>

Estefania Coluccio Leskow. (24 de OCTUBRE de 2024). *FISICA*. Obtenido de Imán: <https://concepto.de/iman/>

Estefania Coluccio Leskow Ph.D. Doctora en Ciencias Físicas (Universidad de Buenos Aires, A. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Conductividad térmica: <https://concepto.de/conductividad-termica/>

Europeo. (21 de Julio de 2023). *IELOGIS*. Obtenido de La ecuación de Bernoulli: fundamentos y aplicaciones: <https://ielogis.com/ecuacion-bernoulli/#:~:text=La%20ecuaci%C3%B3n%20de%20Bernoulli%20nos,un%20barco%20en%20el%20agua>

Guanajuato, U. d. (30 de MARZO de 2022). *RECURSOS DIDACTICOS ABIERTOS*. Obtenido de Flujo magnético y aplicaciones del electromagnetismo: <https://blogs.ugto.mx/rea/clase-digital-4-flujo-magnetico-y-aplicaciones-del-electromagnetismo/>

Herbert, P. (20 de Julio de 2023). *TRADESAFE*. Obtenido de Sistemas hidráulicos versus neumáticos: una guía comparativa: https://trdsf.com/es/blogs/news/sistemas-hidraulicos-versus-neumaticos-una-guia-comparativa?srsId=AfmBOoq2w_nuWOzsUuFcVHGcnym975DdJ4gYDzgEWSa3fvQ1_gNV3YQa

industrial, O. P.-I. (23 de agosto de 2023). *Energía Nuclear*. Obtenido de Mecánica de fluidos: <https://energia-nuclear.net/fisica/mecanica-de-fluidos/ejemplos/sistemas-hidraulicos>

J.L, B. (25 de septiembre de 2022). *electronicaonline*. Obtenido de Ley de Ohm: <https://electronicaonline.net/electricidad/ley-de-ohm/>

Leskow, C. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Semiconductores: <https://concepto.de/semiconductores/>

Leskow, E. C. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Electromagnetismo: <https://concepto.de/electromagnetismo/>

Licenciada en Física, c. m. (27 de Julio de 2020). *lifeder*. Obtenido de Mecánica de fluidos: historia, qué estudia, fundamentos: <https://www.lifeder.com/mecanica-de-fluidos/>

Licenciada en Física, c. m. (04 de diciembre de 2020). *lifeder*. Obtenido de Sistema neumático: <https://www.lifeder.com/sistema-neumatico/>

- Marquez, H. (2022). *UNISALIA*. Obtenido de La Influencia de la Física en la Tecnología: Una Perspectiva Completa.: <https://unisalia.com/como-influye-la-fisica-en-la-tecnologia2627/>
- Márquez, J. (2023). *I I.E.S. El Clot Dto. Física y Química*. Obtenido de Física Cuántica: https://www.uv.es/jmarques/_private/FisicaCuantica.pdf
- Montalvo, L. (2024). *GRUPO MOBILITY*. Obtenido de 5 aplicaciones de la física en la ingeniería ambiental: potencializando soluciones sostenibles: https://grupomobilitymurcia.es/5-aplicaciones-de-la-fisica-en-la-ingenieria-ambiental/?damemas_lectura=1
- Oriol Planas. (21 de junio de 2023). *ENERGÍA NUCLEAR*. Obtenido de Física cuántica: los principios de la mecánica cuántica: <https://energia-nuclear.net/fisica/cuantica>
- Oriol, P. (26 de JULIO de 2023). *ENERGÍA NUCLEAR*. Obtenido de Flujo magnético: <https://energia-nuclear.net/energia/electromagnetica/flujo-magnetico>
- Ramírez, M. D. (14 de marzo de 2024). *Gobierno de Canarias; Campus*. Obtenido de Física del siglo XX: Cuántica: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/mramrodp/?p=2436#:~:text=La%20mec%C3%A1nica%20cu%C3%A1ntica%20tiene%20tres,y%20la%20ecuaci%C3%B3n%20de%20Schr%C3%B6dinger>
- Ricardo Rodrigo. (03 de octubre de 2020). *ESTUDYANDO*. Obtenido de Número de Reynolds: Definición y ecuación: <https://estudyando.com/numero-de-reynolds-definicion-y-ecuacion/>
- Rodrigo, R. (03 de NOVIEMBRE de 2020). *ESTUDYANDO*. Obtenido de Qué es un imán: <https://estudyando.com/que-es-un-iman-definicion-y-ejemplos/>
- Rodriguez, C. (2024). *Euroinnova International online education*. Obtenido de Qué es la física cuántica: <https://www.euroinnova.com/blog/que-es-la-fisica-cuantica>
- Serrana, U. M. (2021). Obtenido de Hidrostática: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-nacional-de-asuncion/fisica-general-fisica-i/test-de-hidrostatica-con-respuestas/7585352>
- Startupeable*. (23 de Julio de 2024). Obtenido de Tecnologías Emergentes: <https://startupeable.com/glosario/tecnologias-emergentes/>
- Zapata, F. (26 de mayo de 2020). *Lifeder*. Obtenido de Presión hidrostática: fórmula, cálculo, ejemplos, ejercicios: <https://www.lifeder.com/presion-hidrostatica/>

Unidad II: electricidad y electromagnetismo

Introducción

El electromagnetismo es una disciplina fundamental de la física que estudia la interacción entre las cargas eléctricas y los campos magnéticos. Su desarrollo ha permitido comprender fenómenos esenciales, desde la atracción y repulsión de imanes hasta la propagación de ondas electromagnéticas. En el siglo XIX, el descubrimiento de la relación entre electricidad y magnetismo revolucionó la ciencia, dando lugar a una teoría unificada que explica cómo los campos eléctricos pueden generar campos magnéticos y viceversa (Educación, 2022).

Uno de los experimentos clave en esta área fue realizado por Hans Christian Oersted en 1819, cuando observó que una corriente eléctrica podía desviar la aguja de una brújula, demostrando la existencia de un campo magnético generado por la corriente. Posteriormente, André-Marie Ampère formuló una ley matemática que describe cómo las corrientes eléctricas generan campos magnéticos. Michael Faraday avanzó aún más al descubrir la inducción electromagnética, el principio que permite convertir la energía magnética en eléctrica mediante el movimiento relativo entre un imán y un conductor (Educación, 2022).

James Clerk Maxwell consolidó estos descubrimientos en un conjunto de ecuaciones que describen el comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos, unificando así la teoría electromagnética. Estas ecuaciones predijeron la existencia de ondas electromagnéticas, como la luz, lo que permitió avances en telecomunicaciones y tecnologías modernas. La comprensión del electromagnetismo ha llevado al desarrollo de motores eléctricos, generadores, transformadores y numerosos dispositivos esenciales en la vida cotidiana y en la industria (ABC, 2018).

2 Electricidad y magnetismo

El electromagnetismo, una de las fuerzas fundamentales del universo, surge de la estrecha relación entre el magnetismo y la corriente eléctrica. Estas dos entidades están profundamente conectadas y explican una variedad de fenómenos que van desde la generación de electricidad hasta la creación de campos magnéticos. La manipulación de campos magnéticos, como ocurre en ciertos tipos de generadores, permite generar una corriente eléctrica aprovechable. Este proceso se basa en el principio de la inducción electromagnética, donde el movimiento de un conductor dentro de un campo magnético induce el flujo de electrones, generando electricidad (Leskow E. C., 2024).

Al mismo tiempo, la corriente eléctrica también es capaz de crear magnetismo. Cuando se hace circular electricidad a través de ciertos materiales conductores, estos se convierten en electroimanes. Un electroimán es un objeto que genera un campo magnético al permitir que fluya electricidad a través de un conductor enrollado en forma de espiral, creando un campo magnético que puede ser manipulado según las necesidades del dispositivo. Esta capacidad de generar magnetismo mediante electricidad ha dado lugar a tecnologías como los motores eléctricos, generadores y dispositivos de almacenamiento magnético, que dependen de la interacción entre estos dos fenómenos.

Esta interconexión entre electricidad y magnetismo se fundamenta en la estructura atómica de los materiales. En los átomos, los electrones cargados negativamente se mueven en órbitas alrededor del núcleo, creando pequeñas corrientes eléctricas. Al ser arrancados o transferidos entre átomos, los electrones generan un flujo eléctrico que, a su vez, crea una polarización. Esta polarización produce un campo eléctrico, y cuando se organiza de manera adecuada, puede generar un campo magnético, como ocurre en los materiales ferromagnéticos.

2.1 Historia del electromagnetismo

La historia del electromagnetismo comienza en la antigua Grecia, alrededor del año 600 a. C., cuando el filósofo Tales de Mileto observó que, al frotar un trozo de ámbar, este se cargaba de manera similar a una especie de electricidad estática, lo que le permitía atraer objetos livianos como trozos de paja o plumas. Este fue uno de los primeros registros de fenómenos eléctricos, aunque en ese momento no se comprendían las causas ni los principios detrás de ellos (Coluccio, 2024).

En 1820, el físico danés Hans Christian Oersted realizó un experimento que marcaría un hito en la historia del electromagnetismo. Oersted descubrió que cuando una corriente eléctrica circulaba por un conductor, generaba un campo magnético alrededor de él. Este hallazgo ocurrió cuando una aguja imantada se movió al acercarse a un conductor por donde pasaba una corriente eléctrica, demostrando por primera vez que la electricidad y el magnetismo estaban relacionados. Este descubrimiento sentó las bases para futuras investigaciones y ayudó a consolidar la idea de que la electricidad podía generar campos magnéticos.

En 1826, el físico francés André-Marie Ampère desarrolló una teoría completa para explicar la interacción entre electricidad y magnetismo, a la que denominó “electrodinámica”. Ampère también fue el primero en definir y medir la corriente eléctrica, estableciendo las bases para la unidad de medida de la corriente eléctrica, el amperio. Su trabajo fue crucial para entender cómo las corrientes eléctricas influían en los campos magnéticos y cómo los imanes podían ser generados a partir de la electricidad.

En 1831, Michael Faraday, un físico y químico británico, hizo dos descubrimientos fundamentales en el campo del electromagnetismo. Primero, descubrió las leyes de la inducción electromagnética, que establecen que un campo magnético variable puede inducir una corriente eléctrica en un conductor. Este principio es la base de la generación de electricidad en dispositivos como generadores y transformadores. Además, Faraday hizo importantes avances en la teoría de la electrólisis, contribuyendo a la comprensión de las reacciones químicas que ocurren cuando se pasa una corriente eléctrica a través de soluciones.

Finalmente, en 1865, el físico escocés James Clerk Maxwell formuló las ecuaciones que unificaron los fenómenos eléctricos y magnéticos en una teoría coherente, conocida como las “ecuaciones de Maxwell”. Estas ecuaciones describen cómo los campos eléctricos y magnéticos se interrelacionan y cómo las ondas electromagnéticas, como la luz, se propagan a través del espacio. Las ecuaciones de Maxwell no solo fueron fundamentales para la comprensión del electromagnetismo, sino que también abrieron

el camino para el desarrollo de tecnologías modernas como las telecomunicaciones y la teoría de la relatividad de Albert Einstein.

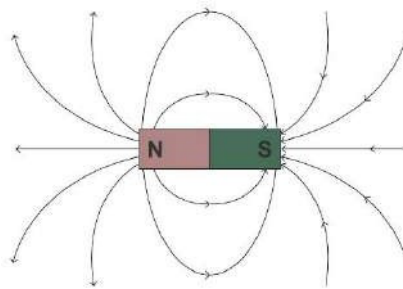
Así, a lo largo de los siglos, la comprensión de los fenómenos eléctricos y magnéticos se fue consolidando, desde los primeros descubrimientos de Tales de Mileto hasta la formulación de las ecuaciones de Maxwell, lo que permitió el desarrollo de la tecnología electromagnética que hoy conocemos.

2.2 Flujo magnético

Faraday desarrolló la idea de representar la influencia magnética de un imán o una corriente eléctrica en el espacio circundante a través de líneas de fuerza. Esta representación visual le permitió interpretar la mayoría de sus experimentos sobre electromagnetismo, compensando su limitada formación matemática con su gran habilidad para la representación gráfica y su aguda intuición científica. La noción de flujo magnético surge de esta tradición iniciada por Faraday, al emplear líneas de fuerza para describir los campos magnéticos, pero además incorpora un significado matemático más preciso (Oriol, 2023).

Figura 3.

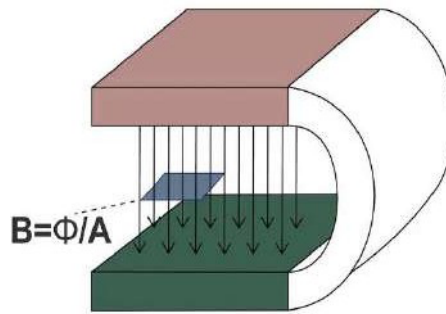
Física de la electricidad y magnetismo.



Fuente. Tomada de CITATION Ori23 \l 12298 (Oriol, 2023).

Al visualizar el campo magnético generado por un imán recto utilizando limaduras de hierro, se puede notar que las líneas de fuerza se encuentran más concentradas en los polos y se dispersan a medida que se alejan de ellos.

Figura 4.
Campo magnético.



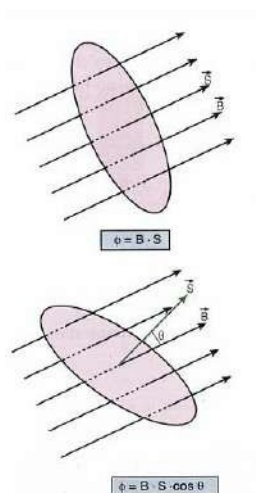
Fuente. Tomada de CITATION Uni22 \l 12298
(Educación, 2022).

Dado que la intensidad del campo magnético B disminuye a medida que aumenta la distancia desde los polos, resulta lógico establecer una relación entre ambos fenómenos. Por convenio, se asume una proporcionalidad directa entre la intensidad del campo B y la cantidad de líneas de fuerza que atraviesan una superficie de referencia por unidad de área.

El número de líneas de fuerza que atraviesan una superficie unidad varía según su orientación respecto a la dirección del campo. Si la superficie es perpendicular a las líneas de fuerza, la intersección será máxima, mientras que, si es paralela, no habrá intersección alguna. Por lo tanto, la cantidad de líneas de fuerza que atraviesan perpendicularmente una superficie proporciona una medida de la intensidad del campo magnético (Educación, 2022).

El flujo magnético del campo B , representado por la letra griega Φ , se define como el número total de líneas de fuerza que atraviesan una determinada superficie.

Figura 5.
Trayectoria del campo magnético en la superficie.



Fuente. Tomada de CITATION Uni221 \l 12298
(Guanajuato, 2022).

El flujo magnético es una magnitud física que describe la cantidad de campo magnético que atraviesa una superficie determinada. Este concepto es esencial en electromagnetismo, ya que permite cuantificar la interacción entre un campo magnético y una superficie, lo que resulta clave en fenómenos como la inducción electromagnética y el funcionamiento de transformadores y generadores eléctricos (Educación, 2022).

En el Sistema Internacional de Unidades (SI), el flujo magnético se mide en webers (Wb), en honor a Wilhelm Eduard Weber, un físico alemán que contribuyó significativamente al estudio del electromagnetismo (Educación, 2022).

Su expresión matemática se define como:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \theta$$

donde:

Φ es el flujo magnético (medido en webers, Wb),

B es la intensidad del campo magnético (en teslas, T),

S es el área de la superficie atravesada por el campo magnético (en metros cuadrados, m²),

θ es el ángulo entre el vector campo magnético B y la normal a la superficie.

La ecuación incorpora la función coseno para reflejar cómo la orientación de la superficie respecto al campo magnético influye en el flujo. Si el campo es perpendicular a la superficie ($\theta = 0^\circ$), el flujo es máximo y equivale a $\Phi = B \cdot S$. En cambio, si el campo es paralelo a la superficie ($\theta = 90^\circ$), el flujo es nulo, ya que no hay líneas de campo atravesándola de manera efectiva (Guanajuato, 2022).

Este concepto es fundamental en la Ley de Faraday de la Inducción Electromagnética, ya que cualquier variación en el flujo magnético a través de un circuito induce una corriente eléctrica. También tiene aplicaciones en motores eléctricos, generadores, transformadores y tecnologías basadas en inducción magnética, como los frenos y la resonancia magnética nuclear (Guanajuato, 2022).

2.3 Ley de Ampère

La Ley de Ampère es un principio fundamental del electromagnetismo que establece la relación entre una corriente eléctrica y el campo magnético que esta genera. Fue formulada por el físico y matemático francés André-Marie Ampère, quien realizó estudios sobre la interacción entre corrientes eléctricas y fuerzas magnéticas. Esta ley es esencial para comprender cómo se generan los campos magnéticos a partir de corrientes eléctricas y tiene aplicaciones fundamentales en el diseño de motores eléctricos, transformadores, generadores y otros dispositivos electromagnéticos (Guanajuato, 2022).

En términos generales, la Ley de Ampère establece que la circulación del campo magnético alrededor de un conductor es proporcional a la corriente que atraviesa una superficie delimitada por un contorno cerrado. Esta relación permite calcular el campo magnético en diversas configuraciones de corriente, como hilos rectos, solenoides y toroides. Su importancia radica en su aplicación en sistemas de transmisión de energía

y en la fundamentación teórica del electromagnetismo clásico, sentando las bases para la formulación de las ecuaciones de Maxwell (Estefanía Coluccio Leskow, 2024).

2.4 Fundamentos de la ley de Ampère

La formulación matemática de la Ley de Ampère se expresa mediante la integral de línea del campo magnético \vec{B} a lo largo de un camino cerrado, lo que equivale a la corriente total I que atraviesa la superficie delimitada por dicho camino (Estefanía Coluccio Leskow, 2024).

Matemáticamente, se representa como:

$$\oint_{\text{camino cerrado}} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

Donde:

\vec{B} es el campo magnético en un punto del contorno,

$d\vec{l}$ es un elemento diferencial de la trayectoria cerrada,

μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío, cuyo valor es aproximadamente $4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$,

I es la corriente total que atraviesa la superficie delimitada por el camino cerrado.

Esta ecuación implica que, si se conoce la distribución de corriente en un sistema, es posible determinar el campo magnético generado en su entorno. En situaciones altamente simétricas, como un cable recto de corriente infinita o un solenoide ideal, la Ley de Ampère facilita el cálculo del campo magnético de manera directa (Guanajuato, 2022).

En su forma más generalizada, la Ley de Ampère se complementa con la corrección de Maxwell, introduciendo la corriente de desplazamiento para explicar la formación de ondas electromagnéticas. Esta ampliación permitió unificar las leyes del electromagnetismo en un solo marco teórico y demostrar que la luz es una onda electromagnética (Estefanía Coluccio Leskow, 2024).

La Ley de Ampère sigue siendo una herramienta esencial en el análisis y diseño de circuitos eléctricos, sistemas de comunicación, generadores electromagnéticos y en la comprensión de fenómenos como la propagación de ondas de radio y la inducción magnética (Estefanía Coluccio Leskow, 2024).

2.5 Imanes

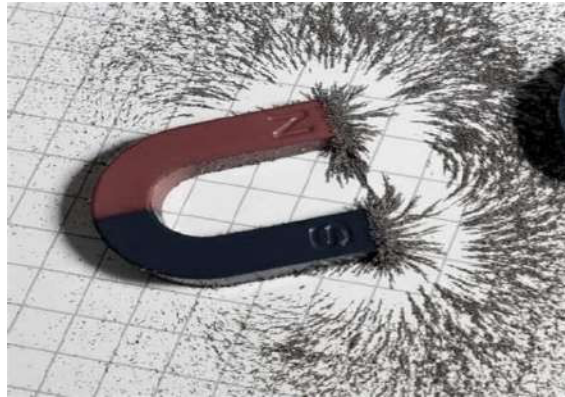
La piedra imán, conocida también como magnetita o calamita, es un imán natural que, desde el punto de vista químico, corresponde a un óxido de hierro. Ya en el siglo XI se empleaba en la navegación una aguja de hierro, previamente frotada contra una piedra imán, la cual, al quedar libre, por ejemplo, flotando en un recipiente con agua se orientaba hacia el norte.

No fue sino hasta la publicación de los estudios de Gilbert que este fenómeno se relacionó con otro imán natural: la Tierra. En sus experimentos, Gilbert utilizó una esfera magnetizada, a la que llamó *terrella* o "pequeña Tierra". Al mover una aguja imantada alrededor de la *terrella*, demostró que siempre apuntaba en dirección norte-sur. Con este experimento, convenció a la reina Isabel I de Inglaterra de que el mismo principio

se aplicaba al planeta, explicando así el funcionamiento de las brújulas a mayor escala (Estefania Coluccio Leskow, 2024).

Figura 6.

Imán magnético.



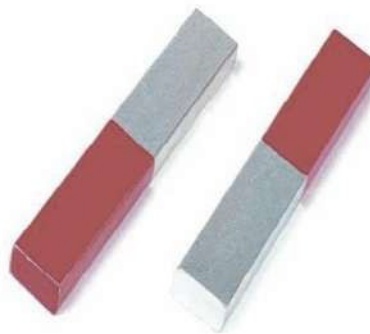
Fuente. Tomada de CITATION Rod20 \l 12298 (Rodrigo, 2020).

Los términos norte y sur, utilizados para describir los polos magnéticos de un imán, provienen de su relación con la geografía terrestre. El polo norte de un imán es aquel que, al quedar libremente orientado, apunta aproximadamente hacia el norte geográfico. La interacción entre los polos magnéticos es similar a la que ocurre entre las cargas eléctricas: los polos iguales se repelen, mientras que los opuestos se atraen (Rodrigo, 2020).

Otra analogía importante es que, al igual que las fuerzas eléctricas, las fuerzas magnéticas siguen una relación inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Charles Coulomb, mediante una balanza de torsión adaptada al estudio de fenómenos magnéticos, formuló una ley empírica que establece la relación entre la intensidad de la fuerza magnética tanto de atracción como de repulsión y la distancia entre los polos en interacción (Educación, 2022).

Figura 7.

Polos magnéticos.



Fuente. Tomada de CITATION Col241 \l 12298 (Coluccio Leskow, 2024).

Una diferencia clave entre los fenómenos magnéticos y los eléctricos es que, mientras que un cuerpo puede adquirir carga eléctrica de signo positivo o negativo, no es posible obtener un solo tipo de polo magnético en un cuerpo. Es decir, no existen los monopolos magnéticos, ni la teoría electromagnética actual prevé su existencia. Si se corta un imán que tiene un polo norte y uno sur en sus extremos, cada fragmento resultante tendrá nuevamente ambos polos. Incluso si se sigue fragmentando el imán, siempre se obtendrán nuevos imanes con ambos polos, norte y sur. Esto se debe a la estructura particular de los imanes, que pueden considerarse como un conjunto de pequeños dipolos magnéticos organizados en regiones denominadas dominios magnéticos. Dentro de estos dominios, los dipolos están orientados de manera ordenada, de modo que cada dominio tiene un polo norte y un sur. La orientación de estos dominios en el material determina si este se comporta como un imán o no (Coluccio Leskow, 2024).

Los dominios magnéticos también explican por qué un imán puede magnetizar un trozo de hierro, pero no otros materiales. Este fenómeno diferencia los procesos eléctricos de los magnéticos, y llevó a que, en un principio, se consideraran fenómenos completamente distintos. Por ejemplo, el ámbar frotado atrae materiales variados, mientras que la magnetita atrae principalmente hierro, además de conferirle sus propiedades magnéticas. Este material, como otros, tiene dominios magnéticos desordenados inicialmente, es decir, los dipolos apuntan en direcciones aleatorias.

Cuando se coloca un imán cerca, los dominios se alinean, magnetizando el material. Normalmente, este orden se pierde cuando el imán se aleja, aunque en algunos casos puede mantenerse, dependiendo de la dureza magnética del material. Si el material permanece magnetizado, se convierte en un imán artificial. El hierro dulce tiende a perder este orden al alejarse el imán, mientras que el acero frecuentemente conserva la magnetización. Además del hierro, otros materiales como el cobalto, el níquel y algunos metales del grupo de las tierras raras, poseen propiedades ferromagnéticas, al igual que algunas aleaciones de estos elementos con otros metales (ABC, 2018).

La pérdida de las propiedades magnéticas de un imán puede ocurrir, por ejemplo, por aumento de temperatura. Esto se debe al aumento de la energía cinética de las partículas del material, lo que provoca que la agitación microscópica desordene la estructura magnética. La temperatura a la cual un material pierde sus propiedades magnéticas se llama temperatura de Curie, en honor a Pierre Curie, quien lo descubrió. Por ejemplo, el hierro pierde sus propiedades ferromagnéticas a 770 °C. Los imanes permanentes más comunes son de aleación de aluminio, níquel y cobre (alnico), que resisten altas temperaturas. También existen imanes cerámicos, que son económicos y se pueden fabricar en diversas formas. Estos están hechos de partículas ferromagnéticas aglutinadas por alta presión y temperatura, o de hierro, bario y estroncio. Además, existen imanes de tierras raras, como los de neodimio-hierro-boro y samario-cobalto, que son extremadamente poderosos y requieren hornos de alto vacío para su producción. Debido a los efectos térmicos mencionados, los imanes de neodimio-hierro-boro deben usarse a temperaturas no superiores a 80 °C, mientras que los de samario-cobalto resisten temperaturas de hasta 350 °C aproximadamente (Coluccio Leskow, 2024).

2.6 Campo magnético

El campo magnético es una región del espacio en la que una carga en movimiento o un material magnetizado experimentan fuerzas debido a la presencia de un imán o una corriente eléctrica. Se define en cada punto mediante el vector de inducción magnética B , cuya magnitud y dirección determinan la intensidad y orientación del campo. Este concepto es análogo a los campos gravitatorio y eléctrico, en los que la interacción ocurre a través de fuerzas a distancia (Rodrigo, 2020).

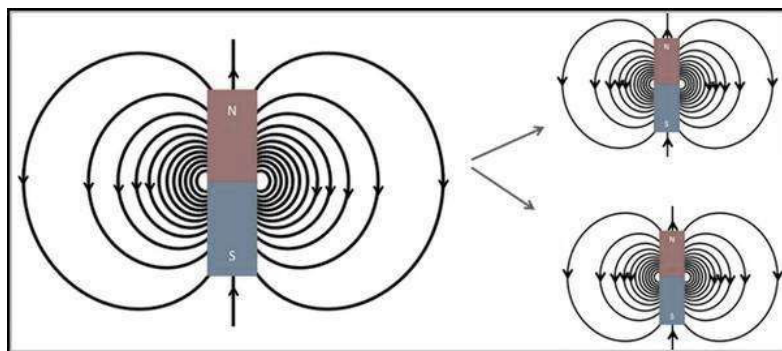
Para visualizar la estructura de un campo magnético, se emplea el concepto de líneas de inducción magnética, que representan gráficamente la dirección y distribución del campo en el espacio. La densidad de estas líneas en una determinada región indica la intensidad del campo: cuantas más juntas están, mayor es la magnitud de B . Alrededor de un imán, las líneas emergen del polo norte y se dirigen hacia el polo sur en el exterior del imán, mientras que en su interior completan un recorrido cerrado regresando del polo sur al polo norte (Oriol, 2023).

La inexistencia de monopolos magnéticos implica que las líneas de campo magnético siempre son circuitos cerrados, a diferencia de las líneas de campo eléctrico, que pueden comenzar o terminar en cargas puntuales. Esta propiedad distingue el comportamiento del magnetismo del de la electrostática y se fundamenta en las ecuaciones de Maxwell, en particular en la ley de Gauss para el magnetismo, que establece que el flujo neto del campo magnético a través de una superficie cerrada es siempre cero (Rodrigo, 2020).

El análisis de los campos magnéticos y sus líneas de inducción es esencial para comprender fenómenos como la interacción entre imanes, el comportamiento de materiales ferromagnéticos y la generación de electricidad a través del movimiento de cargas en campos magnéticos, lo que da lugar a aplicaciones en motores eléctricos, generadores y dispositivos de almacenamiento magnético.

Figura 8.

Campos magnéticos y sus líneas de inducción.



Fuente. Tomada de CITATION Rod20 \l 12298 (Rodrigo, 2020).

2.7 Campo magnético y cargas en movimiento

Cuando una carga eléctrica está en reposo dentro de un campo magnético, no experimenta ninguna fuerza debido a este campo. Sin embargo, si la carga se mueve a través del campo con cierta velocidad, su trayectoria se desvía lateralmente, lo que demuestra que está siendo afectada por una fuerza. Esta fuerza magnética permite

asociar un campo magnético propio a la carga en movimiento. La interacción entre este campo magnético propio y el campo externo genera la fuerza magnética que actúa sobre la carga (Rodrigo, 2020).

La magnitud de la fuerza que desvía lateralmente la carga se puede calcular a partir de la trayectoria que sigue. Esta fuerza alcanza su valor máximo cuando la dirección de la velocidad es perpendicular a la dirección del vector \vec{B} en el punto donde la carga entra al campo, mientras que la fuerza es cero si las direcciones coinciden. Si se mide la fuerza máxima de desviación lateral, denotada como F_{\perp} , y la velocidad V con la que la carga ingresa al campo magnético, es posible definir la intensidad del vector de inducción magnética en ese punto como:

$$B = \frac{F_{\perp}}{q \cdot V}$$

donde B es la intensidad del vector inducción magnética, F_{\perp} es el valor de la fuerza máxima de la desviación lateral, V la velocidad con la que la carga ingresa al campo, y q el valor de la carga del cuerpo en movimiento.

La unidad del Sistema Internacional de Unidades para la inducción magnética es llamada tesla, cuyo símbolo es T y se define como:

$$1 \text{ tesla} = 1 \text{ newton} \frac{\frac{\text{newton}}{\text{coulomb}} \frac{\text{metro}}{\text{segundo}}}{\text{segundo}} \text{ es decir } T \frac{N}{C \frac{m}{s}}$$

$$\text{Es muy común reemplazar } \frac{C}{s} \text{ por } A \text{ (ampere) con lo cual } T \frac{N}{A \cdot m}$$

2.8 Magnetismo y corriente eléctrica

Un campo magnético también genera una fuerza lateral sobre un cable por el que circula una corriente eléctrica, de manera similar a cómo actúa sobre una carga eléctrica en movimiento dentro del campo. Esta fuerza se puede calcular utilizando la siguiente expresión:

$$\vec{F} = I \cdot \vec{l} \times \vec{B}$$

en esta expresión, \vec{F} representa la fuerza magnética que actúa sobre un conductor de longitud l en el cual fluye una corriente eléctrica de intensidad i , cuando se coloca en un campo magnético con inducción \vec{B} . Esta fórmula puede considerarse análoga a la expresión $\vec{F} = q \cdot \vec{V} \times \vec{B}$, que fue analizada previamente. En este contexto, la correspondencia a nivel macroscópico se establece al definir \vec{l} como el vector que representa, en cuanto a su módulo y dirección, un tramo recto de cable, y cuyo sentido coincide con la dirección de la corriente i que circula por él (Guanajuato, 2022).

El primero en notar la relación entre la corriente eléctrica y el magnetismo fue Christian Oersted (1777-1851), quien, en 1820, realizaba experimentos con corrientes eléctricas junto a sus alumnos. Ellos observaron que la aguja de una brújula cerca del circuito se movía y cambiaba su orientación de la geográfica cada vez que se cerraba el interruptor del circuito, es decir, cuando la corriente comenzaba a circular. Oersted difundió este fenómeno y las explicaciones que propuso para este efecto (ABC, 2018).

El físico francés André-Marie Ampère, al observar este fenómeno, pensó que la atracción vista en la brújula también podría experimentarse por otro cable conductor

de corriente cercano. Mediante experimentos demostró que corrientes en el mismo sentido causaban una atracción entre los cables, mientras que corrientes en direcciones opuestas generaban repulsión. Ampère, además, calculó cuidadosamente que la fuerza entre dos conductores rectos y paralelos dependía inversamente de la distancia entre ellos y directamente de la intensidad de corriente que circulaba por cada uno.

Estos experimentos demostraron que existe una relación fundamental entre las interacciones eléctricas y magnéticas. Es decir, hay dos fuerzas asociadas con la electricidad: la eléctrica y la magnética. La segunda implica la presencia de un campo magnético generado siempre que una carga esté en movimiento. Por lo tanto, alrededor de cualquier cable que conduzca corriente, se genera un campo magnético compuesto de líneas circulares que lo rodean.

El vector \vec{B} asociado a este campo es tangente a las líneas, y su dirección se determina mediante la regla de la mano derecha. Ampère interpretó estas interacciones como acciones a distancia, sin considerar la existencia de un campo de fuerzas. Sin embargo, utilizando los conceptos de campos eléctricos y magnéticos, James Clerk Maxwell redefinió estos resultados. En 1864, Maxwell generalizó la relación entre las interacciones eléctricas y magnéticas en un conjunto de ecuaciones en las que también apareció la velocidad de la luz, lo que confirmó la naturaleza electromagnética de estas fuerzas. La relevancia de sus trabajos, que sintetizaron diversas teorías físicas hasta entonces independientes, será profundizada en el siguiente capítulo (ABC, 2018).

2.9 Inducción electromagnética

Los descubrimientos de Oersted y Ampère fueron fundamentales para el avance de la teoría electromagnética. Después de demostrar que las corrientes eléctricas podían generar magnetismo, surgió la hipótesis de que tal vez sería posible generar electricidad a partir del magnetismo. La invención de la pila por parte de Volta fue clave, ya que ofreció una alternativa a las limitadas máquinas electrostáticas, permitiendo generar corriente eléctrica de forma continua. Fue muy prometedor pensar que, como finalmente se comprobó, era posible obtener corriente eléctrica utilizando algún mecanismo que involucrara imanes (Rodrigo, 2020).

En 1831, el estadounidense Joseph Henry (1797-1878) publicó sus hallazgos sobre la inducción eléctrica, demostrando que una corriente eléctrica podía generarse en una bobina mediante el movimiento de un imán que entraba y salía de ella. Casi al mismo tiempo, Michael Faraday, en Europa, descubría de forma independiente el método para convertir magnetismo en electricidad. En su experimento, Faraday generaba corriente en un disco de cobre que giraba entre los polos de un imán en forma de herradura. Un cable estaba conectado al centro del disco, y otro tocaba el borde mediante una escobilla.

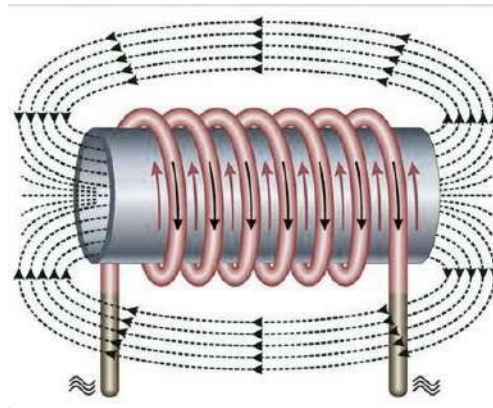
Cuando el imán permanecía inmóvil, el amperímetro no detectaba corriente, como era de esperar. Sin embargo, al mover el imán con su polo norte hacia la bobina, el amperímetro mostraba que se generaba corriente. Cuando el imán se retiraba, la aguja del amperímetro se desviaba en la dirección opuesta, indicando una corriente en sentido contrario. Si el experimento se repetía usando el polo sur del imán, los resultados eran similares, aunque el sentido de la corriente se invertía. Dado que el movimiento es relativo, no importa si se mueve el imán o la bobina (Oriol, 2023).

Faraday interpretó que la bobina barre las líneas del campo magnético mientras se mueve, y que la velocidad con la que esto ocurre determina la magnitud de la diferencia de potencial asociada a la corriente que circula en la bobina. La corriente inducida genera una diferencia de potencial eléctrico ΔV , conocida como fuerza electromotriz inducida, la cual depende de la rapidez con que el alambre corta las líneas de campo magnético.

Cuanto más rápido sea el movimiento, mayor será la fuerza electromotriz inducida. Además, al aumentar el número de espiras de la bobina, el valor de la fuerza electromotriz también aumenta. Sin embargo, a medida que se incrementa el número de espiras, el movimiento relativo se vuelve más difícil, ya que la corriente inducida genera campos magnéticos que se oponen al movimiento del imán, lo que añade una fuerza contra la cual se debe realizar trabajo. Así, se confirma nuevamente el principio de conservación de la energía (Rodrigo, 2020).

Figura 9.

Corrientes electricas.



Fuente. Tomada de CITATION Ele17 \l 12298 (Electromagnetismo, 2017).

2.10 Ley de Faraday

Faraday se guiaba por una notable imaginación e intuición, habilidades que probablemente desarrolló durante su formación científica autodidacta. Su concepto de las líneas de campo fue sumamente productivo, especialmente en la interpretación de la inducción electromagnética (Guanajuato, 2022).

Para medir la rapidez con la que una espira metálica corta las líneas del campo magnético, se debe definir una magnitud denominada flujo magnético, representada por la letra Φ . Este valor es proporcional al número de líneas de campo que atraviesan una superficie específica. El cálculo del flujo del vector de inducción magnética \vec{B} es sencillo cuando se trata de un campo uniforme que atraviesa una sección perpendicular S .

$$\Phi = B \cdot S$$

La unidad del flujo magnético en el sistema internacional se llama weber y se define como $\text{Wb} = \text{T} \cdot \text{m}^2$. A partir de esta magnitud es posible enunciar la llamada Ley de la inducción de Faraday, la cual enuncia:

La fuerza electromotriz (fem) inducida es proporcional a la rapidez con la cual cambia el flujo magnético que atraviesa el circuito eléctrico.

Simbólicamente:

$$\text{fem} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

donde $\Delta\Phi$ indica el cambio del flujo magnético en un intervalo de tiempo Δt .

La fuerza electromotriz (fem) es una magnitud física que se define como la razón entre la energía proporcionada por una fuente de energía eléctrica y la cantidad de carga que pasa a través de ella. Su unidad es el voltio, que equivale a la cantidad de energía (1 joule) por cada coulomb de carga. En una pila, parte de la energía suministrada se pierde como calor debido a la resistencia interna de la pila, y el resto se convierte en la diferencia de potencial entre sus terminales. Por lo tanto, cuando está conectada, la tensión es ligeramente inferior a su fem. Si en lugar de una sola espira se tuviera un número n de espiras, y considerando que los flujos magnéticos que atraviesan cada una de ellas son prácticamente iguales, se obtendría:

$$\text{fem} = -n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Esta ecuación se puede aplicar con buena precisión a solenoides y toroides. El signo negativo en la Ley de Inducción de Faraday indica que la corriente inducida genera efectos magnéticos que buscan contrarrestar el cambio en el flujo magnético. Su significado se puede entender mejor a través de la Ley de Lenz. Basada en el principio de conservación de la energía, esta ley establece que: la corriente inducida fluye en una dirección tal que se opone a la causa que la genera. El campo magnético asociado a la corriente inducida se opone a la variación del flujo de \vec{B} . Al mover el imán hacia la bobina o alejarlo de ella, siempre será necesario trabajar contra una fuerza (Educación, 2022).

Este trabajo se convierte en el calentamiento producido por el efecto Joule, debido a la resistencia del circuito cuando la corriente circula, es decir, cuando está cerrado. El agente que cambia el flujo magnético realiza trabajo y entrega energía al circuito. El principio de conservación de la energía sigue siendo uno de los pilares fundamentales de la física.

2.11 Áreas de aplicación del electromagnetismo

El electromagnetismo es una de las ramas de la física con mayor impacto en la vida cotidiana y en el desarrollo tecnológico. Su estudio ha permitido la evolución de múltiples disciplinas, especialmente en ingeniería eléctrica, electrónica, telecomunicaciones y almacenamiento de energía. Además, sus principios han sido aplicados en áreas tan diversas como la medicina, la aeronáutica y la construcción urbana, permitiendo avances que han revolucionado la sociedad moderna (Electromagnetismo, 2017).

El desarrollo de la Segunda Revolución Industrial, también llamada Revolución Tecnológica, estuvo estrechamente ligado a la comprensión del electromagnetismo y su aplicación en la generación y transmisión de electricidad. Inventos como el motor eléctrico, el generador y el transformador permitieron la expansión de la energía eléctrica a nivel global, impulsando el desarrollo de la industria, los sistemas de transporte y las telecomunicaciones. Hoy en día, el electromagnetismo sigue siendo esencial para la innovación en campos como la computación, la nanotecnología y la energía renovable.

Ejemplos de aplicaciones del electromagnetismo:

Timbres eléctricos: Uno de los ejemplos más simples del uso del electromagnetismo en la vida cotidiana es el timbre eléctrico. Su mecanismo se basa en un electroimán que, al activarse con el paso de una corriente eléctrica, genera un campo magnético que atrae un pequeño martillo metálico. Este golpea repetidamente una campana, produciendo el sonido característico del timbre. La interrupción y restablecimiento del circuito eléctrico permite la repetición del proceso mientras el botón del timbre permanezca presionado.

Figura 10.

Uso del electromagnetismo en timbres eléctricos.



Fuente. Tomada de (Electromagnetismo, 2017).

Trenes de suspensión magnética (Maglev): A diferencia de los trenes convencionales que se desplazan sobre rieles, los trenes de levitación magnética utilizan potentes electroimanes para mantenerse suspendidos y moverse sin contacto con la superficie. Esto se logra mediante la interacción de campos magnéticos repulsivos, que generan un efecto de flotación sobre una plataforma especial. Gracias a esta tecnología, los trenes Maglev pueden alcanzar velocidades superiores a los 600 km/h, reduciendo el rozamiento y mejorando la eficiencia energética en el transporte.

Transformadores eléctricos: Los transformadores eléctricos son dispositivos fundamentales en los sistemas de generación y distribución de electricidad. Se encargan de aumentar o disminuir el voltaje de la corriente alterna para su eficiente transporte y consumo. Su estructura está compuesta por dos bobinas de alambre de cobre enrolladas alrededor de un núcleo de hierro. Cuando la corriente alterna pasa por la bobina

primaria, genera un campo magnético variable que induce un voltaje en la bobina secundaria, modificando así la tensión eléctrica.

Estos dispositivos permiten reducir la pérdida de energía en la transmisión eléctrica. Por ejemplo, en las redes de distribución, la electricidad se transporta a altos voltajes para minimizar pérdidas, y luego los transformadores reducen la tensión para que pueda ser utilizada de manera segura en hogares e industrias. Sin ellos, la distribución eficiente de electricidad en largas distancias no sería posible.

Motores eléctricos: Los motores eléctricos son dispositivos que convierten la energía eléctrica en energía mecánica, permitiendo el funcionamiento de electrodomésticos, herramientas, vehículos eléctricos y maquinaria industrial. Su diseño se basa en dos componentes principales:

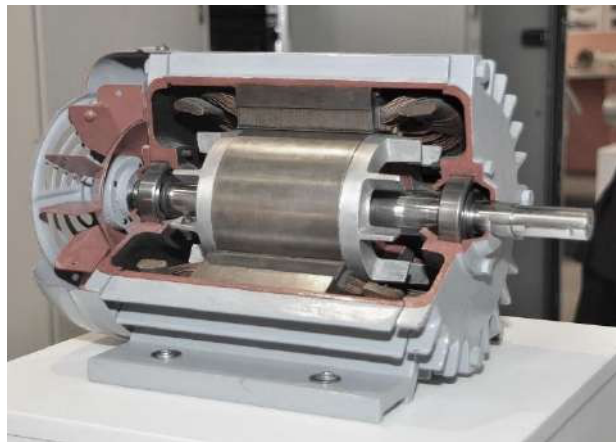
El rotor, que es la parte móvil, compuesta por bobinas que reciben corriente eléctrica.

El estator, que contiene imanes fijos o electroimanes.

Cuando la corriente eléctrica circula por las bobinas del rotor, se genera un campo magnético que interactúa con el campo del estator, produciendo una fuerza que hace girar el rotor. Este movimiento se mantiene constante gracias a un conmutador, que permite que el campo magnético varíe de manera sincronizada.

Figura 11.

Motor eléctrico.



Fuente. Tomada de (Guanajuato, 2022).

Dinamos: Los dinamos son dispositivos que generan electricidad a partir del movimiento mecánico, basándose en el principio de la inducción electromagnética. Su funcionamiento consiste en aprovechar la rotación de las ruedas de un vehículo, como una bicicleta o un automóvil, para hacer girar un imán dentro de una bobina. Esta rotación genera un campo magnético cambiante, que induce una corriente eléctrica en la bobina, suministrando energía a sistemas como las luces de un vehículo.

Los dinamos fueron los primeros generadores eléctricos y aún se utilizan en algunas aplicaciones. Aunque han sido reemplazados en muchos casos por alternadores más eficientes, su principio de funcionamiento sigue siendo clave en la generación de electricidad en centrales hidroeléctricas y eólicas.

El Teléfono y la Comunicación Electromagnética: El teléfono es una de las aplicaciones más revolucionarias del electromagnetismo. Su funcionamiento se basa en la conversión de ondas sonoras en señales eléctricas que pueden transmitirse a través de cables o señales inalámbricas.

En los teléfonos tradicionales, el micrófono transforma las vibraciones sonoras en variaciones de corriente eléctrica, modulando un campo electromagnético. Esta señal viaja por un cable hasta el otro extremo, donde un altavoz realiza el proceso inverso: convierte las variaciones electromagnéticas en ondas sonoras audibles.

Hornos de microondas: Los hornos microondas calientan los alimentos mediante la emisión de ondas electromagnéticas de alta frecuencia (alrededor de 2.45 GHz). Estas ondas son similares a las empleadas en telecomunicaciones, pero con una energía suficiente para interactuar con las moléculas de agua, grasas y otros componentes polares presentes en la comida.

El mecanismo de calentamiento se basa en la rotación de dipolos moleculares. Las moléculas de agua, al estar expuestas al campo electromagnético alternante, intentan alinearse con él, girando a velocidades extremadamente altas. Esta fricción molecular genera calor, permitiendo calentar los alimentos de manera rápida y eficiente.

Imágenes por resonancia magnética (IRM): La resonancia magnética es una de las herramientas más avanzadas en diagnóstico médico, permitiendo obtener imágenes detalladas del interior del cuerpo sin necesidad de intervenciones invasivas.

Su funcionamiento se basa en la interacción de un fuerte campo magnético con los átomos de hidrógeno presentes en el cuerpo. Estos átomos, que contienen protones con propiedades magnéticas, responden a los pulsos de radiofrecuencia emitiendo señales que son captadas y procesadas por computadoras especializadas.

Micrófonos: Los micrófonos convierten las ondas sonoras en señales eléctricas, permitiendo la transmisión, almacenamiento y reproducción del sonido.

El principio de funcionamiento se basa en un diafragma unido a una bobina o un material sensible al sonido, que vibra cuando recibe una onda sonora. Estas vibraciones afectan un campo magnético generado por un electroimán, induciendo una corriente eléctrica que representa la señal de audio. Esta señal puede luego amplificarse, almacenarse o transmitirse a través de cables o señales inalámbricas.

Espectrómetros de masas: Los espectrómetros de masas son herramientas fundamentales en la química y la biomedicina, ya que permiten analizar la composición de sustancias con gran precisión.

El proceso comienza con la ionización de la muestra, en la que los átomos o moléculas se cargan eléctricamente. Luego, estos iones son dirigidos a través de un campo magnético, que desvía su trayectoria dependiendo de su masa y carga. Un detector especializado registra la distribución de los iones, generando un espectro de masas que permite identificar la composición química de la muestra.

Osciloscopios: Los osciloscopios son instrumentos electrónicos que permiten visualizar gráficamente señales eléctricas variables en el tiempo. Su funcionamiento se basa en la medición de voltajes que se representan en una pantalla en un sistema de coordenadas:

El eje horizontal representa el tiempo.

El eje vertical representa la variación del voltaje de la señal analizada.

Estos dispositivos son ampliamente utilizados en electrónica para el análisis de circuitos, en telecomunicaciones y en medicina. En el ámbito médico, se emplean para monitorear funciones del corazón (electrocardiogramas), del cerebro (electroencefalogramas) y de otros órganos, proporcionando información clave para diagnósticos.

Tarjetas magnéticas: Las tarjetas de crédito, débito y acceso funcionan gracias a la tecnología magnética. Estas tarjetas contienen una banda magnética con partículas ferromagnéticas cuya orientación almacena información codificada.

Cuando se introduce la tarjeta en un lector, un cabezal magnético detecta la disposición de las partículas y traduce esa información en datos digitales. Esta tecnología se usa en transacciones bancarias, control de accesos y almacenamiento de información personal.

Almacenamiento digital en cintas magnéticas: El almacenamiento magnético es una de las tecnologías más importantes en la informática. Se basa en la polarización de partículas magnéticas en discos o cintas, permitiendo guardar y recuperar grandes volúmenes de información.

Figura 12.

Cintas magnéticas.



Fuente. Tomada de (Guanajuato, 2022).

Discos duros (HDD): Utilizan un sistema de cabezales electromagnéticos que graban y leen datos en platos giratorios con recubrimiento magnético.

Cintas magnéticas: Aunque han sido reemplazadas en gran parte por discos de estado sólido (SSD), siguen siendo una opción eficiente para copias de seguridad y almacenamiento masivo en centros de datos.

Disquetes y pendrives: Mientras que los disquetes fueron populares en el pasado, los pendrives modernos utilizan memoria flash en lugar de almacenamiento magnético.

Tambores magnéticos: Los tambores magnéticos fueron uno de los primeros dispositivos de almacenamiento de datos en computación, utilizados en las décadas de 1950 y 1960.

Se trataba de un cilindro metálico cubierto con una capa de material magnético, generalmente óxido de hierro. A diferencia de los discos duros, los tambores magnéticos no utilizaban cabezales móviles, lo que permitía un acceso más rápido a los datos almacenados. Aunque hoy en día están obsoletos, fueron fundamentales en la evolución de la informática.

2.12 Test de evaluación del capítulo

2.13 Ejercicios de opción múltiple teórico

1. ¿Quién descubrió el principio de la inducción electromagnética?

- a) André-Marie Ampère
- b) Michael Faraday
- c) James Clerk Maxwell
- d) Hans Christian Oersted

Respuesta correcta: Literal b

2.Cuál es la unidad de medida del flujo magnético en el Sistema Internacional:

- a) Tesla (T)
- b) Weber (Wb)
- c) Volt (V)
- d) Coulomb (C)

Respuesta correcta: Literal b

3. ¿Qué sucede si una carga eléctrica se coloca en reposo dentro de un campo magnético?

- a) Experimenta una fuerza lateral
- b) Se acelera en la dirección del campo
- c) No experimenta ninguna fuerza
- d) Se polariza eléctricamente

Respuesta correcta: Literal c

4. ¿Qué establece la Ley de Lenz?

- a) La corriente inducida tiene un sentido que facilita el cambio en el flujo magnético
- b) La corriente inducida se opone a la causa que la produce
- c) La corriente inducida es independiente del campo magnético
- d) El flujo magnético siempre disminuye

Respuesta correcta: Literal b

5. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre los imanes es correcta?

- a) Los polos iguales se atraen
- b) Los polos opuestos se repelen
- c) Siempre tienen un polo norte y sur
- d) Pueden existir monopolos magnéticos

Respuesta correcta: Literal c

6. ¿Qué sucede cuando las líneas del campo magnético son paralelas a una superficie?

- a) El flujo magnético es máximo
- b) El flujo magnético es nulo
- c) El flujo magnético es constante
- d) El flujo magnético depende del área

Respuesta correcta: Literal b

7. ¿Cómo se define la fuerza electromotriz inducida según la Ley de Faraday?

- a) Es proporcional al flujo magnético total
- b) Es inversamente proporcional al número de espiras
- c) Es directamente proporcional a la rapidez de variación del flujo magnético
- d) No depende del flujo magnético

Respuesta correcta: Literal c

8. ¿Qué se genera alrededor de un conductor por el que circula corriente eléctrica?

- a) Un campo eléctrico uniforme
- b) Un campo magnético
- c) Un flujo magnético constante
- d) Ninguno de los anteriores

Respuesta correcta: Literal b

9. Si una bobina tiene 100 espiras y el flujo magnético varía en 0.5 Wb en 2 segundos, ¿cuál es la fuerza electromotriz inducida?

- a) 25 V
- b) 50 V
- c) 75 V
- d) 100 V

Respuesta correcta: Literal a

10. ¿Cuál es la temperatura de Curie aproximada del hierro?

- a) 300 °C
- b) 500 °C
- c) 770 °C
- d) 1200 °C

Respuesta correcta: Literal c

2.14 Ejercicios prácticos resueltos

1. Una corriente de 5 A fluye a través de un solenoide con una longitud de 21 cm, compuesto por 3050 espiras y un radio de 6 cm. Determinar:
 - La intensidad del campo magnético en el interior del solenoide cuando se encuentra en ausencia de material en su núcleo.

Datos

$$I = 5 \text{ A}$$

$$L = 21 \text{ cm} = 0.21 \text{ m}$$

$$N = 3050 \text{ espiras}$$

$$r = 6 \text{ cm} = 0.06 \text{ m}$$

$$B = ?$$

Solución

$$B = \frac{\mu \times I \times N}{L}$$

$$\text{Donde } \mu = \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

Sustituyendo:

$$B = \frac{\mu_0 \times I \times N}{L} = B = \frac{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 5 \times 3050}{0.21} = B = 0.0913 \text{ T}$$

2. Un solenoide vacío de 8 cm de longitud conduce una corriente eléctrica de 14 A, generando un campo magnético de 0.3 T en su interior. Determinar la cantidad de espiras que lo conforman.

Datos

$$L = 8 \text{ cm} = 0.08 \text{ m}$$

$$I = 14 \text{ A}$$

$$B = 0.3 \text{ T}$$

$$\mu = \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{kg} / \text{C}^2$$

$$N = ?$$

Solución

$$B = \frac{\mu_0 \times I \times N}{L} = N = \frac{B \times L}{\mu_0 \times I} = N = \frac{0.3 \times 0.08}{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 14} = N = 1364.2$$

3. Una corriente eléctrica que fluye en línea recta genera un campo magnético de $5 \times 10^{-4} \text{ T}$ en un punto ubicado a 4 cm de distancia. Determinar la intensidad de la corriente que produce este campo.

Datos

$$B = 5 \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$R = 4 \text{ cm} = 0.04 \text{ m}$$

Solución

$$B = \frac{\mu_0 \times I}{2 \times \pi \times R} = I = \frac{B \times 2 \times \pi \times R}{\mu_0} = I = \frac{5 \times 10^{-4} \times 2 \times \pi \times 0.04}{4 \times \pi \times 10^{-7}} = I = 100 \text{ A}$$

4. Un conductor rectilíneo de 12 cm de longitud se desplaza de forma perpendicular a un campo magnético de 0.8 T con una velocidad de 4.2 m/s. Determinar la fuerza electromotriz (fem) inducida en el conductor.

Datos:

$$l = 12 \text{ cm} = 0.12 \text{ m}$$

$$B = 0.8 \text{ T}$$

$$v = 4.2 \text{ m/s}$$

Solución:

$$\varepsilon = Blv$$

Sustituyendo:

$$\varepsilon = Blv = (0.8 \text{ T})(0.12 \text{ m}) \left(4.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) = 0.4032 \text{ V}$$

5. Una placa circular con un radio de 8.7 cm está sometida a una densidad de flujo magnético de 6 T. Determinar el flujo magnético total que atraviesa la placa, expresado en webers.

Datos:

$$r = 8.7 \text{ cm} = 0.087 \text{ m}$$

$$B = 6 \text{ T}$$

Solución

$$A = \pi \times r^2 = \pi \times (0.087\text{m})^2 = 0.0238 \text{ m}^2$$

Luego:

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

Despejando:

$$\Phi = B \times A$$

Sustituyendo:

$$\Phi = B \times A = 6 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \times 0.0238 \text{ m}^2 = 0.1428 \text{ Wb}$$

6. ¿Un anillo circular de radio 10cm tiene una distribución de carga de 4C m Cual es el exceso de electrones en el anillo? Solución: Primero debemos determinar la carga total en el anillo, al suponer una distribución continua de carga tenemos lo siguiente:

$$dQ = \lambda dx$$

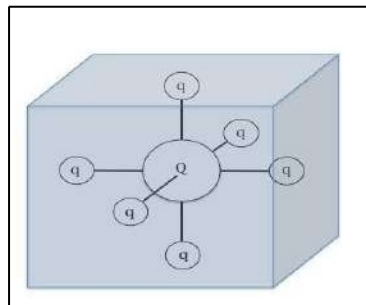
Donde, integrando podemos obtener la carga total (o sumando todas las cargas infinitesimales):

$$Q = \int_0^{2\pi} \lambda dx = \lambda x|_0^{2\pi} = -4 \cdot 2\pi = -2.51[C]$$

Finalmente, podemos obtener el exceso de electrones mediante:

$$N_e = \frac{Q}{-1.6 \times 10^{-19}} = 1.57 \times 10^{19}[\text{electrones}]$$

7. Una gran carga Q se encuentra dentro de un cubo. Está rodeada de 6 cargas más pequeñas q, cada una dentro del cubo y en una dirección perpendicular a las caras del cubo como se muestra en la figura.



¿Cuál es el valor del flujo eléctrico a través de una de las caras del cubo? Solución: Hay que tener clara la ley de Gauss para poder resolver este problema. El cubo es una super cie cerrada, por lo que el flujo eléctrico a través de esta super cie, por ley de Gauss esta dado por:

$$\Phi_E = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} = \frac{Q + 6q}{\epsilon_0}$$

Considerando la simetría del sistema, se puede decir que el flujo se reparte en partes iguales a través de las caras del cubo, por lo que finalmente:

$$\Phi_{Ecara} = \frac{Q + 6q}{6\epsilon_0}$$

8. Al colocar un conductor eléctrico de 1.6 m por el cual circulan 25 amperes en una región de campo magnético de 0.48 teslas experimenta una fuerza de 2.5 N. Determina el ángulo entre el conductor y la inducción magnética

Solución:

Longitud del conductor: $L = 1.6 \text{ m}$

Corriente: $I = 0.25 \text{ A}$

Campo magnético: $B = 0.48 \text{ T}$

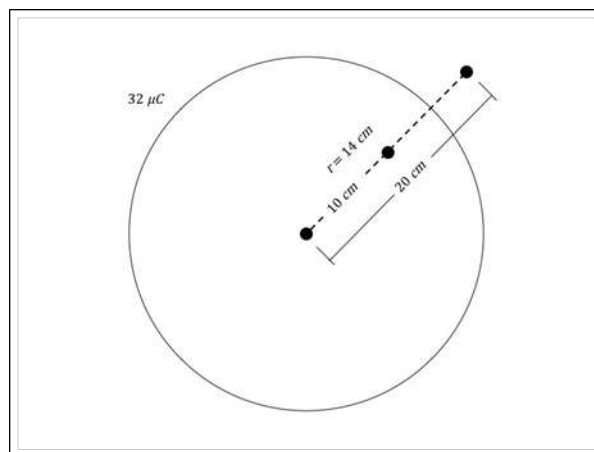
Fuerza: $F = 2.5 \text{ N}$

Buscamos ángulo entre el conductor y el campo magnético aplicando la siguiente formula:

$F = B I L \sin \theta$ Despejamos

El ángulo que se encuentra entre el conductor y la inducción magnética es de 7.5° .

9. Un cascaron esférico de radio $r = 14 \text{ cm}$ tiene una carga de 32 C uniforme mente distribuida, como se muestra en la gura 19. ¿Cuál es la magnitud del campo electrico en un punto dentro de la esfera, a 10 cm del centro? En $[\text{N/C}]$ ¿Y en un punto fuera de la esfera, a 20 cm del centro?



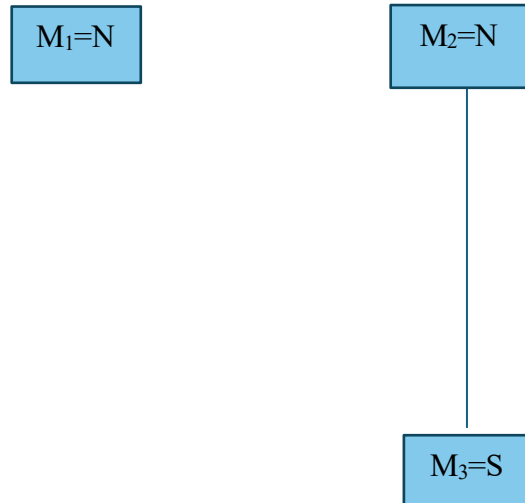
Solución: Consideremos una esfera como superficie Gaussiana. En el primer caso, aplicamos la ley de Gauss:

$$\Phi_E = \frac{Q_{enc}}{\varepsilon_0} \Rightarrow \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\varepsilon_0}$$

Sin embargo, la superficie Gaussiana que suponemos, no encierra ninguna carga y en consecuencia el campo eléctrico es 0 en dicha región. Para el segundo caso, podemos aplicar la misma fórmula. Como el campo eléctrico es uniforme y no varía en el área escogida, la integral puede resolverse fácilmente:

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q_{enc}}{\varepsilon_0} \Rightarrow E = \frac{Q}{4\pi r^2 \varepsilon_0} = 7.19 \times 10^6$$

10. Calcular la magnitud y la dirección de la fuerza resultante que actúa sobre la masa magnética dos debido a la interacción con otras dos masas magnéticas ubicadas en los vértices de un triángulo rectángulo, como se muestra en la figura 4.9, considerando que el entorno es aire. La masa magnética uno corresponde a un polo norte de 4 Am, la masa magnética dos es un polo norte de 5 Am, y la masa magnética tres es un polo sur de 3 Am.



Solución:

Para la resolución de este tipo de problemas se recomienda seguir el siguiente proceso:

a) Primero, aplicamos la ley de los polos magnéticos, para identificar el sentido de las fuerzas, considerando que tenderá a moverse la masa magnética de menor valor, pero el sentido de la fuerza de atracción o de repulsión se determina con respecto a la masa magnética de referencia; es decir, analizando cómo es la fuerza que ejercen las otras masas magnéticas sobre la masa de referencia, por tanto, el sentido de la fuerza será hacia donde se localiza la masa magnética de referencia.

b) Luego, trazamos un sistema cartesiano, teniendo como origen la masa magnética en donde se desea determinar la fuerza resultante, colocando un origen en ese punto.

c) Después, aplicamos la ecuación de la ley de Coulomb para el magnetismo y determinamos las magnitudes de las fuerzas de atracción o de repulsión, según corresponda.

d) Posteriormente, determinamos la fuerza resultante mediante la suma vectorial por el método analítico de componentes rectangulares, calculando primero las componentes aplicando las funciones trigonométricas.

Así:

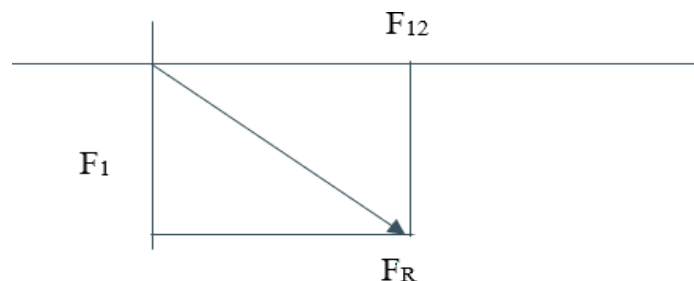
$$F_{12} = \frac{K m M_1 M_2}{r^2} = \frac{1 \times 10^{-7} \frac{N}{A^2} (4 \text{ Am})(5 \text{ Am})}{(3 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = \frac{20 \times 10^{-7} \text{ Nm}^2}{9 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 2.2 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_{13} = \frac{K M_1 M_3}{r^2} = \frac{10^{-7} \frac{N}{A^2} (4 \text{ Am})(3 \text{ Am})}{(3 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = \frac{12 \times 10^{-7} \text{ Nm}^2}{16 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 0.75 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Cuando resolvemos problemas sobre la interacción de masas o polos magnéticos, con frecuencia tendemos a confundirnos al identificar el sentido de la fuerza magnética de atracción o de repulsión, y debido a que la fuerza es una cantidad vectorial, por tanto es muy importante identificar correctamente el sentido de la fuerza. Se sugiere que el sentido de las fuerzas magnéticas se determine haciendo las siguientes consideraciones:

a) Usar la ley de los signos para la interacción de polos magnéticos, para saber si es fuerza de atracción o de repulsión.

b) Determinar la fuerza resultante que los otros polos ejercen sobre el polo magnético de referencia.



c) Considerar el sentido hacia donde tendería a moverse el polo de referencia por efecto de las otras masas magnéticas, aun cuando no sea el polo de menor magnitud. En la figura 4.10 se representan las fuerzas correspondientes.

A continuación, realizamos la suma vectorial para determinar la fuerza resultante:

$$F_{12} = 2.22 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_{13} = 0.75 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Aplicando el teorema de Pitágoras, determinamos la magnitud de la fuerza resultante:

$$F_R = \sqrt{\sum_x F^2 + \sum_y F^2} = \sqrt{(2.22 \times 10^{-3} \text{ N})^2 + (0.75 \times 10^{-3} \text{ N})^2} = 2.34 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Ahora, determinamos el ángulo de la fuerza resultante aplicando la función tangente:

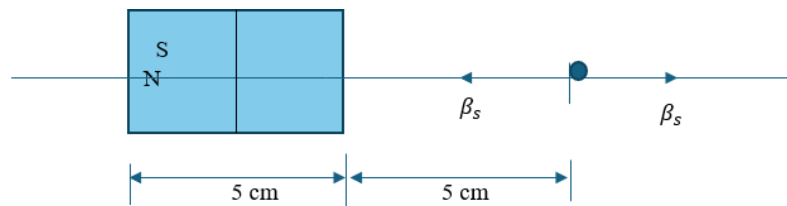
$$\tan \phi = \frac{F_y}{F_x} = \frac{-0.75 \times 10^{-3} \text{ N}}{2.22 \times 10^{-3} \text{ N}} = 0.337$$

Luego, despejamos el ángulo y obtenemos:

$$\phi = \text{inverso tan}(-0.337) = -18.6^\circ$$

Nota: El signo menos se determinó observando la figura en donde se trazaron las fuerzas.

11. Se dispone de un imán en forma de barra con una fuerza magnetomotriz de 15 Am y una longitud de 5 centímetros. Se pide calcular la densidad de flujo del campo magnético en un punto ubicado a 5 cm del polo norte, sobre el eje magnético del imán.



$$\beta_n = \frac{K_m M}{r^2} = \frac{10^{-7} \frac{Wb}{Am} (15 Am)}{(5 \times 10^{-2} m)^2} = \frac{15 \times 10^{-7} Wb}{25 \times 10^{-4} m^2} = 6 \times 10^{-4} T$$

$$\beta_s = \frac{K_m M}{r^2} = \frac{10^{-7} \frac{Wb}{Am} (15 Am)}{(10 \times 10^{-2} m)^2} = \frac{15 \times 10^{-7} Wb}{100 \times 10^{-4} m^2} = 1.5 \times 10^{-4} T$$

De acuerdo con la figura 4.14, podemos determinar que los vectores de inducción magnética generados por los polos del imán tienen sentido contrario, esto es así porque las líneas de inducción magnética salen del polo norte, pero entran al polo sur; por tanto, la inducción magnética total en el punto se determina mediante la suma algebraica, porque las líneas de inducción en este problema son colineales.

$$\beta = \beta_n - \beta_s = 6 \times 10^{-4} T - 1.5 \times 10^{-4} T$$

$$\beta = 4.5 \times 10^{-4} T$$

12. Dos masas magnéticas positivas interactúan generando una fuerza de repulsión de 2.6 N. Sabiendo que se encuentran separadas 3 cm en el aire y que una de las masas magnéticas es tres veces mayor que la otra, determinar los valores de ambas masas magnéticas.

Solución:

Para este caso, utilizamos la siguiente fórmula:

$$F = \frac{K_m M_1 M_2}{r^2}$$

Luego, establecemos los datos de referencia:

$$F = 2.6 N$$

$$r = 3 \text{ cm} = 0.03 \text{ m}$$

$$M_2 = 3M_1$$

Ahora, sustituimos los valores en la ecuación, enseguida, despejamos M_1 y obtenemos los valores de M_1 y M_2 :

$$F = \frac{3K_m M_1^2}{r^2}$$

$$K_m = 10^{-7} \frac{N}{A^2}$$

$$M_1 = \sqrt{\frac{Fr^2}{3K_m}} = \sqrt{\frac{(2.6 N)(0.03m)^2}{(3)(1 \times 10^{-7} \frac{N}{A^2})}}$$

13. Un campo magnético de 0.5 teslas atraviesa un aro circular con un diámetro de 8 cm. El plano del aro forma un ángulo de 38° con la vertical, y las líneas de inducción magnética inciden de forma paralela a la horizontal, en dirección hacia la derecha. Se requiere calcular el flujo magnético.

Para este caso, consideramos la ecuación 4.9:

$$\Phi_B = \beta A \cos \theta$$

Luego, sustituimos valores:

$$\Phi_B = \beta A \cos \theta = (0.5 T)\pi(0.04m)^2 \cos 38^\circ = 1.9804 \times 10^{-3} Wb$$

Enseguida, obtenemos el resultado:

$$\Phi_B = 1.9804 \times 10^{-3} Wb$$

14. Al colocar una bobina de forma cuadrada, con lados de 12 cm, dentro de una región donde existe un campo magnético de 0.6 T, se ha determinado que el flujo magnético a través de la espira es de $3.2 \times 10^{-3} Wb$. Se pide calcular el ángulo de inclinación de la espira con respecto al campo magnético

Para este caso tenemos la siguiente ecuación:

$$\Phi_B = \beta A \cos \theta$$

Para obtener el ángulo, despejamos θ :

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\Phi_B}{\beta A} = \cos^{-1} \frac{3.2 \times 10^{-3} Tm^2}{0.6 T(0.12 m)^2} = 68.26^\circ$$

Por lo tanto, el resultado es:

$$\theta = 68.26^\circ$$

15. Una carga puntual de $+3 \mu C$ se encuentra en el origen. Calcula el campo eléctrico a una distancia de 0.2m sobre el eje x.

Datos:

$$q = 3 \mu C = 3 \times 10^{-6} C$$

$$r = 0.2 m$$

$$E = \frac{9 \times 10^9 \times 3 \times 10^{-6}}{(0.2)^2} = \frac{27 \times 10^3}{0.04} = 675,000 \text{ N/C}$$

$$E = 6.75 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

16. Determine con una precisión de tres dígitos significativos la carga y la masa de las siguientes partículas. Sugerencia: primero busque la masa de un átomo neutro en la tabla periódica de los elementos en el apéndice C. (a) Un ion positivo de hidrógeno (H^+). (b) Un ion positivo de sodio (Na^+). (c) Un ion negativo de cloro (Cl^-). (d) Un ion de calcio con carga doble positiva (Ca^{2+}). (e) Un ion trivalente negativo de nitrógeno (N^{3-}), representando el centro de una molécula de amoníaco. (f) Un ion de nitrógeno con cuatro cargas positivas (N^{4+}), encontrado en el plasma estelar. (g) El núcleo del átomo de nitrógeno (sin electrones). (h) Un ion molecular de agua con carga negativa (H_2O^-).

- Carga del electrón: $-1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Masa de un electrón: $\approx 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
- La masa de los átomos se da como masa neutra (con electrones). Para iones, se suma o resta la masa de los electrones correspondientes.

(a) H^+ (protón):

- Masa atómica H $\approx 1.008 \text{ u}$
- Masa $\text{H}^+ \approx$ masa del protón $= 1.007 \text{ u} \approx 1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- Carga: $+1e = +1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$

(b) Na^+ :

- Masa atómica Na $\approx 22.990 \text{ u}$
- Masa $\text{Na}^+ \approx 22.990 \text{ u} - 1 \text{ electrón} \approx 3.817 \times 10^{-26} \text{ kg}$
- Carga: $+1e = +1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$

(c) Cl^- :

- Masa atómica Cl $\approx 35.45 \text{ u}$
- Masa $\text{Cl}^- \approx 35.45 \text{ u} + 1 \text{ electrón} \approx 5.887 \times 10^{-26} \text{ kg}$
- Carga: $-1e = -1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$

(d) Ca^{2+} :

- Masa atómica Ca $\approx 40.08 \text{ u}$
- Masa $\text{Ca}^{2+} \approx 40.08 \text{ u} - 2 \text{ electrones} \approx 6.642 \times 10^{-26} \text{ kg}$
- Carga: $+2e = +3.20 \times 10^{-19} \text{ C}$

(e) N^{3-} :

- Masa atómica N $\approx 14.007 \text{ u}$
- Masa $\text{N}^{3-} \approx 14.007 \text{ u} + 3 \text{ electrones} \approx 2.341 \times 10^{-26} \text{ kg}$
- Carga: $-3e = -4.81 \times 10^{-19} \text{ C}$

(f) N^{4+} :

- Masa $\text{N}^{4+} \approx 14.007 \text{ u} - 4 \text{ electrones} \approx 2.336 \times 10^{-26} \text{ kg}$
- Carga: $+4e = +6.41 \times 10^{-19} \text{ C}$

(g) Núcleo de N (sin electrones):

- Solo protones y neutrones \rightarrow masa \approx igual al átomo neutro
- Masa: $\approx 2.325 \times 10^{-26} \text{ kg}$
- Carga: 7 protones $\rightarrow +1.12 \times 10^{-18} \text{ C}$

(h) Ion H_2O^- :

- Masa $\text{H}_2\text{O} \approx (2 \times 1.008 + 15.999) \text{ u} \approx 18.015 \text{ u}$
- Masa $\text{H}_2\text{O}^- \approx 18.015 \text{ u} + 1 \text{ electrón} \approx 2.991 \times 10^{-26} \text{ kg}$
- Carga: $-1e = -1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$

17. En una nube de tormenta se acumulan cargas eléctricas: una carga de 140.0 C en la parte superior y otra de 240.0 C en la parte inferior. La distancia vertical entre estas dos regiones cargadas es de 2.00 km. ¿Qué fuerza eléctrica actúa sobre la carga ubicada en la parte superior de la nube?

Datos:

Carga en la parte superior:

Carga en la parte inferior:

Usamos la Ley de Coulomb:

$$F = k_e \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

Sustituimos los valores:

F= (8.988×10 ⁹) ×	(140.0) (240.0)
	(2000) ²
F= (8.988×10 ⁹) ×	33600.0
	4.00×10 ⁶

$$F=(8.99 \times 10^9) \cdot (8.4)$$

$$F \approx 7.55 \times 10^{10} \text{ N}$$

18. . (a) Determina la magnitud de la fuerza eléctrica entre un ion de sodio con carga +1 (Na⁺) y un ion de cloro con carga -1 (Cl⁻), si están separados por una distancia de 0.50 nanómetros. (b) ¿Cambiaría el valor de la fuerza si se sustituyera el ion de sodio por un ion de litio (Li⁺) y el ion de cloro por un ion de bromo (Br⁻)? Justifica tu respuesta

Datos:

- Carga de Na⁺: $q_1 = +1e = +1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Carga de Cl⁻: $q_2 = -1e = -1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Separación: $r = 0.50 \text{ nm} = 0.50 \times 10^{-9} \text{ m}$
- Constante de Coulomb: $k_e = 8.988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

Ley de Coulomb:

F= k	q ₁ q ₂
	r ²
F= (8.99×10 ⁹)	(1.602×10 ⁻¹⁹)
	(0.50×10 ⁻⁹) ²
F= (8.99×10 ⁹)	2.56×10 ⁻³⁸
	2.5×10 ⁻¹⁹

$$F=(8.99 \times 10^9) \cdot (1.024 \times 10^{-19})$$

$$F \approx 9.20 \times 10^{-10} \text{ N}$$

19. Una carga puntual de 7.50 nC se encuentra a 1.80 m de una carga puntual de 4.20 nC. (a) Calcule la magnitud de la fuerza eléctrica que una partícula ejerce sobre la otra. (b) ¿La fuerza es de atracción o de repulsión?

- $q_1 = 7.50 \text{ nC} = 7.50 \times 10^{-9} \text{ C}$

- $q_2 = 4.20 \text{ nC} = 4.20 \times 10^{-9} \text{ C}$
- $r = 1.80 \text{ m}$

Constante de Coulomb:

$$k = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \times \text{C}^2$$

F= k	$ q_1 q_2 $
	r^2
F= (8.99×10^9)	$(7.50 \times 10^{-9}) \cdot (4.20 \times 10^{-9})$
	$(1.80)^2$
F= (8.99×10^9)	3.15×10^{-17}
	3.24

$$F = (8.99 \times 10^9) \cdot (9.72 \times 10^{-18})$$

$$F \approx 8.74 \times 10^{-8} \text{ N}$$

20. Una partícula cargada A ejerce una fuerza de 2.62 mN hacia la derecha sobre una partícula cargada B cuando las partículas están separadas 13.7 mm. La partícula B se mueve recta y alejándose de A para hacer que la distancia entre ellas sea de 17.7 mm. ¿Qué vector de fuerza se ejerce en tal caso sobre A?

Datos:

- Fuerza inicial: $F_1 = 2.62 \text{ mN} = 2.62 \times 10^{-3} \text{ N}$
- Distancia inicial: $r_1 = 13.7 \text{ mm} = 0.0137 \text{ m}$
- Nueva distancia: $r_2 = 17.7 \text{ mm} = 0.0177 \text{ m}$

$F \propto$	1
	r^2
$F_2 =$	$=(0.0137)^2$
$(2.62 \times 10^{-3}) =$	$0.01770.)^2$
$(0.0137)^2$	$= (0.7740)^2 \approx 0.5991$
$0.01770.)^2$	

$$F_2 = 0.5991 \cdot (2.62 \times 10^{-3}) \approx 1.57 \times 10^{-3}$$

2.15 Referencias bibliográficas

- ABC, D. (2018). *INFOLIBROS*. Obtenido de ELECTROMAGNETISMO: <https://infolibros.org/pdfview/11945-electromagnetismo-dpti-servicios-abc/>
- Álvarez. (2022). *Divulgación Superconductividad*. Obtenido de Superconductividad (ICMM-CSIC): <https://wp.icmm.csic.es/superconductividad/materiales-superconductores/superconductores-convencionales/>
- Álvarez, J. (2022). *Cuadro comparativo*. Obtenido de Ejemplos de hidrostática en la vida cotidiana: <https://cuadros-comparativos.com/ejemplos-de-hidrostatica-en-la-vida-cotidiana/>
- Ariza, I. (12 de abril de 2023). *todoagua.com*. Obtenido de ¿Qué es la presión hidrostática?: <https://www.todoagua.es/que-es-presion-hidrostatica/#:~:text=La%20presi%C3%B3n%20hidrost%C3%A1tica%20es%20un%20concepto%20que%20se%20refiere%20a,que%20se%20encuentra%20el%20objeto>
- Briceño V., G. (2018). *Euston*. Obtenido de Hidrostática: <https://www.euston96.com/hidrostatica/>
- Briceño V., G. (2018). *EUSTON*. Obtenido de Principio de Bernoulli.: <https://www.euston96.com/principio-de-bernoulli/>
- Carmora, A. (mayo de 2023). *química*. Obtenido de Física: la clave detrás del avance tecnológico y social: <https://quimica.diaonia.com/fisica-la-clave-detras-del-avance-tecnologico-y-social/>
- Coluccio Leskow, E. (24 de OCTUBRE de 2024). *FISICA*. Obtenido de Imán: <https://concepto.de/iman/>
- Coluccio, L. E. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Magnetismo: <https://concepto.de/magnetismo/>
- Conceptualista*. (2024). Obtenido de Hidrostática: <https://conceptualista.com/hidrostatica/>
- Cremades García, S. (2019). *AQUAE FUNDACIÓN*. Obtenido de ¿Conoces la historia de Arquímedes?: <https://www.fundacionaquae.org/principio-arquimedes-eureka/#:~:text=El%20principio%20de%20Arqu%C3%ADmedes%20y%20su%20%C2%A1eureka%21%20El,hacia%20arriba%20equivalente%20al%20peso%20del%20volumen%20desalojado.>
- Cremades, G. S. (2022). *EQUAE FUNDACIÓN*. Obtenido de ¿Conoces la historia de Arquímedes?: <https://www.fundacionaquae.org/principio-arquimedes-eureka/#:~:text=El%20principio%20de%20Arqu%C3%ADmedes%20y%20su%20%C2%A1eureka%21%20El,hacia%20arriba%20equivalente%20al%20peso%20del%20volumen%20desalojado.>
- Delgado, M. (24 de octubre de 2024). *conceptos*. Obtenido de Propiedades de los fluidos: <https://concepto.de/propiedades-de-los-fluidos/>

- Educación, U. P. (2022). *INFOLIBRO*. Obtenido de Electromagnetismo: <https://infolibros.org/pdfview/11946-electromagnetismo-universidad-peruana-cayetano-heredia-facultad-de-educacion/>
- Electromagnetismo*. (13 de octubre de 2017). Obtenido de Aplicaciones Del Electromagnetismo: <https://electromagnetismoluz2017.wordpress.com/2017/10/13/holaaa/>
- Estefania Coluccio Leskow. (24 de OCTUBRE de 2024). *FISICA*. Obtenido de Imán: <https://concepto.de/iman/>
- Estefania Coluccio Leskow Ph.D. Doctora en Ciencias Físicas (Universidad de Buenos Aires, A. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Conductividad térmica: <https://concepto.de/conductividad-termica/>
- Europeo. (21 de Julio de 2023). *IELOGIS*. Obtenido de La ecuación de Bernoulli: fundamentos y aplicaciones: <https://ielogis.com/ecuacion-bernoulli/#:~:text=La%20ecuaci%C3%B3n%20de%20Bernoulli%20nos,un%20barco%20en%20el%20agua>
- Guanajuato, U. d. (30 de MARZO de 2022). *RECURSOS DIDACTICOS ABIERTOS*. Obtenido de Flujo magnético y aplicaciones del electromagnetismo: <https://blogs.ugto.mx/rea/clase-digital-4-flujo-magnetico-y-aplicaciones-del-electromagnetismo/>
- Herbert, P. (20 de Julio de 2023). *TRADESAFE*. Obtenido de Sistemas hidráulicos versus neumáticos: una guía comparativa: https://trdsf.com/es/blogs/news/sistemas-hidraulicos-versus-neumaticos-una-guia-comparativa?srsId=AfmBOoq2w_nuWOzsUuFcvHGCnym975DdJ4gYDzgEWSa3fvQ1_gNV3YQa
- industrial, O. P.-I. (23 de agosto de 2023). *Energía Nuclear*. Obtenido de Mecánica de fluidos: <https://energia-nuclear.net/fisica/mecanica-de-fluidos/ejemplos/sistemas-hidraulicos>
- J.L, B. (25 de septiembre de 2022). *electronicaonline*. Obtenido de Ley de Ohm: <https://electronicaonline.net/electricidad/ley-de-ohm/>
- Leskow, C. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Semiconductores: <https://concepto.de/semiconductores/>
- Leskow, E. C. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Electromagnetismo: <https://concepto.de/electromagnetismo/>
- Licenciada en Física, c. m. (27 de Julio de 2020). *lifeder*. Obtenido de Mecánica de fluidos: historia, qué estudia, fundamentos: <https://www.lifeder.com/mecanica-de-fluidos/>
- Licenciada en Física, c. m. (04 de diciembre de 2020). *lifeder*. Obtenido de Sistema neumático: <https://www.lifeder.com/sistema-neumatico/>

- Marquez, H. (2022). *UNISALIA*. Obtenido de La Influencia de la Física en la Tecnología: Una Perspectiva Completa.: <https://unisalia.com/como-influye-la-fisica-en-la-tecnologia2627/>
- Márquez, J. (2023). *I I.E.S. El Clot Dto. Física y Química*. Obtenido de Física Cuántica: https://www.uv.es/jmarques/_private/FisicaCuantica.pdf
- Montalvo, L. (2024). *GRUPO MOBILITY*. Obtenido de 5 aplicaciones de la física en la ingeniería ambiental: potencializando soluciones sostenibles: https://grupomobilitymurcia.es/5-aplicaciones-de-la-fisica-en-la-ingenieria-ambiental/?damemas_lectura=1
- Oriol Planas. (21 de junio de 2023). *ENERGÍA NUCLEAR*. Obtenido de Física cuántica: los principios de la mecánica cuántica: <https://energia-nuclear.net/fisica/cuantica>
- Oriol, P. (26 de JULIO de 2023). *ENERGÍA NUCLEAR*. Obtenido de Flujo magnético: <https://energia-nuclear.net/energia/electromagnetica/flujo-magnetico>
- Ramírez, M. D. (14 de marzo de 2024). *Gobierno de Canarias; Campus*. Obtenido de Física del siglo XX: Cuántica: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/mramrodp/?p=2436#:~:text=La%20mec%C3%A1nica%20cu%C3%A1ntica%20tiene%20tres,y%20la%20ecuaci%C3%B3n%20de%20Schr%C3%B6dinger>
- Ricardo Rodrigo. (03 de octubre de 2020). *ESTUDYANDO*. Obtenido de Número de Reynolds: Definición y ecuación: <https://estudyando.com/numero-de-reynolds-definicion-y-ecuacion/>
- Rodrigo, R. (03 de NOVIEMBRE de 2020). *ESTUDYANDO*. Obtenido de Qué es un imán: <https://estudyando.com/que-es-un-iman-definicion-y-ejemplos/>
- Rodriguez, C. (2024). *Euroinnova International online education*. Obtenido de Qué es la física cuántica: <https://www.euroinnova.com/blog/que-es-la-fisica-cuantica>
- Serrana, U. M. (2021). Obtenido de Hidrostática: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-nacional-de-asuncion/fisica-general-fisica-i/test-de-hidrostatica-con-respuestas/7585352>
- Startupeable*. (23 de Julio de 2024). Obtenido de Tecnologías Emergentes: <https://startupeable.com/glosario/tecnologias-emergentes/>
- Zapata, F. (26 de mayo de 2020). *Lifeder*. Obtenido de Presión hidrostática: fórmula, cálculo, ejemplos, ejercicios: <https://www.lifeder.com/presion-hidrostatica/>

Unidad III

Introducción

La mecánica de fluidos es una de las tantas ramas que son fundamentales de la física la cual se dedica a entender la naturaleza de los líquidos y gases, así como las fuerzas que actúan sobre ellos. Su importancia radica en la comprensión de fenómenos como el flujo de los ríos, el movimiento del aire en la atmósfera y el diseño de sistemas hidráulicos y neumáticos en ingeniería. A través del análisis de la presión, la velocidad y la viscosidad, esta disciplina permite desarrollar aplicaciones clave en diversos campos científicos y tecnológicos.

Uno de los pilares de la mecánica de fluidos es la ecuación de Bernoulli, que describe la relación entre la presión, la velocidad y la altura de un fluido en movimiento. Este principio es esencial en la aerodinámica, el diseño de tuberías y la optimización de sistemas de transporte de líquidos y gases. Además, el número de Reynolds permite clasificar los flujos en laminares o turbulentos, facilitando el estudio del comportamiento de los fluidos en diferentes condiciones.

Los sistemas hidráulicos y neumáticos representan aplicaciones prácticas de la mecánica de fluidos en la industria. Los hidráulicos utilizan líquidos incompresibles para transmitir fuerza, mientras que los neumáticos emplean aire comprimido. Ambos sistemas tienen ventajas y desventajas según la aplicación, y su comparación es esencial para seleccionar la mejor alternativa en maquinaria y automatización.

Finalmente, la incorporación de materiales avanzados en la ingeniería de fluidos ha permitido mejorar la eficiencia y durabilidad de estos sistemas. Compuestos de alta resistencia, nanotecnología y recubrimientos anticorrosivos han optimizado la conducción de fluidos y la transferencia de calor. Estos avances han llevado a una mayor eficiencia energética y a un menor impacto ambiental, consolidando el papel de la mecánica de fluidos en el desarrollo tecnológico.

3 Mecánica de fluidos

La mecánica de fluidos es una disciplina dentro de la física que se encarga de examinar el comportamiento de los fluidos, tanto en estado líquido como gaseoso, y las fuerzas que influyen en ellos. Su estudio permite comprender el movimiento de los fluidos, su interacción con el entorno y su reacción ante cambios en la presión y la temperatura. Esta área del conocimiento es esencial para explicar diversos fenómenos naturales y desarrollar soluciones aplicadas en la ingeniería, la industria y las ciencias ambientales (Delgado, 2024).

Uno de los aspectos clave de la mecánica de fluidos es la distinción entre fluidos en reposo y en movimiento. Cuando un fluido está en reposo, se estudian los efectos de la presión en su interior y sobre los cuerpos que están inmersos en él. Por otro lado, cuando un fluido está en movimiento, se analizan características como la velocidad, la resistencia que encuentra a su paso y cómo puede generar fuerzas sobre otros objetos (Herbert, 2023).

La mecánica de fluidos tiene aplicaciones en muchos ámbitos de la vida cotidiana y la tecnología. Se utiliza en la construcción de presas y tuberías para garantizar un flujo eficiente del agua, en la aerodinámica para mejorar el diseño de automóviles y aviones. También es esencial en meteorología para estudiar el movimiento del aire en la atmósfera y predecir el clima.

3.1 Tipos de fluidos

Figura 13.

Adaptación del flui en un recipiente.



Fuente. Tomada de (Herbert, 2023).

Un fluido es un tipo de materia cuyas moléculas tienen una atracción débil entre sí, lo que impide que mantenga una forma propia. En su lugar, se adapta a la forma del recipiente que lo contiene. Esta característica lo diferencia de los sólidos, cuyos átomos o moléculas están fuertemente unidos, permitiéndoles conservar una estructura definida y ofrecer resistencia a los cambios de forma (Herbert, 2023).

Tanto los líquidos como los gases son considerados fluidos, ya que ambos carecen de una forma fija. Sin embargo, existen diferencias importantes entre ellos. Los líquidos presentan una mayor cohesión entre sus moléculas, lo que les permite mantener un volumen definido y ofrecer una alta resistencia a la compresión. En cambio, los gases tienen una atracción molecular mucho menor, lo que les permite expandirse y ocupar por completo el espacio en el que se encuentran, además de ser fácilmente comprimibles (Europeo, 2023).

Los fluidos pueden clasificarse en distintas categorías según su comportamiento frente a la aplicación de fuerzas externas. Entre ellos, se destacan tres tipos principales:

Fluidos newtonianos: Son aquellos cuya viscosidad se mantiene constante sin importar la fuerza que se les aplique. Es decir, su resistencia al flujo no varía en función de la velocidad o la tensión a la que estén sometidos. Este tipo de fluido sigue las leyes establecidas por Isaac Newton en la mecánica clásica y es el más común en la naturaleza. Ejemplos de fluidos newtonianos incluyen el agua, el aceite y la mayoría de los gases.

Superfluidos: También conocidos como "fluidos perfectos", son sustancias que no presentan viscosidad, lo que significa que pueden fluir sin resistencia, incluso a través de superficies extremadamente estrechas o poros microscópicos. Este comportamiento

es una manifestación de la mecánica cuántica y se observa en ciertos elementos, como el helio líquido, cuando se encuentran a temperaturas cercanas al cero absoluto. Los superfluidos desafían muchas de las reglas de la mecánica de fluidos convencional y tienen aplicaciones en investigaciones científicas avanzadas.

Fluidos no newtonianos: Son aquellos cuya viscosidad no es constante, sino que varía dependiendo de la fuerza aplicada o de cambios en la temperatura. Su comportamiento puede oscilar entre el de un líquido y el de un sólido. Cuando se le somete a un esfuerzo repentino, pueden endurecerse temporalmente, mientras que en reposo fluyen con mayor facilidad. Ejemplos de este tipo de fluidos incluyen la mezcla de agua y maicena, que se endurece al golpearla, o el ketchup, que fluye mejor cuando se agita el envase.

3.2 Características básicas de los fluidos

Nos hace referencia que “Los fluidos poseen una serie de características físicas fundamentales que los distinguen de otras formas de la materia y determinan su comportamiento en diferentes condiciones según” (Herbert, 2023). Estas propiedades incluyen:

Deformabilidad infinita: A diferencia de los sólidos, en los que las partículas mantienen posiciones de equilibrio definidas, las moléculas de un fluido se mueven libremente sin estar sujetas a una estructura rígida. Esto les permite adaptarse a cualquier forma y fluir sin restricciones fijas.

Compresibilidad: Los fluidos pueden experimentar una reducción en su volumen cuando se les aplica presión. Sin embargo, la capacidad de compresión varía según el tipo de fluido. Los gases, debido a la mayor separación entre sus moléculas, son altamente compresibles, mientras que los líquidos, cuyos átomos o moléculas están más unidos, presentan una compresibilidad mucho menor.

Viscosidad: Es la resistencia interna de un fluido al movimiento, lo que determina su facilidad o dificultad para fluir. Cuanto mayor es la viscosidad, más lento se desplaza el fluido. Los líquidos generalmente presentan una viscosidad más alta que los gases, y dentro de los líquidos, sustancias como la miel o el aceite son más viscosas que el agua.

Ausencia de memoria de forma: A diferencia de los sólidos elásticos, que pueden recuperar su forma original tras una deformación, los fluidos no poseen una estructura fija que les permita regresar a una configuración previa. Esto significa que siempre adoptan la forma del recipiente que los contiene y no pueden recuperar una forma específica una vez que han sido desplazados (Delgado, 2024).

Figura 14.

Viscosidad del fluido.



Fuente. Tomada de (Delgado, 2024).

3.3 Propiedades termodinámicas

Las propiedades termodinámicas o también llamadas propiedades primarias de los fluidos son aquellas características fundamentales que dependen de los niveles de energía presentes en el sistema y determinan su comportamiento en diversas condiciones. Estas propiedades son esenciales para comprender el movimiento, la interacción y la transformación de los fluidos en diferentes contextos físicos y termodinámicos (Herbert, 2023).

Presión: Es la magnitud que describe la fuerza que un fluido ejerce de manera perpendicular sobre una superficie por unidad de área. Se mide en pascales (Pa) en el Sistema Internacional (SI) y desempeña un papel clave en fenómenos como la flotación, el flujo en tuberías y la aerodinámica. La presión en un fluido puede ser estática, como la presión atmosférica, o dinámica, cuando está relacionada con el movimiento del fluido.

Presión en un fluido en reposo: Cuando se trata de un fluido en equilibrio dentro de un recipiente, la presión en un punto dado se calcula con la ecuación:

$$P = P_0 + \rho gh$$

Donde:

P_0 es la presión en la superficie del fluido (puede ser la presión atmosférica si el fluido está abierto al aire).

ρ es la densidad del fluido en (kg/m^3).

g es la aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2 en la Tierra).

h es la profundidad del punto considerado dentro del fluido (m).

Densidad: Representa la cantidad de materia contenida en un determinado volumen de un fluido y se lo demuestra en unidades de kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o gramos por centímetro cúbico (g/cm^3). La densidad es una propiedad escalar que no depende de la cantidad total de sustancia presente, sino de la relación entre su masa y

volumen. Es fundamental para entender fenómenos como la flotabilidad y la estratificación de fluidos de diferentes densidades.

Temperatura: Es una medida de la energía interna de un fluido y está directamente relacionada con la energía cinética promedio de sus partículas. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es el movimiento de las moléculas del fluido. Se mide mediante termómetros y puede expresarse en diferentes escalas, como Celsius (°C), Kelvin (K) o Fahrenheit (°F). La temperatura influye en diversas propiedades de los fluidos, como la presión, densidad y viscosidad.

Entalpía: Simbolizada con la letra H, es la cantidad total de energía contenida en un sistema termodinámico, incluyendo tanto la energía interna como el trabajo realizado por el sistema a presión constante. La entalpía es un concepto clave en procesos donde hay transferencia de calor, como los cambios de fase (evaporación, condensación) y en sistemas de refrigeración y combustión.

Se define como:

$$H = U + PV$$

Donde:

H es la entalpía (Joules, J).

U es la energía interna del sistema.

P es la presión del fluido (Pascuales, Pa).

V es el volumen del fluido (metros cúbicos, m^3).

Entalpía específica: En mecánica de fluidos se usa la entalpía específica (h), que es la entalpía por unidad de masa:

$$h = u + Pv$$

Donde:

h es la entalpía específica (J/kg).

u es la energía interna específica (J/kg).

v es el volumen específico (m^3/kg).

Entropía: La cual se la expresa con la letra S, y nos indica el nivel de caos o aleatoriedad de un sistema termodinámico. Se asocia con la irreversibilidad de los procesos naturales, ya que, en un sistema aislado, la entropía siempre tiende a aumentar o, en el mejor de los casos, a mantenerse constante. Es una propiedad fundamental en la segunda ley de la termodinámica y explica por qué algunos procesos, como la mezcla de gases o la transferencia de calor, ocurren en una sola dirección.

En términos diferenciales, la entropía se define como:

$$dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T}$$

Donde:

dS es el cambio infinitesimal de entropía (J/K).

δQ_{rev} es el calor intercambiado de manera reversible (J).

T es la temperatura absoluta del sistema (K).

Para un proceso a temperatura constante:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

Donde:

ΔS es el cambio de entropía (J/K).

Q es el calor transferido en el proceso (J).

T es la temperatura absoluta del proceso (K).

Calor específico: Es la energía térmica que se necesita para aumentar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en una unidad de temperatura. Se expresa en J/kg·K en el Sistema Internacional o en cal/g·°C en otros sistemas de medida. El calor específico varía según el material y es clave en aplicaciones de transferencia de calor, como en la climatización y la eficiencia energética de motores y sistemas térmicos.

Se define como:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}$$

Donde:

c es el calor específico (J/kg×K o cal/g×°C).

Q es la cantidad de calor transferido (J o cal).

m es la masa de la sustancia (kg o g).

ΔT es el cambio de temperatura (K o °C).

Peso específico: Se define como la relación entre el peso de un fluido y el volumen que ocupa. Se mide en Newtons por metro cúbico (N/m³) y se relaciona con la densidad mediante la aceleración gravitatoria. Esta propiedad es importante en ingeniería hidráulica y en cálculos relacionados con la flotabilidad y la estabilidad de estructuras en medios fluidos.

Su fórmula es:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Donde:

γ es el peso específico (N/m³).

W es el peso de la sustancia (N).

V es el volumen ocupado por la sustancia (m³).

Dado que el peso (W) es el producto de la masa (m) y la gravedad (g), también se expresa como:

$$\gamma = \rho g$$

Donde:

ρ es la densidad del fluido (kg/m^3).

g es la aceleración gravitacional ($9.81 \text{ m}/\text{s}^2$).

Fuerza de cohesión: Es la interacción intermolecular que mantiene unidas las partículas de una sustancia. Su intensidad varía según el estado de la materia: es máxima en los sólidos, intermedia en los líquidos y mínima en los gases. La cohesión es responsable de fenómenos como la tensión superficial en líquidos y la formación de gotas. En los fluidos, también influye en la viscosidad y en la capacidad de mezclarse con otras sustancias (Europeo, 2023).

Energía interna: Es la suma de la energía cinética de las partículas de un fluido (debida a su movimiento) y la energía potencial derivada de sus interacciones moleculares. Es una propiedad clave en la termodinámica, ya que determina cómo un fluido responde a cambios de temperatura, presión y volumen. La energía interna es la base de procesos como la expansión de gases y la conversión de energía térmica en trabajo mecánico en motores y turbinas.

3.4 Propiedades de comportamiento específico

Las propiedades de comportamiento específico, también llamadas propiedades secundarias, describen la manera en que los fluidos responden a diferentes fuerzas y condiciones externas. Estas características dependen del estado físico del fluido y son esenciales para comprender fenómenos como el flujo, la transmisión de calor y la interacción con superficies (Herbert, 2023).

Viscosidad: Es la resistencia de un fluido a fluir o a deformarse bajo la acción de una fuerza externa. Se debe a las interacciones entre sus moléculas, que provocan diferencias en la velocidad de movimiento entre sus capas. Cuanto mayor es la viscosidad, más lento se desplaza el fluido. Por ejemplo, el aceite posee un nivel de viscosidad mucho mayor que el agua, lo que hace que fluya con mayor dificultad. La viscosidad también depende de la temperatura: en la mayoría de los líquidos, disminuye con el calor, mientras que en los gases aumenta.

Se define como:

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma}$$

Donde:

η es la viscosidad dinámica ($\text{Pa} \times \text{s}$ o $\text{N} \times \text{s}/\text{m}^2$).

τ es el esfuerzo cortante (Pa).

γ es la velocidad de deformación (s^{-1}).

En la viscosidad cinemática (más utilizada en ingeniería de fluidos), se relaciona con la densidad del fluido ρ .

$$v = \frac{\eta}{\rho}$$

Donde:

v es la viscosidad cinemática (m^2/s).

ρ es la densidad del fluido en (kg/m^3).

Conductividad térmica: Es la capacidad de un fluido para transferir calor mediante la transmisión de la energía cinética de sus partículas. En los fluidos, esta transferencia ocurre a través del contacto molecular y es clave en procesos como la refrigeración, la calefacción y la convección atmosférica. El agua, por ejemplo, tiene una conductividad térmica mayor que el aire, lo que la hace más eficiente para transportar calor en sistemas como radiadores y calderas.

Tensión superficial: Es la energía requerida para adicionar una mayor superficie a un líquido por unidad de área. Se debe a la cohesión entre las moléculas del fluido, especialmente en la superficie, donde las fuerzas intermoleculares no están equilibradas. Este fenómeno permite que algunos insectos caminen sobre el agua sin hundirse y que las gotas de líquido mantengan una forma esférica. También influye en la formación de burbujas y en el comportamiento de los líquidos en microgravedad.

Compresibilidad: Es la capacidad de un fluido para reducir su volumen cuando se le aplica presión. Los gases son altamente compresibles debido al gran espacio entre sus moléculas, mientras que los líquidos tienen una compresibilidad mucho menor, ya que sus partículas están más cercanas. La compresibilidad juega un papel fundamental en la aerodinámica y en la propagación de ondas de sonido en diferentes medios.

Capilaridad: Es la capacidad de un líquido para ascender o descender a través de un tubo estrecho o un material poroso, debido a la combinación de la tensión superficial y la adhesión entre el líquido y la superficie del material. Este fenómeno es crucial en procesos naturales como la absorción de agua por las raíces de las plantas y en aplicaciones tecnológicas como los sistemas de filtración y los circuitos de enfriamiento. Un ejemplo cotidiano de capilaridad ocurre cuando el agua sube por el papel absorbente de una servilleta al tocar su borde con un líquido (Delgado, 2024).

Coefficiente de difusión: Es una medida de la facilidad con la que una sustancia (solute) se dispersa dentro de otra (disolvente). Depende de factores como el tamaño de las partículas de dicho soluto, la viscosidad del medio llevado a cabo, naturaleza y la temperatura química de ambas sustancias. Un ejemplo claro de difusión es la disolución del azúcar en el agua o la expansión de un perfume en el aire. Este fenómeno es clave en aplicaciones industriales, como la mezcla de combustibles y productos químicos.

3.5 Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es un principio fundamental en la mecánica de fluidos que detalla el comportamiento de un fluido ideal (sin viscosidad) a lo largo de una línea de corriente. Esta ecuación indica una relación entre la presión, la velocidad y la altura de un fluido en movimiento, y se deriva de la conservación de la energía.

3.6 Principio de la ecuación de Bernoulli

El principio de Bernoulli se basa en la ley de conservación de la energía para un fluido en flujo estable. Según este principio, en un fluido ideal, a lo largo de una línea de corriente, la suma de tres términos la presión, la energía cinética por unidad de volumen y la energía potencial por unidad de volumen permanece constante. En otras palabras, la energía total por unidad de volumen se conserva a lo largo del flujo del fluido (Briceño V., EUSTON, 2018).

Forma general de la ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli en su forma más comúnmente utilizada es:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{constante}$$

Donde:

P es la presión estática del fluido.

ρ es la densidad del fluido.

v es la velocidad del fluido en un punto.

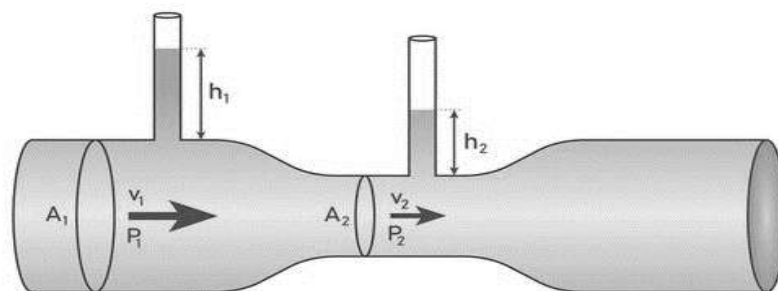
g es la aceleración debido a la gravedad.

h es la altura a la que se encuentra el punto con respecto a un nivel de referencia (generalmente, el suelo).

Esta ecuación nos dice que la suma de la presión estática (energía debido a la presión del fluido), la energía cinética (debido al movimiento del fluido) y la energía potencial gravitatoria (debido a la altura) es constante a lo largo de una línea de corriente (Briceño V., EUSTON, 2018).

Figura 15.

Transporte de un fluido por una tubería.



Fuente. Tomada de (Briceño V., EUSTON, 2018).

3.7 Interpretación de los términos de la ecuación

Presión estática (P): Representa la energía debida a la fuerza ejercida por el fluido sobre las paredes del recipiente o conducto por el cual fluye. Cuando un fluido se mueve, las moléculas del fluido ejercen una presión sobre las superficies con las que están en contacto.

Energía cinética ($1/2\rho v^2$): Representa la energía del fluido debido a su movimiento. Cuanto mayor es la velocidad del fluido, mayor es su energía cinética.

Energía potencial gravitatoria (ρgh): Es la energía involucrada a la posición del fluido en un campo gravitatorio. Este término es importante cuando se analizan flujos a diferentes alturas, como en los sistemas de tuberías que transportan agua de una mayor a una menor altitud.

3.8 Condiciones ideales para aplicar la ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es válida en ciertos contextos y bajo condiciones específicas:

Flujo estable: El flujo debe ser constante a lo largo del tiempo. La ecuación no se aplica en flujos turbulentos, donde las partículas del fluido tienen movimientos desordenados.

Fluido ideal: El fluido debe ser incompresible y no viscoso. Es decir, no debe haber fricción interna entre las partículas del fluido. En la práctica, los líquidos suelen aproximarse a un fluido ideal, pero los gases, especialmente a altas presiones, pueden comportarse de manera diferente debido a su compresibilidad.

Flujo a lo largo de una línea de corriente: La ecuación de Bernoulli solo es aplicable a fluidos que fluyen a lo largo de una línea de corriente, que es una línea imaginaria que sigue la trayectoria de las partículas de fluido en movimiento.

3.9 Aplicaciones prácticas de la ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli tiene diversas aplicaciones en la ingeniería y la física, especialmente en los campos de la aeronáutica, la hidráulica y la dinámica de fluidos.

Aerodinámica: Una de las aplicaciones más conocidas es en el diseño de alas de aviones. Según la ecuación de Bernoulli, a medida que el aire se mueve más rápido sobre la parte superior de un ala, la presión sobre esa superficie disminuye, creando una fuerza de levantamiento hacia arriba. Este fenómeno es esencial para que un avión pueda volar.

Flujo en tuberías: En sistemas hidráulicos, la ecuación de Bernoulli ayuda a predecir cómo variará la presión, la velocidad y la altura a medida que el fluido se mueve a través de una red de tuberías. Por ejemplo, si un fluido fluye de una zona de mayor presión a una de menor presión, la velocidad del fluido aumentará, siempre que la densidad y la altura se mantengan constantes.

Medición de flujo: La ecuación de Bernoulli se utiliza en dispositivos como el tubo de Pitot, que mide la velocidad de un fluido. El tubo de Pitot se basa en la diferencia de presión entre un flujo de fluido en movimiento y el flujo en reposo, que permite calcular la velocidad a partir de la ecuación de Bernoulli.

Hidráulica de presas: En el análisis del flujo de agua en presas o canales abiertos, la ecuación de Bernoulli es útil para determinar las variaciones de presión y velocidad a medida que el agua se mueve de un nivel a otro.

3.10 Limitaciones de la ecuación de Bernoulli

Si bien la ecuación de Bernoulli es muy útil, tiene algunas limitaciones y supuestos que pueden no aplicarse a todas las situaciones del mundo real:

Fluido no viscoso: Bernoulli asume que el fluido es ideal y no tiene viscosidad. En la realidad, todos los fluidos tienen algo de viscosidad, lo que puede afectar el flujo, especialmente en flujos turbulentos.

No incluye la energía de fricción: La ecuación de Bernoulli no tiene en cuenta las pérdidas de energía debido a la fricción interna del fluido o con las paredes del conducto. En aplicaciones donde la fricción es significativa, como en flujos turbulentos o en fluidos con alta viscosidad, la ecuación de Bernoulli necesitará ajustes adicionales.

Flujos no estacionarios: La ecuación de Bernoulli solo se aplica a flujos estacionarios, lo que significa que las propiedades del fluido (como la velocidad y la presión) no deben cambiar con el tiempo.

Incompresibilidad: Se asume que el fluido es incompresible, lo que no es cierto para muchos gases a altas presiones. Sin embargo, los líquidos generalmente se consideran incompresibles en la mayoría de las situaciones prácticas, lo que hace que la ecuación sea útil para una amplia gama de aplicaciones.

3.11 Número de Reynolds

El número de Reynolds (Re) es un parámetro adimensional fundamental en la mecánica de fluidos que describe el régimen de flujo de un fluido, ayudando a predecir si un flujo será laminar, transicional o turbulento. Este número lleva el nombre del ingeniero Osborne Reynolds, quien lo introdujo en el siglo XIX, y se utiliza ampliamente en la ingeniería para analizar flujos en conductos, alrededor de cuerpos sólidos, y en otras aplicaciones de fluidos en movimiento.

El número de Reynolds se define como:

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} = \frac{v L}{\nu}$$

Donde:

ρ es la densidad del fluido (kg/m^3).

v es la velocidad media del fluido (m/s).

L es la longitud característica (como el diámetro del conducto o el radio de un objeto inmerso en el fluido) (m).

μ es la viscosidad dinámica del fluido ($\text{Pa} \times \text{s}$ o $\text{N} \times \text{s/m}^2$).

ν es la viscosidad cinemática del fluido (m^2/s).

El número de Reynolds es esencialmente una medida de la relación entre las fuerzas inerciales (que tienden a hacer que el fluido fluya de manera desordenada) y las fuerzas viscosas (que tienden a hacer que el fluido se mueva de manera ordenada). Dependiendo del valor de Re , el flujo de un fluido puede clasificarse en tres categorías principales:

3.12 Flujo Laminar ($Re < 2000$):

En este régimen, las partículas del fluido se desplazan en niveles paralelos, sin mezclarse de manera significativa. El flujo es suave y predecible, y las fuerzas viscosas dominan.

Este tipo de flujo es común en fluidos de baja velocidad o cuando se mueve a través de conductos de pequeño diámetro.

3.13 Flujo Turbulento ($Re > 4000$):

Aquí, las fuerzas inerciales son mucho mayores que las viscosas, lo que resulta en un flujo caótico y desordenado. El fluido presenta vórtices y remolinos, y las partículas se mezclan de manera impredecible. Este tipo de flujo es común en aplicaciones industriales y naturales donde el fluido fluye a alta velocidad o en conductos grandes.

3.14 Régimen Transicional ($2000 < Re < 4000$):

En este intervalo, el flujo puede cambiar de laminar a turbulento o viceversa, dependiendo de las condiciones exactas del sistema. Este régimen es difícil de predecir con precisión y es objeto de estudio en muchas investigaciones.

3.15 El número de Reynolds tiene una gran importancia en diversas áreas de la mecánica de fluidos:

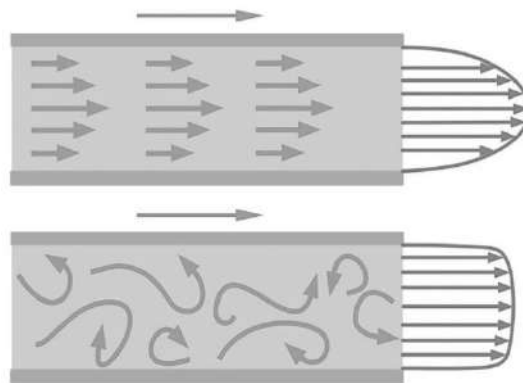
Diseño de conductos: Permite predecir si el flujo será laminar o turbulento en un conducto o tubo, lo cual es crucial para el cálculo de la pérdida de presión y el diseño de sistemas de transporte de fluidos.

Aerodinámica: En la ingeniería aeronáutica, Re se usa para predecir el comportamiento del aire alrededor de las alas y otras superficies de los aviones. Un flujo laminar puede generar menor resistencia al aire, mientras que un flujo turbulento puede incrementar la fricción y la resistencia.

Cálculo de la fricción: El número de Reynolds se utiliza en fórmulas que determinan la fuerza de fricción en los conductos o sobre superficies, lo que es fundamental para la eficiencia de los sistemas de fluidos.

Figura 15.

Fricción de fluidos en una superficie.



Fuente. Tomada de (Delgado, 2024).

3.16 Transferencia de fluidos en sistemas hidráulicos y neumáticos

Sistemas Hidráulicos

Los sistemas hidráulicos son dispositivos que aprovechan la energía contenida en los fluidos, generalmente aceites hidráulicos, para generar, controlar y transmitir fuerzas de manera eficiente. Estos sistemas se basan en el principio fundamental de la Ley de

Pascal, que establece que cualquier cambio de presión en un fluido confinado se transmite de manera uniforme a todas las partes del fluido. Gracias a esta ley, los sistemas hidráulicos pueden aplicar fuerzas precisas y controladas, lo que los hace extremadamente útiles en una amplia gama de aplicaciones industriales, de maquinaria pesada y en la automatización (Delgado, 2024).

Componentes principales de los sistemas hidráulicos

Los sistemas hidráulicos son sistemas complejos que requieren varios componentes para funcionar correctamente. Entre los componentes más comunes se encuentran:

Fluido hidráulico: El fluido es esencial para la transmisión de energía dentro del sistema. Se elige cuidadosamente en función de su viscosidad, capacidad de lubricación, rango de temperatura operativo y su resistencia al desgaste. El fluido, normalmente aceite, debe ser capaz de mantener sus propiedades en condiciones de alta presión y temperatura, además de ser capaz de prevenir la corrosión de las piezas del sistema.

Depósitos: Los depósitos almacenan el fluido hidráulico, proporcionando también un espacio para su expansión cuando se calienta. Además, los depósitos ayudan a disipar el calor generado durante la operación del sistema y permiten la separación de aire y contaminantes del fluido. En muchos casos, también incorporan filtros para evitar la contaminación del fluido.

Bombas hidráulicas: Las bombas son responsables de generar el flujo de fluido y proporcionar la presión necesaria para el funcionamiento del sistema. Transforman la energía mecánica, generalmente de un motor, en energía hidráulica. Las bombas se clasifican en varios tipos, como de desplazamiento positivo, volumétricas o centrífugas, y cada una es adecuada para diferentes aplicaciones y requisitos de presión (Europeo, 2023).

Válvulas: Las válvulas controlan el flujo, la dirección y la presión del fluido hidráulico, permitiendo un control preciso sobre el comportamiento del sistema. Son esenciales para regular los caudales de fluido, cambiar la dirección de movimiento de los actuadores y limitar la presión en el sistema. Existen varios tipos de válvulas, incluyendo las de control de presión, de control de flujo y direccionales, cada una especializada para funciones particulares.

Actuadores: Los actuadores, que incluyen cilindros y motores hidráulicos, son los componentes que convierten la energía hidráulica en trabajo mecánico. Los cilindros, por ejemplo, permiten el movimiento lineal, mientras que los motores permiten el movimiento rotacional. Estos actuadores son responsables de realizar tareas específicas, como levantar cargas pesadas, mover equipos o posicionar elementos con precisión (Herbert, 2023).

Sistemas de control: Los sistemas de control hidráulicos incluyen una variedad de sensores, controladores y dispositivos de retroalimentación que monitorean las condiciones del sistema, como la presión, la temperatura y el flujo. Estos sistemas ayudan a mantener el funcionamiento óptimo del sistema hidráulico, asegurando tanto la eficiencia como la seguridad en su operación.

Ventajas de los sistemas hidráulicos

Los sistemas hidráulicos ofrecen una serie de ventajas que los hacen altamente efectivos y populares en muchas aplicaciones industriales:

Alta densidad de potencia: Los sistemas hidráulicos por lo general pueden producir una gran cantidad de fuerza en un espacio relativamente pequeño. Esto los hace ideales para aplicaciones en las que se requieren fuerzas significativas, pero con un diseño compacto. Se utilizan comúnmente en maquinaria pesada, como excavadoras y grúas, debido a su capacidad para levantar y mover grandes cargas sin necesidad de un sistema de gran tamaño.

Control preciso y repetibilidad: Los sistemas hidráulicos ofrecen un control extremadamente preciso sobre los movimientos y las posiciones de los actuadores. Esto es crucial en aplicaciones donde se requiere un posicionamiento exacto o movimientos repetitivos, como en sistemas de automatización, robótica y maquinaria de producción (Europeo, 2023).

Durabilidad y fiabilidad: Los sistemas hidráulicos, cuando se mantienen adecuadamente, son altamente duraderos y confiables. Su capacidad para operar durante largos períodos con una cantidad mínima de mantenimiento los hace muy atractivos para aplicaciones que requieren una alta fiabilidad.

Desventajas de los sistemas hidráulicos

Aunque los sistemas hidráulicos son altamente eficientes y potentes, también presentan algunas desventajas que deben tenerse en cuenta en su diseño y mantenimiento:

Requiere mantenimiento constante: Los sistemas hidráulicos son sensibles a la contaminación del fluido, lo que puede afectar gravemente su funcionamiento y la vida útil de los componentes. Es esencial realizar un mantenimiento regular, como el reemplazo de filtros y el control de la calidad del fluido, para evitar daños en las bombas y actuadores.

Riesgo de fugas: Las fugas de fluido pueden ser un problema significativo, ya que no solo afectan la eficiencia del sistema, sino que también pueden generar riesgos ambientales si el fluido se derrama. Además, las fugas pueden ocasionar pérdidas de presión, lo que podría afectar el rendimiento y la seguridad del sistema (Herbert, 2023).

Velocidad y respuesta limitadas: Aunque los sistemas hidráulicos son muy eficaces para generar grandes fuerzas, tienen limitaciones en cuanto a la velocidad y el tiempo de respuesta. Esto puede ser un inconveniente en aplicaciones que requieren movimientos rápidos y precisos, como en sistemas de alta velocidad o en procesos dinámicos que demandan una alta tasa de cambio.

Costos operativos: El costo de mantenimiento de un sistema hidráulico, así como el costo de los componentes y el fluido, puede ser relativamente alto. Además, los sistemas hidráulicos a menudo requieren una infraestructura especializada y entrenamientos específicos para el manejo de los fluidos y componentes.

Figura 17.

Sistemas hidráulicos.



Fuente. Tomada de (Europeo, 2023).

Sistemas Neumáticos

Los sistemas neumáticos, a diferencia de los hidráulicos, emplean aire comprimido como fuente de energía para transmitir fuerzas y realizar trabajos mecánicos. Estos sistemas son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales, automatización y maquinaria ligera debido a su capacidad para ofrecer movimientos rápidos y un funcionamiento relativamente simple. Al igual que los sistemas hidráulicos, los sistemas neumáticos están diseñados para operar mediante una serie de componentes esenciales que permiten el control y la manipulación del aire comprimido (Herbert, 2023).

Componentes de los sistemas neumáticos

Los sistemas neumáticos cuentan con una variedad de componentes que trabajan en conjunto para lograr su objetivo de transmitir energía y movimiento. Entre estos componentes destacan:

Fuente de Aire Comprimido: Esta fuente es la base de todo el sistema, proporcionando el aire a presión necesario para el funcionamiento del sistema neumático. Por lo general, se logra mediante un compresor, que adsorbe aire atmosférico y lo comprime para incrementar su presión.

Compresores: Son los encargados de tomar el aire del ambiente y aumentar su presión, convirtiéndolo en aire comprimido, que luego se almacena en tanques o se utiliza directamente para mover los actuadores. Existen diferentes tipos de compresores, como los de pistón, rotativos o de tornillo, que se eligen según las necesidades específicas de presión y caudal.

Componentes del tratamiento del aire: Para asegurar el buen funcionamiento y la durabilidad del sistema, se utilizan diversos dispositivos de tratamiento de aire, entre los que se incluyen:

Filtros: Eliminan partículas de suciedad, humedad y otros contaminantes del aire comprimido, protegiendo así los componentes sensibles del sistema.

Reguladores: Controlan la presión del aire que fluye a través del sistema, garantizando que los actuadores reciban la presión adecuada para su funcionamiento.

Lubricadores: Aseguran que los componentes móviles del sistema, como los actuadores, reciban una lubricación adecuada, lo que reduce el desgaste y mejora la eficiencia operativa.

Válvulas de control: Estas válvulas regulan el flujo, la dirección y la presión del aire comprimido dentro del sistema neumático. Gracias a las válvulas, es posible controlar de manera precisa el movimiento de los actuadores, lo que es fundamental para aplicaciones donde se requiere un control exacto del tiempo y la fuerza.

Actuadores: Los actuadores, que incluyen cilindros y motores neumáticos, convierten la energía del aire comprimido en movimiento mecánico. Los cilindros neumáticos permiten movimientos lineales, mientras que los motores neumáticos convierten la energía neumática en movimiento rotacional. Son los encargados de realizar las tareas específicas para las que fue diseñado el sistema, como levantar, mover o posicionar elementos.

Sistemas de control: Los sistemas de control incluyen sensores, controladores y sistemas de automatización que gestionan y monitorean el funcionamiento del sistema neumático. Permiten la regulación del sistema en tiempo real, optimizando su rendimiento y garantizando su seguridad.

Ventajas de los sistemas neumáticos

Los sistemas neumáticos presentan una serie de ventajas que los hacen atractivos en ciertos entornos y aplicaciones:

Funcionamiento limpio y seco: Los sistemas neumáticos no requieren fluidos aceitosos, como los sistemas hidráulicos, lo que los hace ideales para entornos en los que la limpieza y la ausencia de contaminantes son cruciales. Esto los hace adecuados para aplicaciones en la industria alimentaria, electrónica y farmacéutica.

Simplicidad y rentabilidad: En comparación con los sistemas hidráulicos, los sistemas neumáticos son relativamente simples y económicos de instalar. La infraestructura necesaria es menos compleja, ya que no requiere componentes pesados como los tanques de fluido o las bombas de alta presión.

Rápidos tiempos de respuesta: Los sistemas neumáticos ofrecen tiempos de respuesta muy rápidos, lo que los transforma en una excelente elección para aplicaciones que necesitan movimientos veloces, como en líneas de ensamblaje, robots industriales o sistemas de automatización.

Adecuados para cargas ligeras y medias: Los sistemas neumáticos son ideales para aplicaciones que no requieren fuerzas extremadamente altas, siendo efectivos en tareas que implican el manejo de cargas ligeras o medianas.

Desventajas de los sistemas neumáticos

Aunque los sistemas neumáticos son eficientes en muchas aplicaciones, también presentan algunas limitaciones que deben ser consideradas:

Baja densidad de potencia: Los sistemas neumáticos tienen una densidad de potencia menor en comparación con los sistemas hidráulicos. Esto significa que su capacidad para

generar fuerzas y torques elevados es limitada, por lo que no son adecuados para aplicaciones que requieren levantar cargas pesadas o mover grandes masas de material.

Sensibilidad a las variaciones de presión: Los sistemas neumáticos son sensibles a las fluctuaciones de presión del aire, lo que puede alterar su rentabilidad y precisión. Las variaciones en la presión pueden generar movimientos imprecisos, lo que es una desventaja en aplicaciones que requieren un control de fuerza y posición extremadamente preciso.

Requiere mantenimiento regular: Al igual que los sistemas hidráulicos, los sistemas neumáticos requieren mantenimiento, especialmente en lo que respecta a los filtros, lubricadores y compresores. Además, la fuga de aire comprimido, que puede ser difícil de detectar, también puede disminuir la eficiencia del sistema.

Eficiencia limitada: Los sistemas neumáticos, al depender del aire como fluido de trabajo, pueden ser menos eficientes que los hidráulicos en términos de consumo de energía. Esto se debe a que el aire es compresible, lo que puede causar pérdidas de energía durante su compresión y expansión.

Para entender con claridad las diferencias entre los sistemas hidráulicos y neumáticos, es esencial analizar y contrastar su desempeño en distintos aspectos fundamentales.

Capacidad de potencia y fuerza: Los sistemas hidráulicos sobresalen por su capacidad de generar grandes fuerzas, lo que los hace ideales para tareas de carga pesada en maquinaria industrial y de construcción. En contraste, los sistemas neumáticos no alcanzan niveles de potencia tan altos, pero siguen siendo efectivos para manipular cargas ligeras y medianas, como en líneas de ensamblaje y automatización.

Velocidad y tiempo de respuesta: Los sistemas neumáticos ofrecen una respuesta más rápida debido a la compresibilidad del aire, lo que les permite realizar movimientos con gran velocidad. Por otro lado, los sistemas hidráulicos, al trabajar con líquidos incompresibles, tienen un tiempo de respuesta más lento, pero a cambio ofrecen una transmisión de fuerza más estable y uniforme.

Precisión y control: En términos de precisión y posicionamiento, los sistemas hidráulicos son superiores, ya que permiten un control detallado del movimiento, lo que los hace ideales para aplicaciones donde se requiere alta exactitud. Aunque los sistemas neumáticos son menos precisos, siguen siendo adecuados para muchas aplicaciones donde no se necesita una regulación extremadamente fina.

Eficiencia energética: Los sistemas hidráulicos son generalmente más eficientes en términos de consumo de energía, ya que su mayor densidad de potencia les permite manejar cargas pesadas con menor gasto energético. En cambio, los sistemas neumáticos pueden necesitar más energía para generar fuerzas similares, debido a las pérdidas asociadas con la compresión y el almacenamiento del aire.

3.17 Comparación entre sistemas hidráulicos y neumáticos

Para comprender a fondo las diferencias entre los sistemas hidráulicos y neumáticos, es esencial analizar su desempeño en diversos aspectos clave. Ambos sistemas se utilizan

para transmitir potencia y generar movimiento en aplicaciones industriales y mecánicas, pero presentan características distintas que los hacen más o menos adecuados dependiendo del uso específico.

Capacidades de potencia y fuerza: Los sistemas hidráulicos son reconocidos por su capacidad para generar fuerzas extremadamente altas, lo que los convierte en la opción preferida para aplicaciones de carga pesada. Esto se debe a la incompresibilidad del fluido hidráulico, que permite una transmisión eficiente de la energía sin pérdidas significativas. Su alta densidad de potencia los hace ideales para maquinaria pesada, grúas, prensas hidráulicas y equipos de construcción.

Por otro lado, los sistemas neumáticos, aunque no alcanzan la misma potencia que los hidráulicos, siguen siendo efectivos en aplicaciones que requieren fuerzas moderadas. Son ideales para la manipulación de materiales ligeros, automatización industrial, herramientas neumáticas y sistemas de ensamblaje. Su menor capacidad de fuerza se debe a que el aire comprimido es un fluido compresible, lo que limita la cantidad de energía que puede transmitir.

Velocidad y tiempo de respuesta: Los sistemas neumáticos se destacan por su rapidez y capacidad de reacción inmediata. Debido a la compresibilidad del aire, los actuadores neumáticos pueden activarse con gran velocidad, lo que los convierte en una opción ideal para procesos que demandan movimientos rápidos y repetitivos, como en las líneas de producción automatizadas.

En contraste, los sistemas hidráulicos, al operar con líquidos incompresibles, tienen tiempos de respuesta más lentos. Sin embargo, esta característica también contribuye a su estabilidad y suavidad en el movimiento, lo que es fundamental en aplicaciones que requieren una operación controlada y uniforme.

Precisión y control: En términos de precisión, los sistemas hidráulicos llevan la ventaja. Debido a la incompresibilidad del fluido, pueden proporcionar un control extremadamente preciso del movimiento y la fuerza aplicada. Esto los hace ideales para aplicaciones que requieren posicionamiento exacto y movimientos suaves, como maquinaria de control numérico, equipos de inyección de plástico y sistemas de dirección en maquinaria pesada.

Los sistemas neumáticos, aunque menos precisos debido a la variabilidad en la presión del aire, todavía ofrecen un control aceptable para muchas aplicaciones. En situaciones donde no se requiere una precisión extrema, como en sistemas de transporte de materiales o herramientas de impacto, los sistemas neumáticos siguen siendo una opción viable.

Eficiencia energética: La eficiencia energética de un sistema depende de su capacidad para convertir la energía suministrada en trabajo útil con la menor cantidad de pérdidas. En este aspecto, los sistemas hidráulicos suelen ser más eficientes, ya que el fluido hidráulico transmite la energía con menor pérdida en comparación con el aire comprimido. Además, los sistemas hidráulicos pueden mantener una fuerza constante con un menor consumo de energía, lo que los hace ideales para aplicaciones de larga duración y alta potencia.

Los sistemas neumáticos, en cambio, requieren una mayor cantidad de energía para comprimir el aire, lo que puede resultar en pérdidas energéticas significativas, especialmente cuando hay fugas en el sistema. Sin embargo, su bajo costo de mantenimiento y facilidad de operación pueden compensar en parte esta menor eficiencia en ciertos entornos industriales.

Figura 18.

Sistemas neumáticos.



Fuente. Tomada de (Ricardo Rodrigo, 2020).

3.18 Conductividad eléctrica y térmica en sólidos

Los sólidos presentan una variedad de propiedades físicas que influyen en su capacidad para conducir tanto el calor como la electricidad. Estas propiedades son fundamentales en múltiples aplicaciones tecnológicas, desde la fabricación de dispositivos electrónicos hasta el diseño de estructuras térmicas eficientes.

3.19 Conductividad eléctrica en sólidos

La conductividad eléctrica (σ) es la capacidad de un material sólido para permitir el paso de la corriente eléctrica. Depende de la estructura electrónica del material y se mide en Siemens por metro (S/m).

Ley de Ohm

La conductividad eléctrica se relaciona con la resistencia (R) de un material mediante la Ley de Ohm:

$$V = IR$$

Donde:

V es la diferencia de potencial (voltios)

I es la corriente eléctrica (amperios)

R es la resistencia eléctrica (Ω)

La resistencia está determinada por la ecuación:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Donde:

ρ es la resistividad del material ($\Omega \times m$), que es el inverso de la conductividad ($\sigma = \frac{1}{\rho}$).

L es la longitud del conductor (m).

A es el área de la sección transversal del conductor (m^2).

3.20 Tipos de materiales según su conductividad

Según su capacidad para conducir electricidad, los sólidos se clasifican en:

Conductores: Materiales con alta conductividad eléctrica, como los metales (cobre, plata, oro, aluminio). En estos materiales, los electrones de valencia se mueven libremente, facilitando el flujo de corriente.

Semiconductores: Son materiales con una conductividad eléctrica intermedia, situándose entre los conductores y los aislantes. Elementos como el silicio y el germanio pertenecen a esta categoría y tienen la particularidad de que su conductividad puede ser alterada intencionalmente mediante un proceso llamado dopaje. Esta propiedad los convierte en componentes fundamentales en el desarrollo de dispositivos electrónicos.

Aislantes: Materiales con muy baja conductividad eléctrica, como el vidrio, la cerámica y los polímeros. Sus electrones están fuertemente ligados a los núcleos atómicos, impidiendo el flujo de corriente.

3.21 Factores que afectan la conductividad eléctrica

Temperatura: En los metales, la conductividad eléctrica disminuye con el aumento de temperatura debido a la mayor dispersión de electrones por vibraciones atómicas. En los semiconductores, en cambio, la conductividad aumenta con la temperatura.

Impurezas y dopaje: La introducción controlada de impurezas en materiales semiconductores altera sus propiedades eléctricas, permitiendo modificar su conductividad. Un ejemplo común es el silicio dopado con fósforo (creando un material tipo N) o con boro (generando un material tipo P), lo que resulta esencial en la fabricación de transistores y circuitos integrados.

Estructura cristalina: Los materiales con una estructura ordenada favorecen el movimiento de electrones, aumentando la conductividad.

3.22 Conductividad térmica en sólidos

La conductividad térmica (λ o k) mide la capacidad de un sólido para transferir calor por conducción y se expresa en vatios por metro-kelvin ($\frac{W}{m \times K}$).

3.23 Ley de Fourier de la conducción de calor

La transferencia de calor en sólidos está regida por la Ley de Fourier:

$$q = k \frac{dT}{dx}$$

Donde:

q es el flujo de calor por unidad de área ($\frac{W}{m^2}$).

k es la conductividad térmica ($\frac{W}{m \cdot K}$).

$\frac{dT}{dx}$ es el gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor.

Tipos de materiales según su conductividad térmica

Buenos conductores térmicos: Los metales, como el cobre, la plata y el aluminio, tienen alta conductividad térmica debido a la movilidad de electrones libres que transportan energía térmica.

Aislantes térmicos: Materiales como la madera, la espuma y la cerámica tienen baja conductividad térmica debido a la estructura de sus enlaces y la presencia de aire atrapado en su interior.

Semiconductores térmicos: Algunos materiales, como el silicio, tienen conductividades térmicas moderadas y se usan en la gestión térmica de dispositivos electrónicos.

3.24 Relación entre conductividad térmica y conductividad eléctrica

La relación entre la conductividad térmica y eléctrica en los metales está descrita por la Ley de Wiedemann-Franz:

$$\frac{k}{\sigma} = LT$$

Donde:

L es la constante de Lorenz ($2.45 \times 10^{-8} W \Omega K^{-2}$).

T es la temperatura absoluta (K).

Esta ley explica por qué los buenos conductores eléctricos, como los metales, también son buenos conductores térmicos.

Factores que afectan la conductividad en sólidos

Estructura cristalina: Una red cristalina ordenada favorece la transmisión de calor y electricidad, mientras que los defectos en la estructura (como impurezas o dislocaciones) pueden reducir la conductividad.

Temperatura: En los metales, la capacidad de conducción térmica tiende a disminuir a medida que aumenta la temperatura, debido a la dispersión de electrones y fonones. En los materiales aislantes, la conductividad térmica puede aumentar a temperaturas intermedias, pero se reduce a temperaturas extremadamente altas debido a la dispersión de fonones.

Presencia de aleaciones o impurezas: Las aleaciones tienen menor conductividad térmica y eléctrica en comparación con los metales puros, ya que la presencia de átomos distintos interrumpe el movimiento de electrones y fonones.

3.25 Materiales avanzados y su impacto en la ingeniería moderna

Los materiales avanzados han revolucionado la ingeniería moderna, especialmente en áreas como la mecánica de fluidos. Estos materiales han sido diseñados y desarrollados para superar las limitaciones de los materiales convencionales, lo que permite mejorar

el rendimiento, la durabilidad y la eficiencia de los sistemas en los que se aplican. En el contexto de la mecánica de fluidos, estos materiales ofrecen ventajas significativas en la manipulación de fluidos, el diseño de sistemas hidráulicos y neumáticos, y en la creación de dispositivos más eficientes y resistentes (Europeo, 2023).

3.26 Tipos de materiales avanzados en la mecánica de fluidos

Compuestos de alta resistencia

Los materiales compuestos son combinaciones de dos o más materiales con propiedades diferentes, lo que resulta en un material con características superiores a las de los componentes individuales. En la mecánica de fluidos, los compuestos de alta resistencia, como los de fibra de carbono o fibra de vidrio, se utilizan para fabricar conductos, válvulas y componentes de sistemas hidráulicos y neumáticos. Estos materiales son ligeros, resistentes a la corrosión y capaces de soportar presiones y temperaturas extremas (Delgado, 2024).

Reducción de peso: Los compuestos son mucho más ligeros que los metales tradicionales, lo que reduce la carga en los sistemas.

Mayor durabilidad: Son resistentes a la corrosión y al desgaste, lo que aumenta la vida útil de los sistemas.

Mejora en la eficiencia: La ligereza y la resistencia a la corrosión mejoran el rendimiento global de las máquinas que operan en ambientes húmedos o corrosivos.

Materiales nanotecnológicos

Los materiales nanotecnológicos son aquellos que han sido modificados a nivel atómico o molecular para mejorar sus propiedades, como la resistencia a la abrasión, la conductividad térmica o la resistencia química. Los nanotubos de carbono, por ejemplo, tienen una alta resistencia mecánica y conductividad térmica, lo que los hace útiles en aplicaciones de transporte de fluidos o como recubrimientos protectores en sistemas hidráulicos de alto rendimiento (Ricardo Rodrigo, 2020).

Mejora de la transferencia de calor: La alta conductividad térmica de los nanotubos de carbono mejora la eficiencia térmica de sistemas de refrigeración en dispositivos hidráulicos o neumáticos.

Mayor eficiencia y rendimiento: Los materiales nanotecnológicos mejoran la resistencia a la corrosión y la fricción, lo que resulta en sistemas más eficientes y con menos pérdidas de energía.

Materiales autolimpiantes

Los materiales autolimpiantes, como los recubrimientos de nano-sílica, tienen propiedades que repelen las impurezas, lo que es útil para evitar la acumulación de suciedad, grasa o partículas sólidas en las superficies de los sistemas de fluidos. Estos recubrimientos son especialmente valiosos en sistemas hidráulicos que operan en ambientes polvorientos o húmedos, donde la acumulación de impurezas puede reducir la eficiencia del sistema.

Reducción de mantenimiento: La capacidad de las superficies para mantenerse limpias reduce la frecuencia y el costo de los mantenimientos.

Mejora en el rendimiento: La acumulación de impurezas puede obstruir conductos y válvulas; los materiales autolimpiantes garantizan que el flujo de fluido se mantenga constante y eficiente.

Aleaciones de alta temperatura

Las aleaciones de alta temperatura, como las que contienen tungsteno o níquel, son materiales que pueden soportar temperaturas extremadamente altas sin perder sus propiedades mecánicas. Estos materiales son cruciales en aplicaciones donde los fluidos están expuestos a condiciones de temperatura extremas, como en motores de aeronaves, plantas de energía y turbinas hidráulicas (Delgado, 2024).

Mejor rendimiento en condiciones extremas: Las aleaciones de alta temperatura mejoran la durabilidad y el rendimiento de los sistemas hidráulicos y neumáticos que operan a altas temperaturas.

Mayor seguridad: Los materiales que soportan altas temperaturas permiten un funcionamiento seguro de los sistemas, reduciendo el riesgo de fallos debido a la deformación térmica o al desgaste acelerado.

Materiales compuestos para recubrimientos anticorrosivos

Los recubrimientos anticorrosivos de materiales avanzados, como los recubrimientos de polímeros y cerámicas, se utilizan para proteger componentes de sistemas hidráulicos y neumáticos de los efectos de la corrosión causada por fluidos agresivos. Estos materiales son fundamentales en la fabricación de bombas, tuberías y válvulas expuestas a sustancias químicas o agua salada.

Extensión de la vida útil: Los recubrimientos anticorrosivos protegen los componentes de los sistemas, lo que aumenta su vida útil.

Reducción de fallos en sistemas: La corrosión es una de las principales causas de fallos en los sistemas hidráulicos; los recubrimientos avanzados ayudan a prevenir estos problemas.

3.27 Impacto de los materiales avanzados en la ingeniería de fluidos

Mejoras en la eficiencia energética: El uso de materiales avanzados, como los compuestos ligeros y nanotecnológicos, permite diseñar sistemas hidráulicos y neumáticos más eficientes. La reducción de la fricción y el peso de los componentes contribuye a una menor pérdida de energía durante el transporte y la manipulación de los fluidos, lo que mejora el rendimiento general del sistema (Briceño V., EUSTON, 2018).

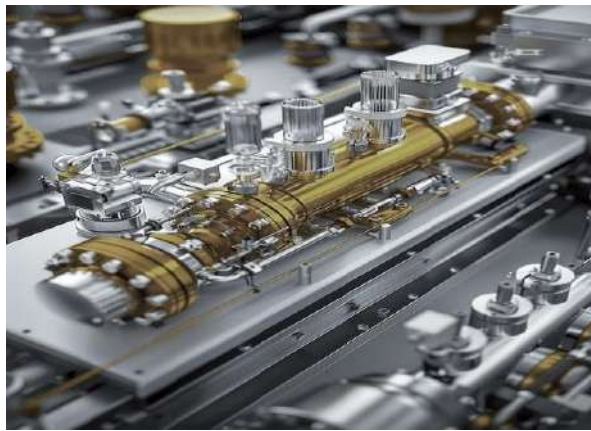
Resistencia a condiciones extremas: La ingeniería de fluidos moderna requiere materiales capaces de soportar condiciones extremas, como altas presiones y temperaturas, o fluidos corrosivos. Las aleaciones de alta temperatura, los compuestos avanzados y los recubrimientos especializados permiten que los sistemas operen en condiciones desafiantes sin comprometer su rendimiento o seguridad.

Reducción de costos operativos y mantenimiento: El uso de materiales autolimpiantes y anticorrosivos reduce la necesidad de mantenimiento constante en los sistemas hidráulicos y neumáticos. La menor acumulación de impurezas y la resistencia a la corrosión ayudan a prolongar la vida útil de los equipos y reducir los costos operativos a largo plazo.

Innovaciones en diseño y miniaturización: Los avances en materiales también han facilitado la miniaturización de dispositivos hidráulicos y neumáticos, lo que permite el diseño de sistemas más compactos, livianos y eficientes. Esto es particularmente importante en aplicaciones de robótica, aeronáutica y dispositivos electrónicos, donde el tamaño y el peso son factores cruciales (Herbert, 2023).

Figura 19.

Miniaturización de sistemas.



Fuente. Tomada de (Herbert, 2023).

3.28 Test de evaluación del capítulo

3.29 Ejercicios de opción múltiple teórico

1. ¿Qué estudia la mecánica de fluidos?

- a) El comportamiento de los sólidos en movimiento.
- b) La electricidad y el magnetismo en los materiales.
- c) El desplazamiento de los fluidos y las fuerzas que influyen sobre ellos.

Respuesta correcta: Literal c

2. ¿Qué tipo de fluido tiene una viscosidad constante sin importar la fuerza aplicada?

- a) Fluidos newtonianos
- b) Fluidos no newtonianos
- c) Superfluidos

Respuesta correcta: Literal a

3. Según la ecuación de Bernoulli, ¿cuál de las siguientes magnitudes no interviene en el análisis de un fluido en movimiento?

- a) Presión

- b) Energía cinética
- c) Masa atómica

Respuesta correcta: Literal c

4. ¿Qué propiedad permite que algunos insectos caminen sobre el agua sin hundirse?

- a) Capilaridad
- b) Tensión superficial
- c) Conductividad térmica

Respuesta correcta: Literal b

5. ¿Cuál de los siguientes sistemas usa aire comprimido para transmitir energía?

- a) Sistema hidráulico
- b) Sistema neumático
- c) Sistema eléctrico

Respuesta correcta: Literal b

6. ¿Qué mide el número de Reynolds?

- a) La densidad de un fluido
- b) El régimen de flujo de un fluido
- c) La temperatura de un fluido

Respuesta correcta: Literal b

7. ¿Cómo se comporta un gas cuando se encuentra en un recipiente cerrado?

- a) Mantiene un volumen fijo y no cambia de forma
- b) Se expande hasta llenar todo el espacio disponible
- c) Se comprime hasta convertirse en un líquido

Respuesta correcta: Literal b

8. ¿Qué sucede con la viscosidad de un fluido cuando su temperatura aumenta?

- a) En líquidos, disminuye; en gases, aumenta
- b) En líquidos, aumenta; en gases, disminuye
- c) No cambia en ningún caso

Respuesta correcta: Literal a

9. ¿Cuál de los siguientes materiales es un buen conductor tanto de electricidad como de calor?

- a) Madera
- b) Cobre
- c) Vidrio

Respuesta correcta: Literal b

10. ¿Cuál de los siguientes principios es la base del funcionamiento de los sistemas hidráulicos?

- a) Ley de Pascal
- b) Ley de Coulomb
- c) Principio de Arquímedes

Respuesta correcta: Literal a

3.30 Ejercicios prácticos resueltos

1. Determinar el tipo de flujo: Un fluido con una densidad de 1000 kg/m^3 y una viscosidad dinámica de $0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ fluye a una velocidad de 0.5 m/s dentro de un tubo con un diámetro de 0.05 m . ¿Cuál es su número de Reynolds y qué tipo de flujo presenta?

Solución:

$$NRe = \frac{D * v * \rho}{\mu}$$
$$NRe = \frac{0.05 \text{ m} * 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}}$$
$$NRe = 25000$$

Conclusión: Como $Re > 4000$ el flujo es **turbulento**.

2. Calcular la velocidad para flujo laminar: Para que un fluido con $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ y $\mu = 0.002 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ fluya de manera **laminar** en un tubo de $D = 0.03 \text{ m}$, ¿cuál debe ser la velocidad máxima del fluido?

Condición: Un flujo es laminar si $Re < 2000$.

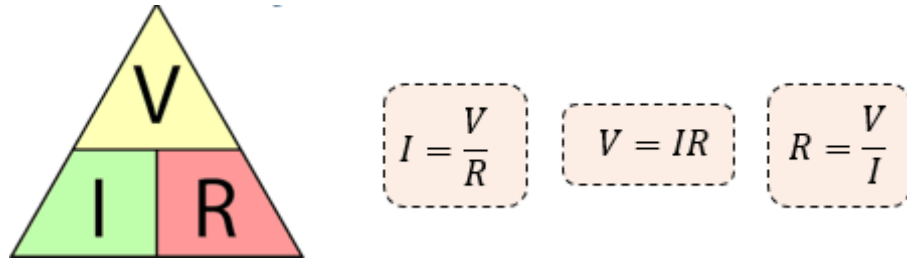
$$v = \frac{Re * \mu}{D * \rho}$$

Sustituyendo $Re = 2000$:

$$v = \frac{2000 * 0.002 \text{ Pa}\cdot\text{s}}{0.03 \text{ m} * 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$
$$v = 0.167 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Conclusión: Para que el flujo sea **laminar**, la velocidad debe ser **menor a 0.167 m/s** .

3. ¿Qué corriente fluye a través de un conductor con una resistencia de 50Ω cuando se aplica una diferencia de potencial de 120 voltios entre sus extremos?



Solución:

Lo primero que haremos será colocar nuestros datos:

$$R = 50\Omega$$

$$V = 120V$$

$$I = ?$$

Aplicando la fórmula de Ohm, tenemos que:

$$I = \frac{V}{R}$$
$$I = \frac{120V}{50\Omega}$$

$$I = 2.4 \text{ A}$$

4. Una corriente de 6.5 A pasa a través de un conductor con una resistencia de 27Ω . ¿Qué diferencia de potencial se aplica en los extremos del conductor?

Solución:

Nuevamente colocamos nuestros datos, y procedemos a realizar el despeje para obtener así, la diferencia de potencial.

$$R = 27\Omega$$

$$I = 6.5A$$

$$V = ?$$

Despejando a "V"

$$V = I \cdot R$$

Sustituyendo datos:

$$V = I \cdot R$$

$$V = (6.5A) (27\Omega)$$

$$V = 175.5V$$

5. Por una tubería con un diámetro interno de 15 cm circula aire a una presión relativa de 2.1 kg/cm^2 y una temperatura de 38°C . La presión atmosférica local es de 1.03 kg/cm^2 , y la velocidad promedio del flujo es de 3.2

m/s. Calcule el flujo másico del aire, considerando que su masa molar es de 28.8 g/mol.

Solución

El aire en estas condiciones puede tratarse como un gas ideal. Para resolver el problema, primero se calcula la densidad del aire utilizando la ley de los gases ideales, y luego se determina el flujo másico mediante la fórmula $\dot{m} = \rho v A$.

$$\rho = \frac{PM}{RT} = \frac{[(2.1 + 1.03) \times 9.8 \times 10^4 \text{ Pa}] \left(\frac{28.8 \times 10^{-3} \text{ kg}}{\text{mol}} \right)}{8.314 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times (38 + 273.15 \text{ K})}$$

$$\dot{m} = \rho v A = 3.43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 3.2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \pi \times \frac{(0.15 \text{ m})^2}{4} = 0.194 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

6. Calcule la presión manométrica en el fondo de un tanque que contiene agua a 20 °C, sabiendo que la columna de líquido tiene una altura de 20 cm. Expresé el resultado en las siguientes unidades: pascuales (Pa), libras por pulgada cuadrada manométricas (psig), milímetros de mercurio (mmHg) y atmósferas (atm).

Solución

La presión manométrica se calcula mediante la fórmula $p = \rho g h$, donde:

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ (densidad del agua a 20 °C),

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$ (aceleración debida a la gravedad),

$h = 0.2 \text{ m}$ (profundidad del agua).

$$p = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.2 \text{ m} = 1960 \text{ Pa}$$

Conversiones a otras unidades:

1. **A psig:**

$$1960 \text{ Pa} \times \frac{14.7 \text{ psig}}{101325 \text{ Pa}} = 0.2843 \text{ psig}$$

2. **A mmHg:**

$$1960 \text{ Pa} \times \frac{760 \text{ mmHg}}{101325 \text{ Pa}} = 14.7 \text{ mmHg}$$

3. **A atm:**

$$14.7 \text{ mmHg} \times \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}} = 0.01943 \text{ atm}$$

7. Dos tanques de agua están conectados mediante un manómetro diferencial de mercurio. El tanque con mayor presión se encuentra 1.5 m por encima del otro. Si la diferencia de altura en la columna de mercurio es de 100 mm, determine:

La diferencia de presión expresada en metros de agua y en kilopascales (kPa).

La nueva lectura del manómetro si se utiliza tetracloruro de carbono (CCl_4) en lugar de mercurio, manteniendo la misma diferencia de presión.

$$\Delta p = Y_{Hg} \Delta h \left(13.6 * 9800 \frac{N}{m^3} \right) * 0.1 = 13328 Pa = 13.33 kPa$$

Ahora en m de agua:

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{Y_{CCl4}} = \frac{13.33 kPa}{1.59 * 9.8 \frac{KN}{m^3}} = 0.855 m \text{ de } CCl_4$$

8. Determine la presión manométrica del aire en un tanque que contiene aceite (densidad relativa 0.9) y está conectado a un manómetro de mercurio (densidad relativa 13.6). Las alturas medidas son:

- $H_1=1 m$ $H_1=1m$ (columna de aceite)
- $H_2=20 cm$ $H_2=20cm$ (columna de aceite)
- $H_3=40 cm$ $H_3=40cm$ (columna de mercurio).

Solución

La solución consiste en ir desde un punto hacia el otro, haciendo el recorrido de presiones: si se desciende en la gráfica, la presión manométrica aumenta; si se sube, disminuye. Y se toman como referencia los niveles marcados en el dibujo. Da igual si uno empieza en el extremo abierto y va hacia el manómetro del tanque, o viceversa, el resultado deber ser el mismo. P_{man} en el extremo abierto = 0 kPa (porque está abierto a la atmosfera)

$$p_2 = 0 + p_{Hg} g H_3 = (13600 * 9.8 * 0.4) Pa = 53312 Pa$$

$$P_2 = P_2$$

$$P_{man} = P_{aire}$$

$$P_{aire} = P_1 - P_{aceite} g (H_1 + H_2) = [53312 - (900 * 9.8 * (1 + 0.2))] Pa = 53301.4 Pa$$

En kPa será 53.3 kPa manométricos.

9. Determine la presión absoluta en un sistema que opera con un vacío de 20 kPa, considerando una presión atmosférica local de 14 psig. Expresé el resultado en atmósferas (atm), milímetros de mercurio (mmHg) y libras por pulgada cuadrada absoluta (psia).

Solución:

Aquí se aplica la definición de presión absoluta y se tiene en cuenta que la presión de vacío es una presión manométrica negativa. Se debe recordar que la presión manométrica es una diferencia con respecto a la presión atmosférica y que, por ende, puede ser positiva cuando es mayor a la atmosférica o negativa cuando es menor (vacío).

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{man} = 14 \text{ psig} + \left(-20 \text{ KPa} \frac{14.7 \text{ psia}}{101.325 \text{ KPa}} \right)$$

$$(14 - 2.901) \text{ psia} = 11.09 \text{ psia}$$

Conversión de unidades:

$$11.09 \text{ psia} * \left(\frac{1 \text{ atm}}{14.7 \text{ psia}} \right) = 0.755 \text{ atm}$$

$$0.755 \text{ atm} * \left(\frac{750 \text{ mmHg}}{1 \text{ atm}} \right) = 566.25 \text{ mmHg}$$

10. Determina el consumo de agua a través de una tubería si en 30 minutos se transportan 1200 litros.

Solución: Para hallar el gasto, convierte los 30 minutos a segundos y los 1200 litros a metros cúbicos (m³).

$$\frac{30 \text{ min}}{1} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = \frac{1800 \text{ min s}}{1 \text{ min}} = 1800 \text{ s}$$

$$\frac{1200 \text{ litros}}{1} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} = \frac{1200 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} = 1.2 \text{ m}^3$$

Sustituyendo en la fórmula 1.

$$G = \frac{v}{t}; G = \frac{1.2 \text{ m}^3}{1800 \text{ s}} = 6.66 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

11. Halla el flujo de agua que pasa por una tubería de 5 cm de diámetro si la velocidad del agua es de 4.8 m/s.

Solución: Dado que conocemos la velocidad del agua y el diámetro de la tubería, usamos la fórmula 2, pero primero debemos calcular el área de la sección transversal de la tubería.

$$\text{Recordando } A = \frac{\pi \varphi^2}{4}; \text{ sustituyendo valores se tiene: } A = \frac{\pi (0.05 \text{ m})^2}{4} = 1.96 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

sustituyendo la fórmula 2.

$$G = A v; \text{ Se tiene: } G = (1.96 \times 10^{-3} \text{ m}^2) \frac{4.8 \text{ m}}{\text{s}} = 9.40 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El gasto de agua es de $9.40 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, explicado de manera más entendible son 9.4 litros cada segundo.

12. ¿Cuál debe ser el diámetro de una tubería para que el flujo de agua sea de 10 litros por segundo a una velocidad de 5 m/s?

Solución:

$A = \frac{G}{v}$ Posteriormente se sustituye "A" por la formula para calcular área.

$$A = \frac{\pi \varphi^2}{4}$$

$$\frac{\pi \varphi^2}{4} = \frac{G}{v} \text{ se despeja } \varphi$$

$$\varphi^2 = \frac{4 G}{\pi v}; \quad \varphi = \sqrt{\frac{4 G}{\pi v}}$$

Sustituyendo valores en la expresión anterior:

$$\varphi = \sqrt{\frac{4 (0.01 \frac{m^3}{s})}{\pi (5 \frac{m}{s})}} = 0.050m$$

La tubería debe tener un diámetro de 0.05 o sea de 5 cm.

13. Determina el flujo de agua que pasa por una tubería si el gasto es de 2 litros por segundo. Ten en cuenta que la densidad del agua es de 1000 kg/m³.

Solución: Como conocemos el gasto, usamos la fórmula 4: $F = G \rho$ $F = G \rho$, pero primero debemos expresar el gasto en m³/s.

$$\frac{2 \text{ litros}}{s} \cdot \frac{1 m^3}{1000 \text{ litros}} = \frac{2 \text{ litros } m^3}{1000 s \text{ litros}} = 2 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Sustituyendo: $F = G \rho =$

$$F = 2 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} = 2 \frac{kg}{s}$$

Significa que cada segundo fluyen 2 kg de agua.

14. Una tubería de 4 cm de diámetro transporta agua a una velocidad de 3 m/s. Si en un tramo la tubería se reduce a un diámetro de 2.5 cm, ¿cuál será la velocidad del agua en esa sección más estrecha?

Solución:

Datos:

Diámetro 1 = $\varphi 1 = 4 \text{ cm}$ o 0.04 m

Diámetro 2 = $\varphi 2 = 2.5 \text{ cm}$ o 0.025 m

Velocidad 1 = $v1 = 3 \text{ m/s}$

Se desconoce la $v2$.

Utilizando la Ecuación de Continuidad; queda como:

$$v2 = \frac{A1 v1}{A2} \text{ expresión 1}$$

$$A1 = \frac{\pi (\varphi 1)^2}{4} \quad \text{y} \quad A2 = \frac{\pi (\varphi 2)^2}{4}$$

Ahora sustituyendo en la expresión 1, se tiene:

$$V2 = \frac{\frac{\pi (\varphi 1)^2}{4} (v1)}{\frac{\pi (\varphi 2)^2}{4}} \text{ expresión 2}$$

Dividiendo y cancelando $\pi/4$ de la expresión 2, se obtiene:

$$V2 = \frac{(\varphi 1)^2 (V1)}{(\varphi 2)^2} \text{ expresión 3}$$

Sustituyendo valores en la expresión 3:

$$V2 = \frac{(0.04 \text{ m})^2 \left(\frac{3 \text{ m}}{\text{s}}\right)}{(0.025 \text{ m})^2}$$
$$V2 = \frac{(1.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2) \left(\frac{3 \text{ m}}{\text{s}}\right)}{6.25 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 7.68 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La velocidad del agua en la sección estrecha de la tubería es de 7.68 m/s .

15. La resistencia global de un cuerpo de un perro es de 1000Ω . Calcula la intensidad que circulará por su cuerpo si toca una fuente de 220 V .

Datos:

- $R=1000 \Omega$ → Resistencia del cuerpo
- $V=220 \text{ V}$ → Voltaje de la fuente

Fórmula de la Ley de Ohm

$$I=V/R$$

$$I=220/1000$$

$$I=0.22 \text{ A}$$

16. Un foco de 60 W está conectada a una diferencia de potencial de 220 V. ¿Cuál es la intensidad de la corriente que circula por ella?

Datos

$P=60 \text{ W}$ → Potencia

$V=220 \text{ V}$ → Voltaje

Fórmula de potencia eléctrica:

$$I=P/V$$

$$I=60/220= 0.273 \text{ A}$$

$$I=273\text{mA}$$

17. Un calentador calienta un caudal de agua de cinco litros por minuto. La temperatura del agua se eleva desde 20 °C hasta 40 °C.

Calcula la corriente eléctrica que requiere el calefón.

$$\text{Potencia} = \text{masa} / \text{tiempo} \times c \times \Delta T$$

$$(5\text{kg} / 60\text{s}) \cdot 4186 \cdot 20 = 6980\text{W}$$

Corriente eléctrica (usando 220 V):

$$I=P/V$$

$$I= 6980 / 220 = 31.7 \text{ A}$$

18. Halle la diferencia de potencial de una batería de litio que se conecta a un foco cuya resistencia es de 140, que mediante sus filamentos fluyen $11,3 \cdot 10^{17}$ electrones en 1,5 minutos.

Datos:

Formulas

$$R= 140$$

$$V=I \cdot R$$

$$A= 11,3 \cdot 10^{17}$$

$$I=q/t$$

$$T= 1,5 \text{ min}$$

Sustitución

$$Q_e= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$I= 180,8 \cdot 10^{-3} \text{ C} / 90 \text{ seg} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$V= (2 \cdot 10^{-3} \text{ A}) (140)$$

$$\text{Resultado} = 0,28 \text{ V}$$

19. Por una resistencia de 30 ohms de una licuadora eléctrica circula una corriente de 4 A al estar conectado a una diferencia de potencial de 120 V. ¿Halle la cantidad de calor producida durante 5 min?

Datos:	Formulas
R= 30	$Q=0,24/\text{Rt}$
I= 4A	Sustitución
V=120 V	$Q= 0,24 (4A)^2 (30) (300\text{seg})$
T= 5min=300 seg	Resultado= 34500 calorías

20. Entre los extremos del cable de una plancha de cabello, se mide una diferencia de potencial de 100 V cuando circula una corriente de intensidad 1,2

A. **Calcula la resistencia del conductor entre esos puntos.**

Para calcular la resistencia del conductor entre los puntos dados, podemos usar la ley de Ohm, que se expresa como:

$$R = V/I$$

donde:

R es la resistencia en ohmios (Ω),

V es la diferencia de potencial en voltios (V),

I es la intensidad de la corriente en amperios (A).

Dado que:

$$V = 100V$$

$$I = 1.2A$$

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$R = 100V / 1.2A \approx 83.33\Omega$$

Por lo tanto, la resistencia del conductor entre esos puntos es aproximadamente 83.33 Ω .

3.31 Referencias bibliográficas

- ABC, D. (2018). *INFOLIBROS*. Obtenido de ELECTROMAGNETISMO: <https://infolibros.org/pdfview/11945-electromagnetismo-dpti-servicios-abc/>
- Álvarez. (2022). *Divulgación Superconductividad*. Obtenido de Superconductividad (ICMM-CSIC): <https://wp.icmm.csic.es/superconductividad/materiales-superconductores/superconductores-convencionales/>
- Álvarez, J. (2022). *Cuadro comparativo*. Obtenido de Ejemplos de hidrostática en la vida cotidiana: <https://cuadros-comparativos.com/ejemplos-de-hidrostatica-en-la-vida-cotidiana/>
- Ariza, I. (12 de abril de 2023). *todoagua.com*. Obtenido de ¿Qué es la presión hidrostática?: <https://www.todoagua.es/que-es-presion-hidrostatica/#:~:text=La%20presi%C3%B3n%20hidrost%C3%A1tica%20es%20un%20concepto%20que%20se%20refiere%20a,que%20se%20encuentra%20el%20objeto>
- Briceño V., G. (2018). *Euston*. Obtenido de Hidrostática: <https://www.euston96.com/hidrostatica/>
- Briceño V., G. (2018). *EUSTON*. Obtenido de Principio de Bernoulli.: <https://www.euston96.com/principio-de-bernoulli/>
- Carmora, A. (mayo de 2023). *química*. Obtenido de Física: la clave detrás del avance tecnológico y social: <https://quimica.diaonia.com/fisica-la-clave-detras-del-avance-tecnologico-y-social/>
- Coluccio Leskow, E. (24 de OCTUBRE de 2024). *FISICA*. Obtenido de Imán: <https://concepto.de/iman/>
- Coluccio, L. E. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Magnetismo: <https://concepto.de/magnetismo/>
- Conceptualista*. (2024). Obtenido de Hidrostática: <https://conceptualista.com/hidrostatica/>
- Cremades García, S. (2019). *AQUAE FUNDACIÓN*. Obtenido de ¿Conoces la historia de Arquímedes?: <https://www.fundacionaquae.org/principio-arquimedes-eureka/#:~:text=El%20principio%20de%20Arqu%C3%ADmedes%20y%20su%20%C2%A1eureka%21%20El,hacia%20arriba%20equivalente%20al%20peso%20del%20volumen%20desalojado.>
- Cremades, G. S. (2022). *EQUAE FUNDACIÓN*. Obtenido de ¿Conoces la historia de Arquímedes?: <https://www.fundacionaquae.org/principio-arquimedes-eureka/#:~:text=El%20principio%20de%20Arqu%C3%ADmedes%20y%20su%20%C2%A1eureka%21%20El,hacia%20arriba%20equivalente%20al%20peso%20del%20volumen%20desalojado.>
- Delgado, M. (24 de octubre de 2024). *conceptos*. Obtenido de Propiedades de los fluidos: <https://concepto.de/propiedades-de-los-fluidos/>

- Educación, U. P. (2022). *INFOLIBRO*. Obtenido de Electromagnetismo: <https://infolibros.org/pdfview/11946-electromagnetismo-universidad-peruana-cayetano-heredia-facultad-de-educacion/>
- Electromagnetismo*. (13 de octubre de 2017). Obtenido de Aplicaciones Del Electromagnetismo: <https://electromagnetismoluz2017.wordpress.com/2017/10/13/holaaa/>
- Estefania Coluccio Leskow. (24 de OCTUBRE de 2024). *FISICA*. Obtenido de Imán: <https://concepto.de/iman/>
- Estefania Coluccio Leskow Ph.D. Doctora en Ciencias Físicas (Universidad de Buenos Aires, A. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Conductividad térmica: <https://concepto.de/conductividad-termica/>
- Europeo. (21 de Julio de 2023). *IELOGIS*. Obtenido de La ecuación de Bernoulli: fundamentos y aplicaciones: <https://ielogis.com/ecuacion-bernoulli/#:~:text=La%20ecuaci%C3%B3n%20de%20Bernoulli%20nos,un%20barco%20en%20el%20agua>
- Guanajuato, U. d. (30 de MARZO de 2022). *RECURSOS DIDACTICOS ABIERTOS*. Obtenido de Flujo magnético y aplicaciones del electromagnetismo: <https://blogs.ugto.mx/rea/clase-digital-4-flujo-magnetico-y-aplicaciones-del-electromagnetismo/>
- Herbert, P. (20 de Julio de 2023). *TRADESAFE*. Obtenido de Sistemas hidráulicos versus neumáticos: una guía comparativa: https://trdsf.com/es/blogs/news/sistemas-hidraulicos-versus-neumaticos-una-guia-comparativa?srsId=AfmBOoq2w_nuWOzsUuFcVHGcnym975DdJ4gYDzgEWSa3fvQ1_gNV3YQa
- industrial, O. P.-I. (23 de agosto de 2023). *Energía Nuclear*. Obtenido de Mecánica de fluidos: <https://energia-nuclear.net/fisica/mecanica-de-fluidos/ejemplos/sistemas-hidraulicos>
- J.L, B. (25 de septiembre de 2022). *electronicaonline*. Obtenido de Ley de Ohm: <https://electronicaonline.net/electricidad/ley-de-ohm/>
- Leskow, C. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Semiconductores: <https://concepto.de/semiconductores/>
- Leskow, E. C. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Electromagnetismo: <https://concepto.de/electromagnetismo/>
- Licenciada en Física, c. m. (27 de Julio de 2020). *lifeder*. Obtenido de Mecánica de fluidos: historia, qué estudia, fundamentos: <https://www.lifeder.com/mecanica-de-fluidos/>
- Licenciada en Física, c. m. (04 de diciembre de 2020). *lifeder*. Obtenido de Sistema neumático: <https://www.lifeder.com/sistema-neumatico/>

- Marquez, H. (2022). *UNISALIA*. Obtenido de La Influencia de la Física en la Tecnología: Una Perspectiva Completa.: <https://unisalia.com/como-influye-la-fisica-en-la-tecnologia2627/>
- Márquez, J. (2023). *I I.E.S. El Clot Dto. Física y Química*. Obtenido de Física Cuántica: https://www.uv.es/jmarques/_private/FisicaCuantica.pdf
- Montalvo, L. (2024). *GRUPO MOBILITY*. Obtenido de 5 aplicaciones de la física en la ingeniería ambiental: potencializando soluciones sostenibles: https://grupomobilitymurcia.es/5-aplicaciones-de-la-fisica-en-la-ingenieria-ambiental/?damemas_lectura=1
- Oriol Planas. (21 de junio de 2023). *ENERGÍA NUCLEAR*. Obtenido de Física cuántica: los principios de la mecánica cuántica: <https://energia-nuclear.net/fisica/cuantica>
- Oriol, P. (26 de JULIO de 2023). *ENERGÍA NUCLEAR*. Obtenido de Flujo magnético: <https://energia-nuclear.net/energia/electromagnetica/flujo-magnetico>
- Ramírez, M. D. (14 de marzo de 2024). *Gobierno de Canarias; Campus*. Obtenido de Física del siglo XX: Cuántica: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/mramrodp/?p=2436#:~:text=La%20mec%C3%A1nica%20cu%C3%A1ntica%20tiene%20tres,y%20la%20ecuaci%C3%B3n%20de%20Schr%C3%B6dinger>
- Ricardo Rodrigo. (03 de octubre de 2020). *ESTUDYANDO*. Obtenido de Número de Reynolds: Definición y ecuación: <https://estudyando.com/numero-de-reynolds-definicion-y-ecuacion/>
- Rodrigo, R. (03 de NOVIEMBRE de 2020). *ESTUDYANDO*. Obtenido de Qué es un imán: <https://estudyando.com/que-es-un-iman-definicion-y-ejemplos/>
- Rodriguez, C. (2024). *Euroinnova International online education*. Obtenido de Qué es la física cuántica: <https://www.euroinnova.com/blog/que-es-la-fisica-cuantica>
- Serrana, U. M. (2021). Obtenido de Hidrostática: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-nacional-de-asuncion/fisica-general-fisica-i/test-de-hidrostatica-con-respuestas/7585352>
- Startupeable*. (23 de Julio de 2024). Obtenido de Tecnologías Emergentes: <https://startupeable.com/glosario/tecnologias-emergentes/>
- Zapata, F. (26 de mayo de 2020). *Lifeder*. Obtenido de Presión hidrostática: fórmula, cálculo, ejemplos, ejercicios: <https://www.lifeder.com/presion-hidrostatica/>

Unidad IV

Introducción

La física cuántica, una de las disciplinas más intrigantes y transformadoras de la ciencia, ha cambiado nuestra visión del universo al mostrar un mundo en el que las leyes de la física clásica dejan de ser válidas. Este capítulo examina los principios fundamentales de la física cuántica, iniciando con los fenómenos que dieron lugar a esta teoría, tales como la radiación del cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico y los espectros de emisión de los gases. Estos fenómenos, que no podían ser explicados por la física clásica, llevaron a científicos como Max Planck, Albert Einstein y Niels Bohr a proponer ideas radicales, como la cuantización de la energía y la dualidad onda-partícula, sentando las bases de la mecánica cuántica (Leskow C., 2024).

En este capítulo, se analizan los principios fundamentales que rigen el mundo cuántico, como la dualidad onda-partícula, el principio de incertidumbre de Heisenberg, la superposición cuántica, el principio de exclusión de Pauli y el entrelazamiento cuántico. Estos principios desafían nuestra intuición clásica, mostrando que las partículas pueden existir en múltiples estados simultáneamente, que su posición y momento no pueden ser medidos con precisión absoluta, y que partículas entrelazadas pueden influirse mutuamente de manera instantánea, independientemente de la distancia que las separa. Estos conceptos no solo han transformado la física, sino que también han dado paso a nuevas tecnologías emergentes, como la computación y la criptografía cuánticas.

Finalmente, el capítulo aborda la relación entre la física cuántica y el desarrollo tecnológico, destacando cómo los principios cuánticos han permitido avances en áreas como la electrónica, los semiconductores y las comunicaciones. Desde la fabricación de transistores y circuitos integrados hasta el diseño de láseres y sensores ópticos, la física cuántica ha sido fundamental para la creación de dispositivos que han transformado nuestra vida cotidiana. Este capítulo no solo ofrece una visión profunda de los conceptos teóricos, sino que también muestra cómo la física cuántica continúa impulsando el progreso tecnológico y científico en el siglo XXI (Carmora, 2023).

4 Física cuántica y tecnologías emergentes

La física cuántica es una disciplina que investiga los fenómenos que ocurren a escalas muy pequeñas, como en átomos y partículas subatómicas. A diferencia de la física clásica, que utiliza leyes deterministas para describir el comportamiento de objetos grandes, la física cuántica descubre un universo en el que las reglas convencionales ya no se aplican, surgiendo principios clave como la dualidad onda-partícula, la cuantización de la energía y el principio de incertidumbre (Startupeable, 2024).

El desarrollo de la física cuántica surgió a partir de una serie de observaciones experimentales que no podían ser explicadas por la teoría clásica. En particular, tres fenómenos relacionados con la absorción y emisión de radiación electromagnética por la materia proporcionaron las primeras pistas para la formulación de esta nueva teoría:

4.1 La radiación del cuerpo negro

El término cuerpo negro se refiere a un objeto idealizado que absorbe y emite radiación en todas las longitudes de onda sin reflejar ninguna. A finales del siglo XIX, los físicos intentaban explicar la distribución de energía de la radiación emitida por estos cuerpos, pero las predicciones de la física clásica divergían drásticamente de los resultados experimentales. Esta discrepancia, conocida como la catástrofe del ultravioleta, fue resuelta en 1900 por Max Planck, quien propuso que la energía se emite y se absorbe en cantidades discretas o "cuantos", introduciendo así la idea fundamental de la cuantización de la energía (Marquez, 2022).

Actualmente, el material que más se acerca a un cuerpo negro ideal fue desarrollado en 2008 utilizando nanotubos de carbono, alcanzando una absorción del 99,955% de la radiación incidente.

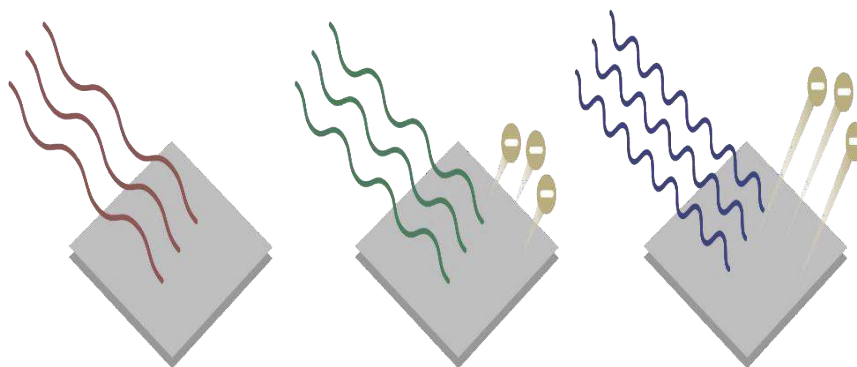
4.2 El efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico, identificado por Heinrich Hertz en 1887, es el fenómeno en el que ciertos metales emiten electrones desde su superficie cuando son expuestos a luz, especialmente en el rango ultravioleta. Según la teoría clásica, la energía de los electrones emitidos debería depender de la intensidad de la luz que incide, pero los experimentos demostraron que, en realidad, dependía únicamente de la frecuencia de la luz.

En 1905, Albert Einstein explicó este fenómeno utilizando la hipótesis de Planck, argumentando que la luz estaba compuesta por partículas discretas de energía llamadas fotones. Cada fotón transporta una cantidad de energía proporcional a su frecuencia ($E = hf$), y solo aquellos con suficiente energía pueden liberar electrones del material. Esta explicación fue clave para la consolidación de la teoría cuántica y le valió el Premio Nobel en 1921.

Figura 20.

Efecto fotoeléctrico.



Fuente. Tomada de (Oriol Planas, 2023).

4.3 Los espectros de emisión de los gases

Cuando un gas se somete a un alto voltaje, emite luz que, al ser analizada con un espectroscopio, revela un espectro de emisión discreto, es decir, una serie de líneas de diferentes colores sobre un fondo negro. Sin embargo, la teoría clásica y el modelo

atómico de Rutherford predecían que el espectro debería ser continuo, sin regiones oscuras (Oriol Planas, 2023).

En 1913, Niels Bohr presentó un modelo cuántico para el átomo de hidrógeno, en el que los electrones solo podían ocupar niveles de energía específicos. Según este modelo, cuando un electrón desciende de un nivel superior a uno inferior, emite un fotón cuya energía corresponde a la diferencia entre esos niveles, lo que genera las líneas espectrales observadas. Este hallazgo fue un avance fundamental en la comprensión de la estructura atómica y fortaleció la idea de que la naturaleza está cuantizada.

La física cuántica se rige por una serie de principios fundamentales que contrastan con la intuición y las leyes de la física clásica. A diferencia del mundo macroscópico, donde los objetos tienen propiedades bien definidas y siguen trayectorias deterministas, el mundo cuántico exhibe comportamientos que desafían nuestra percepción tradicional de la realidad. Entre los principios más importantes se encuentran:

Dualidad onda-partícula.

Principio de incertidumbre de Heisenberg.

Superposición.

Principio de exclusión de Pauli.

Entrelazamiento cuántico.

4.4 Dualidad onda-partícula

En la mecánica cuántica, la dualidad onda-partícula establece que tanto la luz como la materia pueden exhibir comportamientos de onda y de partícula, dependiendo de cómo sean observadas.

Esta idea fue inicialmente propuesta para la luz con el concepto de los fotones, pero en 1924, Louis de Broglie extendió esta hipótesis a la materia, sugiriendo que cualquier partícula en movimiento también posee una naturaleza ondulatoria.

Según la hipótesis de Broglie, a cada partícula se le asocia una onda cuya longitud de onda está determinada por la ecuación:

$$\lambda = h/mv = h/p$$

donde:

h es la constante de Planck,

m es la masa de la partícula,

v es su velocidad,

p es el momento lineal de la partícula ($p = mv$).

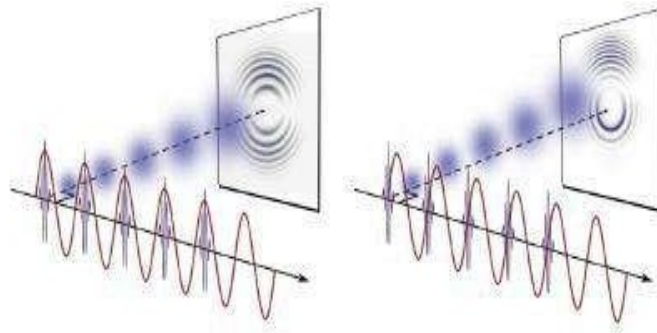
Un aspecto clave de la dualidad onda-partícula es que los comportamientos ondulatorios y corpusculares no pueden observarse simultáneamente en un mismo experimento. Por ejemplo, en el experimento de la doble rendija, los electrones muestran patrones de interferencia (característica de las ondas) cuando no son medidos

directamente, pero se comportan como partículas cuando se detecta por qué rendija pasan (Montalvo, 2024).

Este principio es fundamental para entender fenómenos como la difracción de electrones y la mecánica cuántica en general.

Figura 21.

Dualidad de la onda-partícula.



Fuente. Tomada de (Montalvo, 2024).

4.5 Principio de incertidumbre de Heisenberg

El principio de incertidumbre de Heisenberg establece un límite fundamental sobre la cantidad de información que podemos obtener de un sistema cuántico debido a la dualidad de la materia y la radiación (onda-partícula). Según este principio, no es posible conocer con precisión absoluta y al mismo tiempo dos propiedades conjugadas de una partícula, como su posición y su momento lineal (Ramírez, 2024).

En términos más específicos, el principio se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$$

donde:

h es la constante de Planck,

Δx es la incertidumbre en la determinación de la posición x ,

Δp es la incertidumbre en la determinación del momento lineal $p = mv$

Esto implica que, a medida que intentemos medir con mayor precisión una de estas propiedades, mayor será la incertidumbre en la otra. Este principio no se debe a una limitación de los instrumentos de medición, sino que es una característica fundamental de la naturaleza cuántica de las partículas.

Este concepto fue un cambio radical con respecto a la física clásica, donde se asumía que era posible medir ambas propiedades con precisión ilimitada. En el mundo cuántico, esta limitación es fundamental para entender el comportamiento de partículas como electrones, fotones y otras entidades subatómicas (Márquez, 2023).

4.6 Superposición

El principio de superposición cuántica establece que las partículas cuánticas, como electrones o fotones, no están restringidas a un solo estado definido, sino que pueden existir en una superposición de múltiples estados al mismo tiempo. Este principio desafía nuestra intuición clásica, donde los objetos tienen propiedades bien definidas y solo pueden estar en un estado específico (Álvarez, 2022).

En la mecánica cuántica, una partícula puede estar simultáneamente en diferentes posiciones, momentos, energías u otras propiedades, lo que significa que puede combinar varias posibilidades en un solo estado cuántico. Este estado de superposición se describe matemáticamente mediante una función de onda, que representa todas las posibles configuraciones que la partícula podría ocupar.

La superposición solo colapsa a un estado definido cuando se realiza una medición. Antes de la medición, el sistema se encuentra en una combinación de todos los estados posibles, y la probabilidad de obtener un resultado particular depende de la amplitud de la función de onda en ese estado específico. Este fenómeno es ilustrado en el famoso experimento de la doble rendija, donde una partícula como un electrón puede pasar por ambas rendijas a la vez, mostrando un comportamiento de onda, y solo "elige" una rendija cuando se observa (Rodríguez, 2024).

4.7 Principio de exclusión de Pauli

El principio de exclusión de Pauli, propuesto por Wolfgang Pauli en 1925, afirma que dos fermiones idénticos (como los electrones) no pueden ocupar el mismo estado cuántico en un sistema determinado. Esto implica que, en un sistema de partículas, no es posible que dos electrones compartan todos sus números cuánticos (como energía, momento angular y espín) simultáneamente (Carmora, 2023).

Este principio es fundamental para comprender cómo se distribuyen los electrones en los átomos y las moléculas. En particular, el principio de exclusión de Pauli asegura que los electrones en un átomo ocupen diferentes niveles de energía, subniveles y estados de espín, evitando que todos los electrones en un átomo puedan ocupar el mismo orbital. Esto da lugar a la estructura electrónica que determina las propiedades químicas de los elementos y es crucial para la organización de la tabla periódica.

El principio de exclusión de Pauli también juega un papel vital en la estabilidad de la materia. Sin esta restricción cuántica, los electrones en un átomo podrían colapsar en el nivel de energía más bajo, lo que impediría la formación de átomos estables y, por lo tanto, la existencia de la materia tal como la conocemos. Además, este principio es clave para entender fenómenos como la estructura de los sólidos, los materiales conductores y los líquidos y sólidos degenerados en astronomía, como las estrellas de neutrones (Montalvo, 2024).

4.8 Entrelazamiento cuántico

El entrelazamiento cuántico es un fenómeno sorprendente en el que dos o más partículas están correlacionadas de forma intrínseca, de modo que el estado cuántico de una partícula está inmediatamente vinculado al estado de la otra, sin importar la distancia entre ellas. Esta conexión entre las partículas no requiere de un medio físico

para transmitirse, lo que sugiere que existe una relación no local entre ellas (Márquez, 2023).

Cuando las partículas entrelazadas se separan, sus propiedades permanecen entrelazadas, de modo que medir una propiedad de una partícula (como su spin, polarización o posición) determina instantáneamente la propiedad correspondiente de la otra, incluso si están a años luz de distancia. Este fenómeno desafía nuestras intuiciones sobre la localidad y la causalidad en la física clásica, pues parece que la información se transmite instantáneamente, lo que llevó a Einstein a llamarlo "acción fantasmal a distancia".

El entrelazamiento cuántico ha sido comprobado experimentalmente en diversos experimentos, como el experimento de Bell, que demostró que las correlaciones entre partículas entrelazadas no pueden ser explicadas por teorías clásicas de variables ocultas. Este fenómeno es fundamental para el desarrollo de tecnologías emergentes como la computación y la criptografía cuánticas, donde se aprovechan las propiedades no locales del entrelazamiento para realizar tareas que serían imposibles en sistemas clásicos (Álvarez, 2022).

4.9 Espectro de emisión del cuerpo negro. Teoría cuántica de Planck

El estudio del espectro de radiación emitida por un emisor perfecto, conocido como cuerpo negro, condujo al enunciado de dos leyes fundamentales en la física de la radiación térmica:

4.10 Ley de Stefan-Boltzmann (1884)

La ley de Stefan-Boltzmann establece que la energía transferida por unidad de tiempo y área de un cuerpo negro (su intensidad o poder emisivo) es directamente proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Esta relación se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$E = \sigma \cdot T^4 \quad \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

donde:

E = es la intensidad de radiación emitida,

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ es la constante de Stefan-Boltzmann,

T = es la temperatura absoluta del cuerpo negro en grados Kelvin (K).

Esta ley implica que la radiación emitida aumenta rápidamente con la temperatura del cuerpo negro, lo que coincide con los datos experimentales.

4.11 Ley de Wien (1896)

La ley de Wien describe cómo se distribuye la energía emitida por el cuerpo negro a través de las diferentes longitudes de onda. Según esta ley, el cuerpo negro emite energía en todas las longitudes de onda, pero hay una longitud de onda específica en la que la intensidad de emisión es máxima. La relación entre la longitud de onda máxima (λ_{max}) y la temperatura (T) del cuerpo negro está dada por:

$$\lambda_{max} \cdot T = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m K}$$

Esta ley establece que, conforme aumenta la temperatura de un cuerpo negro, el pico de la radiación emitida se desplaza hacia longitudes de onda más cortas (es decir, hacia mayores frecuencias). Esto explica, por ejemplo, cómo el color de un hierro caliente cambia de rojo a amarillo y luego a blanco a medida que su temperatura aumenta.

La radiación térmica es la energía electromagnética emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Un cuerpo negro es aquel que puede absorber toda la radiación que recibe y, por lo tanto, emitir todas las longitudes de onda posibles. Sin embargo, la teoría clásica de la radiación del cuerpo negro predecía que la energía emitida debía ser infinita, lo que se conoció como la catástrofe ultravioleta (Ramírez, 2024).

Este fenómeno surgió porque, según las leyes clásicas, la radiación emitida por un cuerpo negro debería aumentar indefinidamente a medida que disminuía la longitud de onda. Sin embargo, los experimentos mostraban un comportamiento diferente.

4.12 La contribución de Max Planck (1900)

En 1900, Max Planck resolvió este problema al proponer que la energía emitida por un cuerpo negro no es continua, como se suponía en la física clásica, sino que es discreta. Planck introdujo la idea de que la energía se emite en cuantos de energía (o fotones), cuya frecuencia está relacionada con la temperatura del cuerpo negro. Este descubrimiento fue el inicio de la mecánica cuántica, ya que sugirió que la energía está cuantizada, una idea revolucionaria para la física de la época (Marquez, 2022).

4.13 Hipótesis de Planck

Figura 22.

Teoría Planck.



Fuente. Tomada de (Ramírez, 2024).

La hipótesis de Planck transformó la comprensión de la energía electromagnética al proponer que los cuerpos emiten o absorben energía en forma de paquetes discretos, conocidos como cuantos de energía. Según Planck, la energía de un cuanto está vinculada a la frecuencia de la radiación a través de la siguiente ecuación:

$$E = h \cdot f$$

Donde f representa la frecuencia de la radiación y h es la constante de Planck, cuyo valor es $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Esta idea de cuantización de la energía fue crucial para el desarrollo de la mecánica cuántica y rompió con las teorías anteriores que consideraban la energía como una magnitud continua.

4.14 El efecto fotoeléctrico

Durante los experimentos realizados por Heinrich Hertz a fines del siglo XIX, mientras investigaba las ondas electromagnéticas, observó un fenómeno inusual: la intensidad de las descargas eléctricas (chispas) aumentaba cuando los electrodos eran iluminados con luz ultravioleta. Este fenómeno resultó ser la emisión de electrones por las superficies metálicas, lo que posteriormente se denominó efecto fotoeléctrico (Rodríguez, 2024).

El efecto fotoeléctrico se refiere a la emisión de electrones desde un material, típicamente metálico, cuando es iluminado con luz. Se descubrió que este fenómeno ocurre en metales como zinc, rubidio, potasio o sodio. La emisión de electrones solo se produce si la luz tiene suficiente energía, y si la luz es demasiado débil, incluso con una gran intensidad, no se produce la emisión.

De acuerdo con la teoría clásica de la luz como onda, la energía transferida a una partícula debería ser proporcional al cuadrado de la amplitud y la frecuencia de la luz.

Esto se describe matemáticamente de la siguiente forma:

$$E = (2\pi^2 m) v^2 A^2$$

donde:

E es la energía transferida,

m es la masa de la partícula,

v es la velocidad de la partícula,

A es la amplitud de la onda.

Según esta perspectiva, la intensidad de una onda es directamente proporcional al cuadrado de su amplitud, y la energía que transporta aumenta a medida que la amplitud se incrementa. Siguiendo este razonamiento, el efecto fotoeléctrico debería ser más fácil de producir con luz de mayor intensidad. Sin embargo, los hechos experimentales no respaldaban esta hipótesis y revelaron datos sorprendentes:

Para cada metal existe una frecuencia mínima de la luz (llamada frecuencia umbral) debajo de la cual, sin importar lo intensa que sea la luz, no se produce emisión de electrones.

Si la frecuencia de la luz es mayor que la frecuencia umbral, el número de electrones emitidos es proporcional a la intensidad de la luz. Esto implica que más luz conduce a más electrones liberados.

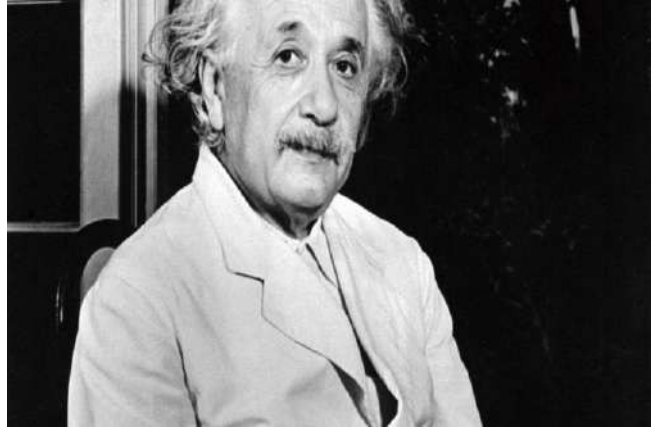
La velocidad de los electrones emitidos no está relacionada con la intensidad de la luz, sino con su frecuencia. Esto significa que un mayor número de fotones de alta frecuencia (luz con frecuencia elevada) produce electrones más rápidos, mientras que una luz más

intensa, pero de baja frecuencia no tiene el mismo efecto, lo que contradice la teoría clásica.

4.15 Teoría cuántica de Einstein

Figura 23.

Efecto fotoeléctrico de Albert Einstein.



Fuente. Tomada de (Oriol Planas, 2023).

Albert Einstein, en 1905, explicó el efecto fotoeléctrico aplicando la hipótesis de Max Planck sobre la cuantización de la radiación térmica. Propuso que la luz no se comporta únicamente como una onda, sino que también está compuesta por partículas discretas de energía llamadas fotones. Cada fotón transporta una cantidad de energía cuantizada, dada por la ecuación:

$$E = h \cdot f$$

Donde f representa la frecuencia de la luz y h es la constante de Planck.

4.16 Interacción fotón-electrón en el efecto fotoeléctrico

En la explicación de Einstein, toda la energía del fotón es absorbida por un electrón en el metal. Si la energía del fotón es suficiente, el electrón puede escapar del material y adquirir energía cinética. La relación entre la energía del fotón, la energía necesaria para liberar el electrón y su energía cinética final está dada por la ecuación:

$$E = W_e + E_c$$

o, expresada en términos de la ecuación de Planck:

$$h \cdot f = h \cdot f_0 + mv^2/2$$

donde:

W_e es el trabajo de extracción (energía mínima requerida para liberar el electrón del metal),

f_0 es la frecuencia umbral (mínima frecuencia de luz necesaria para que ocurra el efecto fotoeléctrico),

E_c es la energía cinética del electrón emitido,

m es la masa del electrón,

v es la velocidad del electrón emitido.

4.17 Casos posibles en el efecto fotoeléctrico

Si la energía del fotón es menor que el trabajo de extracción:

$$E = h \cdot f < W_e = h \cdot f_0 \quad (f < f_0)$$

La luz no tiene suficiente energía para liberar electrones.

No ocurre efecto fotoeléctrico, sin importar la intensidad de la luz.

Si la energía del fotón es igual al trabajo de extracción:

$$E = h \cdot f = W_e = h \cdot f_0 \quad (f = f_0)$$

La luz tiene la frecuencia mínima necesaria para liberar electrones.

Los electrones son expulsados del metal sin energía cinética extra.

Si la energía del fotón es mayor que el trabajo de extracción:

$$E = h \cdot f > W_e = h \cdot f_0 \quad (f > f_0)$$

El electrón es liberado del metal.

El exceso de energía se convierte en energía cinética, haciendo que el electrón salga con cierta velocidad.

La explicación de Einstein del efecto fotoeléctrico demostró que:

La luz tiene naturaleza dual: se comporta como onda y como partícula.

La energía de la luz no depende de su intensidad, sino de su frecuencia.

La emisión de electrones no es gradual, sino que ocurre instantáneamente si el fotón tiene suficiente energía.

Este trabajo fue fundamental en el avance de la mecánica cuántica y le otorgó a Einstein el Premio Nobel de Física en 1921.

4.18 Espectros atómicos

Se ha comprobado experimentalmente que los átomos pueden emitir o absorber radiación electromagnética cuando son estimulados por calor o por la incidencia de radiación externa. Sin embargo, esta emisión o absorción no ocurre en cualquier frecuencia, sino solo en frecuencias específicas, que dependen del tipo de átomo (Oriol Planas, 2023).

Estas frecuencias se representan como líneas discretas en un diagrama llamado espectro atómico. Dependiendo del proceso, se distinguen dos tipos de espectros:

Espectros de emisión: Se producen cuando un átomo excitado emite energía en forma de luz.

Espetros de absorción: Se generan cuando un átomo absorbe radiación en ciertas frecuencias, eliminando esas longitudes de onda del espectro continuo de luz.

Dado que cada elemento tiene una estructura electrónica única, su espectro atómico es característico y único, lo que permite identificarlo.

El espectro del hidrógeno y las series espectrales:

El primer espectro atómico que se logró interpretar fue el del hidrógeno. Se encontró que las líneas espectrales de su espectro de emisión se agrupan en cinco series principales, nombradas en honor a sus descubridores:

Serie de Lyman (ultravioleta)

Serie de Balmer (visible)

Serie de Paschen (infrarrojo cercano)

Serie de Brackett (infrarrojo)

Serie de Pfund (infrarrojo lejano)

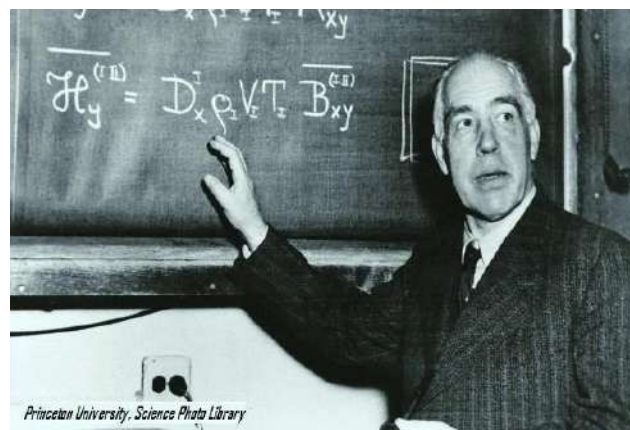
Cada una de estas series corresponde a transiciones electrónicas entre niveles de energía en el átomo de hidrógeno.

4.19 Modelo atómico de Bohr

En 1913, Niels Bohr desarrolló un modelo atómico basado en el átomo de hidrógeno, con el objetivo de explicar los espectros de emisión y absorción observados en los gases. Este modelo introdujo la idea de que los electrones solo pueden ocupar ciertos niveles de energía discretos, lo que marcó un avance clave en la comprensión de la estructura atómica (Álvarez, 2022).

Figura 24.

Modelo atómico de Niels Bohr.



Fuente. Tomada de (Álvarez, 2022).

4.20 Postulados del modelo de Bohr

Estados estacionarios y cuantización de la energía

En un átomo, el electrón solo puede ocupar ciertos niveles de energía permitidos y bien definidos.

Mientras un electrón se mantenga en un mismo nivel, no emite ni absorbe energía.

Órbitas circulares y cuantización del momento angular

Los electrones se mueven en órbitas circulares estables alrededor del núcleo sin perder energía.

Únicamente son válidas las órbitas en las que el momento angular del electrón es un múltiplo entero de $h/2\pi$.

$$L = mrv = n \frac{h}{2\pi}, n=1,2,3...$$

donde m es la masa del electrón, r el radio de la órbita, v su velocidad, h la constante de Planck y n un número entero llamado número cuántico principal.

Emisión y absorción de fotones

Un electrón puede cambiar de nivel de energía mediante la absorción o emisión de un fotón cuya energía es igual a la diferencia entre los niveles inicial y final:

$$E_{\text{fotón}} = E_{\text{final}} - E_{\text{inicial}} = hf$$

donde f es la frecuencia de la radiación emitida o absorbida.

Bohr aplicó su modelo para interpretar:

Los radios de las órbitas electrónicas en el hidrógeno.

La energía del electrón en cada nivel de la estructura atómica.

Las líneas espectrales del hidrógeno, que surgen cuando un electrón cambia de nivel de energía.

Limitaciones del modelo de Bohr:

Solo es válido para átomos hidrogenoides (es decir, con un solo electrón).

No puede explicar espectros más complejos de átomos con varios electrones.

No incorpora la dualidad onda-partícula del electrón ni las órbitas elípticas, conceptos introducidos posteriormente por la mecánica cuántica moderna.

4.21 Semiconductores

Los semiconductores son materiales cuya capacidad de conducción eléctrica se encuentra en un punto intermedio entre los conductores (como los metales) y los aislantes (como el caucho o el vidrio). Estos materiales pueden comportarse como conductores o aislantes eléctricos, dependiendo de factores como la temperatura, presión, la incidencia de radiación o la presencia de campos eléctricos o magnéticos. Este comportamiento es crucial en aplicaciones tecnológicas, como en la fabricación de dispositivos electrónicos (Startupeable, 2024).

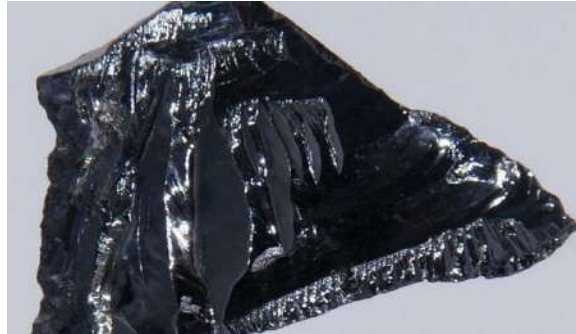
Los semiconductores están formados por elementos químicos que, a pesar de provenir de diferentes grupos de la Tabla Periódica, comparten ciertas propiedades que les permiten conducir electricidad bajo condiciones controladas. La característica más común es que son tetravalentes, lo que significa que sus átomos tienen cuatro

electrones en su capa externa, permitiéndoles formar enlaces con otros átomos y, en ciertos casos, permitir la conducción de electricidad.

El silicio (Si) es el semiconductor más utilizado debido a sus excepcionales propiedades y abundancia en la naturaleza. Es el material base para la fabricación de chips y microprocesadores en la industria electrónica y de la computación, siendo fundamental para la tecnología moderna.

Figura 25.

Semiconductores.



Fuente. Tomada de (Marquez, 2022).

Aunque los semiconductores fueron descubiertos en 1727 por el físico y naturalista inglés Stephen Gray, fue mucho más tarde, en 1821, cuando el físico alemán Georg Simon Ohm estableció las leyes que describen el comportamiento y las propiedades eléctricas de los semiconductores. Estas leyes, conocidas como las leyes de Ohm, son fundamentales para el entendimiento de la corriente eléctrica y la resistencia en los materiales, incluidas las condiciones de los semiconductores (Marquez, 2022).

4.22 Tipos de Semiconductores

Los semiconductores se clasifican en dos tipos principales, dependiendo de su estructura atómica y de cómo responden a las condiciones físicas, como la temperatura o la aplicación de un campo eléctrico. Estos tipos son:

4.23 Semiconductores Intrínsecos

Los semiconductores intrínsecos están formados por un solo tipo de átomos, típicamente silicio (Si) o germanio (Ge), dispuestos en una estructura cristalina tetraédrica, donde cada átomo forma enlaces covalentes con otros cuatro átomos vecinos, debido a su valencia de 4. En esta configuración, los electrones están inicialmente atrapados en los enlaces covalentes y no pueden moverse libremente (Ramírez, 2024).

Cuando el material se calienta, algunos electrones reciben suficiente energía para salir de sus enlaces y moverse dentro del cristal, dejando un hueco que se comporta como una carga positiva. Este fenómeno de excitación de electrones se denomina recombinación, y la cantidad de calor necesaria para que ocurra depende del material específico.

4.24 Semiconductores Extrínsecos

A diferencia de los semiconductores intrínsecos, los semiconductores extrínsecos se modifican mediante un proceso llamado dopaje, que consiste en agregar impurezas específicas al material. Estas impurezas pueden ser de dos tipos, según su número de electrones en la capa externa: impurezas trivalentes (tres electrones en la capa externa) o pentavalentes (cinco electrones en la capa externa). Según el tipo de dopaje, los semiconductores extrínsecos se dividen en dos tipos:

Semiconductores Tipo N (Donadores): En los semiconductores tipo N, se añaden impurezas trivalentes (como fósforo en el silicio), que aportan electrones extra al material. Estos electrones adicionales son los portadores de carga negativa. Como resultado, el número de electrones libres supera al de los huecos (espacios con carga positiva). Cuando se aplica un campo eléctrico, los electrones libres se mueven en la dirección opuesta al campo, desplazándose hacia el extremo negativo del material. Este flujo de electrones crea la corriente eléctrica, mientras que los huecos se mueven en dirección opuesta, facilitando el movimiento de los electrones (Márquez, 2023).

Semiconductores Tipo P (Aceptores): En los semiconductores tipo P, se añaden impurezas trivalentes (como boro en el silicio), lo que crea huecos en lugar de electrones libres. Estos huecos, a su vez, actúan como portadores de carga positiva. Al agregar estas impurezas, se aumenta la cantidad de huecos disponibles, creando una "demanda" de electrones para llenar esos espacios. Así, cuando se aplica un campo eléctrico, los huecos se mueven hacia el extremo negativo del material, lo que permite la conductividad eléctrica a través de la "movimiento" de los huecos hacia el lado positivo (Oriol Planas, 2023).

4.25 Materiales semiconductores

Los semiconductores más comunes y utilizados en la industria incluyen:

- Silicio (Si)
- Germanio (Ge), frecuentemente en aleaciones con silicio
- Arseniuro de galio (GaAs)
- Azufre
- Oxígeno
- Cadmio
- Selenio
- Indio

Otros materiales químicos derivados de la combinación de elementos de los grupos 12 y 13 de la tabla periódica con elementos de los grupos 16 y 15, respectivamente.

4.26 Materiales conductores

Los materiales conductores son aquellos que permiten el paso de la corriente eléctrica con facilidad. Su capacidad de conducción se debe a la configuración electrónica de sus átomos, que permiten que los electrones se muevan libremente dentro de ellos. Esta conductividad eléctrica no es absoluta, ya que puede depender de factores como la temperatura y el estado físico del entorno, pero en general, los materiales conductores siempre están dispuestos a transmitir electricidad (Montalvo, 2024).

Algunos ejemplos comunes de materiales conductores incluyen:

Metales, como el:

cobre, el aluminio, el hierro y el mercurio.

Agua, aunque su conductividad eléctrica depende de los minerales y sales disueltas en ella.

Figura 26.

Capacidad conductiva.



Fuente. Tomada de (Rodríguez, 2024).

4.27 Materiales aislantes

Por el contrario, los materiales aislantes son aquellos que resisten el paso de la corriente eléctrica, es decir, impiden que los electrones se desplacen a través de ellos. Los materiales aislantes son esenciales para proteger las superficies de la electricidad y evitar que se produzcan cortocircuitos. Aunque se resisten al paso de electricidad, no son perfectamente aislantes y tienen un límite conocido como tensión de ruptura, que es la energía máxima que pueden soportar sin comenzar a transmitir corriente (Rodríguez, 2024).

Algunos ejemplos de materiales aislantes incluyen:

Plástico

Cerámica

Vidrio

Madera

Papel

4.28 Aplicaciones de los semiconductores

Los semiconductores son materiales clave en la industria electrónica, debido a su capacidad para controlar y modular la corriente eléctrica en función de las condiciones externas. Su versatilidad los hace fundamentales en una amplia gama de dispositivos electrónicos. A continuación, se detallan algunas de las aplicaciones más comunes de los semiconductores:

Transistores: Los semiconductores son fundamentales en la fabricación de transistores, que actúan como interruptores o amplificadores de señales eléctricas en circuitos electrónicos. Los transistores son la base de la electrónica moderna, presentes en casi todos los dispositivos electrónicos (Leskow C., 2024).

Circuitos Integrados (IC): Los circuitos integrados utilizan semiconductores para combinar múltiples componentes electrónicos (como transistores, diodos y resistores) en una sola unidad compacta. Esto permite la miniaturización de dispositivos electrónicos, lo que los hace más eficientes y portátiles.

Diodos Eléctricos: Los diodos son dispositivos semiconductores que permiten que la corriente fluya solo en una dirección. Son fundamentales en la rectificación de corriente alterna (AC) a corriente continua (DC) y en otros sistemas de control de corriente.

Sensores Ópticos: Los sensores ópticos hechos de semiconductores se emplean en aplicaciones como cámaras, pantallas y sistemas de comunicación óptica. Estos sensores convierten la luz en señales eléctricas, permitiendo la detección y medición precisa de la luz.

Láseres de Estado Sólido: Los láseres de estado sólido están hechos de materiales semiconductores y se utilizan en aplicaciones como lectores de discos compactos (CD), grabadoras, corte láser y medicina, debido a su capacidad para emitir luz coherente.

Moduladores de Transmisión Eléctrica: Los semiconductores también se utilizan en dispositivos que modulan señales eléctricas para transmitir información. Estos dispositivos son esenciales en sistemas de comunicación, como telefonía móvil, televisión por cable y Internet de alta velocidad (Leskow C., 2024).

4.29 Física y su relación con el avance tecnológico y social

La física ha sido una de las ciencias fundamentales en el desarrollo de la tecnología moderna, influyendo directamente en el avance de la sociedad y en cómo interactuamos con el mundo. Desde los principios básicos de la electricidad hasta la comprensión profunda de la energía, la física ha permitido que la humanidad avance en múltiples áreas, mejorando nuestra calidad de vida y creando nuevas oportunidades (Carmora, 2023).

4.30 La electricidad y la electrónica

Uno de los avances más significativos de la física ha sido la comprensión y el control de la electricidad. El estudio de la electricidad ha permitido la invención de dispositivos clave como motores eléctricos, transformadores, generadores y baterías. Estos avances se reflejan en nuestra vida cotidiana a través de la alimentación de hogares, industrias y medios de transporte (Carmora, 2023).

La electrónica, que se basa en la física de los electrones y su comportamiento en los materiales, ha sido crucial para el desarrollo de computadoras, teléfonos inteligentes, televisores y almacenamiento digital. La electrónica ha permitido la miniaturización de dispositivos y ha impulsado el avance de la tecnología digital, facilitando la comunicación y el procesamiento de información de manera rápida y eficiente.

4.31 La física de las comunicaciones

La física de las ondas electromagnéticas ha sido clave en el avance de las tecnologías de comunicación modernas. A través de la comprensión de las ondas electromagnéticas, se han creado sistemas como el teléfono móvil, la televisión por satélite y las radios. Estos avances han hecho posible la comunicación inalámbrica, transformando la manera en que las personas se conectan, tanto a nivel local como global.

Además, los avances en fibra óptica y la creación de Internet han revolucionado la conectividad, permitiendo que millones de personas en todo el mundo se comuniquen instantáneamente y accedan a información en tiempo real. Estas tecnologías han creado una red global que está remodelando la economía, la educación, la cultura y las relaciones sociales (Leskow C., 2024).

4.32 La relación entre la física y la medicina

La física ha desempeñado un papel fundamental en el campo de la medicina, especialmente en el desarrollo de tecnologías para el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades. La imagenología médica (rayos X, resonancia magnética, tomografía computarizada, y ultrasonido) ha permitido realizar diagnósticos más rápidos y precisos, ayudando a salvar millones de vidas al detectar enfermedades en sus primeras etapas.

En cuanto a los tratamientos, la terapia de radiación se ha convertido en un componente esencial en el tratamiento de cáncer, y la creación de dispositivos médicos como marcapasos y prótesis ha permitido mejorar la calidad de vida de muchas personas. La física de los materiales biocompatibles y los avances en ingeniería biomédica siguen ofreciendo soluciones innovadoras en la atención sanitaria (Rodríguez, 2024).

4.33 La física y la energía

La física de la energía ha tenido un papel central en el desarrollo de nuevas fuentes de energía. La comprensión de los principios físicos de la energía ha permitido crear tecnologías de energía renovable como la energía solar, la energía eólica y la energía hidroeléctrica, fundamentales para reducir el impacto ambiental y enfrentar los desafíos del cambio climático.

Además, la física ha sido fundamental en el desarrollo de la energía nuclear para la producción de electricidad, aunque su aplicación ha generado controversia debido a los riesgos involucrados. Las investigaciones en fusión nuclear siguen avanzando, con el potencial de proporcionar una fuente de energía limpia e ilimitada en el futuro.

La física del medio ambiente también ha proporcionado la base para comprender el impacto de nuestras actividades energéticas en el cambio climático, lo que ha impulsado políticas globales para fomentar el uso de energías más limpias y sostenibles (Montalvo, 2024).

4.34 Física y su participación en la producción de dispositivos electrónicos

La física es fundamental en el diseño, desarrollo y funcionamiento de los dispositivos electrónicos. La aplicación de diversas teorías y principios físicos permite la creación de dispositivos que han transformado nuestra vida cotidiana, desde los más simples hasta

los más complejos. A continuación, se detallan las áreas clave de la física que intervienen en la creación de estos dispositivos (Oriol Planas, 2023).

4.35 Electricidad y magnetismo

La electricidad y el magnetismo son dos aspectos cruciales de los dispositivos electrónicos. La electricidad implica el movimiento de cargas a través de los conductores, lo que permite el funcionamiento de una amplia gama de dispositivos, como computadoras, teléfonos, televisores y más. Los campos eléctricos generados por las cargas eléctricas controlan el flujo de electricidad a través de los circuitos.

El magnetismo, por su parte, se utiliza en varias tecnologías, como los dispositivos de almacenamiento de datos (por ejemplo, discos duros) y en motores eléctricos. Los campos magnéticos son esenciales para el funcionamiento de dispositivos como transformadores y sensores magnéticos, que regulan y controlan el flujo de energía (Márquez, 2023).

4.36 Circuitos eléctricos

Los circuitos eléctricos son el corazón de casi todos los dispositivos electrónicos. Estos circuitos están compuestos por componentes como resistencias, capacitores, inductores, diodos y transistores, cada uno de los cuales cumple una función específica. Los componentes se conectan entre sí para formar un camino por el cual circula la corriente eléctrica.

La Ley de Ohm es esencial para entender cómo funcionan los circuitos. Esta ley establece que la corriente eléctrica (I) en un circuito es directamente proporcional al voltaje (V) e inversamente proporcional a la resistencia (R): Esto es crucial en el diseño de dispositivos electrónicos eficientes, ya que determina cómo se distribuye la electricidad en los componentes.

Los transistores son uno de los componentes más importantes en los circuitos modernos, actuando como interruptores o amplificadores. Su funcionamiento se basa en los principios de la electromecánica y la teoría cuántica, ya que controlan el flujo de electrones en materiales semiconductores (Ramírez, 2024).

4.37 Óptica

La óptica juega un papel clave en muchos dispositivos electrónicos, especialmente en los que involucran pantallas. Las pantallas de LED, LCD y OLED funcionan gracias a los principios ópticos que permiten la manipulación de la luz. La reflexión y refracción de la luz son esenciales para la creación de pantallas claras y brillantes.

Por ejemplo, en las pantallas táctiles, los sensores ópticos detectan la posición de los dedos mediante la alteración de la luz que pasa a través de la pantalla. También, en los dispositivos de comunicación, la fibra óptica es utilizada para transmitir datos a través de luz, lo que permite velocidades de transmisión muy altas (Marquez, 2022).

Figura 27.

Dispositivos ópticos.



Fuente. Tomada de (Startupeable, 2024).

4.38 Física en la construcción de máquinas y herramientas tecnológicas

La física es un pilar fundamental en el diseño y construcción de máquinas y herramientas tecnológicas, ya que proporciona los principios y leyes que rigen el comportamiento de los objetos y sistemas en movimiento. La aplicación de estos principios permite a los ingenieros desarrollar dispositivos eficientes y funcionales que satisfacen diversas necesidades en la industria, la manufactura y la vida cotidiana (Startupeable, 2024).

4.39 Mecánica y diseño de maquinarias

La mecánica, rama de la física que estudia el movimiento y las fuerzas que lo producen, es crucial en la construcción de máquinas y herramientas. Los principios fundamentales de la mecánica, como las Leyes de Newton, permiten comprender cómo se transfieren las fuerzas en un sistema y cómo optimizar su rendimiento.

Sistemas de transmisión de potencia: Se basan en la mecánica para transferir energía entre componentes de una máquina. Algunos ejemplos incluyen:

Engranajes, que transmiten torque y velocidad de rotación.

Poleas y correas, utilizadas para modificar la velocidad y dirección del movimiento.

Sistemas hidráulicos y neumáticos, que utilizan fluidos para generar fuerza y movimiento.

Estructuras y resistencia de materiales: La mecánica también se aplica en la selección de materiales y el diseño de estructuras que deben soportar fuerzas y tensiones. La ley de Hooke y los principios de la estática y dinámica son esenciales para construir herramientas resistentes y duraderas (Álvarez, 2022).

4.40 Electricidad y electromagnetismo en la tecnología

Motores eléctricos: Funcionan mediante la interacción entre campos magnéticos y corrientes eléctricas, permitiendo convertir energía eléctrica en energía mecánica. Se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde pequeños electrodomésticos hasta grandes sistemas industriales.

Generadores eléctricos: Basados en la inducción electromagnética, convierten energía mecánica en energía eléctrica y son esenciales en la producción y distribución de electricidad.

Circuitos eléctricos y computación: La fabricación de circuitos integrados, procesadores y sensores electrónicos se basa en los principios de la física eléctrica, lo que ha permitido el avance de la electrónica y la automatización industrial.

4.41 Termodinámica y Producción de Energía

La termodinámica, que estudia el comportamiento de la energía y el calor, es clave en la fabricación de máquinas térmicas, sistemas de refrigeración y conversión de energía.

Motores térmicos: Convierten energía térmica en energía mecánica, utilizando combustibles o fuentes de calor. Ejemplos incluyen:

Motores de combustión interna (automóviles, aviones).

Turbinas de gas y vapor (generación de electricidad).

Sistemas de refrigeración y calefacción: Se basan en los principios de transferencia de calor y ciclos termodinámicos, como el ciclo de Carnot, utilizados en refrigeradores, acondicionadores de aire y sistemas de climatización industrial.

4.42 Física en la fabricación de vehículos y transportes modernos

El diseño y desarrollo de vehículos y medios de transporte modernos dependen directamente de los principios de la física.

4.43 Mecánica: Movimiento y seguridad en los vehículos

La mecánica es la rama de la física que estudia el movimiento de los cuerpos y las fuerzas que actúan sobre ellos. En la industria del transporte, su aplicación es crucial para garantizar la seguridad y eficiencia de los vehículos (Márquez, 2023).

Sistemas de suspensión: Se diseñan para absorber impactos y mejorar la estabilidad del vehículo. Se basan en la segunda ley de Newton y en principios de oscilación y amortiguación.

Frenado: Utiliza la fricción y la conversión de energía cinética en calor para detener el vehículo. Sistemas como el ABS (sistema antibloqueo de frenos) mejoran la seguridad al evitar el bloqueo de ruedas.

Dirección y estabilidad: La dinámica de vehículos usa conceptos como el centro de masa, el momento de inercia y las fuerzas de fricción para optimizar la maniobrabilidad.

4.44 Aerodinámica: Reducción de la resistencia al aire

La aerodinámica estudia la interacción entre el aire y los objetos en movimiento. Su aplicación es fundamental en el diseño de vehículos para reducir la resistencia del aire y mejorar la eficiencia energética.

Automóviles: Se diseñan con formas aerodinámicas para reducir el coeficiente de arrastre, lo que disminuye el consumo de combustible y aumenta la velocidad.

Aviones: Se aplican principios como la ecuación de Bernoulli para generar sustentación y mantener el vuelo.

Trenes de alta velocidad: Su diseño minimiza turbulencias y mejora la estabilidad, reduciendo la fricción con el aire.

4.45 Electricidad y electromagnetismo: Tecnología en los vehículos modernos

La electricidad y el electromagnetismo son esenciales en los sistemas electrónicos y de propulsión de los vehículos modernos.

Autos eléctricos e híbridos: Funcionan con motores eléctricos basados en la inducción electromagnética.

Sistemas de iluminación y entretenimiento: Desde luces LED hasta pantallas táctiles, todo depende de la electricidad.

Gestión electrónica del motor: Sensores y computadoras optimizan el rendimiento del motor y reducen emisiones contaminantes.

Figura 28.

Electricidad automotriz.



Fuente. Tomada de (Márquez, 2023).

4.46 Test de evaluación del capítulo

4.47 Ejercicios de opción múltiple teóricos

1. ¿Qué es la física cuántica?

- a) Una disciplina de la física que analiza los fenómenos a gran escala.
- b) Un área de la física que investiga los fenómenos a escalas diminutas, como los átomos y las partículas subatómicas.
- c) Un modelo que describe el movimiento y comportamiento de los planetas.

- d) Un campo de la física enfocado exclusivamente en el estudio de la gravedad.

Respuesta correcta: Literal b

2. ¿Qué establece la dualidad onda-partícula?

- a) Que las partículas solo se comportan como ondas.
- b) Que la luz y la materia pueden comportarse como ondas o partículas, dependiendo de cómo se observen.
- c) Que las partículas no tienen propiedades ondulatorias.
- d) Que la luz solo se comporta como partícula.

Respuesta correcta: Literal b

3. ¿Quién propuso que la energía está cuantizada?

- a) Albert Einstein
- b) Niels Bohr
- c) Max Planck
- d) Werner Heisenberg

Respuesta correcta: Literal c

4. ¿Qué es el efecto fotoeléctrico?

- a) La emisión de protones cuando un material es iluminado con luz.
- b) La emisión de electrones cuando un material es iluminado con luz de suficiente energía.
- c) La absorción de luz por parte de los átomos.
- d) La reflexión de la luz en una superficie metálica.

Respuesta correcta: Literal b

5. ¿Qué establece el principio de incertidumbre de Heisenberg?

- a) Que se puede determinar con total precisión la posición y el momento de una partícula.
- b) Que la energía de una partícula no puede ser medida.
- c) Que no es posible conocer al mismo tiempo con exactitud la posición y el momento de una partícula.
- d) Que las partículas carecen de posición y momento definidos.

Respuesta correcta: Literal c

6. ¿Qué es la superposición cuántica?

- a) Que una partícula solo puede encontrarse en un estado específico.

- b) Que una partícula puede estar en varios estados simultáneamente hasta que se realiza una medición.
- c) Que las partículas no poseen estados cuánticos.
- d) Que las partículas solo pueden superponerse en el espacio.

Respuesta correcta: Literal b

7. ¿Qué es el entrelazamiento cuántico?

- a) Un fenómeno en el que dos partículas están correlacionadas de manera intrínseca, independientemente de la distancia.
- b) Un fenómeno en el que las partículas se repelen entre sí.
- c) Un fenómeno en el que las partículas pierden su energía.
- d) Un fenómeno en el que las partículas se fusionan.

Respuesta correcta: Literal a

8. ¿Qué es un semiconductor?

- a) Un material que siempre conduce electricidad.
- b) Un material que nunca conduce electricidad.
- c) Un material cuya conductividad eléctrica está entre la de los conductores y los aislantes.
- d) Un material que solo conduce electricidad a temperaturas extremadamente bajas.

Respuesta correcta: Literal c

9. ¿Qué describe el modelo atómico de Bohr?

- a) Que los electrones se mueven en órbitas circulares definidas y solo pueden ocupar ciertos niveles de energía discretos.
- b) Que los electrones no tienen niveles de energía definidos.
- c) Que los electrones se mueven libremente alrededor del núcleo.
- d) Que los electrones no interactúan con el núcleo.

Respuesta correcta: Literal a

10. ¿Qué establece la ley de Stefan-Boltzmann?

- a) Que la energía radiada por un cuerpo negro es proporcional al cubo de su temperatura absoluta.
- b) Que la energía radiada por un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.
- c) Que la energía radiada por un cuerpo negro es inversamente proporcional a su temperatura.
- d) Que la energía radiada por un cuerpo negro no depende de su temperatura.

Respuesta correcta: Literal b

4.48 Ejercicios prácticos resueltos

1. Un electrón se desplaza desde un nivel de energía superior a uno inferior, con una diferencia de energía de $1,5 \cdot 10^{-15} \text{ J}$. ¿Esta transición implica la absorción o emisión de energía? ¿Cuál es la frecuencia de la radiación asociada a este cambio? Dato: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Ecuación de Planck: $E = h \cdot f$

Emite energía, y la energía emitida vale $E_2 - E_1 = 1,5 \cdot 10^{-15} \text{ J}$

$$E_2 - E_1 = h \cdot f$$

$$f = \frac{E_2 - E_1}{h} = \frac{1,5 \cdot 10^{-15}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 2,26 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$$

2. Un átomo de hidrógeno se encuentra en el estado excitado 2, con una energía $E_2 = -3,40 \text{ eV}$. Luego, realiza una transición hacia el estado 1, con una energía $E_1 = -13,6 \text{ eV}$, y emite un fotón. Se debe determinar la frecuencia de la radiación liberada.

Datos: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $q_e = 1,602 \cdot 10^{-19}$

Ecuación de Planck: $E = h \cdot f$

$$E_2 = -3,4 \text{ eV} \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{1 \text{ e}} = -5,45 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_1 = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{1 \text{ e}} = -2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$f = \frac{E_2 - E_1}{h} = \frac{-5,45 \cdot 10^{-19} - (-2,18 \cdot 10^{-18})}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 2,47 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

3. En el átomo de hidrógeno, cuando un electrón transita de un estado excitado a uno más estable, emite un fotón con una energía de $10,18 \text{ eV}$. ¿Cuál es la longitud de onda asociada a la radiación emitida?

Datos: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Ecuación de Planck: $E = h \cdot f$

$$E_2 - E_1 = 10,18 \text{ eV} \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{1 \text{ e}} = 1,63 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$f = \frac{E_2 - E_1}{h} = \frac{1,63 \cdot 10^{-18}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 2,46 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$$c = \lambda \cdot f$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,46 \cdot 10^{15}} = 1,22 \cdot 10^{-7} m$$

4. Supóngase un semiconductor de tipo n. Si la tasa de recombinación de huecos es $U_p = 10^{18} \text{ cm}^{-1}\text{s}^{-1}$ y la concentración de portadores en exceso es $p'_n = 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, ¿cuál sería el tiempo de vida de los portadores minoritarios?

La variación temporal de la concentración de huecos por recombinación en un semiconductor tipo n viene dada por:

$$\frac{dp}{dt} = -U_p = -\frac{p_n - p_{no}}{T_p}$$

$$T_p = \frac{p_n - p_{no}}{U_p} = \frac{p'_n}{U_p} = \frac{10^{13} \text{ cm}^{-3}}{10^{18} \text{ cm}^{-1}\text{s}^{-1}} = 10^{-5} \text{ s} = 10 \mu\text{s}.$$

5. Una lámpara fluorescente produce 10 W de luz visible. Dado que la longitud de onda es de 480 nm, ¿cuál es el número de fotones emitidos por segundo?

A partir del dato de la longitud de onda podemos determinar la energía asociada a cada fotón de los que emite el fluorescente:

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{4,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 4,14 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$P = \frac{E}{t} \rightarrow E = P \cdot t = 10 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 1 \text{ s} = 10 \text{ J}$$

$$N \cdot E_{ft} = 10 \text{ J} \rightarrow N = \frac{10 \text{ J}}{4,14 \cdot 10^{-19} \text{ J} \cdot \text{ft}^{-1}} = 2,42 \cdot 10^{19} \text{ fotones}$$

6. El núcleo ^{64}Zn tiene una energía de 559,09 MeV use la formula semiempírica de energía para generar una estimación teórica de enlace para este núcleo.

Los datos a utilizar son:

- a) Para el núcleo ^{64}Zn , $Z = 30$, $N = 34$ y $A = 64$

- b) Constantes:

$$C_1 = 15,7 \text{ MeV}$$

$$C_2 = 17,8 \text{ MeV}$$

$$C_3 = 0,71 \text{ MeV}$$

$$C_4 = 23,6 \text{ MeV}$$

- c) Ecuación del enlace total (fórmula semiempírica)

$$E_b = C_1 - C_2 A_3^2 - C_3 \frac{Z(Z-1)}{A_3^1} - C_4 \frac{(N-Z)}{A}$$

Luego se procede a resolver sustituyendo las constantes y dados

$$E_b = 15,7 \text{ MeV} \times 64 - 17,8 \text{ MeV} \times (64)^2_3 - 0,71 \text{ Me} \frac{30(30-1)}{64^{\frac{1}{3}}} - 23,6 \text{ MeV} \frac{(34-30)}{64}$$

$$E_b = 1004,8 \text{ MeV} - 285 \text{ MeV} - 154 \text{ MeV} - 5,6 \text{ MeV}$$

Respuesta

$$E_b = 556 \text{ MeV}$$

7. Un paquete de electrones es acelerado mediante una diferencia de potencial de 50000V y posteriormente lanzado contra una placa de plomo para producir rayos X por bremsstrahlung. Determine la longitud de onda mínima de los rayos X que se pueden obtener con este montaje.

Datos a tomar en cuenta:

1V=1eV por lo que tenemos, 50000V=50000eV.

Expresando esta energía en Joule es igual a:

$$E = \frac{50000 \text{ eV} \cdot (1,60 \times 10^{-19} \text{ J})}{1 \text{ eV}}$$

$$E = 8 \times 10^{-15} \text{ J}$$

Una vez se obtiene el valor de energía se procede a calcular la longitud de onda mínima, que está dada de la siguiente forma:

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

$$\lambda = \frac{(6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}) (3 \times 10^8 \text{ m/s})}{8 \times 10^{-15} \text{ J}}$$

$$\lambda = 2,48625 \times 10^{-11} \text{ m}$$

La longitud de onda mínima de los rayos X será de $2,48625 \times 10^{-11} \text{ m}$ lo que es equivalente a 0,024862 nm.

8. En el átomo de hidrógeno, cuando un electrón pasa de un estado excitado a un estado normal, emite un cuanto de energía (fotón) de energía 10,18 eV. ¿Cuál es la longitud de onda que corresponde a la raya emitida?

Datos:

$$E_2 - E_1 = 10,18 \text{ eV}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Solución:

Ecuación de Planck: $E = h \cdot f$

$$E_2 - E_1 = 10,18 eV$$

$$E_2 - E_1 = 10,18 eV \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{-19} J}{1 eV} = 1,63 \cdot 10^{-18} J$$

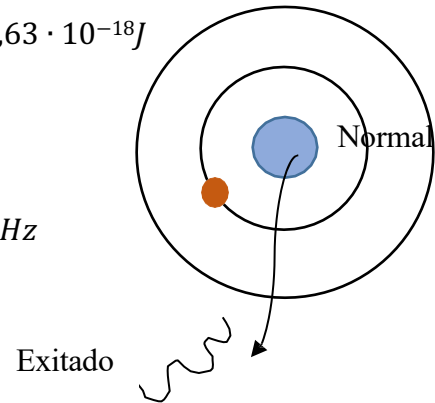
$$f = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

$$f = \frac{1,63 \cdot 10^{-18} J}{6,63 \cdot 10^{-34} \frac{J}{s}} = 2,46 \cdot 10^{15} Hz$$

$$c = \lambda \cdot f$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{2,46 \cdot 10^{15} Hz}$$

$$\lambda = 1,22 \cdot 10^{-7} m$$



9. El potencial fotovoltaico (potencial de detención) de un metal es 0,1V y el trabajo de extracción (función trabajo W_o) del metal es $10^{-8} J$. ¿Cuánto vale la energía de la onda incidente (fotón incidente)?

Datos: $h=6,63 \times 10^{-34} J \cdot s$; $q_e=1,602 \times 10^{-19} C$.

$$V_0 = 0,1V; \quad W_o = 10^{-8} J$$

$$(Ec)_{max} = q \cdot V_0 = 1,602 \times 10^{-19} \cdot 0,1 = 1,602 \times 10^{-20} J$$

$$E = W_o + (Ec)_{max} = 10^{-8} + 1,602 \times 10^{-20} = 1,602 \times 10^{-8} J$$

10. Un haz de protones se acelera hasta una energía de 8 MeV. Calcule:

a) Velocidad de las partículas

b) Longitud de onda asociada a los protones

Datos:

$$h=6,63 \cdot 10^{-34} J \cdot s$$

$$c=3 \cdot 10^8 m/s$$

$$m_p=1,673 \cdot 10^{-27} Kg$$

$$q_e=1,602 \cdot 10^{-19} C$$

Resolución:

$$E_c = 8 \text{ MeV} = 8 \text{ MeV} \cdot \frac{10^6 \text{ eV}}{1 \text{ MeV}} \cdot \frac{1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{1 \text{ e}} = 1,2816 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$a) E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,2816 \cdot 10^{-12}}{1,673 \cdot 10^{-27}}} = 39142023,8 \text{ m/s}$$

$$b) \lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{1,673 \cdot 10^{-27} \cdot 39142023,8} = 1,0186 \cdot 10^{-14} \text{ m}$$

11. Un electrón está confinado entre dos paredes impenetrables con una separación de 0.200 nm. Determine los niveles de energía para los estados n= 1, 2, 3

a) Encuentre la rapidez del electrón en el estado n=1

Datos:

Masa del electrón (m_e) = $9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Separación (L) = 0.200 nm

¿Niveles de energía (E_n) = ?

Solución

Es importante destacar que la energía potencial es igual a 0 y los niveles de energía cinética son proporcionados por la siguiente ecuación:

$$E_n = \left(\frac{h^2}{8mL^2} \right) n^2$$

Por lo tanto cuando n=1 el nivel de energía es:

$$E_1 = \left(\frac{(6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s})^2}{(8)(9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg})(0.200 \cdot 10^{-9} \text{ m})^2} \right) (1^2)$$

$$E_1 = \left(\frac{4.39569 \cdot 10^{-67} \text{ J}^2 \cdot \text{s}^2}{(7.28 \cdot 10^{-30} \text{ KG})(4 \cdot 10^{-20} \text{ M}^2)} \right) (1)$$

$$E_1 = \left(\frac{4.39569 \cdot 10^{-67} \text{ J}^2 \cdot \text{s}^2}{(7.288 \cdot 10^{-30} \text{ KG})(4 \cdot 10^{-20} \text{ M}^2)} \right) (1)$$

$$E_1 = \left(\frac{4.39569 \cdot 10^{-67} \text{ J}^2 \cdot \text{s}^2}{(2.9152 \cdot 10^{-49} \text{ KGm}^2)} \right) (1)$$

$$E_1 = (1.51 \cdot 10^{-18} \text{ J}) (1) = 1.51 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

Pasando a energía esto resultara:

$$E_1 = \frac{(1.51 \cdot 10^{-18} \text{ J}) (1 \text{ eV})}{1.60 \cdot 10^{-19} \text{ J}}$$

$$E_1 = 9.43 \text{ eV}$$

a) Para encontrar la rapidez del electrón se resuelve la expresión clásica para la energía cinética para la rapidez de la partícula.

$$E_n = \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$\sqrt{\frac{2(1.51 \times 10^{-18} \text{ J})}{9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}}} = u$$

$$\sqrt{\frac{3.02 \times 10^{-18} \text{ J}}{9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}}} = u$$

$$\sqrt{3.32 \times 10^{12}} = u$$

$$u = 1820724,696 \text{ m/s}$$

La rapidez que posee el electrón en su primer estado es igual a $u = 1820724,696 \text{ m/s}$, lo que corresponde a un 0.6% en comparación con la velocidad de la luz.

12. Un electrón salta de un nivel de energía más externo a otro más interno entre los que hay una diferencia de energía de $1,5 \cdot 10^{-15} \text{ J}$.

¿Absorbe o emite energía?

¿Cuál es la frecuencia de la radiación?

Dato: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Ecuación de Planck: $E = h \cdot f$

Emite energía, y la energía emitida vale $E_2 - E_1 = 1,5 \cdot 10^{-15} \text{ J}$

$$E_2 - E_1 = h \cdot f \Rightarrow f = \frac{E_2 - E_1}{h} = \frac{1,5 \cdot 10^{-15}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 2,26 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$$

13. Un objeto muy pequeño cuyo diámetro es 10^{-6} m tiene una masa de 10^{-6} kg y se mueve con una velocidad de 10 m s^{-1} . Hemos determinado esa velocidad con un error (incertidumbre) de 10^{-3} m s^{-1} . ¿Cuál será la incertidumbre (error) en la determinación de la posición? ¿Cómo sería esa incertidumbre comparada con el tamaño de la partícula? Consideremos que hemos calculado la masa sin error.

Datos: $h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Principio de incertidumbre de Heisenberg: $\Delta x \cdot \Delta p \geq h / (2\pi)$

$$\Delta p = m \cdot \Delta v = 10^{-6} \cdot 10^{-3} = 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\Delta x \geq h / (2\pi \cdot \Delta p) = (6.63 \cdot 10^{-34}) / (2\pi \cdot 10^{-9}) = 1.06 \cdot 10^{-25} \text{ m}$$

$$\Delta x / D \cdot 100 = (1.06 \cdot 10^{-25}) / (10^{-6}) \cdot 100 = 1.06 \cdot 10^{-17} \%$$

14. Calcular la incertidumbre en la determinación de la posición en los siguientes casos: a) Electrón cuya velocidad, de 7000 km/s , se ha medido con una incertidumbre del 0,003% b) Proyectoil de 50 g que se desplaza a una velocidad de 300 m/s , medida con la misma incertidumbre que el caso anterior.

Datos: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

El principio de incertidumbre de Heisenberg establece, entre otras consideraciones, que es imposible conocer simultáneamente y con total exactitud la posición (x) y la

cantidad de movimiento (p) de una partícula, debido al carácter dual de la materia. Como mínimo tendremos una incertidumbre en las medidas,

Δx y Δp , que cumplen la desigualdad $\Delta x \cdot \Delta p \geq h / 4\pi$, donde h es la constante de Plack.

$$\text{Electrón: } v = 7000 \text{ km/s} = 7 \cdot 10^3 \text{ ms}^{-1} \quad \Delta v = 7 \cdot 10^6 \cdot 0,003 \text{ } 100 = 210 \text{ m s}^{-1}$$

$$\Delta p = m \cdot \Delta v = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 210 \text{ m s}^{-1} = 1,911 \cdot 10^{-28} \text{ kg m s}^{-1}$$

Aplicando la relación de incertidumbre:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h / 4\pi \Rightarrow \Delta x \geq h / 4\pi \cdot \Delta p \Rightarrow \Delta x \geq 2,76 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Obtenemos una incertidumbre importante, pues es unas 3000 veces mayor que el tamaño de un átomo. Sería el equivalente a localizar una casa, y no sabemos si está en un pueblo, o en el de al lado.

a) Proyectoil: $v = 300 \text{ ms}^{-1}$

$$\Delta v = 300 \cdot 0,003 \text{ } 100 = 0,009 \text{ m s}^{-1}$$

$$p = m \cdot v = 0,05 \text{ kg} \cdot 300 \text{ m s}^{-1} = 15 \text{ kg m s}^{-1}$$

$$\Delta p = m \cdot \Delta v = 0,05 \text{ kg} \cdot 0,009 \text{ m s}^{-1} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ kg m s}^{-1}$$

Aplicando la relación de incertidumbre: $\Delta x \cdot \Delta p \geq h / 4\pi \Rightarrow \Delta x \geq h / 4\pi \cdot \Delta p \Rightarrow \Delta x \geq 1,17 \cdot 10^{-31} \text{ m}$ Esta incertidumbre es despreciable.

15. Una emisora de radio emite con una frecuencia de 1,2 MHz y una potencia de 2 kW. Calcula el número de cuantos de energías (fotones) en 5 segundos.

Energía de todos los fotones: $E = n \cdot h \cdot f$

$$\text{Potencia (P)} = \frac{\text{Energía (E)}}{\text{Tiempo (t)}} \quad \nabla \quad E = P \cdot t$$

$$n \cdot h \cdot f = P \cdot t \quad \nabla \quad \frac{P \cdot t}{h \cdot f} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 5}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 1,2 \cdot 10^6} = 1,26 \cdot 10^{31} \text{ fotones}$$

16. Calcular la energía cinética máxima y la velocidad máxima de los electrones arrancados de un metal por efecto fotoeléctrico, si la tensión necesaria para que no lleguen electrones al ánodo es 6 V.

Datos:

$$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}; q_e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$V_o = 6 \text{ V}$$

Resolución:

$$(Ec)_{\text{máx}} = q \cdot V_o = 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 6 = 9,612 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$(Ec)_{\text{máx}} = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{máx}}^2 \Rightarrow v_{\text{máx}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (Ec)_{\text{máx}}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,612 \cdot 10^{-19}}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 1452655,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

17. Determinar la energía de un fotón para:

La energía de un fotón viene determinada por la expresión de Planck $E_f = h \cdot f$, donde h es la constante de Planck y f la frecuencia de la luz. Suponiendo que las ondas viajan por el vacío, la frecuencia y la longitud de onda están relacionadas por $\lambda = c / f$, siendo c la velocidad de la luz en el vacío. (Para todas, el medio de propagación es el vacío $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$, $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$)¹

a). Ondas de radio de 1500 kHz

$$f = 1500 \text{ kHz} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$E_f = h \cdot f$$

$$E_f = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 1,5 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1} = 9,95 \cdot 10^{-28} \text{ J}$$

b) Luz verde de 550 nm

$$\text{Luz verde } \lambda = 550 \text{ nm} = 550 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$f = c / \lambda = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} / 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 5,45 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\text{La energía: } E_f = h \cdot f = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 5,45 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} = 3,61 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

c). Rayos X de 0,06 nm

$$\text{Rayos X } \lambda = 0,06 \text{ nm} = 0,06 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 6 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

$$f = c / \lambda = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} / 6 \cdot 10^{-11} \text{ m} = 5 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$$

$$\text{La energía: } E_f = h \cdot f = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 5 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1} = 3,32 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

18. Una estación de radio emite con una $\lambda = 25 \text{ m}$. (Datos: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$, $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$) Calcular la frecuencia de las OEM emitidas:

Suponiendo que las ondas viajan por el vacío, la frecuencia y la longitud de onda están relacionadas por $\lambda = \frac{c}{f}$, siendo c la velocidad de la luz en el vacío.

Resolución:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{25 \text{ m}}$$

$$f = 1,2 \cdot 10^7 \text{ Hz}$$

19. La energía umbral del Cr es $7,04 \times 10^{-19} \text{ J}$. *Determina:*

- Si una onda radiación de $4 \times 10^{15} \text{ Hz}$ es capaz de arrancar electrones del Cr
- La velocidad de escape de los electrones si es que el proceso se produce.

$$\text{Datos: } h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}; m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$W_0 = 7,04 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$a) \quad f = 4 \times 10^{15} \text{Hz}; W_0 = h \times f_0$$

$$f_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{7,04 \times 10^{-19}}{6,63 \times 10^{-34}} = 1,06 \times 10^{15} \text{Hz}$$

Como $f(4 \times 10^{15} \text{Hz}) > f_0(1,06 \times 10^{15} \text{Hz})$ Si se produce el efecto fotoeléctrico

$$b) \quad E = W_0 + (Ec)_{\max} \Rightarrow h \times f = W_0 + \frac{1}{2} m \times v^2$$

$$v = \sqrt{2 \frac{(h \times f - W_0)}{m}}$$

$$= \sqrt{2 \frac{(6,63 \times 10^{-34} \times 4 \times 10^{15} - 7,04 \times 10^{-19})}{9,11 \times 10^{-31}}} = 2076474 \frac{m}{s}$$

20. Un electrón posee una energía cinética de $1,14 \cdot 10^{-21} \text{ J}$. Calcula la longitud de onda de la onda de materia que le acompaña (longitud de onda asociada).
Datos: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$; $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

$$Ec = \frac{1}{2} m \times v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \times Ec}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,14 \cdot 10^{-21}}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 50027,4 \frac{m}{s}$$

Hipótesis de De Broglie:

$$= \frac{h}{m \times v} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{9,11 \cdot 10^{-31} \times 50027,4} = 1,45 \cdot 10^{-8} m$$

4.49 Referencias bibliográficas

- ABC, D. (2018). *INFOLIBROS*. Obtenido de ELECTROMAGNETISMO: <https://infolibros.org/pdfview/11945-electromagnetismo-dpti-servicios-abc/>
- Álvarez. (2022). *Divulgación Superconductividad*. Obtenido de Superconductividad (ICMM-CSIC): <https://wp.icmm.csic.es/superconductividad/materiales-superconductores/superconductores-convencionales/>
- Álvarez, J. (2022). *Cuadro comparativo*. Obtenido de Ejemplos de hidrostática en la vida cotidiana: <https://cuadros-comparativos.com/ejemplos-de-hidrostatica-en-la-vida-cotidiana/>
- Ariza, I. (12 de abril de 2023). *todoagua.com*. Obtenido de ¿Qué es la presión hidrostática?: <https://www.todoagua.es/que-es-presion-hidrostatica/#:~:text=La%20presi%C3%B3n%20hidrost%C3%A1tica%20es%20un%20concepto%20que%20se%20refiere%20a,que%20se%20encuentra%20el%20objeto>
- Briceño V., G. (2018). *Euston*. Obtenido de Hidrostática: <https://www.euston96.com/hidrostatica/>
- Briceño V., G. (2018). *EUSTON*. Obtenido de Principio de Bernoulli.: <https://www.euston96.com/principio-de-bernoulli/>
- Carmora, A. (mayo de 2023). *química*. Obtenido de Física: la clave detrás del avance tecnológico y social: <https://quimica.diaonia.com/fisica-la-clave-detras-del-avance-tecnologico-y-social/>
- Coluccio Leskow, E. (24 de OCTUBRE de 2024). *FISICA*. Obtenido de Imán: <https://concepto.de/iman/>
- Coluccio, L. E. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Magnetismo: <https://concepto.de/magnetismo/>
- Conceptualista*. (2024). Obtenido de Hidrostática: <https://conceptualista.com/hidrostatica/>
- Cremades García, S. (2019). *AQUAE FUNDACIÓN*. Obtenido de ¿Conoces la historia de Arquímedes?: <https://www.fundacionaquae.org/principio-arquimedes-eureka/#:~:text=El%20principio%20de%20Arqu%C3%ADmedes%20y%20su%20%C2%A1eureka%21%20El,hacia%20arriba%20equivalente%20al%20peso%20del%20volumen%20desalojado.>
- Cremades, G. S. (2022). *EQUAE FUNDACIÓN*. Obtenido de ¿Conoces la historia de Arquímedes?: <https://www.fundacionaquae.org/principio-arquimedes-eureka/#:~:text=El%20principio%20de%20Arqu%C3%ADmedes%20y%20su%20%C2%A1eureka%21%20El,hacia%20arriba%20equivalente%20al%20peso%20del%20volumen%20desalojado.>
- Delgado, M. (24 de octubre de 2024). *conceptos*. Obtenido de Propiedades de los fluidos: <https://concepto.de/propiedades-de-los-fluidos/>

- Educación, U. P. (2022). *INFOLIBRO*. Obtenido de Electromagnetismo: <https://infolibros.org/pdfview/11946-electromagnetismo-universidad-peruana-cayetano-heredia-facultad-de-educacion/>
- Electromagnetismo*. (13 de octubre de 2017). Obtenido de Aplicaciones Del Electromagnetismo: <https://electromagnetismoluz2017.wordpress.com/2017/10/13/holaaa/>
- Estefania Coluccio Leskow. (24 de OCTUBRE de 2024). *FISICA*. Obtenido de Imán: <https://concepto.de/iman/>
- Estefania Coluccio Leskow Ph.D. Doctora en Ciencias Físicas (Universidad de Buenos Aires, A. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Conductividad térmica: <https://concepto.de/conductividad-termica/>
- Europeo. (21 de Julio de 2023). *IELOGIS*. Obtenido de La ecuación de Bernoulli: fundamentos y aplicaciones: <https://ielogis.com/ecuacion-bernoulli/#:~:text=La%20ecuaci%C3%B3n%20de%20Bernoulli%20nos,un%20barco%20en%20el%20agua>
- Guanajuato, U. d. (30 de MARZO de 2022). *RECURSOS DIDACTICOS ABIERTOS*. Obtenido de Flujo magnético y aplicaciones del electromagnetismo: <https://blogs.ugto.mx/rea/clase-digital-4-flujo-magnetico-y-aplicaciones-del-electromagnetismo/>
- Herbert, P. (20 de Julio de 2023). *TRADESAFE*. Obtenido de Sistemas hidráulicos versus neumáticos: una guía comparativa: https://trdsf.com/es/blogs/news/sistemas-hidraulicos-versus-neumaticos-una-guia-comparativa?srsId=AfmBOoq2w_nuWOzsUuFcvHGCnym975DdJ4gYDzgEWSa3fvQ1_gNV3YQa
- industrial, O. P.-I. (23 de agosto de 2023). *Energía Nuclear*. Obtenido de Mecánica de fluidos: <https://energia-nuclear.net/fisica/mecanica-de-fluidos/ejemplos/sistemas-hidraulicos>
- J.L, B. (25 de septiembre de 2022). *electronicaonline*. Obtenido de Ley de Ohm: <https://electronicaonline.net/electricidad/ley-de-ohm/>
- Leskow, C. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Semiconductores: <https://concepto.de/semiconductores/>
- Leskow, E. C. (24 de octubre de 2024). *Concepto*. Obtenido de Electromagnetismo: <https://concepto.de/electromagnetismo/>
- Licenciada en Física, c. m. (27 de Julio de 2020). *lifeder*. Obtenido de Mecánica de fluidos: historia, qué estudia, fundamentos: <https://www.lifeder.com/mecanica-de-fluidos/>
- Licenciada en Física, c. m. (04 de diciembre de 2020). *lifeder*. Obtenido de Sistema neumático: <https://www.lifeder.com/sistema-neumatico/>

- Marquez, H. (2022). *UNISALIA*. Obtenido de La Influencia de la Física en la Tecnología: Una Perspectiva Completa.: <https://unisalia.com/como-influye-la-fisica-en-la-tecnologia2627/>
- Márquez, J. (2023). *I I.E.S. El Clot Dto. Física y Química*. Obtenido de Física Cuántica: https://www.uv.es/jmarques/_private/FisicaCuantica.pdf
- Montalvo, L. (2024). *GRUPO MOBILITY*. Obtenido de 5 aplicaciones de la física en la ingeniería ambiental: potencializando soluciones sostenibles: https://grupomobilitymurcia.es/5-aplicaciones-de-la-fisica-en-la-ingenieria-ambiental/?damemas_lectura=1
- Oriol Planas. (21 de junio de 2023). *ENERGÍA NUCLEAR*. Obtenido de Física cuántica: los principios de la mecánica cuántica: <https://energia-nuclear.net/fisica/cuantica>
- Oriol, P. (26 de JULIO de 2023). *ENERGÍA NUCLEAR*. Obtenido de Flujo magnético: <https://energia-nuclear.net/energia/electromagnetica/flujo-magnetico>
- Ramírez, M. D. (14 de marzo de 2024). *Gobierno de Canarias; Campus*. Obtenido de Física del siglo XX: Cuántica: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/mramrodp/?p=2436#:~:text=La%20mec%C3%A1nica%20cu%C3%A1ntica%20tiene%20tres,y%20la%20ecuaci%C3%B3n%20de%20Schr%C3%B6dinger>
- Ricardo Rodrigo. (03 de octubre de 2020). *ESTUDYANDO*. Obtenido de Número de Reynolds: Definición y ecuación: <https://estudyando.com/numero-de-reynolds-definicion-y-ecuacion/>
- Rodrigo, R. (03 de NOVIEMBRE de 2020). *ESTUDYANDO*. Obtenido de Qué es un imán: <https://estudyando.com/que-es-un-iman-definicion-y-ejemplos/>
- Rodriguez, C. (2024). *Euroinnova International online education*. Obtenido de Qué es la física cuántica: <https://www.euroinnova.com/blog/que-es-la-fisica-cuantica>
- Serrana, U. M. (2021). Obtenido de Hidrostática: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-nacional-de-asuncion/fisica-general-fisica-i/test-de-hidrostatica-con-respuestas/7585352>
- Startupeable*. (23 de Julio de 2024). Obtenido de Tecnologías Emergentes: <https://startupeable.com/glosario/tecnologias-emergentes/>
- Zapata, F. (26 de mayo de 2020). *Lifeder*. Obtenido de Presión hidrostática: fórmula, cálculo, ejemplos, ejercicios: <https://www.lifeder.com/presion-hidrostatica/>

FREDDY ALBERTO PEREIRA GUANUCHE

El Dr. Freddy es docente en la Universidad Técnica de Machala durante más de 20 años, contribuyendo con sus amplios conocimientos y habilidades a la institución. Completó sus estudios en la misma universidad, obteniendo un Doctorado en Química Industrial, y posteriormente realizó un PhD. en Química Avanzada en la Universidad de Almería (UAL), España. A lo largo de su trayectoria en la UTMACH, el Dr. Freddy ha recibido reconocimientos destacados, incluyendo roles en el Vicerrectorado Académico y Administrativo, así mismo la participación como evaluador en varios proyectos científicos a nivel nacional e internacional. Además, es autor del influyente artículo "Elaboración de harina de banano fortificada con berro," publicado en la Revista UNEMI en 2023, y ha colaborado como uno de los autores en el libro del Grupo Compas titulado "Principios de Física en Bioquímica Farmacéutica." El enfoque investigativo del Dr. Freddy se centra en la ingeniería química ya que cuenta con un título de magister en enseñanza de la física, y a través de su libro, comparte los principios y teorías de la física aplicada que contribuyen al desarrollo y optimización de los procesos industriales. Su dedicación en el aula es notable, ya que su enfoque de enseñanza es único y dinámico, lo que beneficia el rendimiento académico de sus estudiantes. Sus logros académicos, el Dr. Freddy ha publicado varios artículos científicos de renombre.

Su pasión por la lectura es evidente, y esto se refleja en su capacidad para presentar con entusiasmo en congresos académicos y diversas conferencias. Asimismo, el Dr. Freddy es el fundador y coordinador del Grupo de Investigación GRP-065. <https://orcid.org/0000-0003-3882-9079>
fpereira@utmachala.edu.ec

KENNYA SELENE RUIZ VEINTIMILLA

La Dra. Kennya completó sus estudios en Bioquímica y Farmacéutica y posteriormente obtuvo su Doctorado en Bioquímica y Farmacéutica en la Universidad Técnica de Machala. Durante su tiempo en la UTMACH, ha acumulado varios reconocimientos, incluyendo 7 años de experiencia como docente, así como su participación en varios seminarios relacionados con su interés en la Salud y el Bienestar Humano. Además, ha adquirido conocimientos a través de talleres, como el "Curso Teórico Práctico de Técnicas Electro analíticas," "Construcción de Texto con Fines Profesionales," "Herramientas Pedagógicas," y "Buenas Prácticas Pedagógicas." La Dra. Kennya también ha dejado su huella en la investigación, siendo coautora del prestigioso artículo "Elaboración de harina de banano fortificada con berro," publicado en la Revista UNEMI en 2023, y contribuyó como una de las autoras en el libro colaborativo del Grupo Compas titulado "Principios de Física en Bioquímica Farmacéutica." Fuera de su carrera académica, es digna de elogios su compromiso con el cuidado de su familia. La Dra. Kennya también ha sido parte de numerosos artículos científicos y proyectos de investigación de relevancia y es miembro activo del Grupo de Investigación GRP-065. kennyaselene@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6054-9965>

ISBN: 978-9942-53-023-3



Compás
capacitación e investigación