

Colección DIDÁCTICA Y ENSEÑANZA

FÍSICA II



AUTORES

Freddi Roland Rodríguez Ordoñez
Eduer Blandimiro Bernilla Rodríguez
Danette Pintado García
Marco Antonio Martínez Serrano



Fundación Ediciones

Clío



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE JAÉN

Física II

Freddi Roland Rodriguez Ordoñez, Eduer Blandimiro Bernilla Rodriguez, Danette Pintado García, Marco Antonio Martínez Serrano (autores).

@Ediciones Clío

Marzo de 2024

Maracaibo, Venezuela

1ra edición

ISBN: 978-980-451-018-2

Depósito legal:

Depósito legal (Perú): N° 2024-02257

Editor: Freddi Roland Rodriguez Ordoñez

Calle. Marko Jara Scheone- Jaén - Cajamarca

Esta obra está bajo licencia: Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Inter-nacional

Las opiniones y criterios emitidos en el presente libro son exclusiva responsabilidad de los autores.



FUNDACIÓN EDICIONES CLÍO

La Fundación Ediciones Clío es una institución académica que promueve la ciencia, la cultura y la formación integral de las comunidades, con el objetivo de difundir contenido científico, humanístico, pedagógico y cultural para formar a personas e instituciones interesadas. Nuestra visión es contribuir a la generación de capacidades científicas, tecnológicas y culturales que sean herramientas útiles en la resolución de los problemas de la sociedad. Para lograrlo, ofrecemos un repositorio bibliográfico con contenidos descargables de forma gratuita desde nuestra página web y redes sociales, donde se pueden encontrar libros, revistas científicas y otros materiales educativos de interés.

Este libro es el resultado de un proyecto de investigación llevado a cabo en la Universidad Nacional de Jaén, Perú, con la finalidad de mejorar los contenidos y la enseñanza de la asignatura de Física II. Iniciado en diciembre de 2023 con la Resolución de la Vicepresidencia de Investigación N° 087-2023-UNJ, el proyecto se centró en el diseño y validación de guías de desarrollo experimental para equipos en el laboratorio de física. El objetivo principal fue optimizar los procesos experimentales para garantizar la eficiencia y precisión de los resultados obtenidos por los estudiantes. Para lograrlo, se desarrolló este libro con ejercicios prácticos contextualizados que sirven como base teórica sólida para la correcta ejecución de los experimentos.

Este libro proporciona a los estudiantes una visión detallada de la forma en que se llevan a cabo el desarrollo de los ejercicios relacionado a su contexto, generando así un impacto directo en la calidad del aprendizaje y el empoderamiento en esta disciplina fundamental. Esperamos que este libro sea una valiosa contribución al acervo bibliográfico de la Fundación Ediciones Clío y una herramienta útil para promover la enseñanza efectiva de la física experimental en las instituciones educativas del país y la región.

Dr. Jorge F. Vidovic

Director Fundación Ediciones Clío

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8148-4403>

Nota: Para contactarnos puede dirigir su comunicación a: edicionesclio.es@gmail.com - jorgevidovicl@gmail.com Web: <https://www.edicionesclio.com/>

DEDICATORIA

Dedicamos este libro a los estudiantes del segundo ciclo de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil e Ingeniería Mecánica Eléctrica del semestre académico 2023-II de la Universidad Nacional de Jaén. Su colaboración y compromiso con la educación han sido fundamentales para el desarrollo de este material didáctico. Este libro es el resultado de su participación activa y su deseo de fortalecer el aprendizaje de la física, especialmente entre los estudiantes de ingeniería. Agradecemos sinceramente su invaluable contribución y esperamos que este libro sea una herramienta valiosa en su camino hacia un futuro educativo más brillante.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	4
Resumen.....	9
Capítulo 1	10
Hidrostática.....	10
1.Conceptos básicos	11
2.Hidrostática.....	19
3.Principios de la hidrostática.....	25
4.Tensión superficial	31
5Propiedades de Sólidos y Líquidos	38
6.Diferencias Básicas entre Sólidos, Líquidos y Gases	39
 Capítulo 2.....	 75
1.Hidrodinámica	76
2.Conceptos básicos	77
3.Principios fundamentales.....	80
4.Aplicaciones	83
5.Fluidos viscosos	90
6.Procedimiento para aplicar el teorema de Bernoulli.....	92

Capítulo 3	117
Temperatura	117
1.Temperatura	118
2.Relación entre temperatura y energía molecular	120
3.Escalas de temperatura	120
4.Conversiones entre escalas de temperatura	122
5.Aplicaciones de la medición de temperatura.....	123
 Capítulo 4	 135
Dilatación.....	135
1.Dilatación térmica	136
2.Tipos de dilatación.....	136
3Relación entre los coeficientes de dilatación térmica	139
4.Dilatación en diferentes estados	139
5.Variación de la densidad con el calor.....	142
6.Aplicaciones	143
7.Propiedades	144

Capítulo 5	161
Calorimetría	162
1.Conceptos básicos	¡Error!
Marcador no definido.	
2.Calor	162
3.Principios de la calorimetría	164
4.Aplicaciones	165
5.Propiedades térmicas	166
6.Equilibrio térmico	168
7.Equivalente mecánico del calor	170
8.Propagación del calor.....	170
9.Cambios de fase	171
10.Condiciones especiales.....	173
 Capítulo 6	 191
Termodinámica	192
1.Conceptos básicos	192
2.Sistemas termodinámicos	193
3.Propiedades termodinámicas.....	195
4.Equilibrio	196

5.Procesos termodinámicos.....	197
6.Ciclos termodinámicos	202
7.Sustancia de trabajo	204
8.Leyes de la termodinámica	205
9.Convección de signos del calor, trabajo y energía interna.....	206
10.Gases ideales	207
11.Máquinas térmicas	208
12.Bombas de calor y refrigeración.....	211
13.Procesos reversibles e irreversibles	213
14.Entropía	214

Resumen

Este libro es el resultado de un proyecto de investigación realizado en la Universidad Nacional de Jaén, Perú, con el objetivo de mejorar los contenidos y la enseñanza de la asignatura de Física II. Iniciado en diciembre de 2023 con la Resolución de la Vicepresidencia de Investigación N° 087-2023-UNJ, el proyecto se centró en el diseño y validación de guías de desarrollo experimental para equipos en el laboratorio de física. El objetivo principal fue optimizar los procesos experimentales para garantizar la eficiencia y precisión de los resultados obtenidos por los estudiantes. Para lograrlo, se desarrolló este libro con ejercicios prácticos contextualizados que sirven como base teórica sólida para la correcta ejecución de los experimentos.

Este libro proporciona a los estudiantes una visión detallada de la forma en que se llevan a cabo el desarrollo de los ejercicios relacionados con su contexto, generando así un impacto directo en la calidad del aprendizaje y el empoderamiento en esta disciplina fundamental.

Capítulo 1

Hidrostática



1. Conceptos básicos

1.1. Fluidos

Un fluido se caracteriza como una sustancia que puede deformarse continuamente bajo la acción de un esfuerzo cortante, abarcando tanto gases como líquidos (White, 2021).

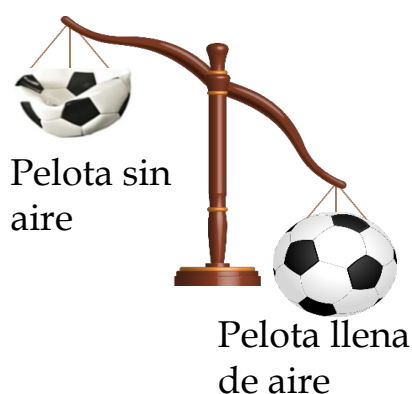
1.1.1. Líquidos

Los líquidos poseen un volumen propio pero adoptan la forma del recipiente que los contiene. Se destacan por tener fuerzas intermoleculares más intensas que los gases, lo que confiere mayor cohesión a su estructura (Santos et al., 2019).



1.1.2. Gases

Los gases tienden a expandirse para ocupar todo el volumen disponible, con moléculas notablemente separadas y unidas únicamente por colisiones ocasionales (Biswas et al., 2022).



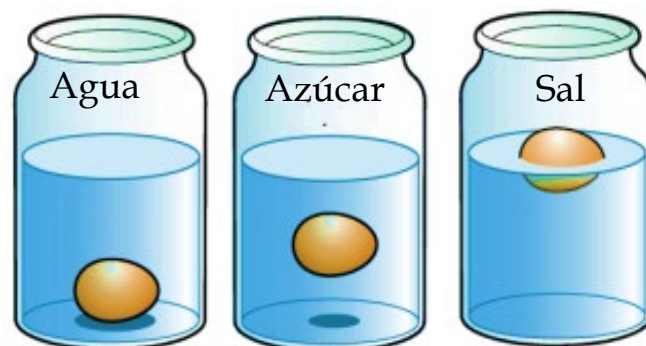
1.2. Propiedades de los fluidos

1.2.1. Densidad

La densidad es una magnitud escalar que proporciona información sobre cuánta materia está comprimida en un espacio específico. Su conceptualización se basa en el cociente entre la masa y el volumen de una cantidad dada de material, representado por la letra griega ρ (rho) (Nigam & Singh, 2011). Si consideramos una masa m de material homogéneo con un volumen V , la densidad ρ se expresa mediante la fórmula:

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

La unidad de medida de la densidad en el sistema internacional es el kilogramo por metro cúbico (kg/m^3). Esta unidad proporciona una representación cuantitativa de la cantidad de masa contenida en un volumen determinado y se utiliza ampliamente en diversos campos, desde la física hasta la ingeniería, para caracterizar materiales y sustancias en función de su compactibilidad.



Equivalencias de densidad

La tabla presenta los factores de conversión entre unidades de densidad ampliamente utilizadas, el cual facilita la comparación y conversión rápida entre distintos sistemas de unidades, siendo útil en disciplinas como la química, física e ingeniería.

Tabla 1. Equivalencias de densidad

Unidad	1 g/cm ³	1 g/l	1 kg/m ³	1 lb/pie ³	1 lb/galón
1 g/cm ³	1	1000	1000	62.428	8.3454
1 g/l	0.001	1	1	0.062428	0.0083454
1 kg/m ³	0.001	1	1	0.062428	0.0083454
1 lb/pie ³	0.016018	16.0185	16.0185	1	0.13368
1 lb/galón	0.119826	199.826	199.826	7.48052	1

Densidades de Algunas Sustancias o Materiales

La tabla 3 proporciona las densidades de sólidos, líquidos y gases comúnmente encontrados en la naturaleza o utilizados en diversas aplicaciones, el cual permite comparaciones directas entre los diferentes materiales. Desde metales como platino, oro y plomo hasta líquidos como mercurio, glicerina y agua, así como gases como acetileno, aire, amoníaco y helio, esta información resulta útil en campos como la física, la química y la ingeniería para comprender y aplicar las propiedades de los materiales en distintos contextos.

Tabla 2. Densidades de algunas sustancias o material

Sólidos	kg/m ³	Líquidos	kg/m ³	Gases	kg/m ³
Platino	21400	Mercurio	13600	Acetileno (C ₂ H ₂)	1.092
Oro	19300	Glicerina	1260	Aire seco a 20 °C	1.21
Plomo	11300	Agua a 4 °C	1000	Amoniaco	0.717
Plata	10500	Agua de mar	1030	Helio	0.178
Cobre	8900	Benceno	900	Hidrógeno	0.09
Bronce	8600	Alcohol etílico	810		
Hierro	7800				
Aluminio	2700				
Hielo	920				
Madera	500				

1.2.2. Peso específico

Se define como el peso por unidad de volumen de una sustancia y se expresa mediante la fórmula:

$$\gamma = P/V = mg/V = \rho g$$

En el Sistema Internacional (SI), sus unidades son Newton por metro cúbico (N/m³) (Munson et al., 2020).

1.2.3. Densidad relativa

La densidad relativa es el cociente entre la densidad de un fluido y la densidad de un fluido de referencia,

comúnmente agua para líquidos y aire para gases (Bird et al., 2007). Se expresa como

$$\rho_r = \frac{\rho_A}{\rho_B}$$

Donde ρ_A es la densidad del fluido y ρ_B es la densidad del fluido de referencia.

1.2.4. Gravedad específica (GE)

Es una magnitud adimensional que se define como la relación entre la densidad de una sustancia y la densidad de una sustancia de referencia a una temperatura estándar (Holmberg et al., 2022).

Para sólidos y líquidos se emplea comúnmente como referencia el agua destilada a 4°C. De este modo, la gravedad específica indica cuántas veces una sustancia es más densa que el agua en esas condiciones y matemáticamente se expresa como:

$$GE = \rho_{\text{sustancia}} / \rho_{\text{agua}}$$

Ejemplo:

La gravedad específica del hierro es 7,8. Esto indica que el hierro es 7,8 veces más denso que el agua a 4°C.

1.3. Presión

1.3.1. Definición

Se define como la fuerza perpendicular por unidad de superficie ejercida por un fluido y se calcula como $P=F/A$, donde F es la fuerza y A es el área (Lautrup, 2011). En el Sistema Internacional (SI), la unidad de medida de la presión es el Pascal (Pa).

Cuando la fuerza aplicada no es perpendicular a la superficie, se descompone en dos componentes. Una de estas actúa perpendicularmente y es la que contribuye a la presión, mientras que la componente paralela a la superficie genera fuerzas tangenciales, comúnmente asociadas a fenómenos de rozamiento. Esta descomposición se describe por la ecuación $P=F\cos\theta/A$, donde θ es el ángulo entre la fuerza aplicada y la normal a la superficie. Este enfoque permite analizar la contribución efectiva de la fuerza a la presión en situaciones donde la aplicación de la fuerza no es directamente perpendicular a la superficie.

1.3.2. Presión atmosférica

Es la fuerza por unidad de superficie que ejerce la columna de aire de la atmósfera terrestre sobre la superficie y otros cuerpos en ella. Al nivel del mar, esta presión hidrostática de la atmósfera es de 1 atmósfera (1,013 bar aproximadamente) (Potter et al., 2022).

1.3.3. Presión absoluta

Se define como la presión medida en relación al vacío absoluto, que equivale a cero presión según la escala absoluta. Incorpora la presión atmosférica ambiental. Por ejemplo, un depósito con gas a 2 atmósferas absoluta significa que está a 1 atm por la presión ambiental y otra adicional por el gas interno (Baird, 1962).

1.3.4. Presión relativa o manométrica

Es la presión medida en relación a la presión atmosférica del entorno, a diferencia de la presión absoluta que usa el vacío como referencia. También se denomina "presión de gauge" en inglés. Por ello indica cuánto se desvía la presión de un sistema respecto a la presión ambiental exterior (Santos et al, 2023).

Ejemplo: Un tanque presurizado con nitrógeno indica en su manómetro una presión relativa de 35 psi. Esto significa que la presión interna total es de 35 psi por encima de la presión atmosférica ambiente del lugar donde está el tanque.

1.3.5. Instrumentos de medición de la presión

Barómetro

Instrumento que mide la presión atmosférica relacionando la altura de una columna de líquido con la fuerza ejercida por el aire. Consta de un tubo de vidrio sellado con una columna de mercurio o agua destilada que asciende o desciende hasta equilibrar su peso con la presión atmosférica. (Baker et al., 2021)

Manómetro

Dispositivo utilizado para determinar la presión de gases y líquidos midiendo la altura de una columna manométrica en relación a la presión ambiente. El principio de funcionamiento se basa en la ley fundamental de la hidrostática de fluidos en reposo. Un tipo común es el manómetro de tubo abierto. (Sathishkumar et al., 2020)



Vacuómetro

Instrumento empleado para medir presiones inferiores a la atmosférica o presiones negativas absolutas. Consta de una cámara sellada a vacío parcial con un tubo indicador donde asciende un líquido registrador según el diferencial de presión. Un modelo común es el vacuómetro de McLeod de confinamiento dinámico de gases. (Yin et al., 2021)

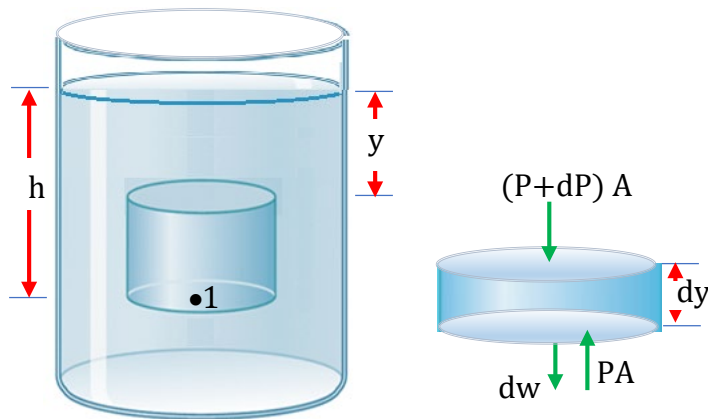
2. Hidrostática

Es una rama de la mecánica de fluidos que se ocupa del estudio del equilibrio de los fluidos en reposo y de las fuerzas que actúan sobre superficies sumergidas (Munson et al., 2020).

2.1 Presión hidrostática

2.1.1. Variación de la presión en líquidos

Se refiere a cómo cambia la presión en función de la profundidad cuando un fluido se encuentra en equilibrio estático, ya que aunque no haya movimiento, la presión aumenta con la profundidad debido al peso de fluido sobreponiéndose verticalmente.



$$\Sigma F = 0$$

$$PA - dw - (p + dp)A = 0$$

$$PA - dw - PA - dpA = 0$$

$$-dw - dpA = 0$$

$$\rho g dy = -dp$$

La relación que gobierna la presión hidrostática para un fluido en reposo es (Bansal, 2020):

$$dp/dy = \rho g$$

Donde:

dp/dy : Variación de presión con la profundidad

ρ : Densidad del fluido

g : Aceleración de gravedad

Esta ecuación expresa que, en equilibrio, la variación de presión por unidad de profundidad es igual al peso específico del fluido (ρg). Integrando entre dos puntos cualesquiera se obtiene la diferencia de presiones:

Integrando

$$\int_{P_0}^{P_1} dp = - \int_0^{-h} \rho g dy$$

$$p_1 - p_0 = -pg(-h)$$

$$p_1 = p_0 + pgh$$

Por lo tanto, dentro de un fluido en reposo, la presión solo depende de la profundidad y el peso específico.

2.1.2. Variación de la presión en gases

A diferencia de los líquidos, en un gas en equilibrio la presión no depende de la profundidad, sino que es la misma en todos los puntos a una misma altura. Esto se debe a que la densidad de los gases es muy baja comparada con la de los líquidos.

Por ello, la variación de presión en un gas contenido en un recipiente cerrado depende principalmente de dos factores (Potter et al., 2022):

- Volumen: a menor volumen, mayor colisión entre moléculas y mayor presión.
- Temperatura: a mayor temperatura, mayor velocidad molecular y choques, aumentando la presión.

La ecuación de estado de los gases ideales relaciona presión (P), volumen (V) y temperatura (T) como:

$$PV = nRT$$

Donde:

n: cantidad de gas (moles)

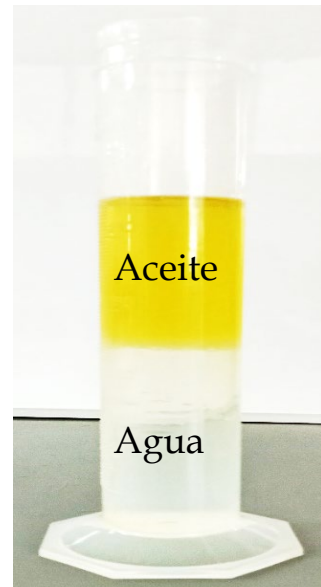
R: constante universal de los gases

Esto implica que en un gas, a diferencia de un líquido, la presión no depende de la altura sino del estado termodinámico.

2.2 Líquidos inmiscibles

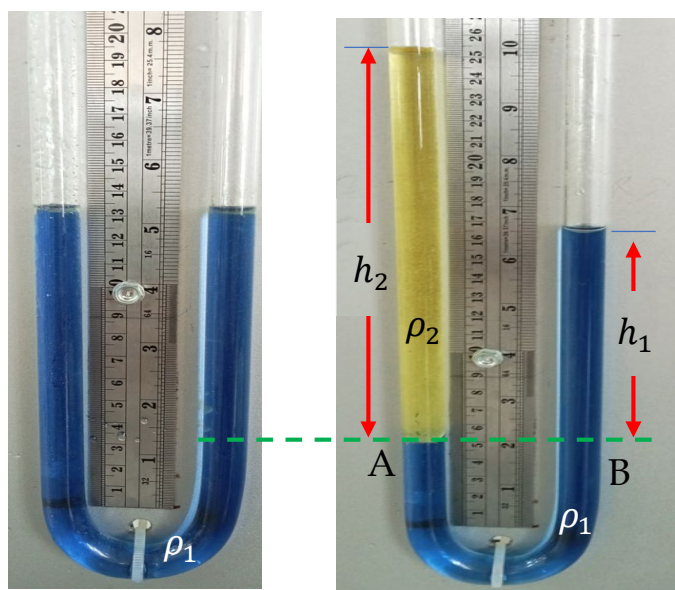
2.2.1. Características

Son líquidos que al entrar en contacto no se mezclan ni se disuelven entre sí, manteniendo una interfase bien definida entre ellos. Por ejemplo, el agua y el aceite son inmiscibles cuando se les coloca en contacto. Los líquidos inmiscibles se caracterizan por tener tensiones interfaciales significantes entre sus moléculas. (Santos de Souza et al., 2022).



2.2.2. Equilibrio en vasos comunicantes

Cuando se tienen vasos comunicantes que contienen dos líquidos inmiscibles diferentes, como el agua y el aceite, estos alcanzan distintos niveles en cada rama o vaso según se muestra en la figura.



$$P_A = P_B$$

$$P_{\text{atm}} + \rho_2 g h_1 = P_{\text{atm}} + \rho_1 g h_2$$

$$\rho_2 g h_1 = \rho_1 g h_2$$

$$\rho_2 h_1 = \rho_1 h_2$$

$$\rho_2 = \rho_1 \left(\frac{h_2}{h_1} \right)$$

Donde ρ_1 y ρ_2 son las densidades de los respectivos líquidos y h_1 y h_2 las alturas en cada rama o vaso comunicante. Esta relación se cumple debido a que la presión en la interfase de separación debe ser la misma, por lo que se igualan las presiones hidrostáticas de cada columna de líquido a la misma altura. (Kolev, 2019).

2.3 Fuerza hidrostática sobre superficies

Un fluido en equilibrio ejerce una fuerza perpendicular sobre cualquier superficie sólida con la que se encuentre en contacto, como la pared de un recipiente que lo contiene. Esta fuerza es proporcional a la presión del fluido y al área de la superficie según la ecuación:

$$F = PA$$

Donde:

F: Fuerza sobre la superficie
(N)

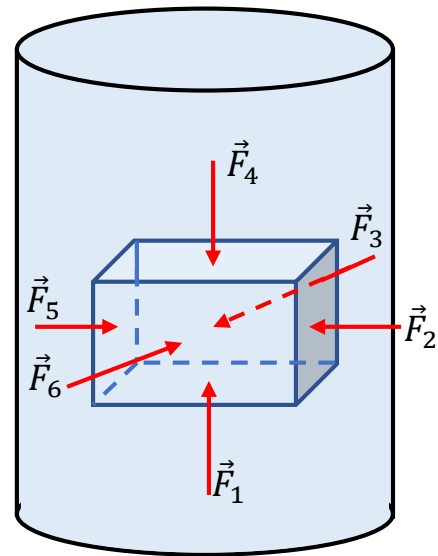
P: Presión del fluido (Pa)

A: Área de la superficie (m^2)

Por lo tanto, la resultante de

todas las fuerzas que un fluido ejerce sobre la pared de un recipiente que lo contiene es perpendicular a la superficie de contacto. La orientación de la pared determina la dirección de la fuerza resultante.

Esto se cumple tanto para fluidos en equilibrio como con movimiento, siempre y cuando la distribución de velocidades sea simétrica y no introduzca fuerzas tangenciales sobre la pared (Santos de Souza et al., 2022)

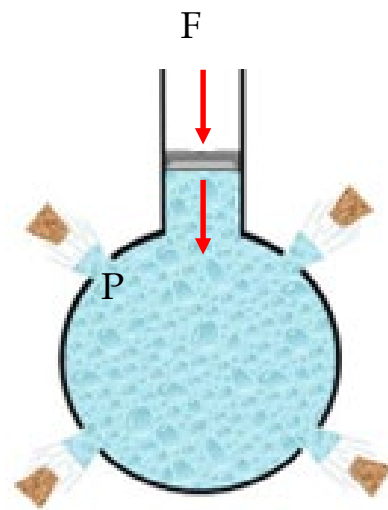


3. Principios de la hidrostática

3.1 Principio de Pascal

Este principio establece que la presión aplicada en cualquier punto de un fluido confinado en un recipiente cerrado e incompresible se transmite con igual intensidad a todos los puntos del fluido y a las paredes del recipiente que lo contienen (White, 2020).

El principio de Pascal puede comprobarse experimentalmente utilizando una esfera hueca de metal, con múltiples orificios taladrados, y provista de un émbolo o pistón pequeño, como se muestra en la siguiente figura (Munson et al., 2022).



Si esta esfera se llena completamente con un líquido cualquiera, como agua, y se empuja el émbolo para presurizar el fluido, según el principio de Pascal, la presión se transmitirá por igual a todos los puntos e impulsará el líquido a fluir con el mismo régimen por todos los orificios de salida.

Esto prueba que la misma presión aplicada con el émbolo es comunicada homogéneamente por todo el interior de la esfera debido al agua incompresible contenida en ella. Por lo tanto, verifica experimentalmente el principio de transmisibilidad de presiones de Pascal en sistemas hidráulicos cerrados.

3.1.1. Aplicaciones

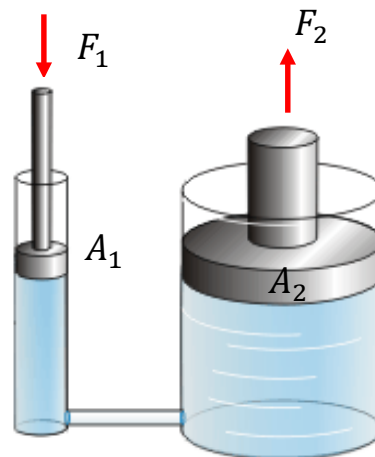
Prensa hidráulica

Es un sistema que aprovecha el principio de Pascal en fluidos para transmitir y multiplicar fuerzas mediante un líquido confinado entre dos pistones o émbolos de distinto diámetro. Consta de dos cilindros conectados entre sí y llenos de un líquido incompresible (Acevedo, 2020).

Al aplicar una fuerza F_1 sobre el pistón de área pequeña A_1 , se genera una presión que se transmite integralmente al segundo pistón de área A_2 , generando una fuerza amplificada dada por:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$F_2 = F_1 \left(\frac{A_2}{A_1} \right)$$

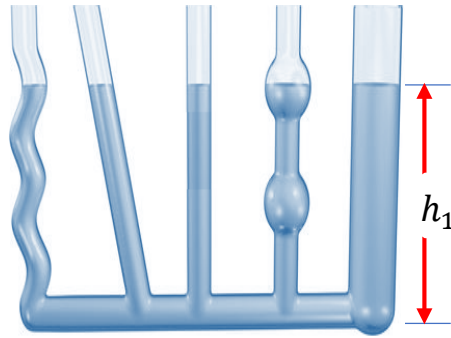


Un ejemplo de aplicación son los gatos hidráulicos para levantar vehículos y maquinaria pesada. Mediante un pistón pequeño accionado manualmente, se genera la fuerza necesaria amplificada hidráulicamente para activar el pistón de mayor área que realiza el trabajo de izaje.

Vasos comunicantes

Son dos o más recipientes interconectados entre sí en la parte superior, generalmente mediante una tubería, de modo que permite el libre flujo y equilibrio de líquidos entre ellos (Çengel & Cimbala, 2022); es decir cuando se llenan de un líquido, éste busca el mismo nivel en todos los recipientes, moviéndose entre ellos, debido a que todos los puntos a un mismo nivel deben tener la misma presión hidrostática.

Un ejemplo son dos probetas o tubos en U unidos en la parte superior mediante una manguera flexible. Si en uno de ellos se inyecta agua, ésta fluirá a la segunda probeta hasta igualar los niveles, demostrando que la presión hidrostática logra el equilibrio.

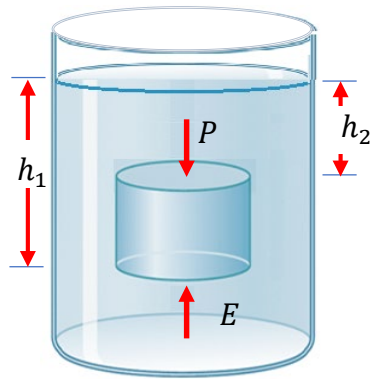


3.2 Principio de Arquímedes

Este principio establece que todo cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del volumen de fluido que desaloja (Potter et al., 2022).

3.2.1. Demostración

Consideremos un cuerpo rígido con forma cilíndrica que tiene una sección transversal de área A y altura h , tal como se muestra en la figura. Supongamos que este cuerpo cilíndrico se encuentra totalmente sumergido en posición vertical dentro de un líquido homogéneo que tiene una densidad ρ y al estar en equilibrio estable dentro del líquido, sobre el cuerpo actúan su peso hacia abajo y el empuje del líquido hacia arriba. Por la primera condición de equilibrio de fuerzas en la dirección vertical, se tiene:



$$E - P = 0$$

$$E = A\rho g(h_1 - h_2)$$

$$E = \rho gAh$$

$$E = \rho gV = \gamma V$$

Donde el volumen desalojado V es igual al área de la sección transversal A por la altura h del cilindro.

3.2.2. Aplicaciones

Este principio tiene varias aplicaciones en la vida cotidiana y en diversos campos. Algunas de las aplicaciones más destacadas son:

Flotación de objetos: Explica por qué algunos objetos flotan en el agua o en otros fluidos.

Diseño de barcos y submarinos: Ingenieros navales utilizan el principio de Arquímedes para diseñar barcos y submarinos.

Hidrostática: Es esencial en la medición de la densidad de un objeto o sustancia.

Instrumentos de medición de densidad: Existen instrumentos que miden la densidad de líquidos y sólidos. Un ejemplo es el densímetro, que se utiliza comúnmente en laboratorios para medir la densidad de líquidos.

Industria de la flotación de minerales: En la industria minera, el principio de Arquímedes se aplica para separar minerales valiosos de los desechos. Se introducen burbujas de aire en una mezcla de agua y partículas de mineral, y los minerales más ligeros flotan mientras que los más pesados se hunden.

Ingeniería de presas y embalses: Al diseñar presas y embalses, los ingenieros tienen en cuenta el principio de Arquímedes para garantizar la estabilidad y resistencia de las estructuras.

Pruebas no destructivas de materiales: Al medir el volumen de un objeto sumergido en un fluido, se puede determinar su densidad y, por lo tanto, obtener información sobre la composición y calidad de los materiales sin dañarlos.

4. Tensión superficial

4.1 Fuerzas intermoleculares en líquidos

Son las fuerzas intermoleculares de atracción y repulsión que existen entre las moléculas vecinas en la estructura líquida y determinan propiedades como la tensión superficial o la viscosidad (Mas et al., 2023).

Las principales fuerzas intermoleculares en líquidos son:

- Fuerzas dispersión: interacciones temporales entre moléculas polares y no polares. Responsables de la cohesión de no electrólitos como el benceno.
- Fuerzas dipolo-dipolo: atracción entre moléculas polares. Influyen en la solubilidad de sustancias.
- Puentes de hidrógeno: interacciones fuertemente atractivas cuando un átomo de hidrógeno se vincula con nitrógeno, oxígeno o flúor. Afectan la viscosidad y tensión superficial.

Ejemplo:

Las gotas esféricas que forma el agua se deben la cohesión de sus moléculas por puentes de hidrógeno. La adherencia del agua en superficies como el vidrio involucra interacción dipolo-dipolo.

4.2 Definición de tensión superficial

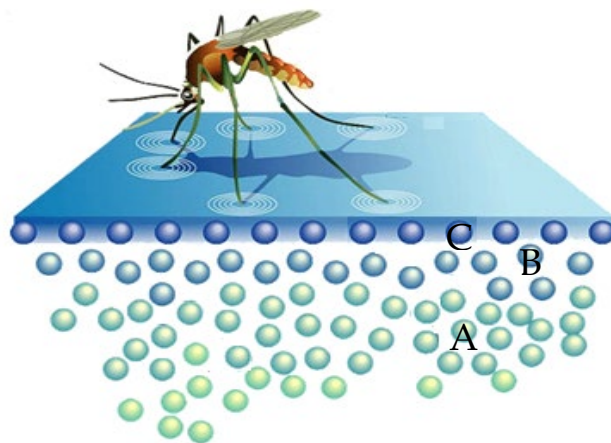
Es la fuerza de cohesión que actúa en la superficie de un líquido. Es producida por la atracción intermolecular no balanceada entre las moléculas de la superficie y las del seno del líquido (Kundu et al., 2020).

Esta fuerza posee un efecto tangencial a cualquier línea imaginaria que se trace sobre la superficie líquida, ya que tiende a minimizar el área expuesta. Matemáticamente se describe mediante el coeficiente de tensión superficial (σ), definido como el cociente entre la fuerza y la longitud de la línea sobre la cual actúa. Sus unidades en el Sistema Internacional son N/m.

Este fenómeno físico es el responsable de efectos como la forma esférica de pequeñas gotas, la formación de burbujas y el ascenso de líquidos en tubos capilares.

Ejemplo:

Las patas de algunos insectos aprovechan la tensión superficial del agua para desplazarse sobre ella.



A, el interior del líquido

B, en las proximidades de la superficie

C, en la superficie

En la figura se observa que si se analiza una molécula en el seno del líquido (A), la resultante de fuerzas es nula por simetría, pero para una molécula cercana a la superficie (B), la resultante apunta hacia adentro del líquido y finalmente, en la superficie (C), esta fuerza resultante es máxima.

4.3 Coeficiente de tensión superficial

4.3.1. Características

Es una magnitud física que cuantifica la tensión superficial existente en la superficie de un líquido. Se define como la razón entre la fuerza tangencial (F) ejercida en la superficie y la longitud (L) del elemento lineal sobre el que actúa dicha fuerza (Mas et al., 2023): $\sigma = \frac{F}{L}$

Sus unidades en el Sistema Internacional son N/m. Este parámetro depende de la temperatura y la composición química del líquido.

Ejemplo: El agua posee un coeficiente de tensión superficial de 0,073 N/m a 20°C. Esto significa que sobre cada metro de una línea imaginaria trazada en la superficie se ejerce una fuerza de 0,073 N producto de la cohesión molecular del agua.

4.3.2. Importancia

Industria de pinturas y recubrimientos: La tensión superficial es crucial para que las pinturas logren extenderse y cubrir homogéneamente las superficies. Permite formar recubrimientos delgados sin imperfecciones.

Detergentes y jabones de limpieza: Los agentes surfactantes modifican la tensión superficial del agua, facilitando la emulsificación de grasas y aceites para su remoción con enjuague. Reduce la adherencia de la suciedad.

Flotación de minerales: El proceso de separación de minerales por flotación aprovecha la distinta mojabilidad y tensión superficial entre los minerales y la solución acuosa que contiene los surfactantes, provocando la flotación diferencial.

Propulsión en insectos acuáticos: Algunos insectos como los escarabajos acuáticos tienen estructuras anatómicas especializadas en sus patas que usan la tensión superficial para impulsarse sobre el agua.

Ascensión de savia en plantas: La tensión superficial del agua permite el ascenso capilar de cientos de litros de savia bruta por día a través de los delicados poros y tubos del xilema en las plantas.

4.4 Aplicaciones

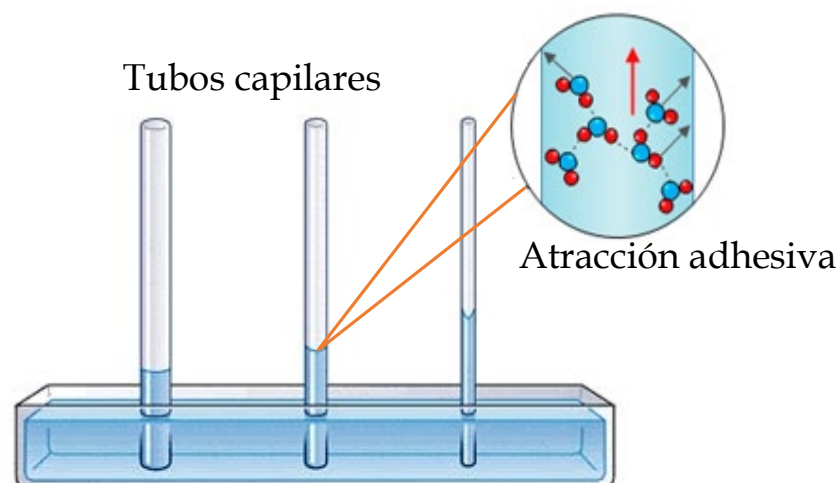
4.4.1. Ascensión capilar

Es el fenómeno por el cual un líquido asciende espontáneamente a través de un tubo estrecho en contra de la gravedad, debido a la tensión superficial entre las paredes del tubo y el líquido (Ma et al., 2022).

En tubos de diámetro menor a 1 mm aproximadamente, la atracción adhesiva de las moléculas del líquido a las paredes del tubo provoca una curvatura y gradiente de presión en la superficie, impulsando el ascenso. La altura alcanzada depende del balance con la presión hidrostática del líquido.

Ejemplo:

La capacidad de transporte capilar del agua en plantas se debe al ascenso de la savia bruta desde las raíces hasta las hojas a través de pequeños poros y tubos en el xilema, facilitado por la tensión superficial.



4.4.2. Formación de burbujas

Consiste en la generación de una delgada película de agua y tensoactivos que atrapa aire o gas, formando una esfera hueca y efímera. La solución de jabón reduce la tensión superficial del agua, permitiendo la inflación de la burbuja hasta que se rompe (Fazli et al., 2022).

¿Qué se necesita para hacer burbujas de jabón?

Para fabricar burbujas o pompas de jabón se requiere de una solución jabonosa, algún objeto con un aro o marco, y un sistema para insuflar aire (Das et al., 2015). La solución se prepara disolviendo jabón o detergente en agua hasta obtener la viscosidad y tensión superficial adecuadas.

Al sumergir un aro o varilla dentro de la solución jabonosa y luego retirarlo lentamente, se arrastra una lamina de líquido que inicialmente es plana. Eventualmente esta lamina se hace mas delgada, siendo atraída hacia el aro y cerrándose por la tensión superficial para conformar una esfera hueca.

Ejemplo:

Las pompas o burbujas de jabón que los niños producen son esferas de agua jabonosa llenas de aire, las cuales exhiben atractivos patrones de color por interferencia y reflexión de la luz



¿Por qué se revientan las burbujas?

Las burbujas estallan o se revientan porque su delgada película de agua jabonosa se vuelve muy fina en la parte superior, hasta que la presión interna del gas contenido sobrepasa la fuerza tensión superficial, rompiéndola (Fazli et al., 2022).

La gravedad ejerce una fuerza sobre el líquido de la burbuja obligándolo a fluir hacia la parte inferior, adelgazando el domo superior. Simultáneamente, el gas caliente inyectado en la burbuja ejerce una creciente presión interna. Cuando la fuerza de tensión superficial se vence, ocurre una ruptura repentina de la película.

Ejemplo:

Las pompas de jabón estallan poco después de haberse formado. Entre más grande y delgada está la burbuja, mayor probabilidad de ruptura por la tensión gravitatoria del líquido y la presión interna.

5. Propiedades de Sólidos y Líquidos

La tabla 4 ofrece una visión detallada de las propiedades distintivas de sólidos y líquidos. Estas propiedades son fundamentales en la caracterización de materiales y desempeñan un papel crucial en disciplinas como la física, la química y la ingeniería, proporcionando una comprensión esencial para la manipulación y aplicación efectiva de diversos

Tabla 3. Propiedades de los sólidos y los líquidos

Propiedades	Sólidos	Líquidos
Elasticidad	Capacidad de deformarse y recuperar la forma.	-
Fragilidad	Propensión a fracturarse o romperse.	-
Dureza	Resistencia a la deformación o rayado.	-
Inercia	Resistencia al cambio en su estado de reposo o movimiento.	-
Tenacidad	Capacidad de absorber energía sin romperse.	-
Maleabilidad	Capacidad de deformarse sin romperse.	-
Ductilidad	Capacidad de estirarse sin romperse.	-
Viscosidad	Resistencia al flujo.	Capacidad de fluir fácilmente.
Fluidez	Facilidad para adaptarse y fluir.	-

Presión de Vapor	Presión ejercida por las moléculas en fase gaseosa en equilibrio con la fase líquida.	-
Cohesión	Atracción entre las moléculas del mismo tipo.	Atracción entre moléculas del mismo líquido.
Adhesión	Atracción entre moléculas de diferentes tipos.	-
Tensión Superficial	Capacidad de la superficie para resistir fuerzas externas.	-
Capilaridad	Ascenso o descenso de un líquido en un tubo capilar.	-

6. Diferencias Básicas entre Sólidos, Líquidos y Gases

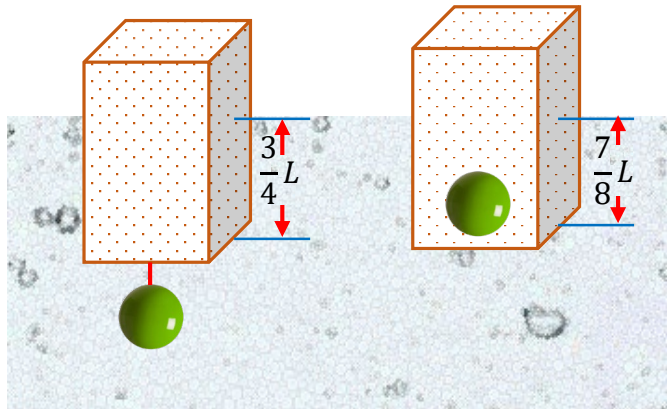
La tabla 4 presenta de manera concisa las diferencias clave entre sólidos, líquidos y gases. Desde la estructura rígida de los sólidos hasta la fluidez variable de los líquidos y la alta expansibilidad de los gases, se proporciona una visión clara de las características distintivas de cada estado de la materia. La descripción adicional destaca la manera en que los sólidos transmiten fuerzas en una dirección, mientras que líquidos y gases distribuyen presiones en todas las direcciones.

Tabla 4.. Diferencias básicas entre sólidos, líquidos y gases

Propiedades	Sólidos	Líquidos	Gases
Compresibilidad	No	No	Sí
Volumen	Constante	Constante	Variable
Forma	Constante	Variable	Variable
Grados de Libertad	Vibración	Vibración, rotación y traslación restringidos	Vibración, rotación y traslación
Expansibilidad	No	No	Sí
Fuerzas entre Partículas	Muy fuertes	Fuertes	Muy débiles
Disposición de Partículas	Ordenadas en posiciones fijas y cercanas	Bastante desordenadas y cercanas	Totalmente desordenadas y alejadas

Problemas resueltos

1. Se tiene una caja cúbica de arista "L" y un cuerpo esférico flotando en agua, según se muestra en la figura. Hallar la relación entre los volúmenes de la caja y del cuerpo esférico.



<https://youtu.be/70kInLE4fRs?si=yuAG0A0cGrn1tFIJ>

Solución

Identificación de datos y sus unidades de medida:

L: Longitud de la arista de la caja

V_C : Volumen de la caja = AL

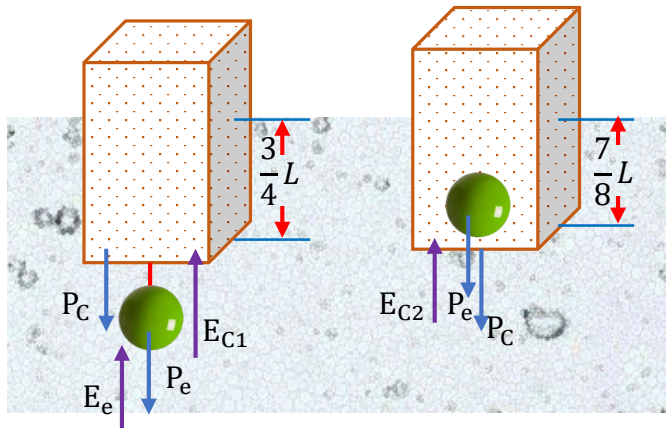
V_e : Volumen del cuerpo esférico

ρ_{H_2O} : Densidad del agua

g: Aceleración debido a la gravedad

Representación gráfica del fenómeno:

Se tiene una caja cúbica con un cuerpo esférico flotando en agua, tal como se muestra en el D.C.L a continuación



Identificación de la ecuación física adecuada:

La relación entre los volúmenes de la caja y del cuerpo esférico se establecen utilizando el principio de Arquímedes, que dice que un cuerpo sumergido en un fluido experimenta una fuerza hacia arriba igual al peso del fluido desplazado y por la segunda ley de Newton:

$$\Sigma F = 0$$

Gráfica de la izquierda

$$P_C + P_e = E_{C1} + E_e \dots \dots (1)$$

Gráfica de la derecha

$$P_C + P_e = E_{C2} \dots \dots (2)$$

Realización de los cálculos sustituyendo los datos proporcionados:

Igualando las ecuaciones (1) y (2) para la fuerza hacia arriba:

$$E_{C1} + E_e = E_{C2}$$

$$\rho_{H20} g V_{s1} + \rho_{H20} g V_e = \rho_{H20} g V_{s2}$$

$$V_{s1} + V_e = V_{s2}$$

$$\frac{3}{4} V_C + V_e = \frac{7}{8} V_C$$

$$V_e = \frac{7}{8}V_c - \frac{6}{8}V_c$$

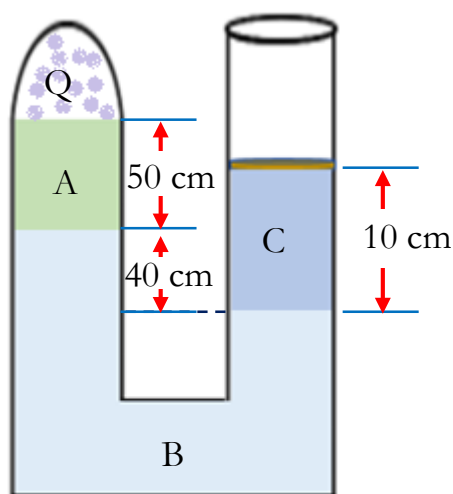
$$V_e = \frac{1}{8}V_c$$

$$\frac{V_c}{V_e} = 8$$

Análisis de los resultados obtenidos:

La relación entre los volúmenes de la caja y del cuerpo esférico es: 8, el cual muestra que el volumen de la caja es 8 veces el volumen de la esfera.

2. El émbolo que cierra la rama derecha pesa 80 N y tiene un área de $0,04 \text{ m}^2$. Si las densidades de los líquidos no miscibles A, B y C son $2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ y $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, respectivamente, calcular la presión del gas Q cuando el émbolo se encuentra en equilibrio en la posición mostrada. Considerar la presión atmosférica 10^5 Pa .



<https://youtu.be/l88LYwb8wRs?si=e5OvrS42A5P0r7ZJ>

Solución

Identificación de datos y sus unidades de medida:

P_Q : Presión del gas Q

A: Área del émbolo

F: Fuerza ejercida por el émbolo

g: Aceleración debido a la gravedad

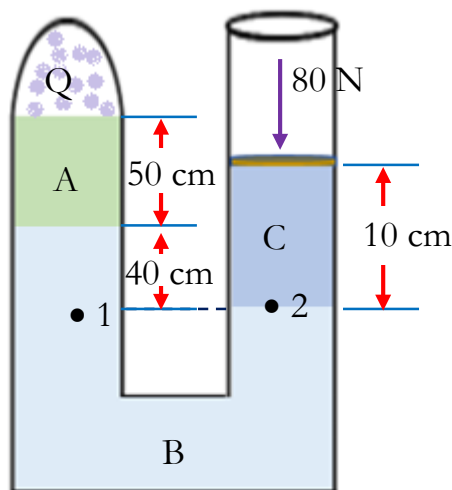
$2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$: Densidad del líquido A

$3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$: Densidad del líquido B

$1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$: Densidad del líquido C

Representación gráfica del fenómeno:

Se tiene un sistema de tres líquidos no miscibles A, B y C, en el cual se observa lo siguiente:



Identificación de la ecuación física adecuada:

En equilibrio, la presión en el mismo nivel dentro de un líquido es igual en todos los puntos.

$$P_1 = P_2$$

Realización de los cálculos sustituyendo los datos proporcionados:

Sustituyendo los datos en la ecuación

$$\rho_B g h_B + \rho_A g h_A + P_Q = \rho_c g h_C + \frac{P}{A} + P_{\text{atm}}$$

$$P_Q = \rho_c g h_C + \frac{mg}{A} + 10^3 - \rho_B g h_B - \rho_A g h_A$$

$$P_Q = (1 \times 10^3)10(0.1) + \frac{80}{0,04} + 10^3 - (3 \times 10^3)10(0.4) - (2 \times 10^3)10(0.5)$$

$$P_Q = 10^3 + 20000 + 10^3 - (12 \times 10^3) - 10^4$$

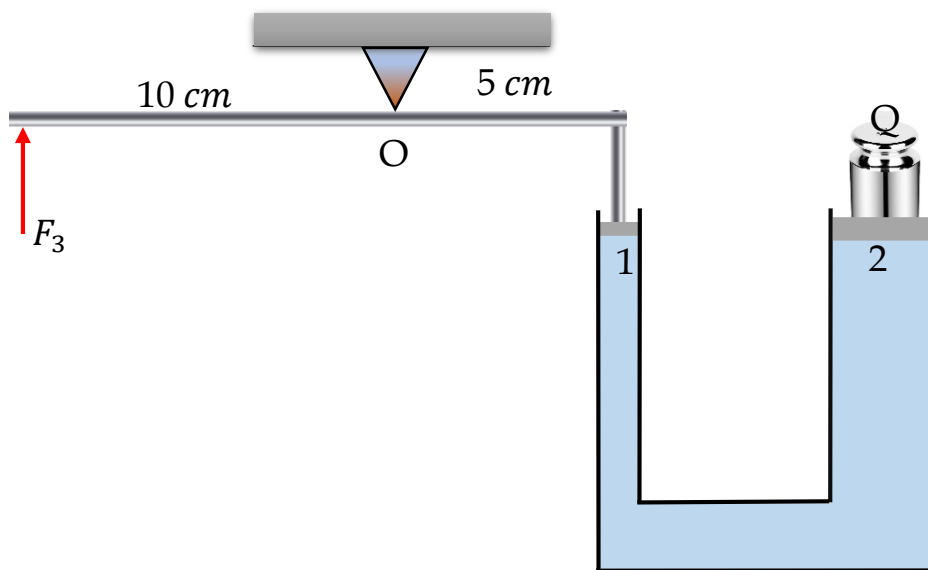
$$P_Q = 81000\text{Pa}$$

$$P_Q = 81\text{kPa}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

Se obtendrá la presión del gas Q 81kPa cuando el émbolo se encuentra en equilibrio en la posición mostrada.

3. En la figura mostrada se tiene una prensa hidráulica cuyos émbolos tienen un área A_1 y A_2 . Si el peso de los émbolos y de la palanca son despreciables, determinar la magnitud de la fuerza F_3 que se debe aplicar a la palanca para mantener el equilibrio del bloque Q de 2000 N. Se sabe que $A_2 = 10 A_1$



https://youtu.be/JJJ2e2EfIIg?si=5_l-hQBHirT5hES-

Solución

Identificación de datos con sus respectivas unidades de medida.

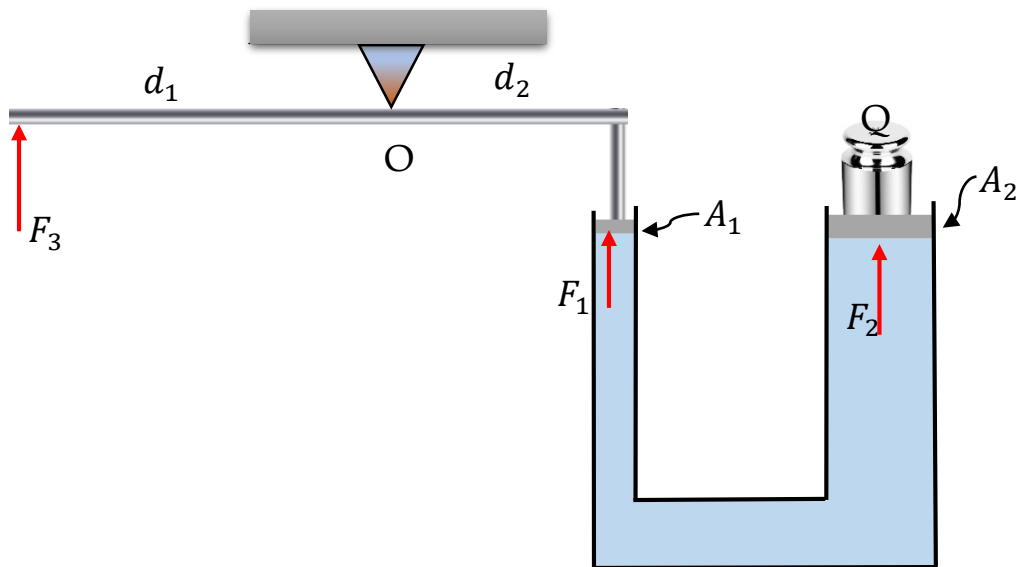
$$\text{Distancia}_1 = 10\text{cm}$$

$$\text{Distancia}_2 = 5\text{cm}$$

$$Q = 2000 \text{ N}$$

$$A_2 = 10 A_1$$

$$F_3 = ?$$

Finalidad y representación gráfica

Teniendo en cuenta las áreas A_1 y A_2 de los émbolos y utilizando los principios de la ley de Pascal, que establece que la presión aplicada en un fluido incompresible se transmite de manera uniforme en todas las direcciones.

Ecuaciones físicas a utilizar para determinar lo solicitado en el problema

Para encontrar la F_1 utilizaremos la fórmula básica de la ley de Pascal:

$$P_1 = P_2$$

Donde:

P_1 es la presión en el embolo 1(con área A_1)

P_2 es la presión en el embolo 2(con área A_2)

La presión se define como la fuerza dividida por el área:

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

Entonces podemos reescribir la ley de Pascal como:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \dots \dots \dots (1)$$

Para encontrar F_3 utilizaremos momento de una fuerza o torque

$$\sum M_0 = 0$$

$$F_3 \cdot d_1 = F_1 \cdot d_2 \dots \dots \dots (2)$$

Reemplazamos los datos en la ecuación

Ecuación (1)

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{2000 \text{ N}}{10 A_1}$$

$$F_1 = 200 \text{ N}$$

Ecuación (2)

$$F_3 \cdot d_1 = F_1 \cdot d_2$$

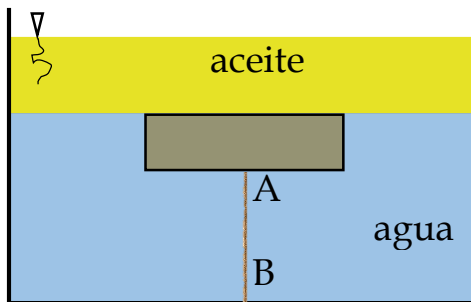
$$F_3(10) = (200)(5)$$

$$F_3 = 100 \text{ N}$$

Análisis de resultados

La magnitud de la fuerza F_3 que se debe aplicar a la palanca, para mantener el equilibrio del bloque Q es de 100 N

4. La figura muestra un bloque de volumen 5L y densidad 300 kg/m^3 sumergido totalmente en agua por acción de la cuerda AB. Determinar la tensión en la cuerda.



<https://youtu.be/zOHIBKpVmfY?si=Ua99kxJzWOA8QUVF>

Solución

Identificación de datos con sus respectivas unidades de medida

Volumen del bloque: 5L ($5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$)

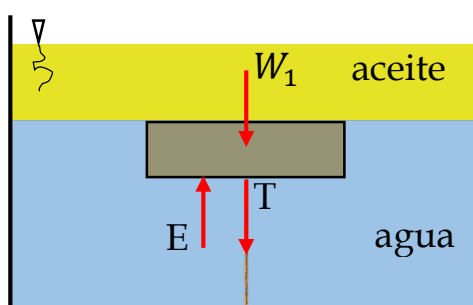
Densidad del bloque: 300 kg/m^3

Densidad del agua: 1000 kg/m^3

Tensión en la cuerda: AB

Finalidad y representación gráfica

Para poder determinar la tensión de la cuerda es necesario identificar las demás fuerzas que actúan sobre el bloque, como el empuje y su peso.



Ecuación física a utilizar para determinar lo solicitado en el problema

$$\sum F_y = 0$$

$$W + T = E$$

$$T = E - W$$

Reemplazamos los datos en las ecuaciones precedentes

$$T = E - W$$

$$T = \rho_{\text{agua}} \cdot g \cdot V - \rho_{\text{bloque}} \cdot g \cdot V$$

$$T = g \cdot V(\rho_{\text{agua}} - \rho_{\text{bloque}})$$

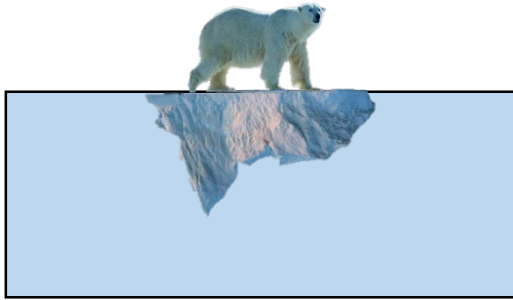
$$T = (10)(5 \times 10^{-3})(700)$$

$$T = 35 \text{ N}$$

Análisis de resultados

Según el problema resuelto, la tensión que experimenta la cuerda AB al tener sujeto el bloque sumergido en agua es de 35 N.

5. Un oso polar de masa 300 kg se encuentra parado sobre un bloque de hielo flotando en el agua. Determinar el mínimo volumen del bloque de hielo para que el oso no se hunda. La densidad del hielo es de 900 kg/m^3 .



<https://youtu.be/Ane88IRuXxo?si=lqdRRS6mzlRDJWMs>

Solución

Identificación de datos con sus respectivas unidades de medida

Densidad del bloque de hielo: 900 kg/m^3

Densidad del agua: 1000 kg/m^3

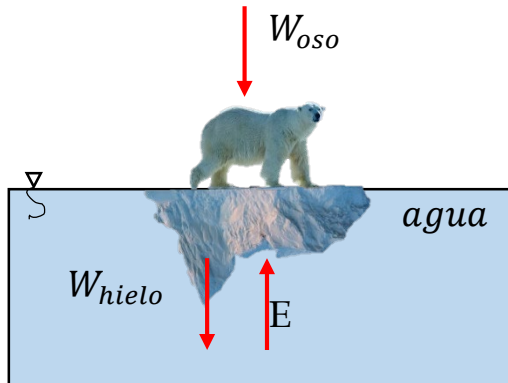
Peso del oso: 3000 N

Gravedad: 10 m/s^2

Volumen del bloque: 5 L ($5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$)

Finalidad y representación gráfica

En el caso del oso polar sobre el bloque de hielo, el bloque debe desplazar suficiente agua para igualar el peso del oso y el bloque juntos, asegurando así que la suma de sus pesos sea equilibrada por la fuerza de flotación.



Ecuación física a utilizar para determinar lo solicitado en el problema

Por la primera ley de Newton y el DCL en el bloque de hielo:

$$\sum F_y = 0$$

$$E = W_{oso} + W_{hielo}$$

$$E - W_{hielo} = W_{oso}$$

$$\rho_{agua} \cdot g \cdot V - \rho_{hielo} \cdot g \cdot V = W_{oso}$$

$$g \cdot V(\rho_{agua} - \rho_{hielo}) = W_{oso}$$

Reemplazamos los datos en las ecuaciones precedentes

$$g \cdot V(\rho_{agua} - \rho_{hielo}) = W_{oso}$$

$$(10)V(1000 - 900) = 3000$$

$$(10)V(100) = 3000$$

$$1000V = 3000$$

$$V = 3 \text{ m}^3$$

Análisis de resultados

El mínimo valor de volumen que necesita tener el bloque de hielo para no dejar que el oso se hunda es de 3m^3 .

6. El sumergible Titán, al momento de explotar, soportó una presión total de 400 atm. Si se considera que la presión atmosférica es de $P_{atm} = 10^5 \text{ Pa}$ y la densidad del agua de mar de $\rho_{mar} = 1025 \text{ kg/m}^3$, determinar la profundidad a la que se encontraba dicho sumergible.

<https://youtu.be/fwqwBB6yFO0?si=dwscpxGQY9TNFZ3e>

Solución

Identificación de sus datos con sus respectivas unidades de medida

Presión total = $P_{total} = 400 \text{ atm} = 400(10^5 \text{ Pa})$

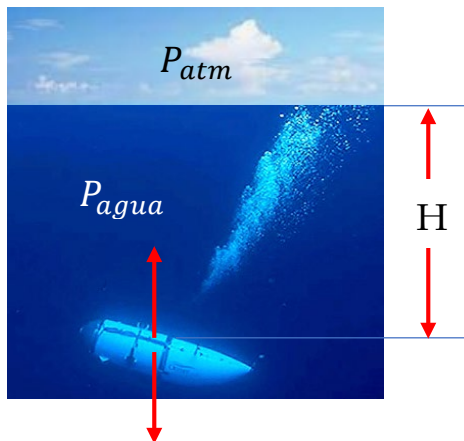
Presión atmosférica = $P_{atm} = 10^5 \text{ Pa}$

Densidad del mar = $\rho_{mar} = 1025 \text{ kg/m}^3$

Profundidad del sumergible = $H = ?$

Representación gráfica del fenómeno

Realizar el diagrama de cuerpo libre



Identificación de la ecuación física

Todo cuerpo al estar sumergido en un líquido experimenta una presión de acuerdo a la profundidad en la que se encuentra.

Para la gráfica mostrada anteriormente se cumple con la siguiente ecuación.

$$P_{total} = P_{atm} + P_{agua}$$

$$P_{total} = P_{atm} + \rho_{agua}gH$$

Determinación de las magnitudes físicas faltantes y sustitución de los datos proporcionados

$$400(10^5) = 10^5 + 1025(10)H$$

$$H = 3892.68 \text{ m}$$

Análisis de los resultados

La profundidad a la que explotó el sumergible Titán es a 3892,68 m, desde la superficie del mar hasta cierto punto y experimentó la presión atmosférica y la del agua mar.

7. ¿Cuál es la presión a 1 m y a 10 m de profundidad desde la superficie del mar? Suponga que $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$ como densidad del agua de mar y que la presión atmosférica en la superficie del mar es de $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$. Suponga además que, a este nivel de precisión, la densidad no varía con la profundidad.

https://youtu.be/7134IuSQPc4?si=DivDknY6O3oWjw_q

Solución

Identificación de datos y sus unidades de medida

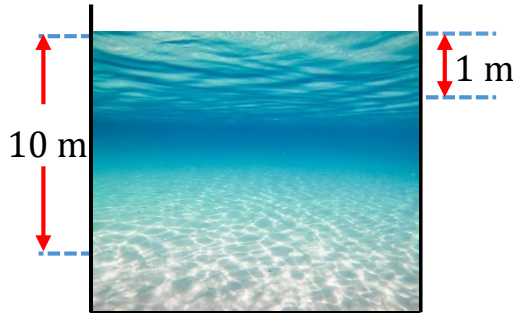
Densidad del agua de mar: 1030 Kg/m^3

Presión atmosférica: $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$

Hallar la presión a 1 metro y a 10 metros de profundidad

Finalidad y representación gráfica

Con la finalidad de determinar las presiones a 1 m y 10 m, se realiza la representación gráfica siguiente.



Describe, nombra e indica la(s) ecuación(es) física(s) a utilizar en la solución del problema

Para hallar las presiones a las profundidades indicadas, se utilizará la ecuación siguiente:

$$P_{nm} = P_{atm} + \rho gh$$

Remplaza y ordena de manera correcta los datos en la(s) ecuación(es) física(s)

La presión a 1 m de profundidad

$$P_{1m} = 1.01 \times 10^5 + 1.03 \times 10^3 (10)1$$

$$P_{1m} = 10.1 \times 10^4 + (1.03 \times 10^4)$$

$$P_{1m} = 11.13 \times 10^4$$

$$P_{1m} = 1.113 \times 10^5 \text{ Pa}$$

La presión a 10 m de profundidad

$$P_{10m} = 1.01 \times 10^5 + 1.03 \times 10^3 (10)10$$

$$P_B = 10.1 \times 10^4 + (10.3 \times 10^4)$$

$$P_B = 20.4 \times 10^4$$

$$P_{10\text{ m}} = 2.04 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Análisis de resultados obtenidos

La presión a 1 m de la superficie del mar es $1.113 \times 10^5 \text{ Pa}$, mientras que a 10 m la presión tiene un valor de $2.04 \times 10^5 \text{ Pa}$.

8. Queremos construir un globo aerostático capaz de hacer flotar en aire poco denso una masa de 250 kg. Si la densidad del aire es de 0.8 g/cm^3 , calcular el volumen que debe tener el globo aerostático.

<https://youtu.be/aFSgzTG5PDw?si=Kt2wR98zHDZMEQCT>

Solución

Identificación de datos y sus unidades de medida

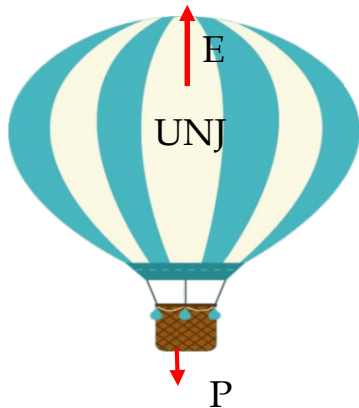
Masa = 250 Kg

Densidad = $0.8 \text{ g} = 800 \text{ kg/m}^3$

Volumen que debe tener el globo aerostático para que pueda hacer flotar una masa de 250 Kg en aire poco denso

Finalidad y representación gráfica

Para determinar el volumen que debe tener el globo aerostático, es necesario realizar el diagrama de cuerpo libre



Describe, nombra e indica la(s) ecuación(es) física(s) a utilizar en la solución del problema

Por la segunda Ley de Newton se tiene:

$$\Sigma F = 0$$

$$E = P$$

Remplaza y ordena de manera correcta los datos en la(s) ecuación(es) física(s)

$$E = P$$

$$\rho g V_c = mg$$

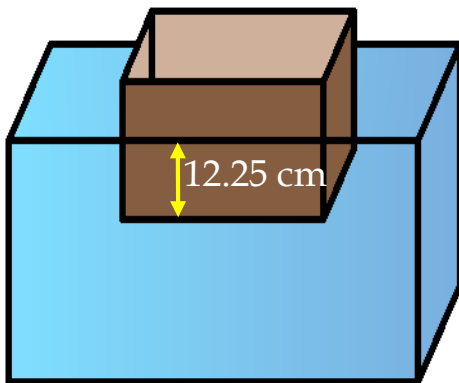
$$800 (10) V_c = 250(10)$$

$$V_c = 0.3125 \text{ m}^3$$

Análisis de resultados obtenidos

Volumen que debe tener el globo aerostático para que pueda hacer flotar una masa de 250 Kg en aire poco denso debe ser de 0.3125 m^3 .

9. Una caja de madera de base 0.22 m^2 , abierta por su parte superior flota en agua, según muestra la figura. La caja se hunde $\Delta h = 5.98 \text{ cm}$ más al colocar una masa desconocida “m” dentro de la caja. ¿Cuál es el peso de la caja y el valor de la masa “m”?



https://youtu.be/iV--x2Hs1ww?si=ugPsx-tD_LZWQR4E

Solución

Identificación de datos con sus respectivas unidades de medida

Área de la base de la caja de madera = 0.22 m^2

Profundidad inicial de la caja dentro del agua = 12.25 cm

Profundidad adicional que hunde la caja al colocar una masa m:

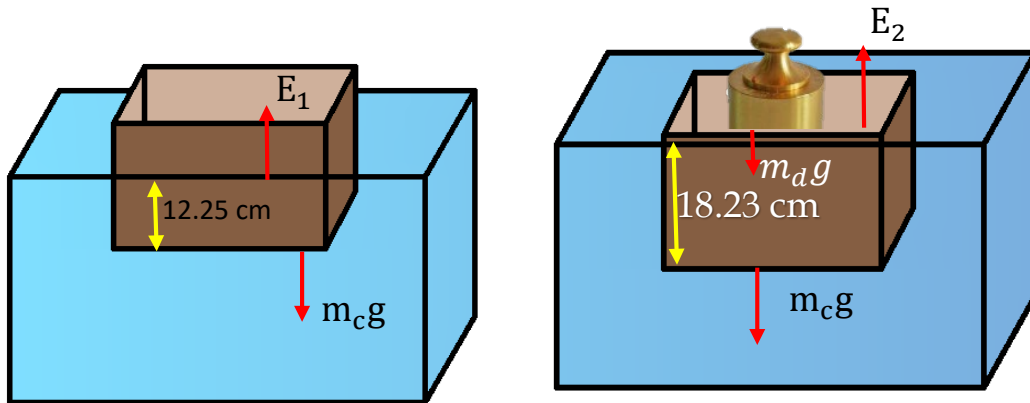
$$\Delta h = 5.98 \text{ cm}$$

Peso de la caja = ?

Masa desconocida m = ?

Finalidad y representación gráfica

Realizar el diagrama de cuerpo libre



Describe, nombra e indica la(s) ecuación(es) física(s) a utilizar en la solución del problema.

Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado:

Para la primera gráfica

$$P = E_1$$

$$P = \rho_{agua}(V_{s1})g \dots \dots \dots (1)$$

Para la segunda gráfica

$$P + m_d g = \rho_{agua}(V_{s2})g$$

$$P = \rho_{agua}(V_{s2})g - m_d g \dots \dots \dots (2)$$

Reemplaza y ordena de manera correcta los datos en la(s) ecuación(es) física(s)

Reemplazando los valores en la ecuación (1)

$$P = 1000(0.22 \times 12.25/100)10$$

$$P = 100(0.22 \times 12.25)$$

$$P = 269.5 \text{ N}$$

Igualando la ecuación 1 y 2

$$\rho_{agua}(V_{s1})g = \rho_{agua}(V_{s2})g - m_d g$$

$$\rho_{agua}(V_{s1}) = \rho_{agua}(V_{s2}) - m_d$$

$$m_d = \rho_{agua}[V_{s2} - V_{s1}]$$

$$m_d = 10(0.22)[18.23 - 12.25]$$

$$m_d = 10(5.98)0.22$$

$$m_d = 13.156 \text{ Kg}$$

Análisis de resultados obtenidos

El peso de la caja tendrá un valor de 269.5, mientras que su masa sería 13.156 Kg.

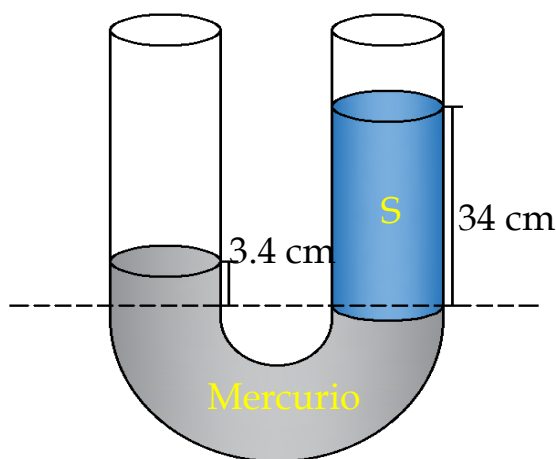
Ejercicios Propuestos

1. En el agua de mar, un flotador que está completamente sumergido sostiene a una persona de 75 kg, con el 20% de su volumen fuera del agua. Determinar la densidad media del flotador, sabiendo que su volumen es de 0.040 m^3

<https://youtu.be/xjn84DNfTGQ?si=QYv28YOAFWSL5Pbz>

Respuesta: 731.5 kg/m^3 .

2. En el tubo en U de la figura, se ha vertido por la rama de la izquierda con mercurio y por la de la derecha con un líquido (S) de densidad desconocida. Si los niveles de cada líquido son los que se indican en el esquema, halle la densidad del líquido desconocido.



https://youtu.be/oBx3wSpDT_U?si=HjJYPTUnz_D97WF7

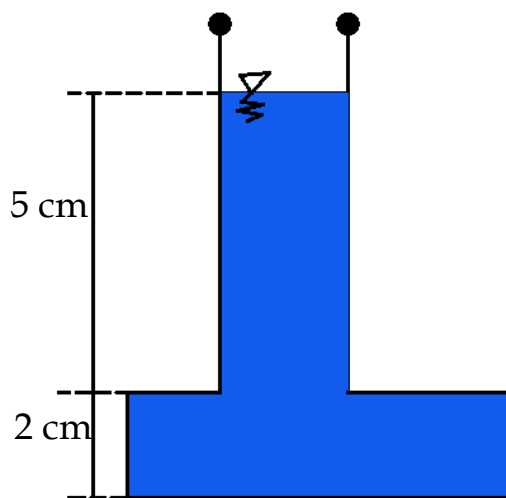
Respuesta: $1360 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

3. Se tiene un recipiente de forma cilíndrica lleno de agua hasta una altura de 2 metros. Encuentra la presión en el fondo del recipiente y la fuerza resultante sobre la base del recipiente, si el radio de la base es de 0.5 metros y la densidad del agua es 1000 kg/m^3 .

<https://youtu.be/BGH1HW5-JIE?si=QgpP-PHJkB5L003q>

Respuesta: 20000 Pa y 15700 N

4. La figura ilustra la vista frontal de un tintero con un fondo que tiene una sección transversal de 5 cm^2 y una boca de 2 cm^2 . Se solicita determinar la fuerza total de la presión hidrostática sobre el fondo del tintero, considerando una densidad de la tinta de 1200 kg/m^3



<https://youtu.be/-vyOkWiHfPs?si=X8EFWTplHqy8yAaG>

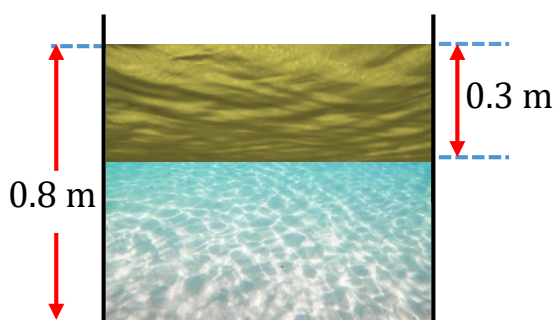
Respuesta: 420 N

5. Un estudiante del segundo ciclo de la Facultad de Ingeniería observó en el laboratorio de física el descenso de un cuerpo con una masa de 10 kg y una densidad de 1500 kg/m^3 en un depósito lleno de agua. El cuerpo entra verticalmente con una velocidad inicial de 20 m/s . Determinar: a) La aceleración del cuerpo en el agua. b) El tiempo que tarda en detenerse. c) La profundidad que desciende el cuerpo.

<https://youtu.be/Hux9uGouE8k?si=xeqaOCqIKluKieCI>

Respuesta: 3.3 m/s^2 ; 6.06 s ; 60.6 m

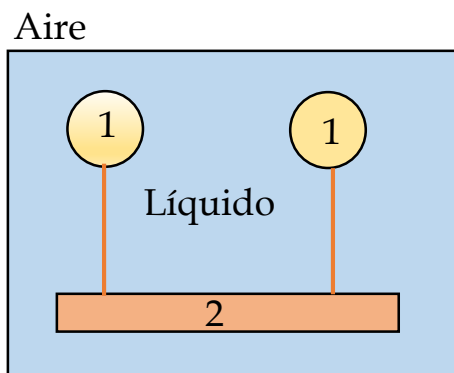
6. Un estudiante de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén realiza un experimento sobre el tema de hidrostática. SI En el experimento, se presenta un recipiente que contiene dos líquidos con densidades $\rho_1 = 750 \text{ kg/m}^3$ y $\rho_2 = 1200 \text{ kg/m}^3$, determinar la presión en el fondo del recipiente.



https://youtu.be/X8-b-QIYG4k?si=3PCnNj_42wjEqBQw

Respuesta: 8250 Pa

7. La figura representa un sistema en equilibrio formado por dos esferas y un bloque. Si cada cuerpo tiene un volumen de 5 litros, determinar la tensión en una cuerda que conecta la esfera con el bloque. Las densidades de los cuerpos son $\rho_2 = 4000 \text{ kg/m}^3$ y $\rho_1 = 1000 \text{ kg/m}^3$.



https://youtu.be/imxON4BTUzM?si=1aFO2rt20Y_H2UXY

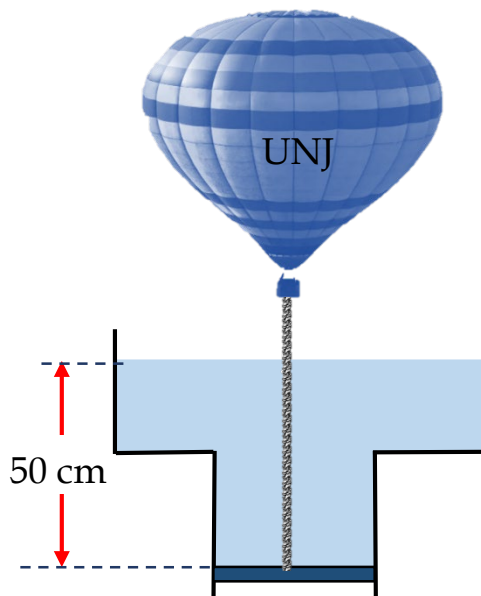
Respuesta: 50 N

8. La represa de Poechos en Piura tiene un muro de concreto armado de 48 m de altura, conteniendo agua a 5 m bajo del borde. Si a 30 m de profundidad se ubica el centro de las compuertas, que tienen dimensiones de 10 m de ancho por 12 m de altura y se desprecia la presión atmosférica, determinar la presión que ejerce el agua sobre dichas compuertas.

<https://youtu.be/kDTdN60z2-k?si=4Xpw6gTUyooS5edc>

Respuesta: $35.316 \times 10^6 \text{ Pa}$

9. Si el globo aerostático de la figura está lleno con hidrógeno ($\rho_H = 0,1 \text{ kg/m}^3$) y el peso del material utilizado es de 50 N. Si se considera que el émbolo tiene un área de 25 cm^2 y que su peso es despreciable, determinar el volumen del globo necesario para lograr un equilibrio en el sistema.



https://youtu.be/Gu-CadVv5GY?si=cj4xmtH_VypXwQAw

Respuesta: 20 m^3

10. En una parte del río Marañón con una profundidad de 20 m y una corriente de agua cuya velocidad es de 5 m/s , se deposita suavemente una piedra esférica de densidad 3.8 g/cm^3 . Determine: a) el tiempo que tarda la piedra en tocar el fondo del río, y b) la distancia horizontal que recorre.

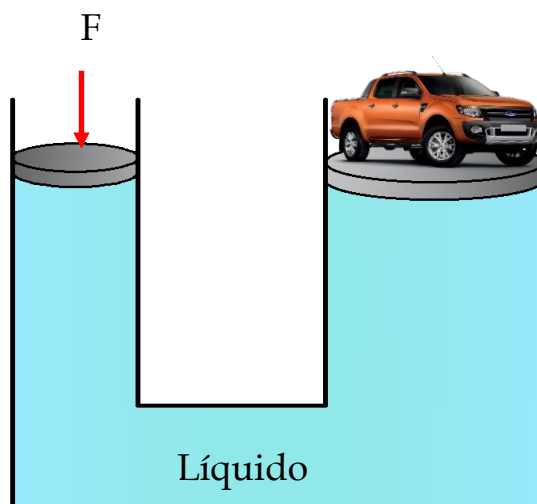
<https://youtu.be/XJBvOK635M0?si=UPRdvL7GXq3rbOqJ>

Respuesta: 2.33 s; 11.65 m

11. Una camioneta con un peso de 1850 N se eleva en una plataforma hidráulica de un taller de servicio, tal como se muestra en la figura. Si el diámetro del pistón del elevador es de 1,75 m y el peso de todo el elevador es de 850 N, determinar: a) la presión que debe ejercer el líquido hidráulico sobre el pistón para elevar la camioneta a velocidad constante, y b) la presión necesaria para elevar la camioneta con una aceleración de 0.5 m/s^2 .

<https://youtu.be/TmpVRNhkoKQ?si=OCW9upowBdrO8aB1>

Respuesta: 1122.53 Pa y 1178.66 Pa

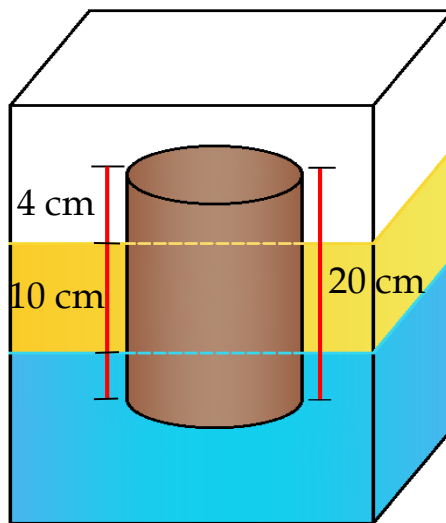


12. Un cuerpo cuelga del techo por medio de una cuerda. Si cuando está suspendido en el aire, la tensión de la cuerda es de 600 N, y cuando está sumergido totalmente en agua, la tensión en la cuerda que lo sostiene es de 200 N, determine el peso específico del cuerpo.

<https://youtu.be/05xeDA-yvCM?si=ITOOOfdoqgbh5In-f>

Respuesta: 1500 kg/m^3

13. Un cilindro macizo de madera, con una altura de 20 cm, flota con 4 cm sobresaliendo de una capa de aceite de 10 cm de espesor y densidad 800 kg/m^3 , la cual flota sobre agua, como se muestra en la figura. Determina el peso específico (γ) de la madera.



<https://youtu.be/wVzun72hsRc?si=oYlMXdtSi0YXDGKr>

Respuesta: $7000 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$

14. Determinar el volumen mínimo que debe tener un bloque de madera cuya densidad es de 600 kg/m^3 , para que su cara superior esté al nivel del agua cuando se coloca sobre él un cuerpo de 40 kg de masa.

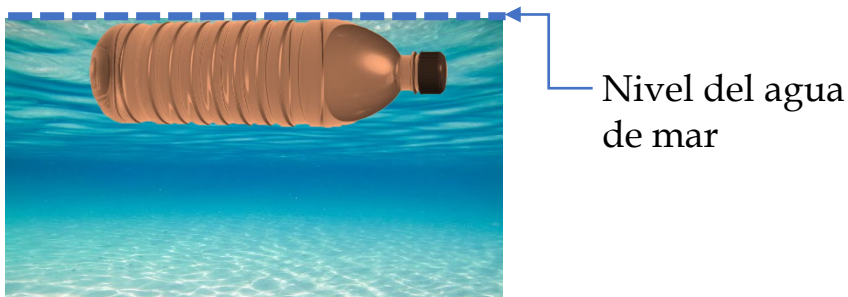
<https://youtu.be/pvpq4I93FiY?si=ltNxCu41VQbK5Nnj>

Respuesta: 0.1 m^3

15. Se desea hacer flotar en el mar una botella de 4 litros parcialmente llena de arena. Si despreciamos la masa de la botella vacía y consideramos la densidad del agua de mar = 1030 kg/m^3 , calcule qué masa de arena podemos introducir en la botella sin que se vaya al fondo.

<https://youtu.be/6cgHS175X5g?si=dNzLjEudfZswHxIO>

Respuesta: 4.12 kg



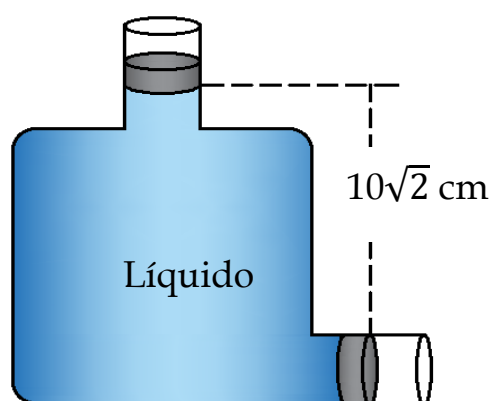
16. Un globo de goma tiene 8 gramos de masa cuando está vacío, para conseguir que se eleve, un estudiante del curso de física general ha decidido inflarlo con gas ciudad. Si la densidad del aire es de 1.29 kg/m^3 y la del gas ciudad es de 0.53 kg/m^3 , determinar el volumen mínimo al cual debe inflar el globo el estudiante, para que comience a elevarse.



https://youtu.be/nxiwflacVZk?si=hL22JpVuiUJlj_dd

Respuesta: $10.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

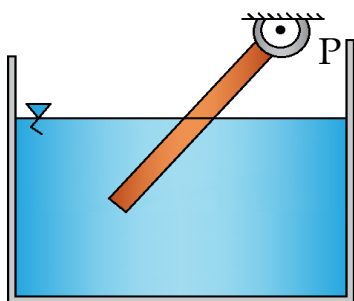
17. Un tapón de 2 cm^2 de área sostiene al líquido del recipiente, tal como se muestra en la figura. Si en el área del émbolo superior, cuyo peso es despreciable, es de 5 cm^2 y se coloca sobre el cuerpo de 50 kg de masa, determine la fuerza que se debe aplicar al tapón para que el líquido mantenga el equilibrio. ($\rho_{\text{líquido}} = 2 \text{ g/cm}^3$, desprecie todo tipo de rozamiento).



https://youtu.be/laWgEAob_dk?si=S3dl6dZHQRtUjHz4

Respuesta: 200.57 N

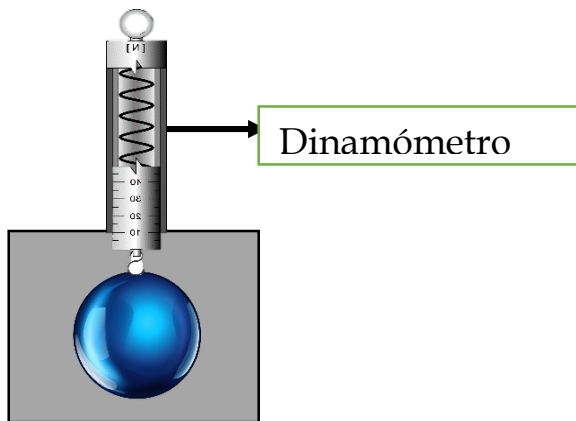
18. Se tiene una barra sostenida en el punto 'P', como se muestra en la figura. Si dicha barra de densidad ρ_A se hunde hasta la mitad de su longitud en el líquido de densidad ρ_B , determine la relación ρ_B/ρ_A .



<https://youtu.be/L3f8FpXd1OU?si=YGyTHoZ2TgxhHn2W>

Respuesta: $\rho_B/\rho_A = \frac{4}{3}$

19. Un cuerpo esférico cuyo volumen es de 0.08 dm^3 y que pesa en el aire 12 N , se introduce en mercurio. Si mediante un dinamómetro se mide el peso del cuerpo dentro del mercurio, tal como se muestra en la figura, determine lo que marcará el dinamómetro. (densidad del mercurio = $13\,600 \text{ kg/m}^3$).



<https://youtu.be/8UzINt8dIkk?si=wV4CrSbqpC9iBRg4>

Respuesta: 1.34 N

20. Una balsa de área A , con un espesor h y una masa de 400 kg , flota en aguas tranquilas con una inmersión inicial de 5 cm . Si cuando se coloca una carga sobre ella, la inmersión aumenta a 7.2 cm , determinar la masa de la carga colocada sobre la balsa.

<https://youtu.be/3vXhbJ2TIYc?si=t6duSyzIPBdKQn8g>

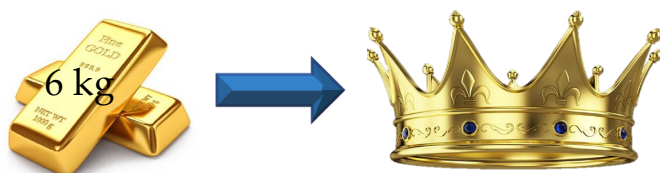
Respuesta: 176 kg

21. Un cubo de estaño con una arista de 10 cm y una densidad de 7.3 g/cm³ flota en mercurio. Si se agrega agua al depósito que tiene el mercurio, determinar el espesor mínimo que debe tener la capa de agua sobre el mercurio para cubrir completamente la cara superior del cubo.

<https://youtu.be/B9BgIwvgI9A?si=oFONvdf7qCCzaM3S>

Respuesta: 5 cm

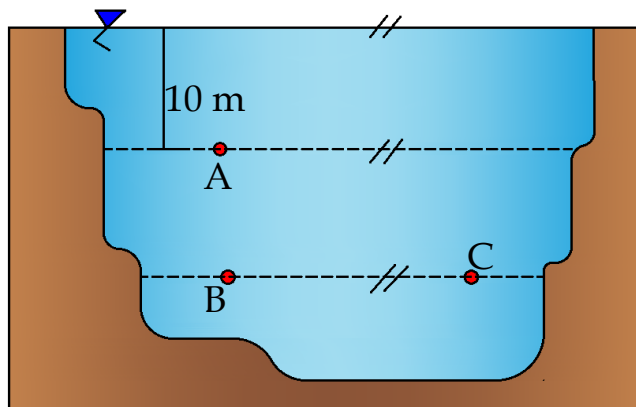
22. El Presidente de la hermandad de la Cruz de Yanahuanca le entregó 6 kg de oro a un joyero para la construcción de una corona, si bien esa fue la masa de la corona terminada, el presidente de la hermandad sospechó que el joyero lo había estafado sustituyendo oro por plata en el oculto interior de la corona. Le encomendó entonces a su hijo, que estudiaba ingeniería en la Universidad Nacional de Jaén, que dilucidara la hipótesis sin dañar la corona. Para dar respuesta a su padre, el hijo sumergió la corona en un líquido y observó que el volumen del líquido desplazado era de 450 cm³. ¿Cuál debería ser el volumen del líquido desplazado por la corona hecha de 6 kg de oro? y ¿qué cantidad de oro sustituyó el joyero por plata? ($\rho_{\text{Au}} = (19321) \text{ kg/m}^3$ y $\rho_{\text{Ag}} = (10492) \text{ kg/m}^3$).



https://youtu.be/Hw_iU5WtTrE?si=J-DFELV_hgVyJ1TM

Respuesta: 310.543 m³; 3.202 kg

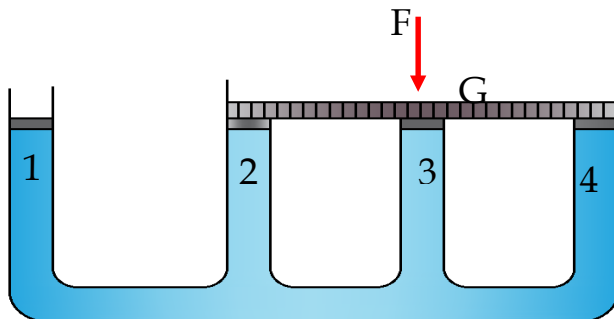
23. Si la diferencia de presiones entre A y B es de 3 atmósferas, encuentre la presión total a la cual está sometido el punto C y la profundidad a la que se encuentra en la fosa con agua.



https://youtu.be/imxON4BTUzM?si=1aFO2rt20Y_H2UXY

Respuesta: 5×10^5 Pa, 40 m

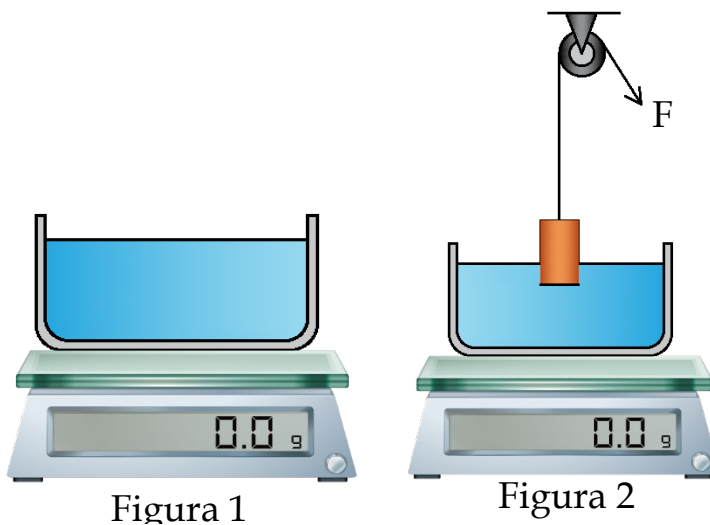
24. Para mantener el equilibrio del émbolo G, que tiene una masa insignificante, cuando se aplique una fuerza de 1000 N sobre el émbolo 1, y considerando que las áreas 1, 2, 3 y 4 son 10 m^2 , 10 m^2 , 20 m^2 y 30 m^2 respectivamente, determinar la fuerza (F) total necesaria que se debe aplicar en el émbolo G.



https://youtu.be/_bVCyYwLGQI?si=gZIyeTAHKzaTvACZ

Respuesta: 6000 N

25. Se coloca un depósito con agua sobre una balanza, la cual registra una masa de 2.5 kg. Luego, se sumerge un bloque de madera, cuya densidad es de 700 kg/m^3 , sujetándolo con una cuerda hasta que la mitad del bloque esté sumergida. Sabiendo que el empuje que actúa sobre la madera es de 5 N, determine la lectura de la balanza cuando el bloque está sumergido hasta esa profundidad.



https://youtu.be/fXozfY_c8eU?si=Fpiyyw9AOXRSAaf0

Respuesta: 2.7 kg

26. Una pelota de básquet de $0,08 \text{ m}^3$ de volumen y 6 kg de masa se ha sumergido completamente en agua con ayuda de una fuerza vertical hacia abajo F . Se desea averiguar el mínimo valor de la fuerza F necesaria para mantener la pelota completamente sumergida.

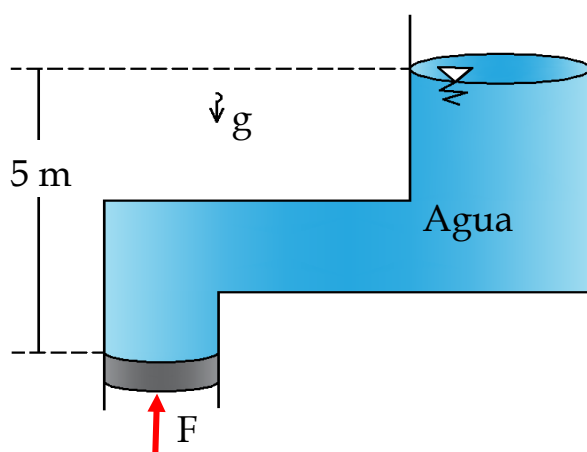
<https://youtu.be/eBK1Sqt90io?si=5s7XQ6L0gqD5JZRF>

Respuesta: 740 N

27. En la figura se muestra un sistema que en la parte inferior tiene un émbolo de área $A = 0.4 \text{ m}^2$ y de peso despreciable. Si se desprecia todo tipo de rozamiento, determine la magnitud de la fuerza F que se debe aplicar en el émbolo para mantener el agua que se contiene en el en equilibrio.

https://youtu.be/9JTHgx09qTE?si=oYjS_tstkK1ucjLf

Respuesta: 20 kN



Capítulo 2

Hidrodinámica



1. Hidrodinámica

1.1. Definición

Es la rama de la mecánica de fluidos que estudia el movimiento de fluidos y las fuerzas que actúan sobre ellos (Guzmán et al. 2022). Analiza conceptos como presión, densidad, temperatura y velocidad de los fluidos y etimológicamente el nombre está integrado por los vocablos “HIDRO” agua o líquido y “dinámica” que significa movimiento.

1.2. Aplicaciones

La hidrodinámica tiene diversas aplicaciones prácticas. Por ejemplo, es utilizada para el diseño de sistemas de conducción y control de fluidos como tuberías, canales artificiales, presas, compuertas e infraestructura hidráulica (Castro 2023).

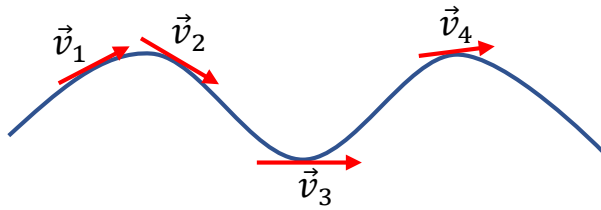
También es esencial en el campo de la aeronáutica para la determinación de las formas optimizadas de aviones, alas y fuselaje para maximizar sustentación y minimizar arrastre (Cox 2024).

En meteorología y oceanografía, conceptos hidrodinámicos ayudan a predecir y modelar fenómenos naturales en las masas de aire y de agua como tormentas, vientos y corrientes marinas. Asimismo, esta rama aplica al estudio del sistema cardiovascular humano y el movimiento de la sangre por sus vasos (Rodríguez y López 2021).

2. Conceptos básicos

2.1. Líneas de corriente

También conocidas como líneas de flujo o trayectorias, son líneas imaginarias que representan la trayectoria de las partículas de un fluido en un instante determinado (Rovira et al., 2021). Matemáticamente, las líneas de corriente son tangentes en cualquier punto al vector velocidad del fluido. Es decir, su dirección coincide con la dirección de la velocidad. Las líneas de corriente permiten visualizar el patrón de flujo y el comportamiento de masas de fluidos en movimiento.



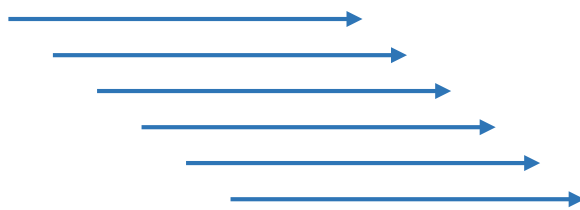
2.2. Tubos de flujo

Los tubos de corriente o de flujo consisten en un conjunto o familia de líneas de corriente que al unirse conforman canales tubulares imaginarios por donde fluye el fluido (Sánchez, 2023). Las paredes de estos tubos están formadas por las mismas líneas de corriente, por lo que el fluido no puede atravesarlas lateralmente y permanece en su interior. El análisis mediante tubos de corriente facilita la resolución de problemas hidrodinámicos al emplear un volumen de control sobre el cual se aplican los principios de conservación.

2.3. Tipos de flujo

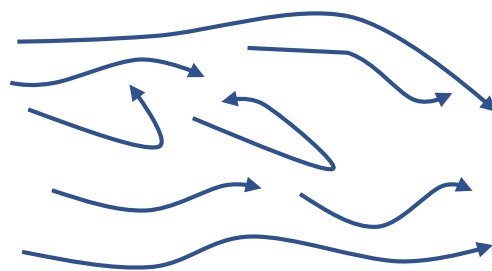
2.3.1. Laminar

Consiste en un movimiento suave del fluido en láminas o capas que se desplazan de forma ordenada una sobre otra sin que exista transferencia de masa entre las capas (White, 2022). Al no mezclarse, este tipo de flujo minimiza los efectos disipativos generados por colisiones y turbulencias. Un ejemplo es el movimiento del agua muy lenta en un estanque sin perturbaciones.



2.3.2. Turbulento

El movimiento del fluido se torna caótico y aleatorio, con cambios irregulares de presión y velocidad tanto temporales como espaciales (Anderson, 2021). Presenta remolinos y desprendimientos de vórtices debido a las fuerzas inerciales entre partículas. Un caso práctico es el flujo alrededor de obstáculos.



2.3.3. Permanente

Se denomina flujo permanente o estacionario a aquel régimen en el cual las propiedades como densidad, temperatura y velocidad se mantienen constantes en posiciones fijas del espacio con el paso del tiempo (Ahmed, 2023). No existe variación temporal en ningún punto fijo del campo de flujo.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0; \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \text{ y } \frac{\partial v}{\partial t} = 0$$

2.3.4. Uniforme

Cuando la velocidad del fluido presenta un mismo valor numérico en todos los puntos de la sección transversal de un conducto o canal abierto, se dice que hay un flujo uniforme (White, 2022). La dirección principal puede variar pero la magnitud es constante a lo largo de líneas de corriente paralelas.

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0$$

2.3.5. Incompresible

No presentan cambios importantes de densidad entre sus partículas fluidas mientras se estudian posiciones dentro del campo de flujo (Ahmed, 2023). Aunque la densidad no es estrictamente constante, sus variaciones

son lo suficientemente pequeñas para considerarse despreciables en los cálculos.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$



3. Principios fundamentales

3.1. Ecuación de continuidad

Establece que la masa o el volumen de un fluido que entra a un sistema cerrado es igual a la masa o el volumen que sale (Rovira et al. 2022). Es una formulación matemática del principio de conservación de masa aplicado específicamente a fluidos, el cual relaciona el área de la sección transversal, la densidad, la velocidad del flujo y el caudal volumétrico, además, sirve para vincular estos parámetros entre una sección inicial y otra final de un conducto por donde se mueve el fluido de forma estable, tal como se muestra a continuación.



Para un volumen de control de flujo estacionario, la masa que entra es igual a la masa que sale, es decir:

$$\Delta m_1 = \Delta m_2$$

$$\rho_1 \Delta V_1 = \rho_2 \Delta V_2$$

Teniendo en cuenta que el líquido que ingresa es el mismo que sale, las densidades son iguales y se cumple que:

$$\Delta V_1 = \Delta V_2$$

Teniendo en cuenta que el tubo es cilíndrico, se tiene:

$$A \Delta x_1 = A \Delta x_2$$

De la misma forma se tiene que: $\Delta x_1 = v_1 t$ y $\Delta x_2 = v_2 t$

Reemplazando y eliminando el tiempo se obtiene la ecuación de continuidad:

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Donde Q es el caudal volumétrico.

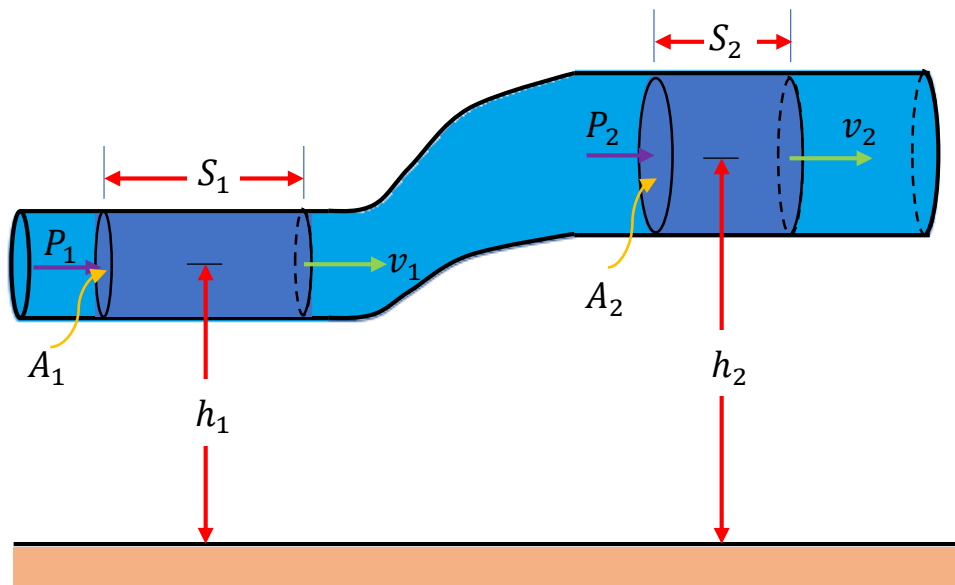
Esta ecuación demuestra la conservación de la masa o el volumen de un fluido a medida que fluye a través de un sistema cerrado, manteniendo la relación entre las áreas de las secciones transversales y las velocidades del flujo.

3.2. Ecuación de Bernoulli

Expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad) la suma de las energías cinética (asociada a la velocidad), potencial (debida a la altura) y de presión se conserva a lo largo de una línea de corriente cuando el flujo es estacionario (Sánchez 2024). Esto significa que los incrementos de la velocidad o altura del fluido producen

disminuciones equivalentes en la presión. Permite determinar la distribución de presiones en tuberías con base en la velocidad del flujo, tal como muestra a continuación:

Consideremos un volumen de control a lo largo de un flujo de fluido, donde se mantiene la conservación de la energía.



La energía total de un fluido en movimiento en un sistema cerrado se compone de tres partes: la presión del fluido, su energía cinética y su energía potencial gravitatoria. Estas energías pueden convertirse entre sí a medida que el fluido fluye a lo largo del flujo. Al ingreso y a la salida del fluido, la energía total del fluido se expresa como:

Al ingreso:

$$E_1 = W_{F1} + E_{c1} + E_{P1}$$

A la salida:

$$E_2 = W_{F2} + E_{c2} + E_{P2}$$

Dado que la energía se conserva a lo largo del flujo (sin pérdidas debido a la fricción o el calor), podemos igualar E_1 y E_2

$$W_{F1} + E_{c1} + E_{P1} = W_{F2} + E_{c2} + E_{P2}$$

$$F_1 \Delta x_1 + \frac{1}{2} \Delta m_1 v_1^2 + \Delta m_1 g h_1 = F_2 \Delta x_2 + \frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 + \Delta m_2 g h_2$$

Dividiendo la ecuación entre ΔV , teniendo en cuenta que la cantidad de fluido que ingresa es el mismo:

$$\frac{F_1 \Delta x_1}{\Delta V} + \frac{1}{2} \frac{\Delta m v_1^2}{\Delta V} + \frac{\Delta m g h_1}{\Delta V} = \frac{F_2 \Delta x_2}{\Delta V} + \frac{1}{2} \frac{\Delta m v_2^2}{\Delta V} + \frac{\Delta m g h_2}{\Delta V}$$

Adamas sabiendo que $\Delta V = \Delta x A$:

$$\frac{F_1 \Delta x_1}{\Delta x_1 A_1} + \frac{1}{2} \frac{\Delta m v_1^2}{\Delta V} + \frac{\Delta m g h_1}{\Delta V} = \frac{F_2 \Delta x_2}{\Delta x_2 A_2} + \frac{1}{2} \frac{\Delta m v_2^2}{\Delta V} + \frac{\Delta m g h_2}{\Delta V}$$

Eliminando Δx y sabiendo que $\rho = \frac{\Delta m}{\Delta v}$:

$$\frac{F_1}{A_1} + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = \frac{F_2}{A_2} + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Finalmente, se tiene que $P = \frac{F}{A}$:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

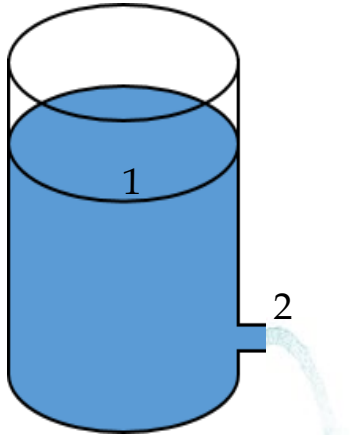
Esta es la ecuación de Bernoulli, que describe la conservación de la energía en un flujo de fluido sin viscosidad.

4. Aplicaciones

4.1. Teorema de Torricelli

El teorema de Torricelli establece teóricamente la velocidad de salida de un chorro de líquido a través de un orificio pequeño

situado en uno de los lados de un depósito abierto. Dicha velocidad es igual a la que adquiriría una partícula que cae libremente desde la superficie libre del líquido hasta el centro del orificio (Ahmed, 2023).



Para demostrar esta aplicación, podemos utilizar la ecuación de Bernoulli. Consideremos un depósito con un orificio en la parte inferior. Como el depósito y el orificio están al aire libre, la presión en la parte superior del depósito y en el orificio será igual a la presión atmosférica. Por lo tanto $P_1 = P_2 = P_{atm}$

Aplicando la ecuación de Bernoulli, obtenemos:

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

Eliminando la densidad ρ , ya que es común en ambos lados de la ecuación, obtenemos:

$$\frac{1}{2}v_1^2 + gh_1 = \frac{1}{2}v_2^2 + gh_2$$

Si tomamos el sistema de referencia en el punto 2 para medir alturas, $h_2 = 0$. Además, si el diámetro de la parte superior del depósito es mucho mayor que el diámetro del orificio pequeño,

podemos asumir que la velocidad v_1 en la parte superior del depósito es aproximadamente cero.

Entonces, la ecuación se reduce a:

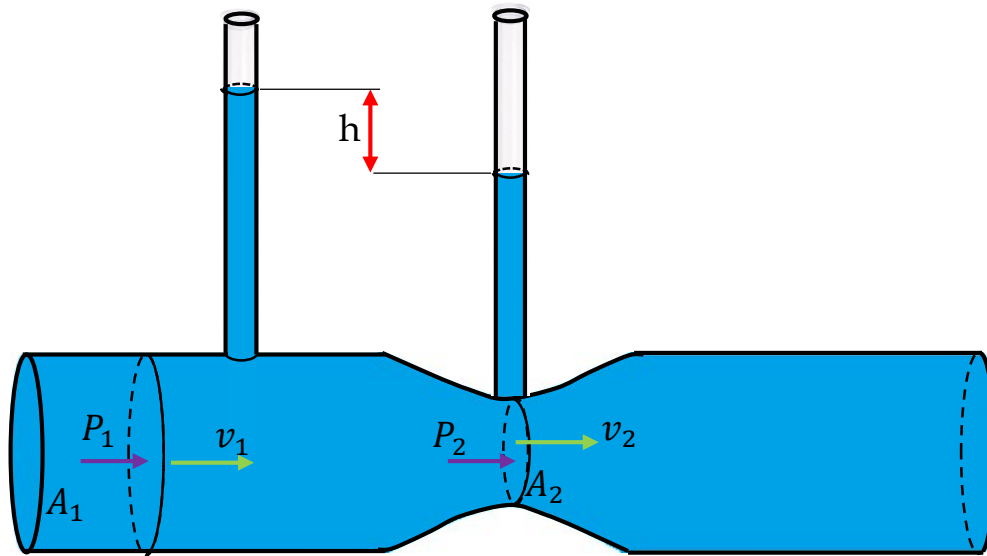
$$v_2 = \sqrt{2gh_1}$$

Esta ecuación nos muestra que la velocidad de salida del fluido es igual a la velocidad que un objeto adquiriría al caer libremente desde una altura h_1 hasta la superficie del fluido.

4.2. Tubo de Venturi

El tubo de Venturi es un dispositivo utilizado para medir la velocidad y el caudal volumétrico de flujos de fluidos, especialmente líquidos, en tuberías a presión (Rovira et al., 2022). Consiste en un conducto cerrado con un estrechamiento de sección transversal en su parte media. De acuerdo con el principio de continuidad, cuando el fluido pasa por la garganta o parte más estrecha, la velocidad aumenta y la presión disminuye.

La diferencia de presiones entre la sección ancha y la garganta se utiliza, junto con la ecuación de continuidad, para determinar indirectamente la velocidad y el caudal en la tubería.



Aplicando la ecuación de Bernoulli, tenemos:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

Dado que el tubo es horizontal y las alturas son iguales, podemos omitir el término de energía potencial gravitatoria:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

Para encontrar una relación entre v_1 y v_2 , se utiliza la ecuación de continuidad:

$$v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2}$$

Reemplazando, se obtiene:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho \left(\frac{A_1 v_1}{A_2} \right)^2$$

$$\frac{1}{2}\rho \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 v_1^2 - \frac{1}{2}\rho \left(\frac{A_2}{A_2} \right)^2 v_1^2 = P_1 - P_2$$

$$v_1^2 \frac{\rho}{2} \left[\frac{A_1^2 - A_2^2}{A_2^2} \right] = P_1 - P_2$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)A_2^2}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

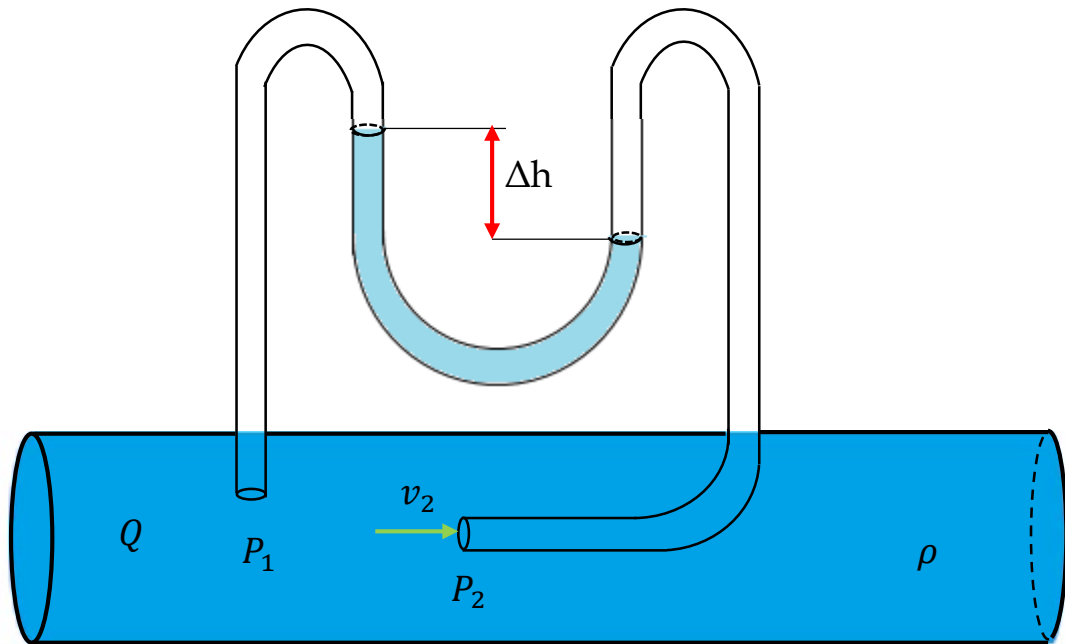
Esta expresión permite calcular la velocidad del fluido en la sección más ancha del tubo de Venturi a partir de las presiones en las secciones ancha y estrecha, así como de las áreas transversales de ambas secciones.

4.3. Tubo de Pitot

El tubo de Pitot es un instrumento para medir la velocidad de flujos líquidos o gaseosos (Ahmed, 2023).

Consiste en un tubo en posición perpendicular al movimiento del fluido. En su extremo libre tiene dos conductos, uno orientado según la corriente (toma de presión total) y otro con orificios laterales para medir la presión estática.

La diferencia entre la presión total (dinámica más estática) y la presión estática es función de la densidad y el cuadrado de la velocidad. Con un manómetro diferencial conectado se obtiene la lectura de velocidad.



Para demostrar cómo funciona el tubo de Pitot, primero consideremos la ecuación de Bernoulli:

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

Para una sección del flujo donde la velocidad del fluido es alta (como en la sonda de Pitot), la presión dinámica $\left(\frac{1}{2}\rho v^2\right)$ contribuye significativamente a la presión total. En cambio, en una sección del flujo donde la velocidad del fluido es baja (como en la sonda estática), la presión dinámica es despreciable en comparación con la presión estática.

Supongamos que colocamos el tubo de Pitot en una corriente de fluido con velocidad v_1 . La sonda de Pitot captura la presión total, que es la suma de la presión estática y la presión dinámica en ese punto:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_t$$

Donde P_1 es la presión estática en ese punto y P_t es la presión total medida por la sonda de Pitot.

Si colocamos la sonda estática en la misma corriente de fluido, perpendicular al flujo, solo medirá la presión estática:

$$P_1 = P_s$$

Donde P_s es la presión estática medida por la sonda estática.

Entonces, la diferencia de presión entre la presión total medida por la sonda de Pitot y la presión estática medida por la sonda estática es igual a la presión dinámica:

$$P_t - P_s = \frac{1}{2}\rho v_1^2$$

Y, finalmente, la velocidad del fluido se puede calcular utilizando la relación:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(P_t - P_s)}{\rho}}$$

Esta es la base del funcionamiento del tubo de Pitot, que utiliza la diferencia de presión entre dos sondas para determinar la velocidad del fluido en una tubería o conducto.

5. Fluidos viscosos

5.1. Definición de viscosidad

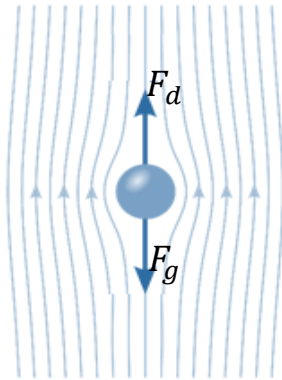
Es una propiedad de los fluidos asociada a la fricción interna entre sus capas o láminas durante el movimiento (Castro, 2023). Representa la resistencia del fluido a fluir. En una analogía puede pensarse como una fricción interna entre capas de moléculas. Los fluidos viscosos se comportan adheridos entre capas adyacentes arrastrándose unas con otras.



5.2. Ley de Stokes

Formula matemáticamente la resistencia al movimiento que experimenta una esfera u otra partícula cuando se desplaza a través de un fluido viscoso (Ahmed, 2023). Indica que la fuerza de resistencia es directamente proporcional al coeficiente de viscosidad dinámica del fluido, el radio de la esfera y la velocidad relativa entre la esfera y el fluido circundante. Permite estimar la velocidad terminal de caída de una partícula. La expresión matemática de la ley de Stokes para la fuerza de arrastre F_d es:

$$F_d = 6\pi\mu r v$$



5.3. Número de Reynolds

Es un parámetro adimensional fundamental en mecánica de fluidos. Da una medida relativa de la importancia de las fuerzas inerciales con respecto a las fuerzas viscosas dentro de un flujo (Sánchez, 2024) y es relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas en el fluido y se expresa matemáticamente como:

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

Donde:

- ρ es la densidad del fluido.
- v es la velocidad característica del fluido (por ejemplo, la velocidad media en un conducto).
- L es una longitud característica del sistema (como el diámetro hidráulico en un conducto o el tamaño característico del objeto).
- μ es la viscosidad dinámica del fluido.
- Esto permite predecir el comportamiento de flujo entre régimen laminar (Re bajo) o turbulento (Re alto).

5.4. Ecuación de Hagen-Poiseuille

Describe el perfil de velocidades para flujo laminar estacionario de fluidos newtonianos en ductos cerrados de sección circular (Ahmed, 2023). Relaciona el caudal volumétrico de flujo con las propiedades físicas del fluido (viscosidad, densidad) y las dimensiones geométricas del sistema: diámetro del tubo y gradiente de presiones.

La ecuación de Hagen-Poiseuille es:

$$Q = \frac{\pi r^4}{8\mu L} \Delta P$$

Donde:

- Q es el caudal volumétrico del fluido (volumen de fluido que pasa por el tubo por unidad de tiempo).
- r es el radio del tubo.
- μ es la viscosidad dinámica del fluido.
- L es la longitud del tubo.
- ΔP es la diferencia de presión entre los extremos del tubo.

6. Procedimiento para aplicar el teorema de Bernoulli

El teorema de Bernoulli establece que en un flujo ideal (sin viscosidad) la suma de las energías cinética, potencial y de presión se conserva a lo largo de una línea de corriente (Rovira et al., 2022). Su aplicación requiere verificar previamente las siguientes condiciones:

- El flujo debe ser estacionario, es decir, con propiedades constantes en el tiempo (Castro, 2023).

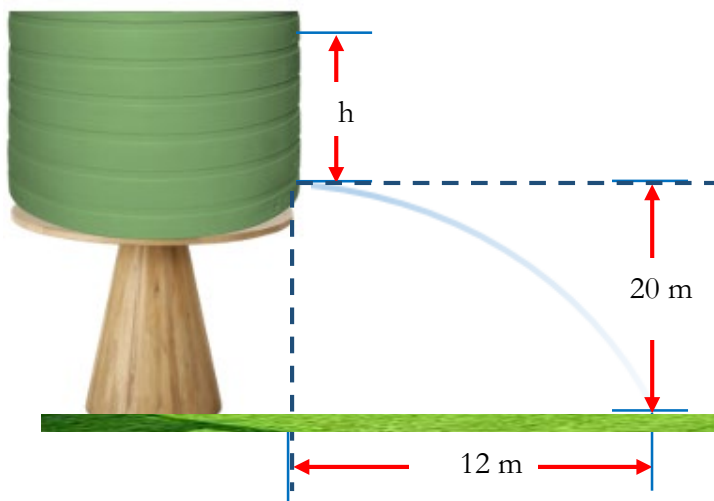
- No debe haber intercambio de energía con el exterior mediante dispositivos hidráulicos.
- Se conoce o asume la distribución de presiones. Generalmente se considera una distribución hidrostática debida solo a la altura del flujo.

Una vez verificado esto, el procedimiento es el siguiente:

- Establecer claramente el sistema de referencia y las secciones o puntos entre los cuales se aplicará Bernoulli.
- Determinar la cota o altura de cada sección para evaluar la energía potencial.
- Con las velocidades dadas o supuestas, calcular la energía cinética por unidad de peso.
- Estimar o determinar experimentalmente los valores de presión en cada sección.
- Plantear la ecuación de Bernoulli entre las dos secciones escogidas, incluyendo los términos determinados previamente.
- Despejar la incógnita de interés, ya sea velocidad o presión, y resolver algebraicamente.

Problemas resueltos

1. En la figura se muestra un barril de agua de lluvia ubicado sobre una plataforma de altura 20 m. Si se perfora un pequeño orificio en la parte inferior del barril por donde sale un chorro de agua horizontalmente, el cual incide en el suelo a una distancia horizontal de 12 m, hallar a) la rapidez del flujo de agua que sale por el orificio b) la altura h desde el orificio hasta la parte superior de líquido contenido en el recipiente.



<https://youtu.be/cTdOl3x6b2w?si=yCHQ-aj0VMREmLk3>

Solución**Identificación de datos y sus unidades de medida:**

Altura desde el orificio hasta la superficie del líquido: h

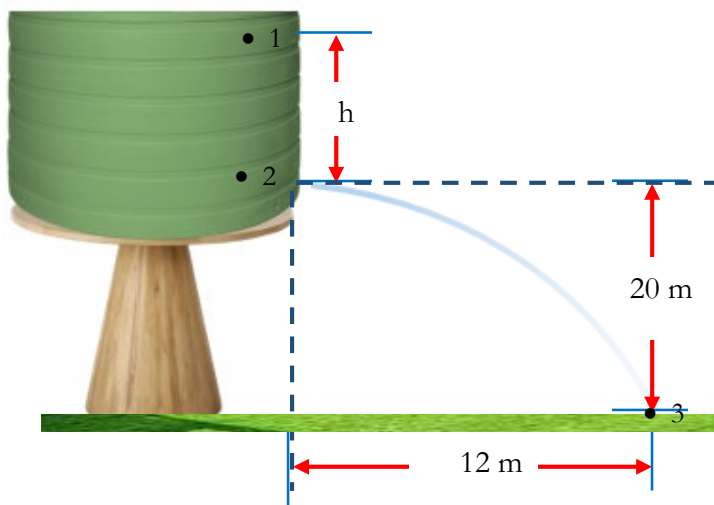
Distancia horizontal desde la vertical que pasa por el orificio hasta el punto de impacto en el suelo: 12 m

Rapidez del flujo de agua que sale por el orificio: v

Altura de la plataforma: 20 m

Representación gráfica del fenómeno:

Un barril de agua de lluvia ubicado sobre una plataforma de 20 m de altura con un orificio en la parte inferior, por donde sale un chorro de agua e incide en el suelo a una distancia horizontal de 12 m.

**Identificación de la ecuación física adecuada:**

Para la rapidez del flujo de agua que sale por el orificio

$$\vec{x} = \vec{x}_0 + \vec{v}_0 t$$

$$\vec{y} = \vec{y}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{g} t^2$$

Para la altura h desde el orificio hasta la parte superior de líquido

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Realización de los cálculos sustituyendo los datos proporcionados:

Para la rapidez del flujo de agua que sale por el orificio, reemplazando los datos

$$12 = 0 + v_2 t$$

$$v_2 = \frac{12}{t} \dots (1)$$

$$0 = 20 + 0 - \frac{1}{2} 10 t^2$$

$$20 = 5 t^2$$

$$t = 2s$$

Reemplazando el tiempo en la ecuación (1)

$$v_2 = \frac{12}{2}$$

$$v_2 = 6 \text{ m/s}$$

Para la altura h desde el orificio hasta la parte superior de líquido, sabiendo que el sistema de referencia es en el punto 2, la $v_1 \ll v_2$, y

$P_1 = P_2 = P_{atm}$ se reemplaza los datos se tiene

$$0 + 0 + \rho g h_1 = 0 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + 0$$

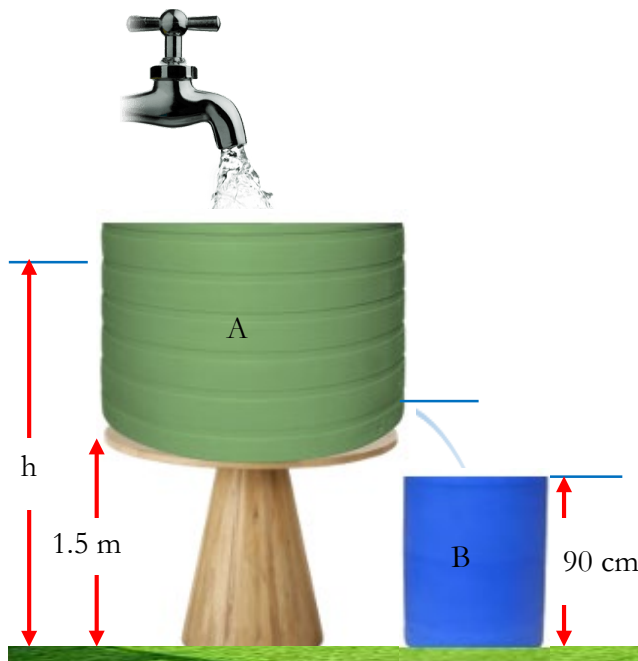
$$(10) h_1 = \frac{1}{2} (36)$$

$$h_1 = 1,8 \text{ m}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

La la rapidez del flujo de agua que sale por el orificio es de 6 m/s y la altura $1,8 \text{ m}$ desde el orificio hasta la parte superior de líquido contenido en el recipiente.

2. La imagen adjunta presenta un caño jardín descargando agua con un flujo de 0.8 litros por segundo en un tanque, A, que tiene un diámetro de 120 cm. Este tanque, a su vez, descarga a través de una llave de paso con un diámetro de 1.27 cm hacia otro tanque, B, que posee un diámetro de 60 cm y una altura de 90 cm. Si el tanque A está sobre un pedestal a una altura de 1.5 m sobre el nivel del suelo, mientras que el tanque B se encuentra sobre el suelo, calcular: a) La altura a la cual se estabiliza el nivel del agua en el tanque A. b) La velocidad de llegada del agua al tanque B. c) El tiempo requerido para llenar por completo el tanque B.



https://youtu.be/-UvbiC7gooE?si=Aft_7npyl7jOeLxl

Solución

Identificación de datos y sus unidades de medida:

Tanque A:

Diámetro del tanque A: 120 cm

Altura del pedestal: 1.5 m

Flujo de agua hacia el tanque A: 0.8 litros por segundo, es decir

$$Q_1 = 0.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Descarga a través de una llave de paso con un diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada hacia otro tanque, B:

Tanque B:

Descarga a través de una llave de paso con un diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada (0.0127 m) hacia otro tanque, B

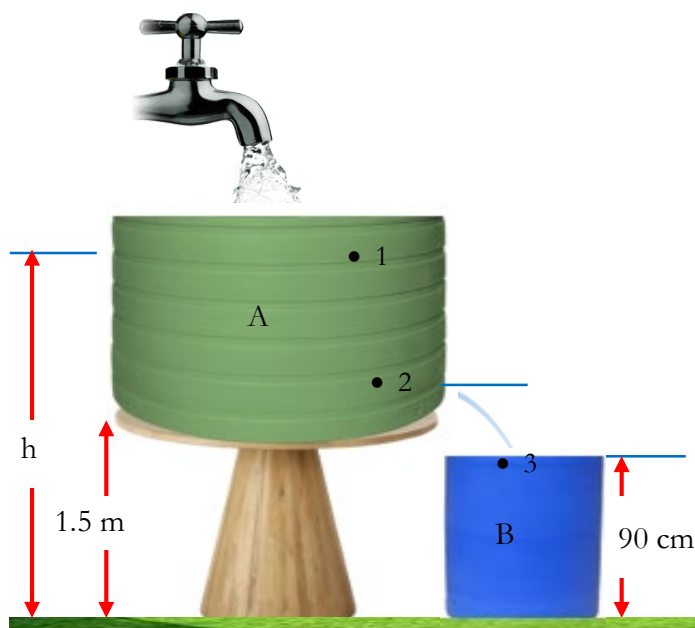
Diámetro del tanque: 60 cm

Altura del tanque B: 90 cm

Flujo de agua hacia el tanque B: ?

Representación gráfica del fenómeno:

Tanque A descargando agua hacia el tanque B y está sobre un pedestal, y el tanque B se encuentra en el suelo.



Identificación de la ecuación física adecuada:

Para la altura a la cual se estabiliza el nivel del agua en el tanque A.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

$$Q_1 = Q_2$$

Para la velocidad de llegada del agua al tanque B.

$$P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 = P_3 + \frac{1}{2}\rho v_3^2 + \rho gh_3$$

Para el tiempo requerido para llenar por completo el tanque B.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Realización de los cálculos sustituyendo los datos proporcionados:

Para la altura a la cual se estabiliza el nivel del agua en el tanque A, se reemplazando los datos, donde: $P_1 = P_2 = P_{atm}$, para que se estabilice se cumple que $v_1 \approx 0$ y $h_2 = 0$

$$0 + 0 + \rho gh_1 = 0 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + 0$$

$$v_2 = \sqrt{2gh_1}$$

$$Q_1 = Q_2 = v_2 A_2$$

$$0.8 \times 10^{-3} = \sqrt{2gh_1} A_2$$

$$0.8 \times 10^{-3} = \sqrt{2(10)h_1} \left(\frac{\pi(0.0127)^2}{4} \right)$$

$$h_1 = 1.99m$$

Para la velocidad de llegada del agua al tanque B, sabiendo que $P_2 = P_3 = P_{atm}$, y $h_2 = 0$ reemplazando datos.

$$0 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + 0 = 0 + \frac{1}{2}\rho v_3^2 + \rho gh_3$$

$$\frac{1}{2}2g(1.99) = \frac{1}{2}v_3^2 - g(0.9)$$

$$v_2 = 7.51 \text{ m/s}$$

Para el tiempo requerido para llenar por completo el tanque B.

$$Q = \frac{Ah}{t}$$

$$.8 \times 10^{-3} = \frac{\frac{\pi(0.6)^2}{4} 0.9}{t}$$

$$t = 318.09 \text{ s}$$

$$t = 5.3 \text{ min}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

La altura a la cual se estabiliza el nivel del agua en el tanque A se relaciona con la presión hidrostática y la altura del pedestal, la velocidad de llegada del agua al tanque B se calcula considerando el flujo de agua y el área del orificio y el tiempo necesario para llenar por completo el tanque B se calcula teniendo en cuenta el flujo de agua y el volumen del tanque B.

3. Un recipiente cerrado contiene agua hasta una altura de 25 metros y aire sobre el agua a una presión manométrica de 2 atmósferas. Si el agua se descarga a través de un orificio en el fondo, determinar la velocidad de salida del agua.

<https://youtu.be/9Oo6In24HVA?si=gbahqXBYmDCH1AjF>

Solución

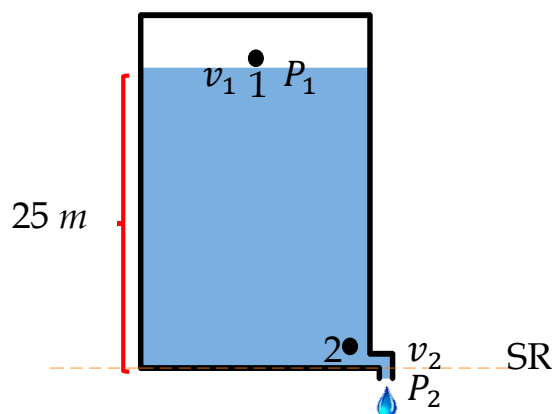
Identificación de datos del problema y sus unidades de medida

Altura del agua: 25m

Presión manométrica: $2 \text{ atm} = 2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

Velocidad de salida del agua: ?

Representación gráfica



Identificación de la ecuación física adecuada

Utilizaremos la ecuación de Bernoulli:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

Donde:

P = Presión

ρ = Densidad del agua

v = Velocidad

g = Gravedad

h = Altura

Si tomamos el punto 2 como punto de referencia, la altura del punto es "0". Lo mismo pasa con la v_1 al ser el diametro mucho mas grande que el orificio de salida entonces es despreciable:

$$P_1 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

Sustituyendo los datos y realizando los cálculos en la ecuación

Se procede a reemplazar los datos y al mismo tiempo despejar la v_2 , se obtiene:

$$P_1 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

$$2 \times 10^5 + 10^3 \times 10 \times 25 = 10^5 + \frac{1}{2} \times 10^3 \times v_2^2$$

$$35 \times 10^4 = 5 \times 10^2 v_2^2$$

$$v_2 = \sqrt{700}$$

$$v_2 = 26.5 \text{ m/s}$$

Análisis de los resultados obtenidos

Realizadas las operaciones pertinentes se llega a la conclusión de que la velocidad de salida del agua es de $v_2 = 26.5 \text{ m/s}$

4. En el interior de un tubo, el agua se comporta como un fluido ideal y fluye a una velocidad de 0.8 m/s . Si el diámetro del tubo es de 3 cm , determinar la tasa de flujo de agua que sale.

<https://youtu.be/cs-DtsW54Yo?si=2I-yhcMk1OhWABqK>

Solución

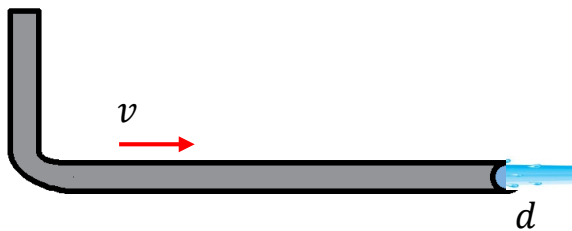
Identificación de datos del problema y sus unidades de medida

Velocidad del agua: 0.8 m/s

Diámetro del tubo: 3 cm

Gasto de agua que sale del tubo: ?

Representación gráfica



Identificación de la ecuación física adecuada

El gasto de salida en un tubo de diámetro (d) matemáticamente se representa de la siguiente forma:

$$Q = A \times v$$

Donde:

Q = caudal volumétrico

A = área

v = velocidad

Sabemos que un tubo tiene forma circular en su interior entonces su área quedara de la siguiente manera:

$$Q = \pi \times r^2 \times v$$

Sustituyendo los datos y realizando los cálculos en la ecuación

Por lo tanto como tenemos el diámetro es necesario obtener el radio para poder reemplazar:

$$r = \frac{d}{2}$$

$$r = \frac{3cm}{2}$$

$$r = 1.5 \text{ cm} = 0.015 \text{ m}$$

Ahora se procede a reemplazar en la ecuación los datos obtenidos:

$$Q = \pi \times r^2 \times v$$

$$Q = \pi(0.015)^2 \times 0.8$$

$$Q = 5.65 \times 10^{-4} m^3/s$$

Análisis de los resultados obtenidos

Al efectuar los cálculos se llegó a concluir que el gasto de salida del agua es de $5.65 \times 10^{-4} m^3/s$, el cual es coherente con realidad.

5. Durante una clase experimental en el laboratorio de física de la Universidad Nacional de Jaén, se observó el desplazamiento de una porción de dióxido de carbono a lo largo de un conducto cilíndrico. El experimento mostró que el dióxido de carbono tardó 30 minutos en recorrer el conducto, que tenía un diámetro de 2 cm. Si la masa y densidad del gas son, 0.5 kg y 15 kg/m^3 respectivamente, calcular la velocidad a la que se desplazó el gas.

<https://youtu.be/3dC-4tU0Owc?si=1SOUaN3CLweJzfIA>

Solución:

Identificación de datos con sus respectivas unidades de medida:

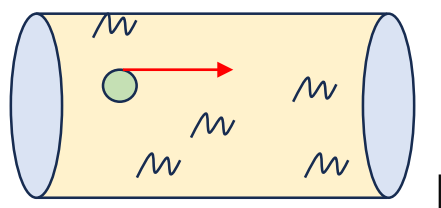
Diámetro = 2 cm

Masa del gas = 0.5 kg

Densidad del gas = 15 kg/m^3

Velocidad = ?

Representación gráfica del fenómeno:



Identificación de la ecuación física a utilizar:

Como el gas se está desplazando en el interior del conducto usaremos la ecuación del caudal $Q = V/t$

El cuerpo que desplaza posee masa y volumen por lo tanto podemos expresar su volumen en función de la masa y densidad

$$V = m/\rho$$

Reemplazando la ecuación del volumen en la ecuación del caudal

$$Q = \frac{V}{t} = vA$$

$$v = \frac{m}{\rho At}$$

Identificación de las magnitudes físicas faltantes y sustitución de los datos proporcionados:

$$v = \frac{0.5}{15 \times \pi \left(\frac{2}{2}\right)^2 \times 1800}$$

$$v = 5.898 \times 10^{-6} m/s$$

Análisis de los resultados obtenidos:

La velocidad con la cual se desplaza es de $5.898 \times 10^{-6} m/s$

6. En la clase demostrativa llevada a cabo en el laboratorio de física, se observó que una burbuja de un líquido desconocido descendió a través de un desagüe ubicado en la base de un recipiente, recorriendo verticalmente una distancia de 5 metros desde la superficie. Se sabe que el diámetro del orificio de salida es de 2 mm. ¿Cuál sería el caudal en este caso?

<https://youtu.be/LRGBrzx-Mng?si=YgKrTS3iiwmFMRrq>

Solución:

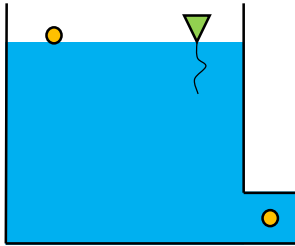
Identificación de datos con sus respectivas unidades de medida:

Diámetro: 2 mm

Caudal: ?

Altura: 5 m

Representación gráfica del fenómeno:



Identificación de la ecuación física a utilizar:

Aplicando el teorema de Torricelli:

$$v = \sqrt{2gh}$$

Ecuación del caudal:

$$Q = \frac{V}{t} = Av$$

Identificación de las magnitudes físicas faltantes y sustitución de los datos proporcionados:

$$Q = A\sqrt{2gh} = \pi \frac{(0.002)^2}{4} \sqrt{2 \times 9.81 \times 5} = 3.11 \times 10^{-5} m^3/s$$

Análisis de los resultados obtenidos:

Su caudal es de *de* $3.11 \times 10^{-5} m^3/s$

Ejercicios Propuestos

1. En un recipiente cilíndrico abierto en la parte superior y utilizado para almacenar agua. Si se realiza un pequeño agujero a una profundidad de 10 metros desde la superficie del líquido, determinar la velocidad con la que el agua saldría por el orificio.

https://youtu.be/azkb_HUw4OY?si=rVJOc7wCRqKGe8jn

Respuesta: 14.1421 m/s

2. En un depósito lleno de agua con una altura de 17 metros, la presión en la superficie del agua es de 1 atmósfera. A una profundidad de 12 metros desde la superficie, hay un pequeño orificio inicialmente tapado. ¿Cuál sería la velocidad del agua al salir si destapamos el orificio?

https://youtu.be/TEce9KkxWdE?si=hd-_Kxsq5l_iAYau

Respuesta: 7.7459 m/s

3. En un tanque de almacenamiento de agua de una empresa de suministro, se encuentra una válvula de salida pequeña en su lado derecho a una profundidad de 20 metros desde la superficie del agua. Si el caudal de salida es de $12 \text{ m}^3/\text{min}$, determinar el diámetro de la válvula en metros.

https://youtu.be/cWMd1CZLKoo?si=lOYgPh9c8Trs_miz

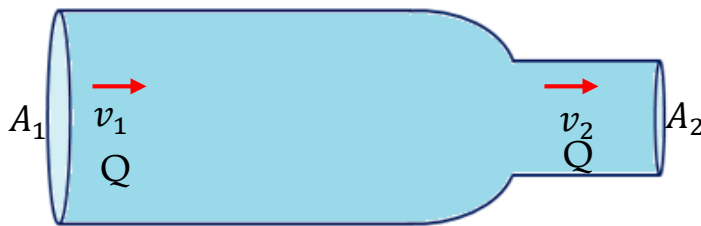
Respuesta: 0.11m

4. Una tubería horizontal de 10 cm de diámetro se bifurca en dos tuberías, B y C, también horizontales, cada una con un diámetro de 5 cm. Si el agua que llena completamente la tubería A fluye a una velocidad de 2.3 m/s y tiene una presión manométrica de 65 kPa, calcular: a) el caudal transportado por la tubería B y b) la presión manométrica en la tubería C en kPa.

https://youtu.be/hfsTY_zFbOo?si=gBi5zXS6C4TGGQoO

Respuesta: $0.009 \text{ m}^3/\text{s}$; 57.06 KPa

5. El agua fluye por una tubería horizontal con sección transversal variable, tal como se muestra en la figura. Si en la región más estrecha de la tubería, donde el diámetro es de 3 cm, la velocidad del agua es de 10.8 m/s y la presión es de 200 000 Pa, determinar la presión en la región más ancha de la tubería.

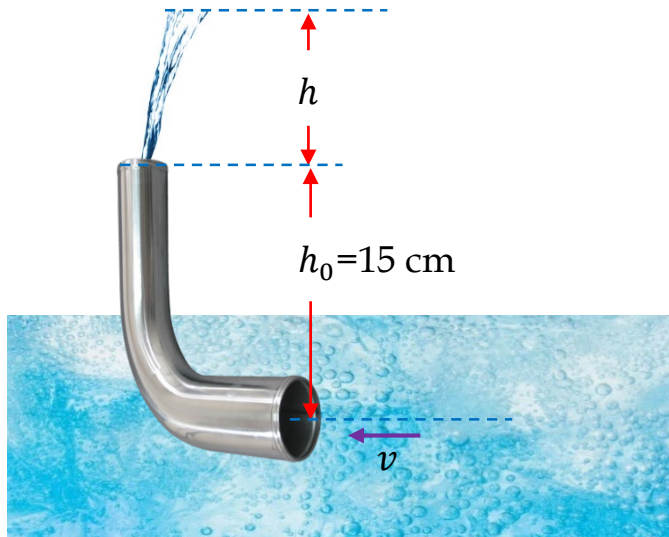


<https://youtu.be/LKuP2OwcGeY?si=lZ85o9XdgEi4SujJ>

Respuesta: 257.6 kPa

6. Un tubo doblado está sumergido en una corriente de agua que se desplaza a 3.5 m/s en relación con el tubo, según se muestra en la figura. Si la parte superior del tubo se encuentra a una altura de

$h_0=15$ cm sobre el nivel del agua del torrente y tiene un pequeño agujero, determinar a qué altura, h , subirá el chorro de agua que sale por el agujero.



https://youtu.be/fZ4QnDBUODQ?si=dc-Dfoxe_3mWGayg

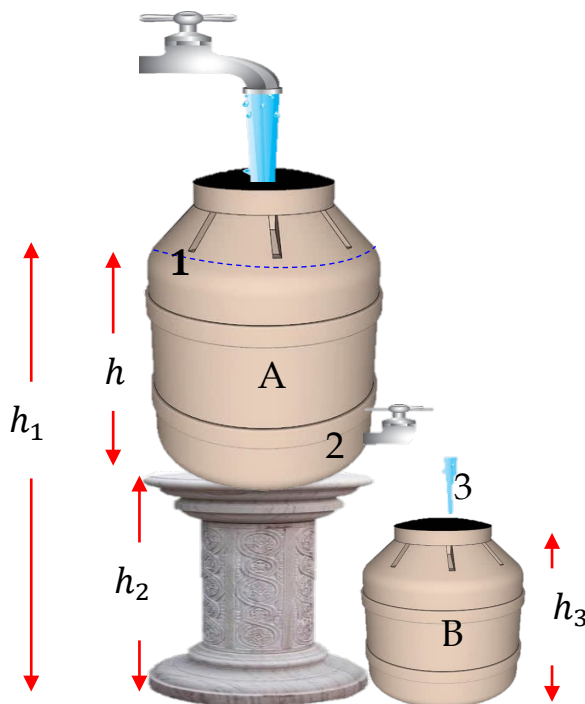
Respuesta: 46.25 cm

7. Un tubo de Venturi con un diámetro de 1 pulgada en la parte ancha y $\frac{3}{4}$ de pulgada en la parte estrecha está siendo utilizado para transportar agua. Si se han conectado dos tubos manométricos al Venturi, los cuales indican una diferencia de altura del agua de $\Delta H = 30$ cm, determinar el caudal de agua que circula por el tubo en metros cúbicos por segundo.

<https://youtu.be/eluk5CLOugo?si=qGxfORA0E1zvhHUS>

Respuesta: $8.514 \times 10^{-4} m^3/s$

8. En la figura se representa una tubería que descarga agua a un gasto de 1 litro por segundo desde un tanque A, que tiene un diámetro de 120 cm. El agua fluye desde el tanque A a través de una llave de paso con un diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada hacia otro tanque B, que tiene un diámetro de 60 cm y una altura de 90 cm (h_3). Si el tanque A está elevado sobre un pedestal a una altura de $h_2=1.5$ m sobre el nivel del suelo, mientras que el tanque B está en el suelo, determinar la altura a la que se estabiliza el nivel del agua en el tanque A y la velocidad a la que llega el agua al tanque B.



https://youtu.be/fZ4QnDBUODQ?si=dc-Dfoxe_3mWGAYg

Respuesta: 3.12 m; 8.62 m/s

9. Un chorro de agua fluye verticalmente desde la salida de un grifo y llena un balde de agua de 16 litros en 4 minutos. Si el área de salida es de 0.86 cm^2 , determinar el caudal que sale por el grifo y la velocidad a la que sale el agua.

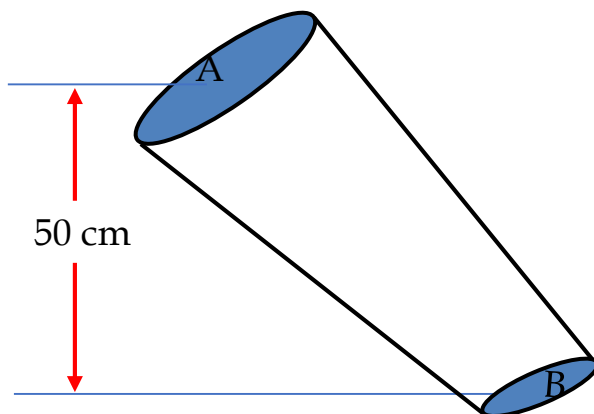
<https://youtu.be/1HBhopKhpwo?si=adJUWr5cOQ1LrPk5>

Respuesta: 4 lt/min; 77.5 cm/s

10. Por una tubería inclinada circula agua a una razón de $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$, como se muestra en la figura. Si el diámetro de la tubería en el punto A es de 0.3 m y la presión es de $9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$, determinar la presión en el punto B, sabiendo que el diámetro es de 0.15 m y que el centro de la tubería se encuentra 50 cm más abajo que en A.

<https://youtu.be/f6tjYZAEmBk?si=TxDoTvSFJaGR14pm>

Respuesta: 69228.37 Pa



11. Se tiene un cilindro circular recto con un diámetro de 50 cm y una altura de 6.75 m. Si en la base del cilindro hay un pequeño orificio circular con un radio de 12 mm, determinar el tiempo que tardará en salir toda el agua del cilindro.

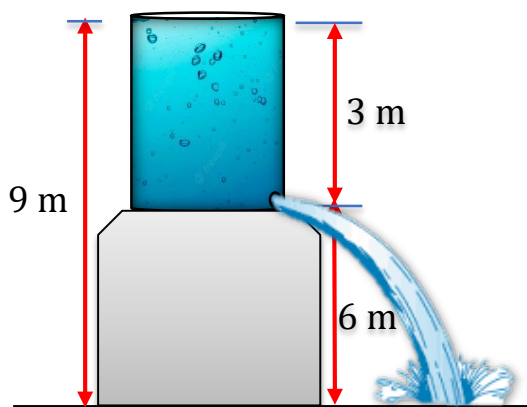
<https://youtu.be/ygeokZj5tvo?si=Z7fP8zOjqQcE5Cg->

Respuesta: 4.19 minutos

12. Un tanque cilíndrico con un diámetro de 1.80 m está ubicado sobre una plataforma en una altura de 6 m, como se muestra en la figura. Si inicialmente, el tanque está lleno de agua hasta una profundidad de 3 m y se quita un tapón de un orificio situado en la parte baja del tanque, determinar la velocidad inicial con la que el agua fluye del orificio.

https://youtu.be/5fQHfkz_6F0?si=pHkGegm-iWh53lXr

Respuesta: 7.746 m/s



13. El embolo de una jeringa hipodérmica tiene un radio de 0.5 cm y el de la aguja es de 0.1 mm. Si el embolo avanza con una velocidad de

1 cm/s, determinar la velocidad con la que sale el chorro por la aguja.

<https://youtu.be/BoJwAjxwPUg?si=l8j5RKThibnqFw8O>

Respuesta: 2500 cm/s

14. La aorta se ramifica en arterias que se van estrechando gradualmente hasta convertirse en arteriolas, las cuales finalmente conducen la sangre a los capilares. Además, se sabe que el caudal sanguíneo es de 5 litros por minuto para una persona en reposo, y que los radios de las arterias disminuyen desde 10 mm en la aorta hasta 0.008 mm en los capilares. Si se conoce que la sección total de los capilares es de aproximadamente 2 cm², determinar el número de capilares y el caudal en cada uno de ellos, así como la velocidad de la sangre en la aorta y en cada uno de los capilares.

<https://youtu.be/04P721F4dew?si=HCciNdjywXxFAX5z>

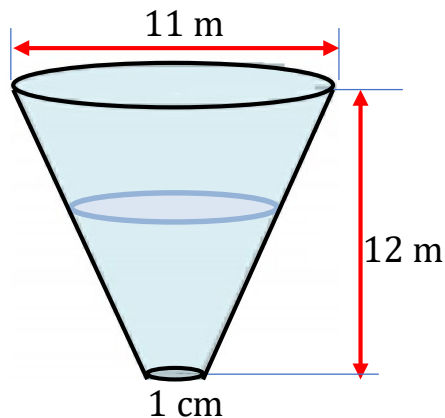
Respuesta: 10^6 ; $8,33 \times 10^{-11}$ m³/s; 26.5 cm/s; 41.428 cm/s.

15. El agua fluye con un caudal de 6 m³/min a través de una pequeña abertura en el fondo de un tanque cilíndrico abierto a la atmósfera en la parte superior, donde el agua en el tanque tiene una profundidad de 10 m. Calcular la velocidad con la que sale el chorro de agua por la abertura y el caudal de la fuga de agua si se aplica una presión adicional equivalente al 3/4 de la presión atmosférica.

https://youtu.be/aF0JiiBFMPk?si=O4_4tYLoc-efHXnB

Respuesta: 14,14 m/s; 7.621 m³/min

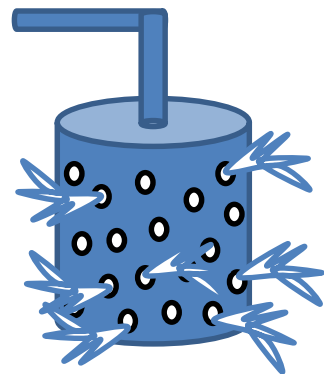
16. Se dispone de un recipiente con forma troncocónica lleno de agua hasta una altura de 12 m, como se muestra en la figura. Si se realiza en el fondo del recipiente un agujero con un radio de 1 cm, determinar el tiempo que tomará vaciar el recipiente.



<https://youtu.be/Wx3kZUIvSHs?si=4rPRmtx2pw5h9IqY>

Respuesta: 78105 s

17. Una regadera tiene 20 agujeros circulares, cada uno con un radio de 1 mm. Si la regadera está conectada a un tubo con un radio de 0.85 cm y la rapidez del agua en el tubo es de 3 m/s, determinar la rapidez con la que saldrá el agua de los agujeros de la regadera.

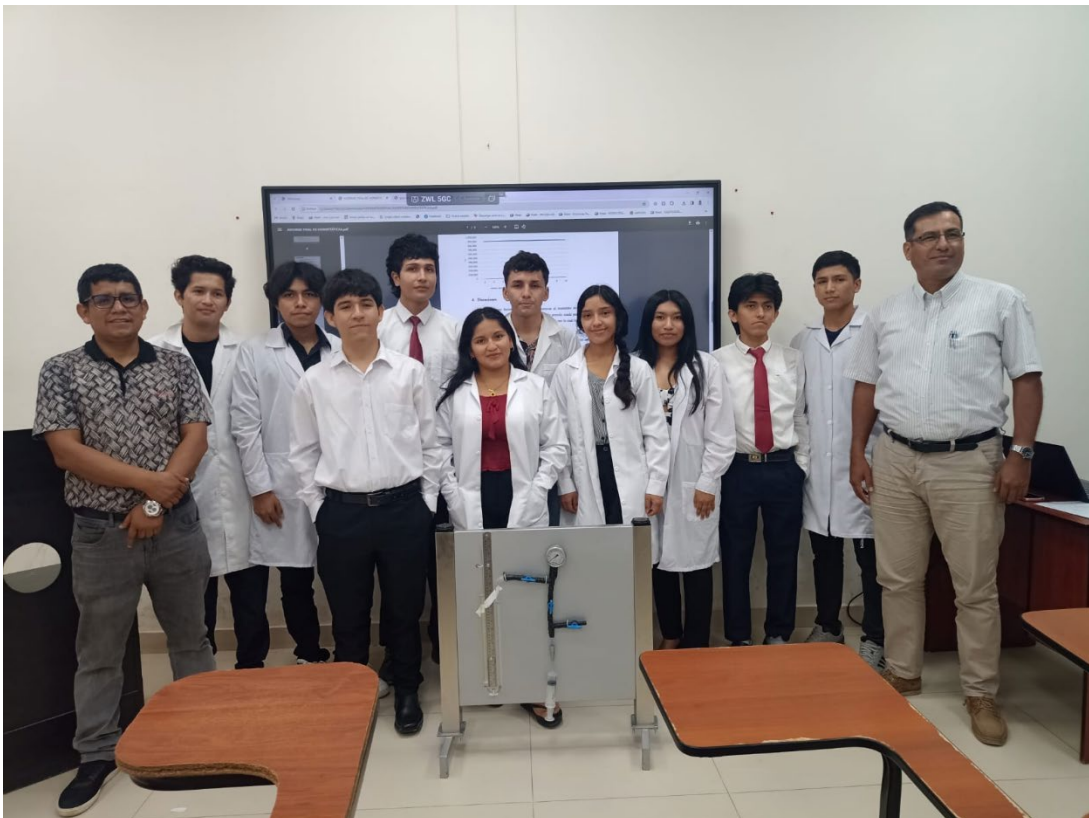


<https://youtu.be/O8POpdzLaU0?si=WJXlwEd6x7Hmf4eK>

Respuesta: 10.83 m/s

Capítulo 3

Temperatura



1. Temperatura

1.1 Concepto

Constituye una magnitud física fundamental asociada al grado de agitación térmica molecular de un sistema, es decir, a la energía cinética promedio de movimiento aleatorio de las partículas (átomos y moléculas) que componen un cuerpo material (Gómez et al. 2022). Una mayor temperatura corresponde a mayor nivel de energía molecular interna, manifestada en gradientes de flujo de calor entre sistemas a distinta temperatura.

1.2 Termómetros

Se define como un instrumento de medida diseñado para medir la temperatura registrando cambios en distintas propiedades físicas (dependientes de esta) que varían de forma regular y reproducible con la temperatura. Por ejemplo el volumen de un líquido, la resistencia eléctrica o la radiación emitida (Gray y Mann, 2020). Los termómetros deben ser calibrados respecto a puntos fijos o patrones para garantizar que reflejan de manera fiable la temperatura.



1.3 Tipos de termómetros

1.3.1 Termómetro de alcohol:

Consiste en un bulbo o depósito de vidrio que contiene alcohol (o mercurio) conectado a un tubo capilar graduado. Basado en la expansión térmica del líquido, que sube por el tubo indicando la temperatura en una escala (Hofmann et al., 2021).

1.3.2 Termómetro infrarrojo:

Mide la temperatura a distancia mediante detección de la radiación infrarroja emitida por un cuerpo. Posee un sensor óptico que capta la energía radiante en longitud de onda del infrarrojo y genera una señal eléctrica que se traduce en lectura de temperatura (Lee, 2023).

1.3.3 Termómetro de resistencia:

Contiene un elemento sensor de platino, níquel o cobre cuyo valor de resistencia eléctrica aumenta de forma precisa y reproducible con la temperatura. Mediante un circuito eléctrico de puente Wheatstone permite medir variaciones pequeñísimas de resistencia asociadas a cambios de temperatura (Hofmann et al., 2021).

2. Relación entre temperatura y energía molecular

2.1 Relación de Boltzmann

La relación de Boltzmann, postulada por el físico austriaco Ludwig Boltzmann, relaciona la temperatura termodinámica absoluta T de un gas ideal con la energía cinética promedio por molécula del gas ε . Establece que la energía es proporcional a la temperatura absoluta, siendo la constante de proporcionalidad la constante de Boltzmann k (Gupta et al., 2021).

Matemáticamente se expresa como:

$$\varepsilon = kT$$

Donde:

ε : energía cinética promedio por molécula gaseosa [J]

k : constante de Boltzmann = 1.38×10^{-23} J/K

T : temperatura termodinámica absoluta del gas [K]

Esta relación permite determinar la temperatura de un gas ideal monatómico midiendo la energía cinética de las moléculas que lo componen, por ejemplo mediante espectroscopia (Gupta et al., 2021).

3. Escalas de temperatura

3.1 Escala Celsius

También conocida como centígrada, fue propuesta por el astrónomo sueco Anders Celsius en 1742. Fija el punto de congelación del agua pura a 0°C y el punto de ebullición a

100°C a presión atmosférica estándar. Tiene 100 divisiones o grados Celsius entre ambos puntos de referencia, siendo positivos sobre 0°C y negativos bajo este punto (Das and Mandal, 2022).

3.2 Escala Fahrenheit

Fue desarrollada por el físico alemán Daniel Fahrenheit en 1724. Usa como puntos de referencia el punto de congelación del agua a 32°F y el punto de ebullición a 212°F. Presenta 180 divisiones o grados Fahrenheit entre ambos puntos fijos. A diferencia de Celsius, en esta escala los valores bajo cero son positivos (Das and Mandal, 2022).

3.3 Escala Kelvin

Fue propuesto por el científico británico William Thomson Kelvin, quien es considerado un pionero de la termodinámica, es la unidad básica de temperatura termodinámica en el Sistema Internacional de Unidades. Tiene la misma magnitud de grado que la escala Celsius, pero fija el cero absoluto en -273.15°C. Por ello, no existen temperaturas negativas en Kelvin. El punto triple del agua es 273.16 K (Miller et al., 2022).

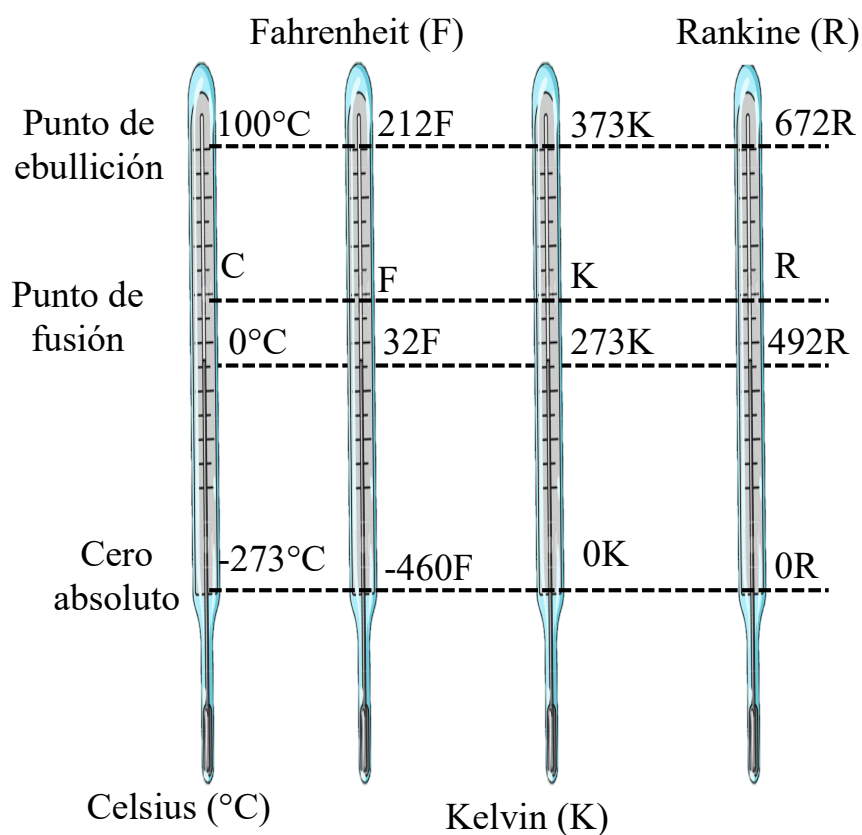
3.4 Escala Rankine

Propuesta por William Rankine en 1859, utiliza los mismos intervalos de temperatura que la escala Fahrenheit pero

desplaza el cero al punto absoluto como en la escala Kelvin. De esta forma, 0°R (-459.67°F) corresponde al cero absoluto. Coincide numéricamente con la escala Kelvin, siendo $1^{\circ}\text{R} = 1\text{ K}$ (Miller et al., 2022).

4. Conversiones entre escalas de temperatura

Dadas las diferentes escalas de temperatura en uso, es necesario poder convertir valores entre las distintas escalas. Esto se logra teniendo en cuenta sus puntos fijos de referencia, como el punto triple del agua, punto de fusión, entre otros (Blundell and Blundell, 2021).



$$\frac{C - 0}{100 - 0} = \frac{F - 32}{212 - 32} = \frac{K - 273}{373 - 273} = \frac{R - 492}{672 - 492}$$

$$\frac{C - 0}{100} = \frac{F - 32}{180} = \frac{K - 273}{100} = \frac{R - 492}{180}$$

$$\frac{C - 0}{10} = \frac{F - 32}{18} = \frac{K - 273}{10} = \frac{R - 492}{18}$$

$$\frac{C - 0}{5} = \frac{F - 32}{9} = \frac{K - 273}{5} = \frac{R - 492}{9}$$

$$\frac{\Delta C}{5} = \frac{\Delta F}{9} = \frac{\Delta K}{5} = \frac{\Delta R}{9}$$

4.1 Escalas de Temperatura Absolutas y Relativas

Las escalas absolutas se definen a partir del cero absoluto, donde la actividad molecular cesa por completo y la energía cinética de las moléculas alcanza el valor mínimo posible, es decir las escalas absolutas son la escala Kelvin y la escala Rankine. En contraste, las escalas relativas, como la Celsius y la Fahrenheit, se basan en puntos de referencia que no están vinculados al cero absoluto.

5. Aplicaciones de la medición de temperatura

La medición de temperatura mediante termómetros y otras técnicas resulta indispensable en diversos campos (Jiji, 2021):

- Meteorología: Para predicción del tiempo y estudios climáticos.

- Sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC).
- Control de procesos industriales: fabricación de vidrio, acero, química.
- Medicina: Diagnóstico de fiebre o hipotermia.

Problemas resueltos

1. Un estudiante de ingeniería propone una escala termométrica N, asignando 160 N al punto de ebullición del agua y 20 N al punto de congelación. Si la temperatura de un objeto es de 80°C , ¿cuántos grados indicaría esta temperatura en la nueva escala?

https://youtu.be/L7rLcGKOorE?si=FKhos-ES_kvei6rF

Solución

Identificación de datos y sus unidades de medida:

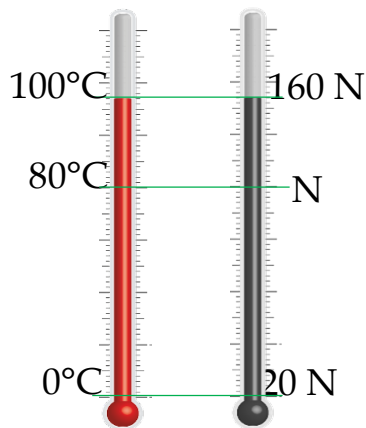
Punto de ebullición del agua en la nueva escala (T_{N_e}) = 160 N

Punto de congelación del agua en la nueva escala (T_{N_c}) = 20 N

Temperatura en la escala Celsius (T_C) = 80°C

Representación gráfica del fenómeno:

Podemos imaginar una línea graduada en la que estos valores están marcados.

**Identificación de la ecuación física adecuada:**

Para convertir la temperatura de Celsius a la nueva escala, podemos usar la siguiente regla.

$$\frac{80 - 0}{100 - 0} = \frac{T_N - 20}{160 - 20}$$

Realización de los cálculos sustituyendo los datos proporcionados:

$$T_N = \left(\frac{80 - 0}{100 - 0} \right) (160 - 20) + 20$$

$$T_N = 132 \text{ N}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

La temperatura de 80°C en la nueva escala es de 132 N. Este resultado tiene sentido, ya que la escala N asigna 160 N al punto de ebullición del agua (que es más caliente que 80°C) y 20 N al punto de congelación (que es más frío que 80°C). La relación es lineal y proporcional, como se esperaría en una escala termométrica.

2. En un instituto gastronómico, están preparando un jarabe que requiere fundir azúcar en un rango de temperatura de 234 a 240 grados Fahrenheit. Si al buscar un termómetro, solo encontraron uno calibrado en la escala N, con este termómetro, midieron la temperatura de ebullición del agua como 120 grados N y la temperatura de congelación como 20 grados N, determinar el rango de temperatura de fusión en la escala N, representado como ΔN .

<https://youtu.be/HsDBcLIYMig?si=2EbvqErb5xTRzxMe>

Solución

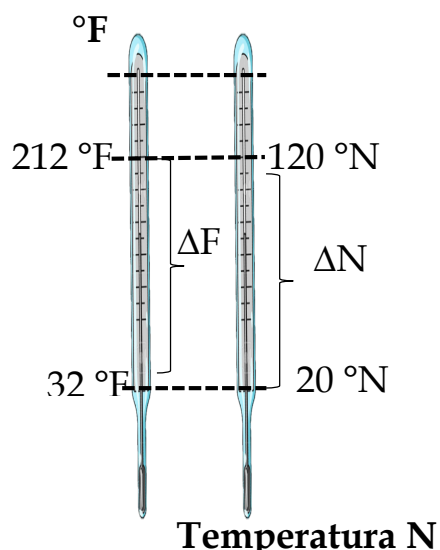
Identificación de datos y sus unidades de medida:

Temperatura de ebullición del agua en la escala N: 120 °N

Temperatura de congelación del agua en la escala N: 20 °N

Rango entre el que se funde el azúcar: 234 – 240 °F

Representación gráfica del fenómeno:



Identificación de la ecuación física adecuada:

$$\Delta N = 120^{\circ}\text{N} - 20^{\circ}\text{N}$$

$$\Delta F = 212^{\circ}\text{F} - 32^{\circ}\text{F}$$

Realización los cálculos sustituyendo los datos proporcionados:

$$\Delta N = 100^{\circ}\text{N}$$

$$\Delta F = 180^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T = 1^{\circ}\text{N} \cong 1,8^{\circ}\text{F}$$

Ahora para hallar el rango de la temperatura:

$$234^{\circ}\text{F} \leq T \leq 240^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T = 6^{\circ}\text{F}$$

$$\therefore 1^{\circ}\text{N} \rightarrow 1,8^{\circ}\text{F}$$

$$X \rightarrow 6^{\circ}\text{F}$$

$$X = \frac{6}{1,8}^{\circ}\text{N}$$

$$X = 3,3^{\circ}\text{N}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

Con este resultado, podemos concluir que cuando la variación de temperatura es de 6°F , equivaldrá a $3,3^{\circ}\text{N}$ en la escala N. Por lo tanto, la relación entre las dos escalas es lineal y proporcional, como sería de esperar en una escala termométrica.

3. Un ingeniero de la UNJ está codificando un programa que captura la medición de temperatura de un instrumento. Para calibrar este programa, mide la temperatura de fusión y ebullición del agua, obteniendo los valores de -4°C y 86°C , respectivamente. ¿Qué valor se obtendrá en el programa para el punto de ebullición normal del etanol, que es de 78°C ?

<https://youtu.be/dN8c82R-nTw?si=UKvIqRp2TI1awqVH>

Solución

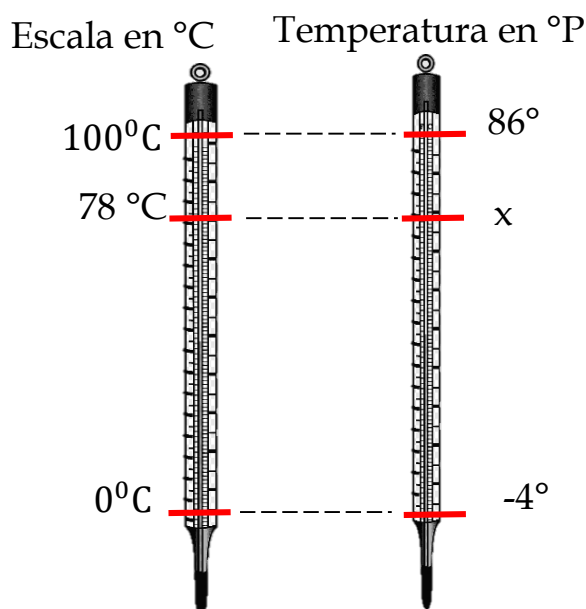
Identificación de datos y sus unidades de medida:

Temperatura de ebullición del agua en el programa $^{\circ}\text{P}$: 86°

Temperatura de fusión del agua en el programa $^{\circ}\text{P}$: -4°

Temperatura de ebullición del etanol: 78°C

Representación gráfica del fenómeno:



Identificación de la ecuación física adecuada

$$\frac{x - (-4)}{86 - (-4)} = \frac{78}{100}$$

Realización los cálculos sustituyendo los datos proporcionados:

$$\frac{x + 4}{90} = \frac{78}{100}$$

$$\frac{x + 4}{90} = \frac{78}{100}$$

$$X = \left(\frac{78}{100}\right)(90) - 4$$

$$X = 66.2 \text{ }^{\circ}\text{P}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

Con ello podemos inferir que cuando el punto de ebullición del etanol es 78 °C en la escala del programa del ingeniero será 66.2°P.

Problemas Propuestos

1. Un profesor de física que viaja a la Antártida decide crear una escala relativa de temperatura basada en las propiedades físicas y químicas del agua. Si en esta escala, la temperatura de ebullición del agua se establece en 30°B y la temperatura de fusión en -70°B , determinar el valor del cero absoluto en la escala relativa $^{\circ}\text{B}$.

<https://youtu.be/z3mE0GQiLiI?si=-Jm3JGxtZqIHZuws>

Respuesta: -343°B

2. Un estudiante de ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén decide medir la temperatura de dos bloques de acero, A y B, de igual masa y forma, utilizando termómetros de diferentes escalas. Si obtiene los valores de -15°F y 250 K respectivamente, determinar cuál de los bloques está a una temperatura más alta en $^{\circ}\text{C}$.

<https://youtu.be/Bed370jpc48?si=tUqRwBhTTeznk2yI>

Respuesta: -23°C

3. Un estudiante de Ingeniería de la UNJ, investigando en internet sobre temperatura, encuentra que el mercurio tiene una temperatura de congelación de -39°C y de ebullición de 357°C . si por curiosidad, establece una nueva escala de temperatura, llamada escala P, donde el mercurio se congela a 0°P y hierve a 100°P , determinar la temperatura en la escala P cuando la temperatura ambiente es de 30°C .

<https://youtu.be/dN8c82R-nTw?si=MvtAmUtC3VuqnM1W>

Respuesta: 17.42°P

4. Determinar la temperatura en grados Celsius para la cual se cumple la siguiente relación: $K + 2F = 2R - 9^{\circ}\text{C}$

https://youtu.be/FfMwDGJgs_o?si=nkTIg97pBebfT89J

Respuesta: 64.7°C

5. Si el oxígeno se condensa en un líquido a aproximadamente 90 K, determinar a qué temperatura, en grados Fahrenheit, corresponde este valor.

https://youtu.be/AwofM2URHMg?si=ZTMpBiREi7wJdyM_

Respuesta: -297.4°F

6. Si en un termómetro malogrado cuya escala está en grados Rankine ($^{\circ}\text{R}$), el agua hierve a 572°R , determinar a qué temperatura debe congelar el agua en dicho termómetro.

<https://youtu.be/c0K9W7D2A8Q?si=u-gNDJ5UAhE42MTY>

Respuesta: 392°R

7. La altura de la columna de mercurio de un termómetro de líquido es de 5 cm cuando el bulbo está en equilibrio térmico en el punto de hielo, y de 25 cm cuando está en el punto de vapor. Determinar la distancia en cm entre las temperaturas: a) 0°C y 15°C y b) 85°C y 100°C .

https://youtu.be/WyRvP-PojJ0?si=G_ZHHIOPPuF72OiQ

Respuesta: 3 cm; 3 cm

8. La temperatura de un cuerpo A es el doble de la temperatura de un cuerpo B cuando se mide en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), pero si se mide en grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), la diferencia entre las temperaturas es de 18. Determinar la temperatura del cuerpo B en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

<https://youtu.be/rb4Z9KcTlfl?si=aSx-VAVgwBbk7o0a>

Respuesta: 10°C

9. Determinar a cuántos grados centígrados se cumple que la diferencia de las lecturas en escalas absolutas es igual a la suma de las lecturas en escalas relativas.

https://youtu.be/WyRvP-PojJ0?si=G_ZHHIOPPuF72OiQ

Respuesta: 93.5°C

10. Un cuerpo inicialmente a 8°C experimenta una serie de cambios de temperatura: primero se incrementa en 18°F , luego se reduce en 5 grados Kelvin, y finalmente se incrementa en 36°R . determinar cuál será su temperatura final en $^{\circ}\text{C}$.

https://youtu.be/SDdhw1AT9bQ?si=iQu_YC5qbMfJExHV

Respuesta: 33°C

11. Un termómetro de mercurio con una escala que marca 0°X cuando la temperatura es de -20°C , y marca 240°X para 100°C . Determinar cuántos grados X corresponden a la temperatura humana de 37°C .

https://youtu.be/n9gnXoM8Td4?si=kQti2Bba9yhkCUL_

Respuesta: 114°X

12. En una escala de temperatura, el punto de congelación del agua se ubica en -150 D y el punto de ebullición en 60 D. Encontrar una ecuación de conversión lineal entre esta escala de temperatura y la escala Celsius.

<https://youtu.be/I7tY2tiw-ps?si=oTT5GUNKUzVuWBug>

Respuesta: $D = \frac{3}{4}C - 15$

13. En un termómetro con escala en grados Fahrenheit (°F), el agua hierve a 178°F. Determinar a qué temperatura debe congelar el agua en dicho termómetro.

https://youtu.be/_1xcIT1UsUk?si=CFIW6sl-SBi0QH9V

Respuesta: 2F

14. Un estudiante de ingeniería inventa una nueva escala termométrica, llamada escala N, donde asigna 160 N al punto de ebullición del agua y 20 N al punto de congelación. Determinar cuántos grados marcaría una temperatura de 80°C en esta nueva escala.

https://youtu.be/z4qoYdwHtNs?si=rS-d_yDF-1zblzOV

Respuesta: 132 N

15. Un termómetro de gas a volumen constante registra una presión de 5 cmHg cuando su bulbo está en contacto con agua en el punto triple. Calcular la presión que indicará cuando el bulbo esté en contacto con el agua en el punto de ebullición normal.

<https://youtu.be/JuSaXYNTsCs?si=hjbcBQL6MrtnaffZ>

Respuesta: 6.832 cmHg

16. La longitud de una columna de mercurio en un termómetro es de 7 cm cuando se sumerge en agua con hielo, y de 27 cm cuando se sumerge en vapor de agua hirviendo a condiciones normales. Determinar qué longitud tendrá en una habitación a 25°C.

<https://youtu.be/Brq0oaVORpw?si=4aUvLNywb7CCPI7A>

Respuesta: 12 cm

17. Una lámina de acero sufre procesos térmicos. Si su temperatura inicial fue de 30°C; luego se calentó en 540°F y finalmente se enfrió en 100 K, determinar su temperatura final.

https://youtu.be/ufZ_1F_wLMk?si=jqeoZjMsJu7xDG8N

Respuesta: 230 °C

18. Una ingeniera de materiales desarrolla una escala termométrica S, con 180 S para el punto de ebullición del agua y 10 S para el punto de congelación. Si la temperatura de una sustancia es de 55°C, ¿cuántos grados indicará en la escala S?

<https://youtu.be/TMFYV21PKTk?si=pophyDWomKhayJO>

Respuesta: 103.5 °C

Capítulo 4

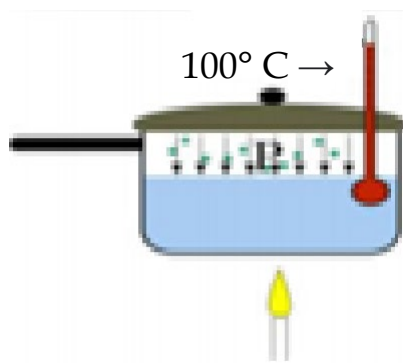
Dilatación



1. Dilatación térmica

1.1. Definición

La dilatación térmica es el fenómeno físico por el cual los cuerpos cambian de tamaño debido a variaciones de temperatura. Consiste en el incremento de las dimensiones de un material cuando es calentado (Ricardo Romo, 2022).



1.2. Origen microscópico

Desde el punto de vista microscópico, este fenómeno se origina por el aumento de amplitud de las vibraciones de los átomos y moléculas al incrementarse la temperatura. Esto hace que la distancia promedio entre las partículas se incremente, ocupando un mayor volumen (Sears Zemansky, 2023).

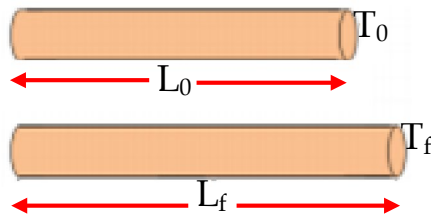
2. Tipos de dilatación

2.1. Dilatación lineal

Es el cambio fraccional de longitud de un material sometido a un cambio de temperatura (Resnick et al., 2024). Su

ecuación relaciona el cambio de longitud ΔL con la longitud inicial L_0 .

Por ejemplo, consideremos una barra metálica con longitud inicial L_0 que es calentada desde una temperatura T_0 hasta T_f . Su longitud final L_f será mayor, determinada por:



$$T_f > T_0$$

$$\Delta L = L_f - L_0$$

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$$

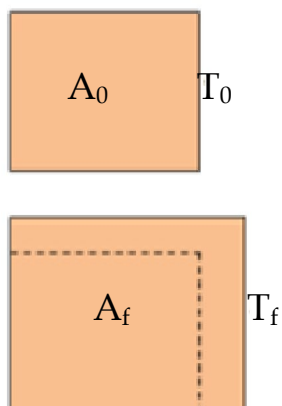
$$L_f = L_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

Donde ΔT es el aumento de temperatura y α es el coeficiente de dilatación lineal. Este coeficiente cuantifica el alargamiento fraccional por cada grado de calentamiento con unidades de $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

2.2. Dilatación superficial

Es el cambio fraccional del área de una superficie sometida a un cambio de temperatura (Kane and Sternheim, 2021).

Por ejemplo, un cuadrado metálico de área inicial A_0 que es calentado desde T_0 a T_f , expandirá su área a un valor A_f dado por:



$$T_f > T_0$$

$$\Delta A = A_f - A_0$$

$$\Delta A = A_0 \beta \Delta T$$

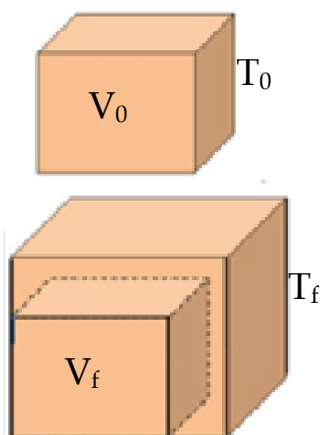
$$A_f = A_0(1 + \beta \Delta T)$$

Donde β es el coeficiente de dilatación superficial en $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

2.3. Dilatación volumétrica

Representa el cambio fraccional en el volumen de un cuerpo debido a un cambio de temperatura (Cesar Mora et al., 2023).

Así, un sólido metálico de volumen inicial V_0 que se calienta desde T_0 hasta T_f , incrementará su volumen a V_f según:



$$T_f > T_0$$

$$\Delta V = V_f - V_0$$

$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta T$$

$$V_f = V_0 (1 + \gamma \Delta T)$$

Donde γ es el coeficiente de dilatación volumétrica en $^{\circ}\text{C}^{-1}$

3. Relación entre los coeficientes de dilatación térmica

Partiendo de las ecuaciones que gobiernan los distintos tipos de dilatación (lineal, superficial y volumétrica) según Resnick et al. (2024) y Mora et al. (2023), se puede demostrar que los respectivos coeficientes se relacionan de la siguiente forma para el caso de sólidos:

$$\gamma = \alpha + \beta$$

Es decir, el coeficiente de dilatación volumétrica (γ) equivale a la suma del coeficiente de dilatación lineal (α) y el coeficiente de dilatación superficial (β), (Swartz, 2022).

Esto es consecuencia de que la expansión tridimensional en volumen es el resultado de las dilataciones unidimensional (lineal) y bidimensional (superficie).

Además, se cumple que: $\beta = 2\alpha$ y $\gamma = 3\alpha$

4. Dilatación en diferentes estados

4.1. Sólidos

Los sólidos presentan dilatación térmica en sus tres modalidades: lineal, superficial y volumétrica. Esto se debe al

arreglo organizado de sus átomos y moléculas (Silvertooth y Division, 2022).

4.2. Líquidos

4.2.1. Dilatación aparente

En los líquidos, se observa una dilatación térmica menor a la esperada, conocida como dilatación aparente. Este fenómeno se debe a las interacciones intermoleculares (J.A. Heras, 2023).

4.2.2. Dilatación anómala del agua

El agua presenta un comportamiento inusual en términos de densidad a medida que se enfría desde su punto de fusión (0°C) hasta los 4°C . A diferencia de la mayoría de las sustancias, que se contraen al enfriarse, el agua experimenta una expansión en su densidad a medida que desciende desde 4°C hasta 0°C . Esta anomalía culmina en una densidad máxima en torno a los 4°C (Carlos Smith, 2021).

Este fenómeno peculiar se debe a las propiedades del enlace de hidrógeno entre las moléculas de agua. A temperaturas más altas, estas interacciones moleculares son menos efectivas, permitiendo que las moléculas de agua se acerquen entre sí más

libremente, lo que resulta en una disminución de la densidad. Sin embargo, a medida que la temperatura desciende hacia los 4°C , las moléculas de agua se organizan de manera más ordenada debido a la formación de estructuras de enlace de hidrógeno más estables. Esto conduce a un aumento en la densidad del agua hasta alcanzar un máximo en los 4°C . A partir de ese punto, al seguir enfriándose, las estructuras de enlace de hidrógeno comienzan a romperse, lo que resulta en una disminución en la densidad del agua.

Esta peculiaridad en el comportamiento del agua es fundamental para la vida en la Tierra, ya que asegura que los cuerpos de agua permanezcan más densos en la parte inferior a 4°C , lo que facilita la formación de una capa aislante en la superficie de los lagos y océanos durante los meses más fríos, protegiendo la vida acuática del frío extremo y permitiendo la supervivencia de numerosas especies.

4.3. Gases

La dilatación térmica es más significativa en gases debido a las grandes distancias intermoleculares. Su volumen varía en proporción directa a la temperatura absoluta (Tipler y Mosca, 2024).

5. Variación de la densidad con el calor

Al calentarse un material, el volumen se expande en mayor proporción que la masa, provocando una disminución de su densidad (Felder y Rousseau, 2022).

Consideremos un cuerpo con una densidad inicial ρ_0 , definida como la masa m dividida por el volumen inicial V_0 , expresada como:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \dots \dots \dots (1)$$

Cuando la temperatura varía, la densidad final ρ_f se define como la masa m dividida por el volumen final V_f , y debido a la dilatación volumétrica, el volumen final se relaciona con el volumen inicial mediante:

$$V_f = V_0(1 + \gamma\Delta T) \dots \dots \dots (2)$$

Reemplazando la ecuación (2) en la ecuación (1), obtenemos:

$$\rho_f = \frac{m}{V_0(1 + \gamma\Delta T)} \dots \dots \dots (3)$$

Sustituyendo la expresión de masa de la ecuación (1) en la ecuación (3), obtenemos:

$$\rho_f = \frac{V_0\rho_0}{V_0(1 + \gamma\Delta T)}$$

Eliminando V_0 , llegamos a:

$$\rho_f = \frac{\rho_0}{(1 + \gamma\Delta T)} \dots \dots \dots (4)$$

La variación de densidad $\Delta\rho$ se define como la diferencia entre la densidad final y la densidad inicial:

$$\Delta\rho = \rho_f - \rho_0 \dots\dots\dots (5)$$

Sustituyendo la ecuación (4) en la ecuación (5), obtenemos:

$$\Delta\rho = \frac{\rho_0}{(1 + \gamma\Delta T)} - \rho_0$$

$$\Delta\rho = \frac{\rho_0 - \rho_0(1 + \gamma\Delta T)}{(1 + \gamma\Delta T)}$$

$$\Delta\rho = -\frac{\gamma\Delta T}{(1 + \gamma\Delta T)}$$

El signo negativo en la ecuación indica que cuando el cuerpo se expande debido a los efectos de la temperatura, su densidad disminuye.

6. Aplicaciones

6.1. Termómetros

Los termómetros se fundamentan en la dilatación de líquidos dentro de un tubo capilar para medir la temperatura. Los tipos más comunes utilizan mercurio, alcohol o galinstano (K.K Ramachandran, 2023).

6.2. Juntas de expansión

Estas juntas se instalan entre secciones de edificios, pistas y puentes para permitir la expansión térmica de los materiales sin causar daños en las estructuras (Mott, 2022).

6.3. Compensadores en tuberías

Los compensadores en tuberías absorben la expansión y contracción de tuberías metálicas utilizadas para el transporte de fluidos, lo cual ocurre debido a cambios de temperatura (J.A. Heras, 2023).

7. Propiedades

7.1. Linealidad

La dilatación térmica es directamente proporcional a la variación de temperatura en un rango amplio (Holman, 2024).

7.2. Reversibilidad

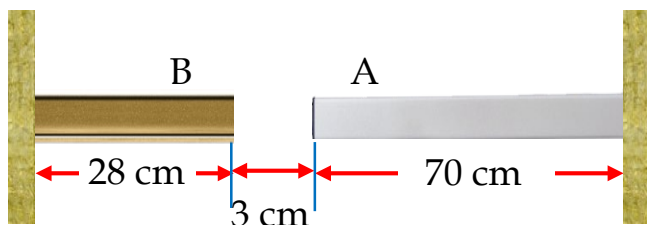
La dilatación y contracción de un material es reversible al aumentar o disminuir la temperatura (Smith, 2021).

7.3. Continuidad

Los cambios dimensionales por dilatación ocurren de manera continua al variar la temperatura (Giancoli, 2023).

Problemas resueltos

1. La figura ilustra dos barras, A y B, compuestas de materiales diferentes. Si las barras están empotradas a parámetros impermeables al calor y coeficientes de expansión térmica $\alpha_A = 14.2 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ y $\alpha_B = 1.49 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, determinar el incremento necesario en la temperatura del sistema para que los extremos libres de las barras entren en contacto debido a la dilatación térmica.



https://youtu.be/XCP_rS55vZA?si=T2QjEHxXSgenc4Op

Solución**Identificación de datos y sus unidades de medida:**

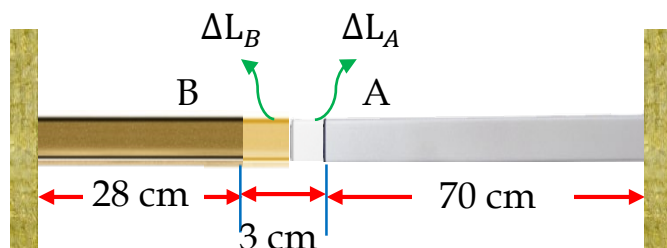
Coeficiente de expansión térmica de la barra A (α_A) =
 $14.2 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Coeficiente de expansión térmica de la barra B (α_B) =
 $1.49 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Incremento en la temperatura del sistema (ΔT) = ?

Representación gráfica del fenómeno:

Al aumentar la temperatura, las barras se expandirán, y se busca determinar el incremento necesario en la temperatura para que los extremos libres entren en contacto, tal como se muestra a continuación.



Identificación de la ecuación física adecuada:

El incremento de longitud de una barra debido a la dilatación térmica (ΔL) se puede expresar utilizando la fórmula:

$$\Delta L = L_0 \propto \Delta T$$

Realización de los cálculos sustituyendo los datos proporcionados:

Para la barra A:

$$\Delta L_A = L_{0A} \propto_A \Delta T$$

Para la barra B:

$$\Delta L_B = L_{0B} \propto_B \Delta T$$

Como queremos que los extremos libres entren en contacto, la suma de los cambios en longitud de ambas barras debe ser igual a la distancia inicial entre los extremos libres. Es decir, $\Delta L_A + \Delta L_B = 3 \text{ cm}$

$$L_{0A} \propto_A \Delta T + L_{0B} \propto_B \Delta T = 3 \text{ cm}$$

Ahora sustituimos los valores conocidos y resolvemos para ΔT

$$\Delta T = \frac{3 \text{ cm}}{L_{0A} \propto_A + L_{0B} \propto_B}$$

$$\Delta T = \frac{3 \text{ cm}}{70(14.2 \times 10^{-4}) + 28(1.49 \times 10^{-3})}$$

$$\Delta T = 21.26^\circ\text{C}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

El valor de 21.26°C obtenido es el incremento necesario en la temperatura para que los extremos libres de las barras entren en contacto debido a la dilatación térmica.

2. Durante un viaje de Jaén a San Ignacio, un grupo de estudiantes de la Universidad Nacional de Jaén se detiene para observar un puente de acero. Si por la mañana, con una temperatura ambiente de 17°C , registran que la longitud del puente es de 120 metros y al regresar al mediodía, notan con sorpresa que la longitud del puente ha aumentado ligeramente a 120.014256 metros, determinar a qué temperatura estará el ambiente al mediodía para que se produzca esta variación en la longitud del puente. considere, $\alpha_{\text{acero}} = 12 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$

<https://youtu.be/eB6diEYBQD4?si=lj4zl0qMROgk4bmv>

Solución:

Identificamos los datos con sus respectivas unidades de medida:

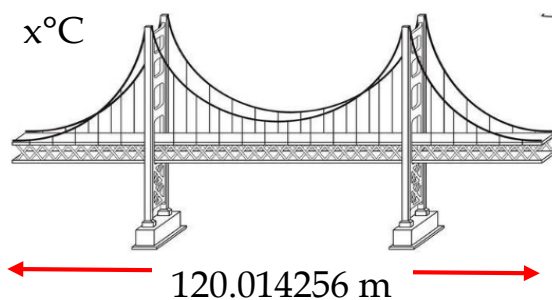
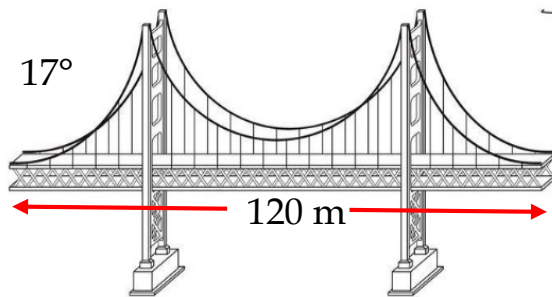
$$T_0 = 17^\circ\text{C}$$

$$L_0 = 120 \text{ m}$$

$$L_f = 120.014256 \text{ m}$$

$$\alpha_{\text{acero}} = 12 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$$

$$T_f = x^\circ\text{C}$$

Representación gráfica del fenómeno:**Identificación de la ecuación física a utilizar:**

$$L_f = L_0(1 + \alpha \times \Delta T)$$

Identificación de las magnitudes físicas faltantes y sustitución de los datos proporcionados:

$$120.014256 = 120[1 + 12 \times 10^{-6} \times (T_f - 17)]$$

$$\frac{120.014256}{120} = 1 + 12 \times 10^{-6} \times (T_f - 17)$$

$$1.0001188 - 1 = 12 \times 10^{-6} \times (T_f - 17)$$

$$\frac{0.0001188}{12 \times 10^{-6}} = T_f - 17$$

$$T_f = 17 + 9.9$$

$$T_f = 26.9^\circ\text{C}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

El resultado tiene sentido físico y cumple con lo estipulado en la teoría.

3. En el laboratorio de física de la Universidad Nacional de Jaén, un estudiante mide un cable de cobre a una temperatura inicial de 40°C , obteniendo una longitud de 3 metros, y luego decide someter al cable a un proceso de calentamiento utilizando un calentador de inducción, elevando su temperatura a 60°C . Si la dilatación térmica del cobre es de $1.7 \times 10^{-5}^{\circ}\text{C}^{-1}$, determinar la longitud del cable a esta nueva temperatura.

<https://youtu.be/ra7Udc1Nd4Q?si=ybYdBHE9kZr3XODx>

Solución:

Identificamos los datos con sus respectivas unidades de medida:

$$T_0 = 40^{\circ}\text{C}$$

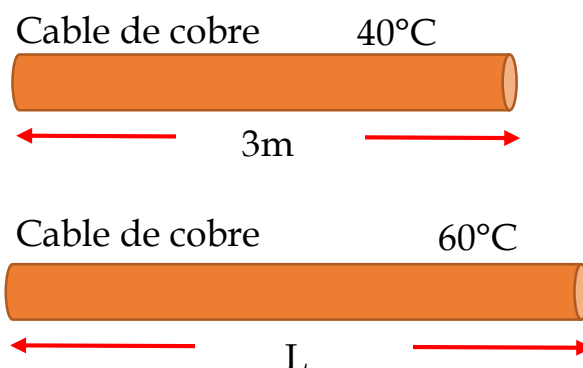
$$L_0 = 3 \text{ m}$$

$$T_f = 60^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_{\text{cobre}} = 1.7 \times 10^{-5}^{\circ}\text{C}^{-1}.$$

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

Representación gráfica del fenómeno:



Identificación de la ecuación física a utilizar:

$$L_f = L_0(1 + \alpha \times \Delta T)$$

Identificación de las magnitudes físicas faltantes y sustitución de los datos proporcionados:

$$L_f = 3[1 + 1.7 \times 10^{-5}(60 - 40)]$$

$$L_f = 3[1 + 1.7 \times 10^{-5}(20)]$$

$$L_f = 3[1 + 3.4 \times 10^{-4}]$$

$$L_f = 3[1.00034]$$

$$L_f = 3.00102 \text{ m}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

La longitud final es de 3,00102 metros y tiene sentido físico, lo cual cumple con las bases teóricas.

4. En la Universidad Nacional de Jaén, se tiene una ventana de vidrio con un área de 2.5 m² cuando la temperatura es de 22°C. Si el coeficiente de dilatación lineal del vidrio es de $\alpha_{\text{vidrio}} = 14.6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, determinar cuál será su área final al aumentar la temperatura a 38°C.

https://youtu.be/iJToXz_VuIc?si=APYLBnLB54CDqA5v

Solución

Identificación de los datos con sus respectivas unidades de medida

Temperatura inicial = $T_0 = 22^\circ\text{C}$

Temperatura final = $T_f = 38^\circ\text{C}$

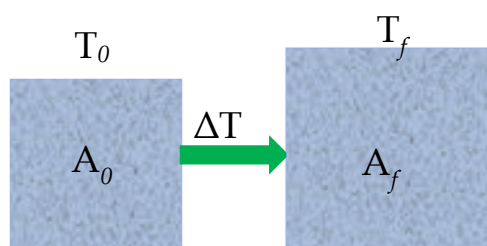
Área inicial = $A_0 = 2.5\text{m}^2$

$$\text{Área final} = A_f = ?$$

$$\alpha_{\text{vidrio}} = 14.6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

Representación gráfica del fenómeno

Realizar el diagrama de cuerpo libre



Identificación de la ecuación física

A medida que aumenta la temperatura de cada objeto aumenta su área

$$A_f = A_0[1 + 2 \alpha (T_f - T_0)]$$

Determinación de las magnitudes físicas faltantes y sustitución de los datos proporcionados

$$A_f = 2.5[1 + 2 \times 14.6 \times 10^{-6}(38 - 22)]$$

$$A_f = 2.5[1 + 2 \times 14.6 \times 10^{-6}(16)]$$

$$A_f = 2.501168 \text{ m}^2$$

Análisis de los resultados

El área final de la ventana de vidrio es de 2.501168 m^2

5. Se quiere medir la temperatura de un horno utilizando una barra metálica, para la cual a la barra se coloca inicialmente a una temperatura de $30.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el horno y después de un cierto tiempo, se retira la barra del horno y se verifica que la longitud final sufrida equivale al 0.75% de su longitud inicial. Si se sabe que el coeficiente de dilatación lineal del material de la barra es $12 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, determinar la temperatura del horno en el instante en que la barra fue retirada

<https://youtu.be/v-osqVucH8M?si=OOV2a-p0oINF-uYy>

Solución

Identificación de datos con sus respectivas unidades de medida

Temperatura inicial de la barra metálica = $30.1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Longitud inicial de la barra metálica = L

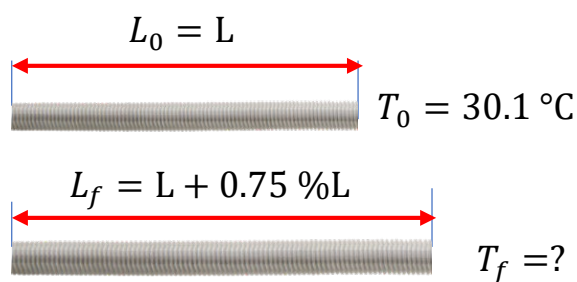
Longitud final de la barra metálica = $L + 0.75\%L$

$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Temperatura final del horno = ?

Finalidad y representación gráfica





Ecuación(es) física(s) a utilizar en la solución del problema

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$$

Remplazado los datos de manera detallada y ordenada

$$0.75\text{ \%} = \alpha \Delta T$$

$$\frac{0.75}{100} = 12 \times 10^{-6} (T_f - 30.1\text{ }^{\circ})$$

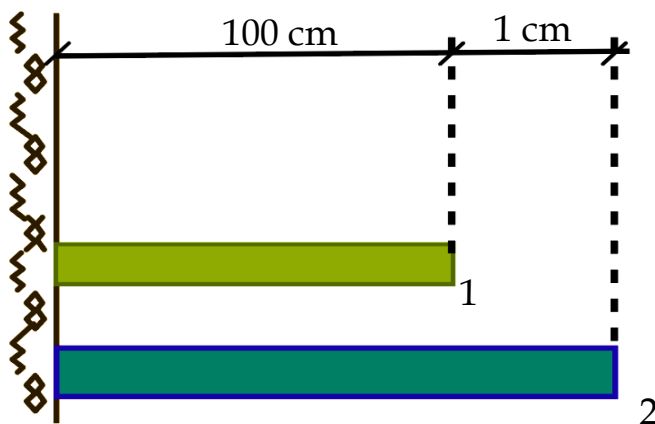
$$T_f = 655.1\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Análisis de los resultados

La temperatura final de la barra metálica es de $655.1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Problemas propuestos

1. Si los coeficientes de dilatación de las varillas mostrados en la figura son $\alpha_1 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $\alpha_2 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, determinar en cuántos grados Celsius se debe incrementar la temperatura para que ambas varillas alcancen la misma longitud.



<https://youtu.be/gnuU8w7GClS?si=YDyPRQLzZoJa37Si>

Respuesta: 222.47 $^\circ\text{C}$

2. Un matraz de vidrio de 250 cm^3 de capacidad se llena completamente de mercurio a 20 $^\circ\text{C}$. Si coeficientes de dilatación volumétrica son $1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para el vidrio y $18 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para el mercurio, determinar cuánto mercurio se derramará al calentar el conjunto hasta 100 $^\circ\text{C}$.

<https://youtu.be/3pqvaZRXGik?si=rupNyxWnhxUGigP1>

Respuesta: 3.36 cm^3

3. Un cable de cobre mide 1 metro cuando la temperatura es de 20°C . Si el coeficiente de dilatación lineal del cobre es de $17 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$, determinar cuál será su longitud cuando la temperatura aumenta a 120°C .

<https://youtu.be/gnuU8w7GClS?si=YDyPRQLzZoJa37Si>

Respuesta: 100.17 cm

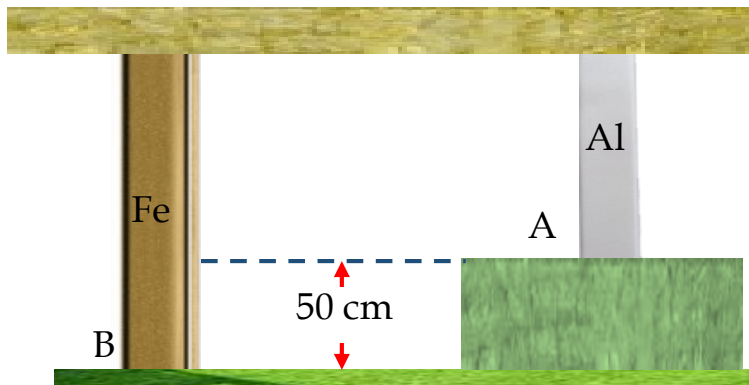
4. Un termómetro de mercurio que consiste en un bulbo y un tubo muy delgado tal como se muestra en la figura, contiene 1.5 cm^3 de mercurio. Si se desea que un cambio de temperatura de 10°C del mercurio modifique la altura de la columna en 10 mm, determinar cuál será el diámetro interior, en metros, del tubo. Considerar $\gamma_{\text{Hg}} = 60 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$.



https://youtu.be/z0zJh_a3XvY?si=HVQxFITb4dqrEKRK

Respuesta: $4.78 \times 10^{-4} \text{ m}$

5. En la figura se muestra una plataforma horizontal sostenida por dos columnas verticales, una de aluminio y otra de hierro. Si se sabe que la plataforma permanece horizontal a cualquier temperatura, la diferencia de nivel entre los puntos A y B es de 50 cm y los coeficientes de dilatación térmica del hierro y aluminio son $12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ y $24 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ respectivamente, determinar las longitudes que deben tener las columnas de cada material a 0°C .



<https://youtu.be/MMAcdhxVkFg?si=Qp7kiBWzpWlvuPkn>

Respuesta: 100 m; 50 m

6. Un reloj de péndulo está hecho de latón y tiene una longitud tal que a 16° su periodo de oscilación es 1 s. Si el ambiente donde se encuentra se mantiene a 28°C , determinar aproximadamente en cuánto se atrasa en segundos este reloj en 25 horas. Considerar $\alpha_{\text{latón}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

https://youtu.be/gnBSHrRbNWg?si=1iv9cpBmqanry_Zd

Respuesta: 10.7994 s

7. Una vasija de vidrio tiene un volumen interior de 750 cm^3 a 20°C y se llena hasta el borde con mercurio también a 20°C y se calienta el conjunto hasta 100°C . Si se derraman 10.2 cm^3 por el borde de la vasija, determinar el coeficiente de dilatación cúbica del vidrio. Considerar $\gamma_{\text{Hg}} = 1.82 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

<https://youtu.be/vhQk6Jmh3QY?si=0tjm-csCtsrJNPC7>

Respuesta: $1.2 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

8. Un recipiente cuyo volumen inicial es de 150 cm^3 está completamente lleno de glicerina a una temperatura de 20°C . Si al calentar el conjunto hasta 160°C , se observa que se derrama 3.71 cm^3 , determinar: a) la dilatación aparente, b) la dilatación real, y c) si se dilató el recipiente. Considerar $\gamma_{\text{Glicerina}} = 5.1 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

<https://youtu.be/ohqtoScQPe0?si=Jg5S66whj-0Nkowl>

Respuesta: 7 cm^3

9. Al maquinar una polea de fierro fundido en un torno, la temperatura de la polea se elevó hasta 200°C . Si al enfriarse hasta 0°C , su diámetro resulte igual a 400 mm , determinar el diámetro que deberá tener la polea a temperatura 200°C . Considerar $\alpha_{\text{fe}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

https://youtu.be/vph2WYVJ_aM?si=79xnfRFvQAS0-U_B

Respuesta: 400.96 mm

10. Los alambres de un alumbrado público son de cobre, y los postes están separados por 25 metros. Si los alambres están tensos en un día de invierno, cuando la temperatura es de 0°C , determinar la longitud de uno de los alambres que están entre dos postes en un día de verano, cuando la temperatura es de 30°C . Considerar $\alpha_{\text{cu}} = 17 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

https://youtu.be/gFP_F5Z5dpY?si=CaANXZA5x996GSDM

Respuesta: 25.01275 m

11. Un anillo con un radio interno de 2 cm se desea colocar sobre un tubo con un radio externo de 2.1 cm. Si inicialmente el anillo está a 25°C , determinar la temperatura en $^{\circ}\text{C}$ a la cual se debe calentar el anillo para que ingrese justo sobre el tubo. Considerar el $\beta_{\text{anillo}} = 2 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

https://youtu.be/jaqQ434sLRM?si=Cz3t4IP7OqUmG7_V

Respuesta: 76.25°C

12. Se tiene una lámina metálica con un coeficiente de dilatación superficial de $2.02 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, de la cual se ha sustraído un círculo de radio 1 cm. Si se pretende hacer pasar por el orificio una esfera de 1.02 cm de radio, determinar en cuánto se debe incrementar la temperatura de la lámina metálica.

https://youtu.be/Rzd_ql1cRWc?si=5P2nmtYAECBeGxdb

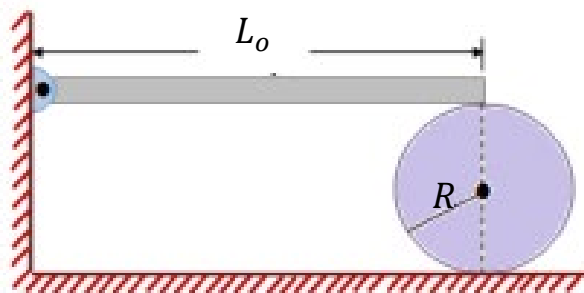
Respuesta: 200°C

13. Al calentar cierto metal desde 0°C hasta 450°C , su densidad disminuye en 1.015 veces. Hallar el coeficiente de dilatación lineal de este metal, suponiendo que es constante en el intervalo de temperatura dado.

<https://youtu.be/PryZE8ENec0?si=IEDtK28eyIZCoR97>

Respuesta: $1.11 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

14. Una varilla de cobre de 19.708 metros de longitud, sujeta por un extremo y apoyada sobre un rodillo de 4 centímetros de radio, tal como se muestra en la figura, se calienta por acción de la corriente eléctrica desde 20°C hasta 270°C , lo cual hace que el rodillo ruede sin resbalar. Si el coeficiente de dilatación del cobre es $1.7 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, determinar el ángulo que gira el rodillo debido a este efecto.



<https://youtu.be/c9GFsB4dvr8?si=uVE9OVM2wY1UrGcb>

Respuesta: 60°

15. Un frasco de vidrio de 1500 cm^3 a 0°C se llena al borde con mercurio a esta temperatura. Si el frasco y el mercurio se calientan a 60°C , se derraman 12 cm^3 de mercurio. El coeficiente de dilatación volumétrica del mercurio es $\gamma = 18 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, Calcular el coeficiente de dilatación volumétrica del vidrio.

<https://youtu.be/plattlTM9Mo?si=NZz8M7diJd-xPjjF>

Respuesta: $4.7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

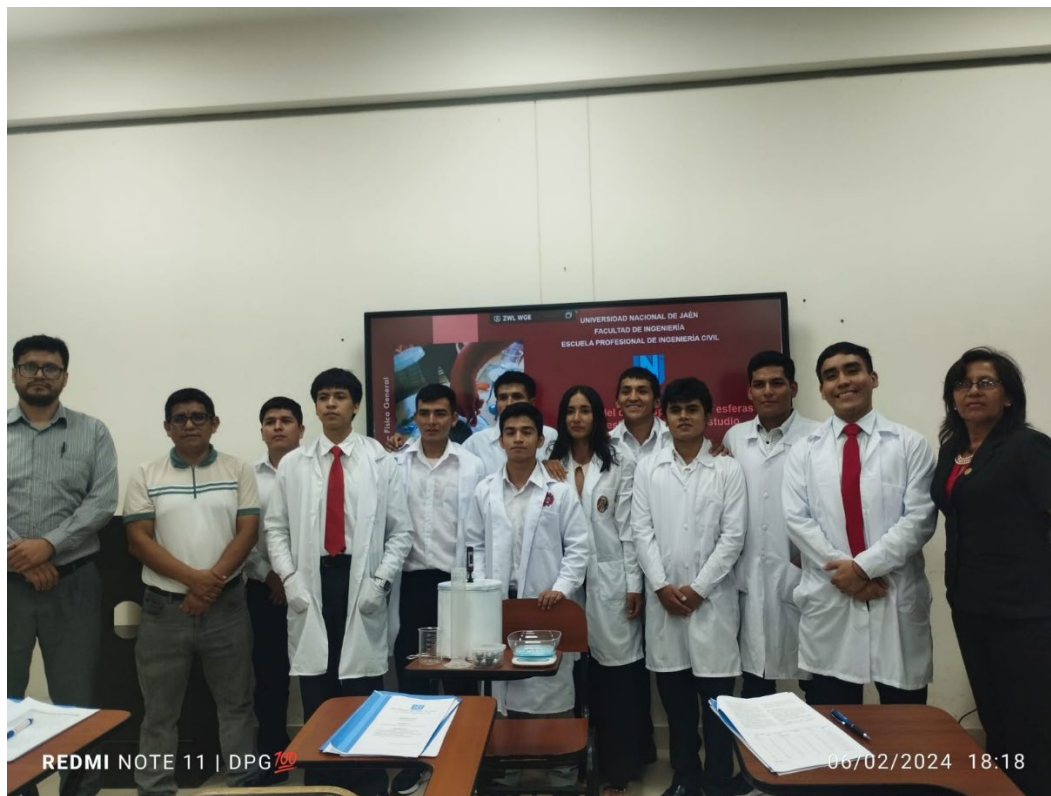
16. El patio de un colegio del centro poblado de Penachi está hecho de losas de concreto, las cuales son cuadradas de 5 m de lado. si la temperatura máxima del medio ambiente es 35°C y las losas fueron construidas a 12°C , determinar el ancho de las juntas para evitar la ruptura de las losas.

https://youtu.be/qwpiVCRE6yk?si=tFKEotvax2Plr_P5

Respuesta: $1.38 \times 10^{-3} \text{ m}$

Capítulo 5

Calorimetría



1. Calorimetría

1.1. Definición de calorimetría

La calorimetría, una rama fundamental de la termodinámica, se dedica al estudio de las mediciones de calor y las propiedades térmicas de la materia (Cengel et al., 2022).

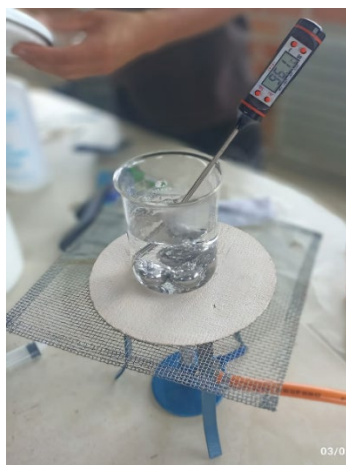
1.2. Importancia del estudio de la transferencia de calor

Comprender la transferencia de calor es esencial para entender los procesos energéticos en la naturaleza, la industria y los seres vivos. Esto permite optimizar procesos, desarrollar nuevos materiales y mejorar tecnologías (J.M. Smith, 2023).

2. Calor

2.1. Definición de calor

Se define como una forma de transferencia de energía entre cuerpos o sistemas debido a una diferencia de temperaturas (Giancoli, 2021).



2.2. Unidades de calor

La siguiente tabla N° 5 presenta las unidades de calor más comunes y sus equivalencias en joules (J).

Tabla 5. Unidades de Calor y sus Equivalencias en Joules

Unidad de Calor	Equivalencia
Joule (J)	$1 \text{ J} = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2$
Caloría (cal)	$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$
BTU	$1 \text{ BTU} = 1055.06 \text{ J}$
kcal	$1 \text{ kcal} = 4184 \text{ J}$

Nota: Un BTU (Unidad Térmica Británica) representa la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit a presión atmosférica normal.

2.3. Tipos de calor

2.3.1. Calor latente

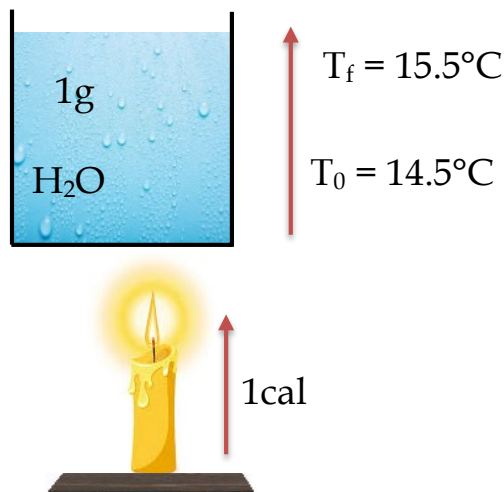
Es la energía intercambiada en cambios de fase de la materia (Atkins et al., 2023).

2.3.2. Calor sensible

Se refiere al calor que cambia la temperatura de un cuerpo (Callen, 2022).

2.4. Caloría como unidad de energía

La caloría (cal) es una unidad de energía utilizada en calorimetría y representa la cantidad de energía necesaria para elevar 1 grado Celsius la temperatura de 1 gramo de agua (Kondepudi y Prigogine, 2023).



3. Principios de la calorimetría

3.1. Primer principio: equilibrio térmico

Cuando dos cuerpos o sistemas se ponen en contacto térmico, habrá una transferencia de calor desde el de mayor temperatura hacia el de menor, hasta que se igualen y se alcance el equilibrio térmico (Tipler y Mosca, 2024).



3.2. Segundo principio: conservación del calor en transformaciones

El calor total transferido en un proceso es igual a la variación de energía interna del sistema más el trabajo efectuado. Esto indica que el calor no se crea ni se destruye, solo se transforma (Heald, 2022).

3.3. Ecuación fundamental

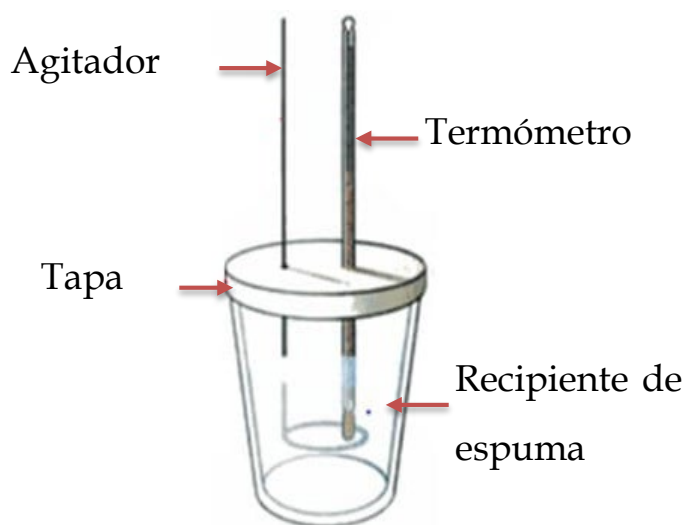
La ecuación fundamental expresa el segundo principio matemáticamente como:

$Q = \Delta U + W$, donde Q es calor, ΔU es la variación de energía interna y W es el trabajo (Giancoli, 2021).

4. Aplicaciones

4.1. Uso de calorímetros

Los calorímetros son instrumentos que permiten medir cantidades de calor y determinar capacidades caloríficas (Merle y Oberlin, 2020).



4.2. Medición de calor en reacciones y cambios físicos

Permiten cuantificar el calor intercambiado en reacciones químicas, cambios de estado, disoluciones y otros procesos mediante un balance de energía con el ambiente y el instrumento (Chang y Overby, 2021).

4.3. Medición indirecta de calor en organismos

Ya que es complejo medir directamente flujos de calor en seres vivos, se utilizan métodos indirectos que relacionan intercambio de energía y masa mediante el metabolismo, con lo que se obtiene información equivalente de gasto energético (Kleiber, 2024).

5. Propiedades térmicas

5.1. Capacidad calorífica

Es la propiedad que cuantifica la cantidad de calor necesario para variar la temperatura de una sustancia en una unidad (Kondepudi y Prigogine, 2023).

5.2. Calor específico

Indica cuánto calor se requiere para elevar la temperatura en 1°C por unidad de masa de la sustancia (Halliday et al., 2022).

5.3. Calor específico de algunas sustancias

La siguiente tabla presenta el calor específico de algunas sustancias comunes en joule por gramo por grado Celsius ($\text{J/g}^\circ\text{C}$). Estos valores representan la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de una masa conocida de cada sustancia en un grado Celsius. (Atkins y de Paula, 2022).

Sustancia	Calor Específico ($\text{J/g}^\circ\text{C}$)
Agua	4.18
líquida	
Aluminio	0.9
Cobre	0.39
Hierro	0.45
Plomo	0.128
Mercurio	0.14
Oro	0.129
Plata	0.237
Zinc	0.388

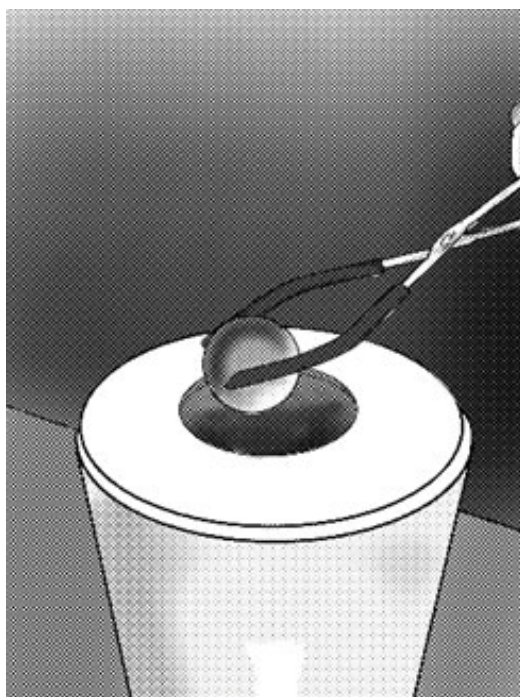
5.4. Capacidad calorífica molar

Es la capacidad calorífica de un compuesto por mol de sustancia, determinada experimentalmente mediante calorimetría y útil para comparar sustancias y predecir intercambios de energía (Whitten et al., 2020).

6. Equilibrio térmico

6.1. Definición

Se refiere a la situación física en la que dos sistemas en contacto térmico alcanzan la misma temperatura, dejando de haber una transferencia neta de calor entre ellos (Cengel y Ghajar, 2022).



6.2. Tipos de calorímetros

La siguiente tabla presenta diferentes tipos de calorímetros clasificados según su principio de operación y propósito de medición calorimétrica (Lewis y Randall, 2023).

Tipo de Calorímetro	Descripción
Calorímetro de mezcla	Mide el calor liberado o absorbido por una reacción química al mezclar los reactivos en un recipiente aislado.
Calorímetro de flujo	Mide el calor transferido a través de un fluido que fluye dentro de un sistema aislado.
Calorímetro de bomba	Utiliza una bomba para mezclar y homogeneizar sustancias mientras se mide el calor de la reacción.
Calorímetro de conducción	Mide el calor transferido a través de un medio sólido, generalmente mediante un cambio de temperatura.
Calorímetro Calvet	Diseñado específicamente para medir el calor intercambiado en reacciones químicas a altas presiones.
Calorímetros criogénicos	Utilizados para medir cambios de temperatura a muy bajas temperaturas, típicamente cerca del cero absoluto.

Estos son solo algunos ejemplos de calorímetros utilizados en diversas aplicaciones científicas y tecnológicas.

6.3. Equivalente en agua de un calorímetro

Es la masa de agua que tendría la misma capacidad calorífica que el calorímetro, lo que permite hacer cálculos de intercambio de calor como si el instrumento fuera equivalente a cierta cantidad de agua (Kotz et al., 2021).

7. Equivalente mecánico del calor

7.1. Relación entre calor y trabajo

Primera ley de la termodinámica establece su equivalencia: la cantidad de calor en un proceso es proporcional al trabajo total efectuado (Cengel y Boles, 2022).

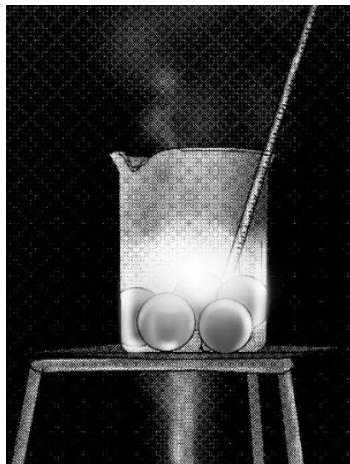
7.2. Experimento de Joule

Joule demostró esa equivalencia midiendo el calor generado en un conductor por efecto Joule cuando se hace pasar una corriente eléctrica, relacionándolo con la energía eléctrica (Tipler y Mosca, 2024).

8. Propagación del calor

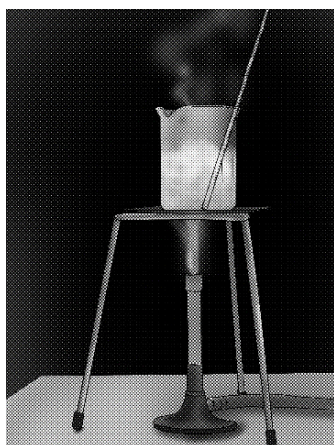
8.1. Conducción

Es el mecanismo de transferencia de energía térmica entre átomos y moléculas adyacentes de un medio debido a interacciones microscópicas sin transporte global de materia (Incropera et al., 2020)



8.2. Convección

Consiste en el transporte macroscópico de calor por el movimiento físico o desplazamiento de regiones calientes y frías de un fluido, impulsado por diferencias de densidades (Chapman, 2023).

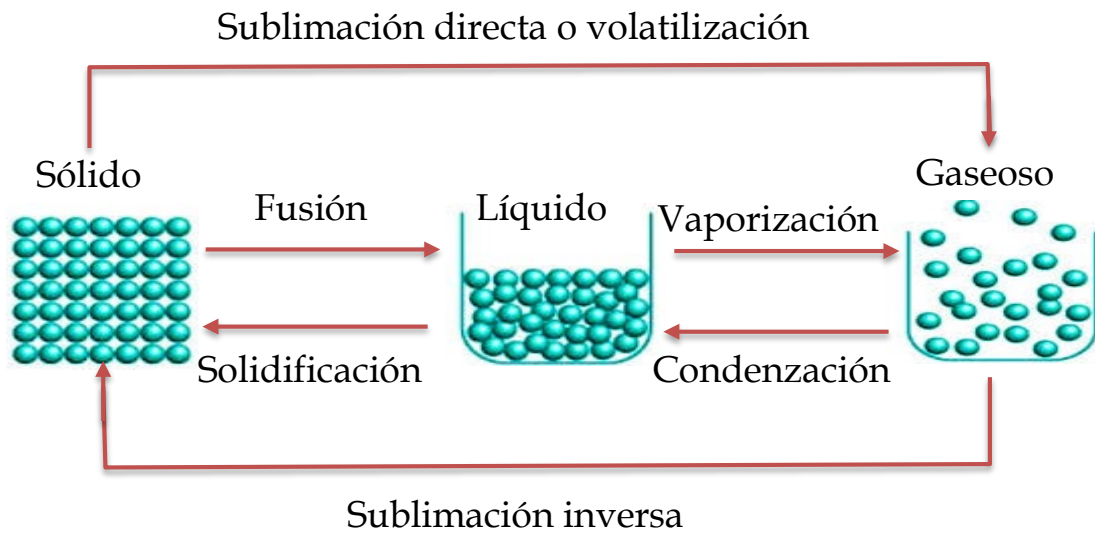


8.3. Radiación

Se refiere a la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas o fotones por cambios en el estado energético de los átomos y moléculas de una superficie, sin requerir un medio material (Van Ness y Smith, 2022).

9. Cambios de fase

Es un fenómeno físico que consiste en el reordenamiento molecular que experimenta una sustancia como consecuencia de la ganancia o pérdida de calor, bajo determinadas condiciones de presión o temperatura.



9.1. Fusión y solidificación

Estos cambios de fase implican transiciones de estado sólido a líquido (fusión) o de líquido a sólido (solidificación) a temperatura constante, con absorción o liberación de calor latente asociado (Atkins y de Paula, 2020).

9.2. Vaporización y condensación

Se refieren a las transiciones de fase líquido-vapor (ebullición o vaporización) y vapor-líquido (condensación) a temperatura constante, implicando intercambio de calor latente (Smith, 2022).

9.3. Sublimación

Paso directo de estado sólido a vapor (sublimación) o de vapor a sólido (deposición) sin transitar por la fase líquida, observándose también calores latentes (McNaught y Wilkinson, 2022).

9.4. Calores latentes asociados

Representan las cantidades de energía intercambiadas en una transición de fase sin que exista cambio de temperatura (Shen y Chen, 2020).

10. Condiciones especiales

10.1. Saturación

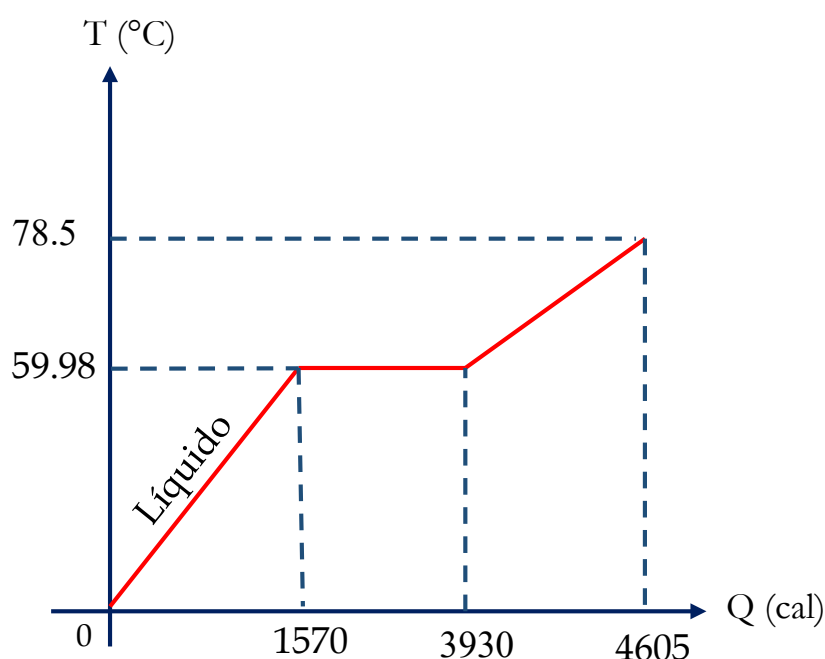
Se refiere a la situación termodinámica en la que una sustancia en un recipiente cerrado coexiste en dos fases diferentes en equilibrio, típicamente líquido-vapor, cumpliéndose a cierta presión y temperatura denominadas de saturación (Moran et al., 2022).

10.2. Punto triple

Corresponde a las condiciones únicas de presión y temperatura donde un compuesto puede existir en equilibrio en sus tres fases: sólida, líquida y gaseosa simultáneamente. Ejemplo: para el agua 0,01 °C y 611,7 Pa (Haynes, 2024).

Problemas resueltos

1. La figura muestra la relación entre la temperatura T y el calor absorbido Q por 13.75 gramos de un líquido inicialmente a 0°C . Determinar la temperatura de ebullición del líquido y el calor de vaporización



https://youtu.be/qbtJLYZhBFk?si=BEQiqRj_3LYiTbAX

Solución**Identificación de datos con sus respectivas unidades de medida**

Masa del líquido = 13.75 gramos

Temperatura inicial = 0°C

temperatura de ebullición del líquido = ?

Calor de vaporización = ?

Finalidad y representación gráfica

Se trabaja con la gráfica del ejercicio propuesto

La temperatura de ebullición se da de líquido a gaseoso, y de la gráfica se obtiene que es 59.98°C

Identificación de la ecuación física a utilizar:

El calor de vaporización (en cal/g) es el calor que necesita ganar el líquido para convertirse todo el vapor.

$$Q = Lm$$

Identificación de las magnitudes físicas faltantes y sustitución de los datos proporcionados:

$$(3930-1570) = L13.75$$

$$L = 171.636 \text{ cal/g}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

La temperatura de ebullición del líquido es 59.98°C y el calor de vaporización 171.636 cal/g

-
2. En un experimento con un calorímetro de 40 gramos de masa y una capacidad calorífica de 100 cal/g, se introducen 10 gramos de agua inicialmente a 10°C y finalmente se agrega un bloque de 50 gramos de un mineral desconocido a una temperatura inicial de 90°C. Si después de que el sistema alcanza el equilibrio térmico, la temperatura final de la mezcla es de 50°C, determinar el calor específico del mineral desconocido.

https://youtu.be/XxWcfVFB9SE?si=MU_V6GmRqryOW5Tz

Solución

Identificamos los datos con sus respectivas unidades de medida:

$$m_{\text{calorímetro}} = 40g$$

$$\text{Capacidad calorífica del calorímetro} = 100 \text{ cal/g}$$

$$m_{H_2O} = 10g$$

$$T_{H_2O} = 10^{\circ}C$$

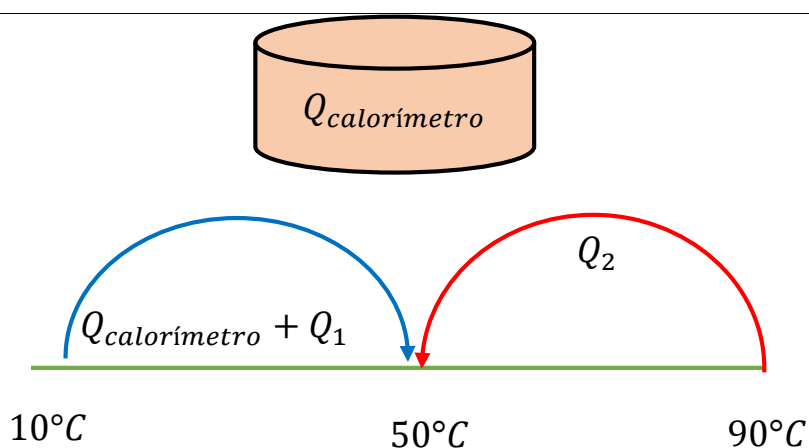
$$m_{\text{mineral}} = 50g$$

$$T_{\text{mineral}} = 90^{\circ}C$$

$$T_f = 50^{\circ}C$$

$$C_{\text{mineral}} = x$$

Representación gráfica del fenómeno:



Identificación de la ecuación física a utilizar:

$$Q_{\text{calorímetro}} + Q_1 = Q_2$$

Identificación de las magnitudes físicas faltantes y sustitución de los datos proporcionados:

$$40(100) + (10)1(50 - 10) = 50C_{\text{mineral}}(90 - 50)$$

$$4000 + 400 = 2000C_{\text{mineral}}$$

$$C_{\text{mineral}} = \frac{4400}{2000}$$

$$C_{\text{mineral}} = 2.2 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

El valor de calor específico del mineral desconocido es $2.2\text{cal/g}^\circ\text{C}$

3. Se tiene una cierta cantidad de agua a una temperatura de 20 °C. si se utilizan 5 kWh de energía y considerándola una presión atmosférica, determinar la cantidad de agua que puede llegar a su punto de ebullición.

https://youtu.be/8zWZJv1S6Tw?si=OMucWAGhe4m7_cUr

Solución

Identificando datos del problema

$$T_{(\text{inicial})} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m_{(\text{agua})} = ?$$

$$Q = 5\text{ kWh}$$

Realizando la conversión pertinente

$$1\text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 J$$

Ahora este valor reemplazo en “Q”

$$Q = 5(3.6 \times 10^6)$$

$$Q = 18 \times 10^6 J$$

Como el equivalente térmico del Joule es:

$$1J = 0,24\text{ cal}$$

Entonces

$$Q = (18 \times 10^6)(0,24)$$

$$Q = 4,32 \times 10^6 \text{ cal}$$

La cantidad de cuerpos que no cambian de fase está dada por:

$$Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T$$

Despejando “m” se tiene:

$$m = \frac{Q}{C_e \Delta T} \dots (I)$$

En este caso, se trata del agua:

$$(C_e = \frac{1 \text{ cal}}{\text{g}} ^\circ\text{C}) \quad \text{y} \quad \Delta T = 100^\circ - 20^\circ = 80^\circ\text{C}$$

Reemplazando mis datos en la ecuación (I)

$$m = \frac{4,32 \times 10^6}{(1)(80)}$$

$$m = 54 \text{ kg}$$

Análisis de resultados:

Finalmente, se puede llevar al punto de ebullición a presión atmosférica 54kg de agua.

4. Un estudiante de la facultad de Ingeniería de la UNJ desea saber qué cantidad de calor se da al ambiente una barra de cobre de 1 kilogramo al enfriarse de 150°C a 20°C . sabiendo que el calor específico del cobre es $C_{e_{\text{cobre}}} = 0.093 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$

<https://youtu.be/MC-SkNE5yJo?si=hyScKCcq22eioLEJ>

Solución

Identificación de sus datos con sus respectivas unidades de medida

Masa del cobre = $m = 1 \text{ kg} = 1000 \text{ gr}$

Temperatura inicial = $T_0 = 150^\circ\text{C}$

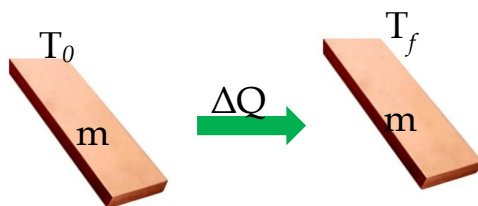
Temperatura final = $T_f = 20^\circ\text{C}$

Calor específico del cobre = $Ce_{cobre} = 0.093 \frac{cal}{g^{\circ}C}$

Calor cedido al ambiente = $\Delta Q = ?$

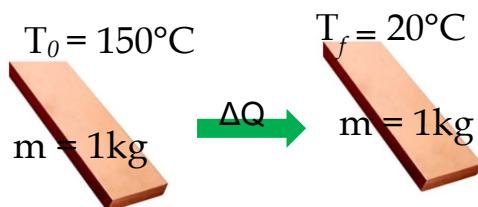
Representación gráfica del fenómeno

Realizar el diagrama de cuerpo libre



Identificación de la ecuación física

Todo cuerpo al estar con una temperatura superior a la de ambiente sede este calor hasta llegar a una temperatura de equilibrio.



$$\Delta Q = mCe\Delta T$$

$$\Delta Q = mCe(T_f - T_0)$$

Determinación de las magnitudes físicas faltantes y sustitución de los datos proporcionados

$$\Delta Q = 1000 \times 0.093(20 - 150)$$

$$\Delta Q = 1000 \times 0.093(-130)$$

$$\Delta Q = -12090 \text{ cal}$$

$$\Delta Q = -12.09 \text{ kcal}$$

Análisis de los resultados

El calor cedido por la barra al ambiente es de 12.09kcal, el cual es coherente con la teoría.

5. Un estudiante de la Escuela Profesional de Industrias Alimentarias de la UNJ desea purificar 1 litro de agua que está a una temperatura de 21°C. Para este objetivo, necesita aumentar la temperatura del agua a 100°C. ¿Qué cantidad de calor necesita suministrar?

<https://youtu.be/smnDx4AVN7E?si=99T7Mbkm1Q-mVMoQ>

Solución

Identificación de sus datos con sus respectivas unidades de medida

Volumen del agua = 1lt

Masa del agua = 1 kg = 1000 g

Temperatura inicial = 21°C

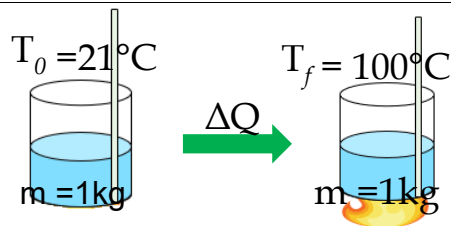
Temperatura final = 100°C

Calor específico del agua = $Ce_{\text{agua}} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$

Calor que se necesita suministrar al agua = $\Delta Q = ?$

Representación gráfica del fenómeno

Realizar el diagrama de cuerpo libre



Identificación de la ecuación física

$$\Delta Q = m c_e (T_f - T_0)$$

Determinación de las magnitudes físicas faltantes y sustitución de los datos proporcionados

$$\Delta Q = 1000 \times 1(100 - 21)$$

$$\Delta Q = 1000 \times 1(79)$$

$$\Delta Q = 79000\text{ cal}$$

$$\Delta Q = 79\text{ k cal}$$

Análisis de los resultados

El calor suministrado por el estudiante al agua es de 79 kcal de, para llevarlo de 21°C hasta 100°C de temperatura.

6. Un bloque de cobre de 500 g y a 140°C se deja caer dentro de un recipiente que contiene 400 g de agua a 24°C . ¿Cuál será la temperatura de equilibrio del sistema?

<https://youtu.be/qgn-01SIO1s?si=98jltSmD6pJ3lf3a>

Solución

Identificación de datos y sus unidades de medida:

Masa del agua: 400 g

Temperatura inicial del agua: 24 °C

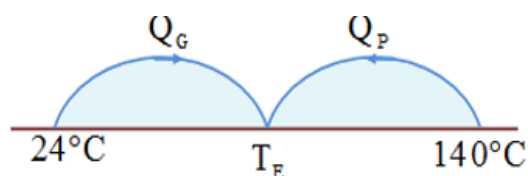
Masa del bloque de cobre: 500 g

Temperatura inicial del bloque de cobre: 140 °C

Calor específico del agua: 1 cal/g°C

Calor específico del cobre: 0.09 cal/g°C

Representación gráfica del fenómeno:



Identificación de la ecuación física adecuada:

Aplicando el principio fundamental de la calorimetría:

$$Q_G + Q_P = 0$$

Realización de los cálculos sustituyendo los datos proporcionados:

$$(mc_e \Delta T)_{H_2O} + (mc_e \Delta T)_{Cu} = 0$$

$$400(T_E - 24) + 500(T_E - 140)0,09 = 0$$

$$4T_E - 96 + 0.45T_E - 63 = 0$$

$$4.45T_E = 159$$

$$T_E = 35.73^\circ\text{C}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

La temperatura de equilibrio del bloque de cobre y el agua es de aproximadamente 35.73°C.

Problemas propuestos

1. En un recipiente, hay agua con una masa total de 10 kg y una capacidad calorífica específica de $1 \text{ kcal/kg.}^{\circ}\text{C}$. Si se dejan caer piedras de 100 g cada una desde una altura de 5 m y de capacidad calorífica despreciable, determinar la cantidad de piedras necesarias para elevar la temperatura del agua en el recipiente en 1°C .



<https://youtu.be/L2o4OXM5SsY?si=gVIsZ4ZPnzHkVqKK>

Respuesta: 8368 piedras

2. De un horno cuya temperatura es 200°C se extrae una pieza metálica cuya masa es de 50 g y tiene un calor específico de $0.2 \text{ cal/g.}^{\circ}\text{C}$. Si esta pieza se introduce en un calorímetro cuyo equivalente en agua es de 890 g y el calorímetro se encontraban inicialmente 100 g de agua a 20°C , ¿cuál será la temperatura final del sistema?

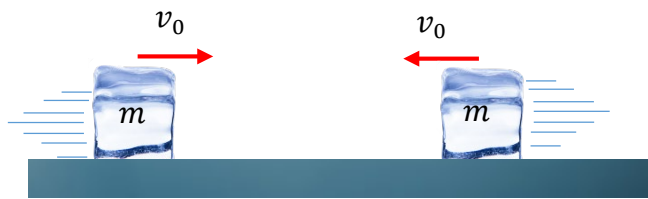
https://youtu.be/oo2_UZYqsFI?si=mbXLI-kFes1l4byz

Respuesta: 21.8°C

3. Dos trozos de hielo se desplazan uno hacia el otro con velocidades iguales y, al colisionar, se transforman en vapor. Si antes del impacto los trozos de hielo estaban a $-29,3^{\circ}\text{C}$, determinar cuáles son las velocidades mínimas que pueden llevar los dos pedazos de hielo justo antes de chocar. Además, se tiene las siguientes propiedades termodinámicas: $c_{\text{hielo}} = 2,1 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$, $c_{\text{agua}} = 4200 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$, $L_{f\text{hielo}} = 335 \text{ kJ/kg}$ y $L_v = 2260 \text{ kJ/kg}$.

<https://youtu.be/X8QhWVkeDII?si=NeP3wwcdc-4gXfuR>

Respuesta: 55.4 m/s



4. Un carpintero golpea un clavo de hierro de 10 g con un martillo de 1.10 kg a una velocidad de 5 m/s, repitiendo esta acción 7 veces consecutivas, el cual incrementa la temperatura del clavo debido a la absorción de energía. Si se considera que el clavo absorbe toda la energía transmitida por el martillo, determinar el aumento de temperatura del clavo. Considerar el calor específico del hierro es de $0.11 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$.

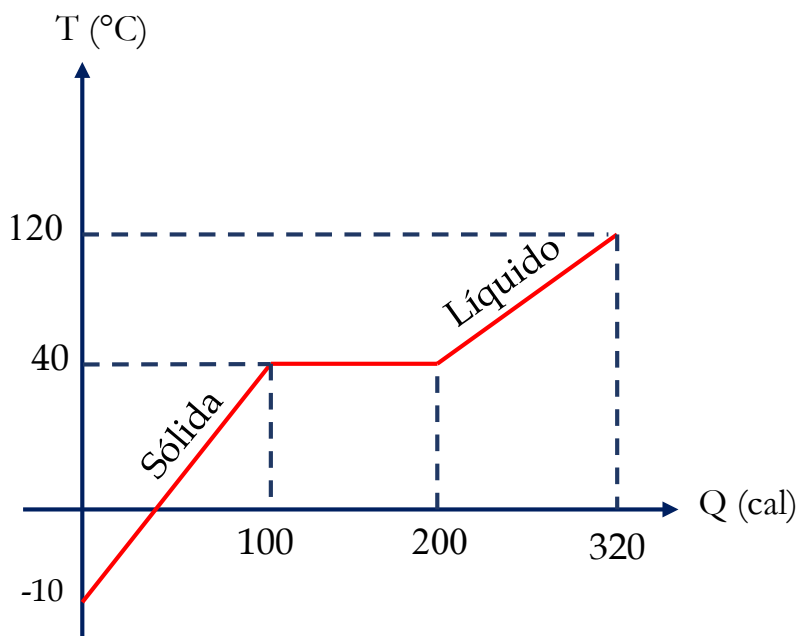
<https://youtu.be/SSyiCtNoW9c?si=BfAXA4B6Izxfmcys>

Respuesta: 21°C

5. El comportamiento de la temperatura de un cuerpo de 0.5 kg de masa está relacionado con el calor que recibe, como se muestra en la figura. Determinar los calores específicos en las fases sólida y líquida, respectivamente.

https://youtu.be/LLcaxGNn9W8?si=bXOxOQtYRHFS_9Fv

Respuesta: 4 cal/g°C , 3 cal/g°C



6. En el laboratorio de física de la Universidad Nacional de Jaén, se está llevando a cabo un experimento en el que se mezclarán 140 gramos de hielo a -9°C y 35 gramos de vapor de agua a 100°C . Después de un período de tiempo determinado, ¿cuál será la temperatura final de esta mezcla?

<https://youtu.be/PqWsjeTIsdQ?si=0Axkoay2KnCzJif6>

Respuesta: 60.4°C

7. Una bala de plomo con un calor específico de $0.03 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ y una masa de 15 g se dispara hacia un bloque de madera en un péndulo balístico, deteniéndose dentro de él. Si la bala tiene una velocidad inicial de 300 m/s y absorbe el 30% de su energía cinética inicial en forma de calor, determinar la variación de temperatura de la bala hasta el momento en que se queda en reposo.

https://youtu.be/_-h0qDg9CsI?si=JaXE0uCVuBrxH-P_

Respuesta: 108°C

8. En un calorímetro con una capacidad térmica de 12 g de agua, se tiene 120 g de agua a 18°C . Si luego se introduce un cuerpo de 25 g a 85°C , y tras alcanzar el equilibrio, la temperatura es de 26°C , determinar el calor específico del cuerpo.

<https://youtu.be/6c-uMpr07nk?si=oVZWcgYuhQvmzq-a>

Respuesta: $0.7159 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

9. En un contenedor de aluminio de 300 g de masa y con un calor específico de $0.215 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, se agregan inicialmente 200 g de agua a 10°C . Si luego se añaden 100 g de agua a 100°C , determinar la temperatura final de equilibrio del sistema.

<https://youtu.be/eGt0vxnssic?si=-zXSDCUXmMvkJmL2>

Respuesta: 34.7°C

10. En un recipiente con capacidad calorífica insignificante, el cual contiene 1 litro de agua a 0°C , se coloca un bloque de hierro de 2 kg de masa, calor específico de $0.11 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ y temperatura 200°C .

Si después de cierto tiempo, se retira el bloque y la temperatura del agua es de 33°C , determinar la temperatura del bloque cuando fue retirado.

<https://youtu.be/1ZEtDODrXcM?si=SI3StdvWKektZCTb>

Respuesta: 50°C

11. Una moneda, con un calor específico de $0.05 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$, cae desde una altura de 25 metros hasta detenerse en un montículo de tierra. Si no hay resistencia del aire y que la moneda absorbe el 50% del calor generado, determinar el aumento de temperatura experimentado por la moneda durante este proceso.

<https://youtu.be/cp5oS6VJm-Q?si=jASVaoFRDTrGDN0u>

Respuesta: 0.6°C

12. Un esquiador de 85 kg de masa desciende por una pendiente desde el reposo en A hasta alcanzar una velocidad de 36 m/s en B. Si todo el calor generado por el rozamiento se utiliza para fundir la nieve, ¿cuánta nieve se derrite bajo sus pies?

<https://youtu.be/cp5oS6VJm-Q?si=jASVaoFRDTrGDN0u>

Respuesta: 1109.76 g



13. En una olla de cobre de calor específico $0.093 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ y de 2 kg de masa, que está inicialmente a 150°C , se vierten 0.1 kg de agua a 25°C . Si la olla se tapa rápidamente para evitar la pérdida de calor, determinar: a) la temperatura final del sistema y b) la cantidad de agua que ha cambiado de fase.

<https://youtu.be/q67QHBSR7KY?si=HbSbi9LKGhwC49Mk>

Respuesta: 100°C ; 3.3 g

14. En un calorímetro de capacidad calorífica despreciable, se tiene agua a 40°C . Si se vierten 100 g de hielo a -80°C y se observa que todo el hielo se derrite, ¿cuántos gramos de agua había originalmente?

<https://youtu.be/5xCUwnZK2z8?si=azDlXDQnVV6loIoq>

Respuesta: 300 g

15. Una caja llena de perdigones de plomo se lanza verticalmente hasta una altura de 5 m sobre el piso, luego cae al suelo quedando en reposo. Si se asume que las paredes de la caja son aislantes térmicos ideales y que la temperatura inicial de los perdigones era 27°C , determinar la temperatura final de los perdigones después de efectuar cuatro lanzamientos. Considerar $c_{pb} = 0.128 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

<https://youtu.be/PR4QkzXWU1A?si=XU0o46NhUKmJ7hN9>

Respuesta: 28.5625°C

16. En un calorímetro de latón sin pérdidas, con una masa de 240 g y 750 cm³ de agua a 20.6°C, se introduce una moneda de aleación de cobre y oro de 100 g a 98°C. Si después de este proceso, la temperatura del agua en el calorímetro aumenta a 21°C, determinar la cantidad de oro y cobre que forman parte de la moneda.

Considerar $c_{cu} = 0.0922 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ $c_{Au} = 0.031 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$

<https://youtu.be/BIYiSq5oJII?si=s08r1f-691MTLuwN>

Respuesta: 83.34 g de oro; 16.66 g de cobre.

17. En un recipiente con un equivalente en agua de 50 g se encuentran 150 g de agua a 45°C. Si se deja caer un bloque de hielo de 200 g de masa a -10°C sobre el agua, determinar la composición final del agua y hielo.

<https://youtu.be/EzJ1vyhCi8Q?si=qux5FLfg7vX88Ttp>

Respuesta: 100 g de hielo; 250 g de agua

18. Se tiene un termómetro de 50 g de masa cuyo calor específico es de 0.2 cal/g°C, que marca la temperatura del medio ambiente de 19°C. Si luego, se sumerge el termómetro en 200 g de agua, y después de un cierto tiempo marca 39°C y se desprecia toda pérdida de calor con el exterior, determinar la temperatura del agua antes de introducir el termómetro.

https://youtu.be/bcCj8KDcclY?si=Fr9d3ekKN2OmzA_y

Respuesta: 40 °C

Capítulo 6

Termodinámica



Termodinámica

1. Conceptos básicos

1.1. Definición de termodinámica

La termodinámica es la rama de la física que estudia las relaciones entre el calor, otras formas de energía y el trabajo, así como la conversión de unas en otras. Se ocupa de los cambios de energía en sistemas físicos y químicos (Kondepudi y Prigogine, 2023).

1.2. Alcance como rama de la física

Describe los efectos macroscópicos de la energía térmica sobre la materia sin considerar la naturaleza microscópica. Establece límites y condiciones generales para la transferencia de energía mediante calor y trabajo (Tanner, 2022).

1.3. Estudio de transformaciones energéticas

Analiza la transferencia de energía en forma de calor y trabajo entre sistemas y sus alrededores. Examina la conversión entre distintos tipos de energía durante los procesos (McNaught y Wilkinson, 2022).

1.4. Relación con calor, trabajo y propiedades

La termodinámica estudia los procesos de transferencia de energía calorífica y trabajo mecánico en sistemas físicos y químicos, así como el efecto sobre sus propiedades intensivas como temperatura, presión y densidad (Cengel y Boles, 2022).

2. Sistemas termodinámicos

2.1. Definición

Un sistema termodinámico es una cierta cantidad de materia y energía, delimitada del resto del universo por una frontera real o imaginaria (Smith y Van Ness, 2022).



2.2. Características

Todo sistema termodinámico presenta una energía interna determinada por su estado, composición material y estructura interna (Katchalsky y Curran, 2022).

2.3. Clasificación

2.3.1. Sistemas abiertos

Son aquellos que permiten la transferencia de materia y energía desde y hacia el ambiente que los rodea, con modificación de su contenido de masa (Kondepudi et al., 2015).



2.3.2. Sistemas cerrados

Sólo admiten intercambio de energía con los alrededores en forma de calor o trabajo, pero no de masa, por lo que esta se conserva (Çengel et al., 2020).



2.3.3. Sistemas aislados

No permiten transferencia alguna de energía o materia desde o hacia el medio externo, son sistemas que se comportan en forma independiente (Fermi, 2022).



2.4. Fases de un sistema

Una fase se define como una región con propiedades físicas uniformes separada de otras regiones por límites o superficies de fase bien definidos (Smith y Abbott, 2022).

3. Propiedades termodinámicas

3.1. Propiedades intensivas

Son aquellas que no dependen de la masa del sistema como temperatura, presión y densidad. Su valor es intrínseco al estado del sistema (Kroemer et al., 2022).

3.2. Propiedades extensivas

Varían en proporción a la cantidad de masa del sistema.

Algunos ejemplos son masa, volumen, energía interna y entropía (Fitzgerald et al., 2024).

3.3. Relación con la masa

Las propiedades extensivas como la energía interna son aditivas respecto a la masa, es decir, la magnitud total es la suma de las contribuciones individuales de cada unidad de masa del sistema (Callen, 2023).

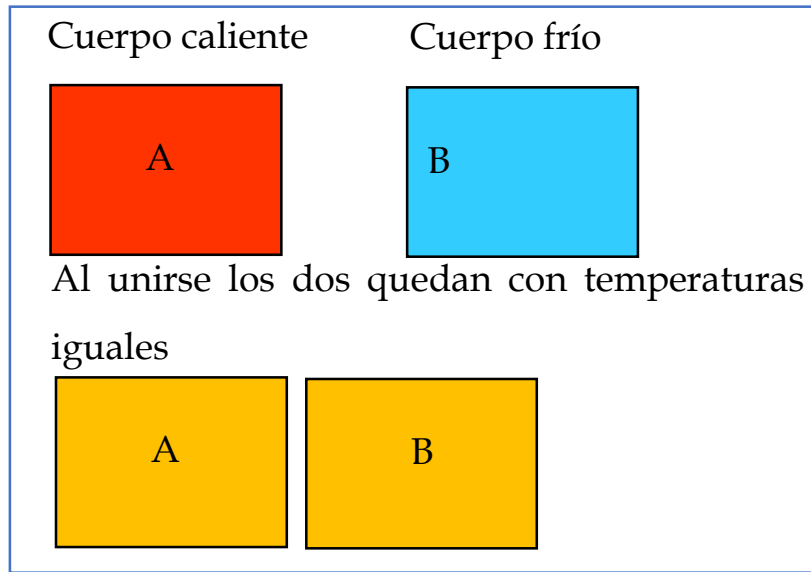
3.4. Coordenadas termodinámicas: presión, temperatura, volumen

Las variables que definen unívocamente el estado de un sistema termodinámico son presión, temperatura y volumen. Constituyen un sistema de coordenadas fundamental en termodinámica (Job y Herrmann, 2022).

4. Equilibrio

4.1. Equilibrio térmico

Situación en la que dos sistemas puestos en contacto térmico alcanzan el mismo valor de temperatura y cesa la transferencia neta de calor entre ellos (Çengel y Ghajar, 2021).



4.2. Condiciones de equilibrio

Implican igualdad de temperatura, presión y potencial químico entre las fases o estados diferentes de un sistema. El equilibrio es un balance dinámico de las velocidades de transición entre fases (Silbey et al., 2023).

5. Procesos termodinámicos

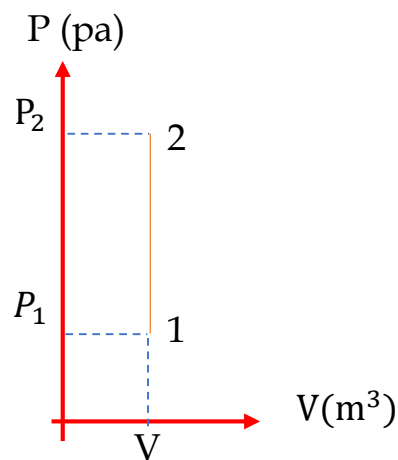
5.1. Definición y características

Es la evolución que experimenta un sistema termodinámico al pasar de un estado inicial a uno final, producto de intercambios de energía y masa (Smith et al., 2022).

5.2. Clases de procesos

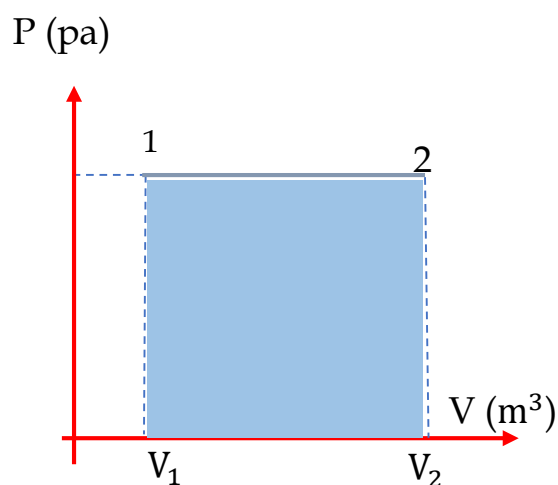
5.2.1. Isocórico o isométrico (volumen constante):

En este proceso, no hay expansión ni compresión, lo que implica que el volumen del sistema permanece constante. Como resultado, el trabajo realizado durante este proceso es nulo (Moran y Shapiro, 2022).



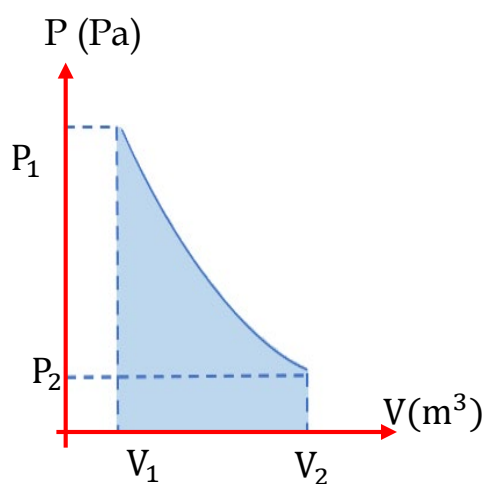
5.2.2. Isobárico o ley de Gay - Lussac (presión constante):

Durante un proceso isobárico, la presión del sistema se mantiene invariable. Aunque el sistema puede intercambiar trabajo con su entorno, no hay transferencia de calor. Este tipo de proceso se caracteriza por mantener una presión constante a lo largo del mismo (Kroemer et al., 2022).



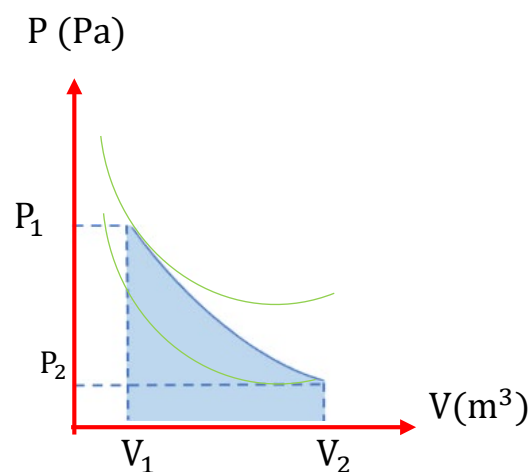
5.2.3. Isotérmico o ley de Boyle – Moriotte (temperatura constante):

En un proceso isotérmico, la temperatura del sistema permanece constante en todo momento. Esto implica que no hay cambio de temperatura durante el proceso, lo que puede ocurrir con intercambio de calor entre el sistema y su entorno (Fitzgerald et al., 2024).



5.2.4. Adiabático (sin intercambio de calor):

Un proceso adiabático se produce cuando el sistema está aislado térmicamente, lo que significa que no hay intercambio de calor con el entorno. En este caso, cualquier trabajo realizado por el sistema proviene de la transformación de calor interno en trabajo, ya que no se intercambia energía térmica con el entorno (Cengel y Boles, 2022).

**5.2.5. Politrópico:**

En un proceso politrópico, existe una relación definida entre la temperatura, la presión y el volumen del sistema, que sigue una ecuación politrópica específica. Este tipo de proceso termodinámico se caracteriza por su dependencia de una relación particular entre estas variables (Moran y Shapiro, 2022).

5.2.6. Cíclico

Un proceso cíclico implica que el sistema experimenta una serie de cambios y transiciones a través de diferentes estados y procesos termodinámicos, para luego regresar a sus condiciones iniciales una vez que se completa un ciclo completo. Este tipo de proceso es fundamental en muchos sistemas y máquinas térmicas, como los motores de combustión interna, donde se repite un ciclo continuamente (Cengel y Boles, 2022).

5.2.7. Irreversible

En un proceso irreversible, los cambios en el sistema ocurren de forma espontánea en una sola dirección y no pueden revertirse de manera natural. Esto se debe a la generación de entropía, que conduce a una disminución en la capacidad de realizar trabajo útil. Los procesos irreversibles son comunes en la naturaleza y en muchos sistemas, y son una característica fundamental de los sistemas reales (Fitzgerald et al., 2024).

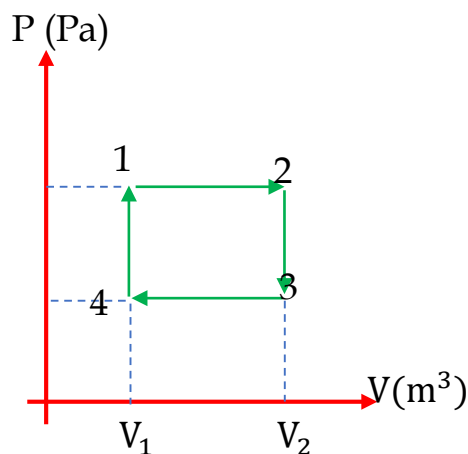
5.3. Descripción y ecuaciones

Cada proceso tiene una representación esquemática y matemática distintiva relacionando variables como presión, volumen, temperatura y calor intercambiado (Çengel y Boles, 2015).

6. Ciclos termodinámicos

6.1. Concepto y aplicación

Un ciclo es una secuencia cerrada de procesos termodinámicos que retorna un sistema a su estado inicial tras completar trabajo neto y transferir calor (J. M. Smith et al., 2021).



6.2. Representación en diagramas

Los ciclos termodinámicos se representan típicamente en coordenadas P-V (presión-volumen), donde se muestran todos los procesos sucesivos que experimenta el sistema hasta regresar al estado inicial. Esta representación gráfica es fundamental para comprender visualmente el comportamiento del sistema a lo largo de un ciclo completo (Smith et al., 2022).

6.3. Ejemplos de ciclos

En la termodinámica se analizan varios ciclos fundamentales que tienen aplicaciones prácticas en diferentes sistemas. Algunos de estos ciclos son el ciclo Otto, ciclo Diesel, ciclo Rankine, ciclo Carnot, ciclo Brayton y el ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Cada uno de estos ciclos tiene características específicas y se utiliza en diversas aplicaciones, desde motores de combustión interna hasta sistemas de generación de energía y refrigeración (Moran y Shapiro, 2022).

7. Sustancia de trabajo

7.1. Definición y función

Una sustancia de trabajo en sistemas termodinámicos es aquella utilizada para producir trabajo mecánico mediante la explotación de sus propiedades físicas y los cambios energéticos asociados. Estas sustancias pueden ser gases, líquidos o incluso sólidos, dependiendo de la aplicación específica del sistema. La función principal de la sustancia de trabajo es convertir la energía térmica en trabajo mecánico utilizable, lo que es fundamental en una amplia gama de procesos y dispositivos, desde motores hasta sistemas de refrigeración (Cengel y Boles, 2022).

7.2. Características y propiedades

Las sustancias de trabajo, como el agua, el aire, los refrigerantes, entre otros, deben cumplir una serie de características específicas para ser efectivas en sistemas termodinámicos. Estas características incluyen estabilidad, no toxicidad, no inflamabilidad, no corrosión, no explosividad, bajo costo y facilidad de manejo. Además, sus propiedades físicas, como la densidad, viscosidad, conductividad térmica y calor específico, tienen un impacto significativo en la eficiencia termodinámica de los sistemas en los que se utilizan (Moran y Shapiro, 2022).

8. Leyes de la termodinámica

8.1. Ley cero

La ley cero de la termodinámica establece que si dos sistemas están en equilibrio térmico por separado con un tercer sistema, entonces los dos sistemas están en equilibrio térmico entre sí. En otras palabras, esta ley postula que cuando dos sistemas están en contacto térmico y alcanzan la misma temperatura con un tercer sistema, también estarán en equilibrio térmico entre sí, independientemente de sus estados iniciales (Atkins y de Paula, 2020).

8.2. Primera ley de la Termodinámica

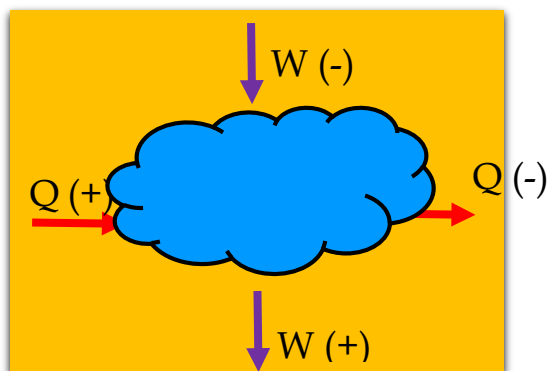
Establece que la energía no puede ser creada ni destruida, solo puede cambiar de forma. En cualquier proceso termodinámico, la cantidad total de energía del sistema más su entorno permanece constante. Esta ley es fundamental ya que establece el principio de conservación de la energía, lo que significa que la energía total dentro de un sistema cerrado no cambia con el tiempo (Kondepudi y Prigogine, 2023).

8.3. Segunda ley

Establece que es imposible que cualquier sistema termodinámico cíclico opere de tal manera que el único resultado sea la absorción de energía en forma de calor de un depósito y la realización de una cantidad equivalente de trabajo. En otras palabras, esta ley postula que existe una limitación en la eficiencia con la que se puede convertir el calor en trabajo mecánico. Siempre habrá una cantidad de energía que se dispersa o se convierte en forma de calor sin realizar trabajo útil (Cengel y Boles, 2022).

9. Convección de signos del calor, trabajo y energía interna.

El calor es positivo cuando es recibido por el sistema y negativo cuando es liberado por el sistema; el trabajo es positivo cuando es realizado por el sistema, es negativo cuando es realizado sobre el sistema y cero si el proceso es isocórico, y para la variación de la energía interna se cumple que es positivo si se calienta el sistema, negativo cuando se enfría el sistema y es cero en procesos isotérmicos y en ciclos termodinámicos.



10. Gases ideales

10.1. Características

Los gases ideales son gases hipotéticos que se caracterizan por tener moléculas que no interactúan entre sí, no tienen volumen propio y sus choques son perfectamente elásticos. Estas características los hacen útiles para modelar el comportamiento de gases en condiciones ideales. Los gases ideales cumplen las ecuaciones del gas ideal, lo que los convierte en una herramienta fundamental en la termodinámica para comprender y predecir el comportamiento de los gases en diferentes condiciones (Callen, 2022).

10.2. Ecuación de estado

La ecuación de estado de un gas ideal relaciona la presión (P), el volumen (V), la temperatura (T) y la cantidad de sustancia (n) para un gas ideal. Se expresa matemáticamente como:

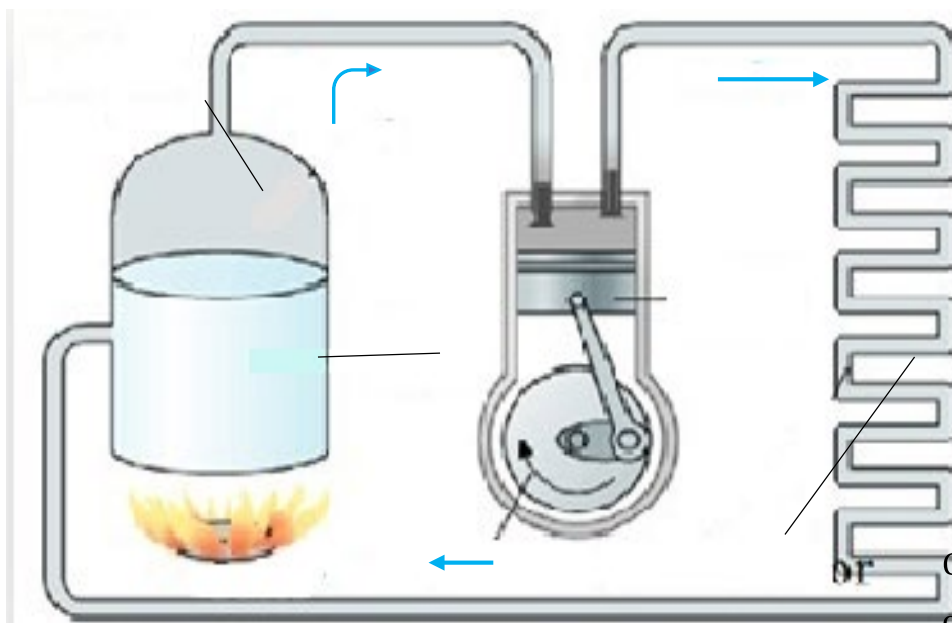
$$PV=nRT$$

Donde R es la constante universal de los gases. Esta ecuación proporciona una descripción fundamental del comportamiento de un gas ideal en diferentes condiciones de presión, volumen y temperatura (Hatschek, 2022).

11. Máquinas térmicas

11.1. Definición

Son dispositivos diseñados para operar en ciclos termodinámicos con el objetivo de convertir el calor en trabajo útil. Estas máquinas aprovechan los principios de la termodinámica para realizar una serie de procesos que les permiten realizar trabajo mecánico utilizando una fuente de calor. Ejemplos de máquinas térmicas incluyen motores de combustión interna, turbinas de vapor y motores de combustión externa (Moran y Shapiro, 2013).



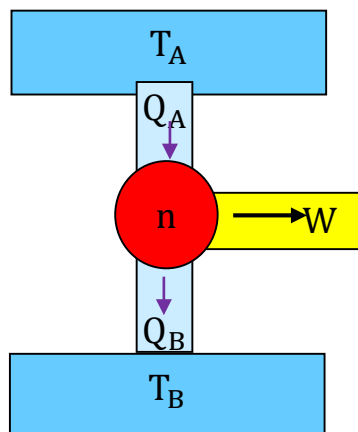
11.2. Funcionamiento

Su funcionamiento se basa en principios como la primera y segunda ley de la termodinámica, así como en el ciclo de Carnot, para maximizar la eficiencia en la conversión de calor en trabajo (Moran y Shapiro, 2013)

11.3. Eficiencia y límites

La eficiencia en termodinámica se define como la relación entre la energía útil obtenida en un proceso y la energía total suministrada para realizar ese proceso. Este concepto es fundamental para evaluar el rendimiento de diferentes sistemas y procesos en términos de cómo utilizan la energía disponible. Además, existen límites termodinámicos que determinan la máxima eficiencia posible para cualquier proceso que involucre conversiones de energía, lo que establece un marco teórico para comprender los límites de rendimiento de diversos dispositivos y máquinas (Janz et al., 2020).

En virtud de la conservación de energía se tiene la siguiente relación matemática:



$$\eta = \frac{W}{Q_A}$$

En virtud de la conservación de energía se cumple que:

$$Q_A = W + Q_B$$

$$W = Q_A - Q_B$$

$$\eta = \frac{Q_A - Q_B}{Q_A}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_B}{Q_A}$$

El límite superior en la eficiencia (la eficiencia de Carnot) se puede escribir en términos de las temperaturas operativas más alta y baja (en kelvins) de la máquina como:

$$\eta = 1 - \frac{T_B}{T_A}$$

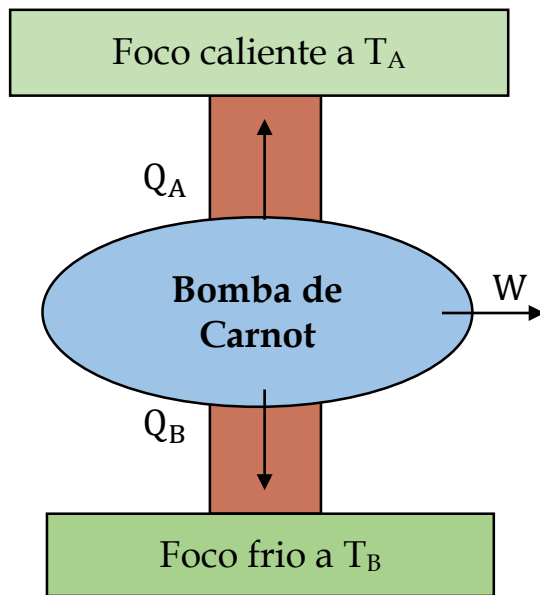
11.4. Máquina de Carnot

La máquina de Carnot es un concepto fundamental en termodinámica que establece el límite termodinámico máximo de eficiencia para cualquier máquina térmica real que opere entre dos temperaturas dadas. Ideada por Sadi Carnot en 1824, esta máquina opera según un ciclo termodinámico reversible constituido por dos isothermas a temperaturas T_1 y T_2 , y dos adiabáticas. La máquina de Carnot proporciona una referencia teórica para evaluar el rendimiento de otras máquinas térmicas y establece un límite máximo teórico de eficiencia que ninguna máquina térmica real puede superar (Cengel & Boles, 2022).

12. Bombas de calor y refrigeración

12.1. Concepto y aplicaciones

Las bombas de calor son dispositivos que transfieren calor de un foco frío a uno caliente utilizando trabajo mecánico (Goetzler et al., 2014). A diferencia de los refrigeradores, cuyo propósito es enfriar, las bombas de calor tienen el objetivo opuesto de calentar. Se utilizan en una variedad de aplicaciones, incluyendo la calefacción de edificios, el calentamiento de agua y la climatización de espacios.



12.2. Coeficiente de operación

El coeficiente de operación (COP) es una medida de la eficiencia de una bomba de calor y se define como la relación entre la energía térmica generada y la energía consumida por la bomba (Fan et al., 2021). Cuanto mayor sea el COP, más eficiente será la bomba de calor en su función de transferir calor de un lugar a otro.

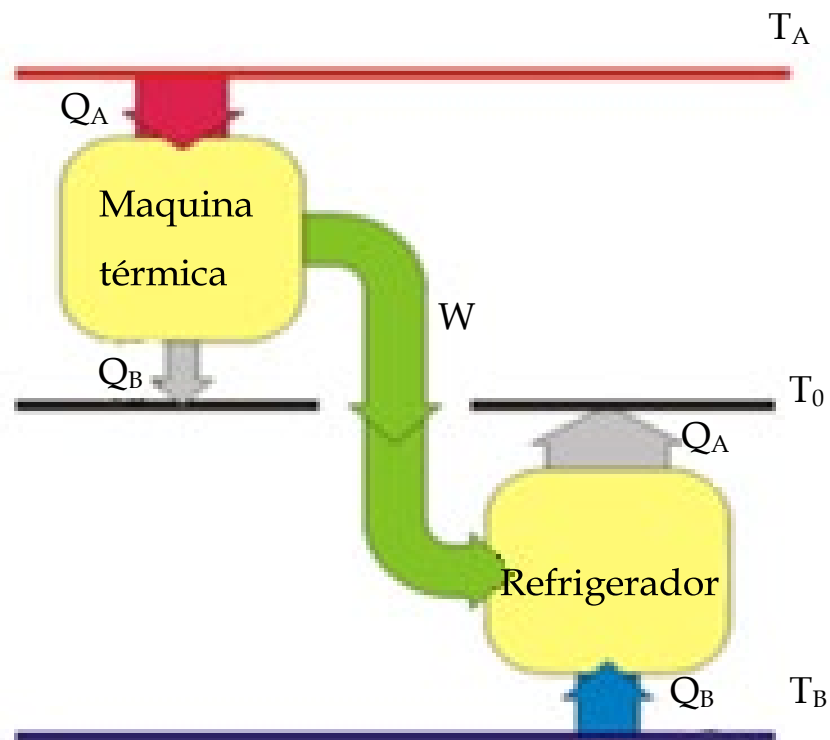
Para lograrlo, requiere una entrada de trabajo de W_N . De ese modo el COP de un refrigerador se puede expresar como:

$$\beta_R = \text{COP}_R = \frac{\text{salida deseada}}{\text{entrada requerida}} = \frac{Q_F}{W_N}$$

El principio de la conservación de la energía para un dispositivo cíclico requiere que

$$\therefore W = Q_C - Q_F$$

Observe que el valor de COP_R puede ser mayor que la unidad. La cantidad de calor extraído del espacio refrigerado puede ser mayor que la cantidad de entrada de trabajo. Lo cual contrasta con la eficiencia térmica que nunca puede ser mayor que 1



12.3. Diferencias

La principal diferencia entre las bombas de calor y los sistemas de refrigeración radica en la dirección del flujo de calor. Mientras que las bombas de calor transfieren calor de un lugar frío a uno caliente en contra de la dirección natural del flujo de calor, los sistemas de refrigeración lo hacen en la misma dirección, extrayendo el calor del espacio refrigerado y liberándolo al ambiente exterior (Zhou et al., 2023). Además, las bombas de calor requieren trabajo mecánico para funcionar, mientras que los sistemas de refrigeración simplemente aprovechan el ciclo de refrigeración para lograr el enfriamiento sin requerir trabajo adicional.

13. Procesos reversibles e irreversibles

13.1. Definición y características

Un proceso reversible ocurre de manera infinitamente lenta, pasando el sistema por estados de equilibrio en cada etapa y permitiendo que el proceso pueda invertir su dirección al revertir las condiciones exteriores (Cengel & Boles, 2022). En contraste, un proceso irreversible implica irreversibilidades como fricción, mezcla o transferencia de calor a través de una diferencia finita de temperatura, lo que impide que se pueda revertir completamente la energía al estado inicial.

13.2. Importancia en la eficiencia

La máxima eficiencia posible de una máquina térmica se alcanza en procesos reversibles, como el ciclo de Carnot. En estos procesos, toda la energía suministrada como calor puede convertirse completamente en trabajo útil, sin disipación de energía en forma de calor al ambiente. Por el contrario, los procesos irreversibles reducen la eficiencia al disipar parte de la energía suministrada en forma de calor al ambiente, lo que disminuye el trabajo útil realizado por la máquina (Janz et al., 2020).

14. Entropía

14.1. Concepto y significado

La entropía es una propiedad termodinámica que mide la parte no utilizable de la energía en un sistema cerrado y está relacionada con el desorden molecular y la probabilidad de estado (Cengel & Boles, 2022). Cuanto mayor es la entropía de un sistema, mayor es su grado de desorden y menor es su disponibilidad para realizar trabajo útil.

14.2. Relación con procesos irreversibles

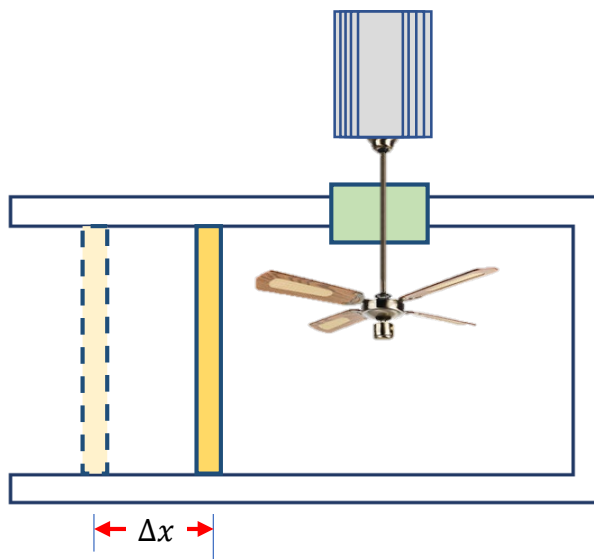
La entropía del universo tiende a aumentar en procesos espontáneos e irreversibles, mientras que permanece constante en procesos reversibles. Los procesos irreversibles, al generar desorden y aumentar la entropía del sistema, son una manifestación de la segunda ley de la termodinámica (Janz et al., 2020).

14.3. Enunciados de la segunda ley

La segunda ley de la termodinámica establece que la entropía del universo tiende a incrementarse para sistemas aislados (Cengel & Boles, 2022). Además, afirma que ningún proceso cíclico puede tener como único resultado la absorción de calor de una fuente fría y su conversión completa en trabajo, lo que implica que existen limitaciones fundamentales en la eficiencia de las máquinas térmicas y los procesos de conversión de energía.

Ejercicios desarrollados

1. En un cilindro, hay un gas ideal confinado por un pistón con área de 0.8 m^2 y masa insignificante. Dentro del cilindro, se encuentra un ventilador que realiza un trabajo de 4 kJ durante una expansión isobárica. Si el trabajo neto del sistema es de 7 kJ , calcular el desplazamiento del pistón en centímetros. ($P_{atm} = 1\,000\,000 \text{ Pa}$).



<https://youtu.be/iFE29v1AB5o?si=63penV9o72UggR4b>

Solución**Identificación de datos y sus unidades de medida:**

Área del pistón (A) = 0.8 m^2

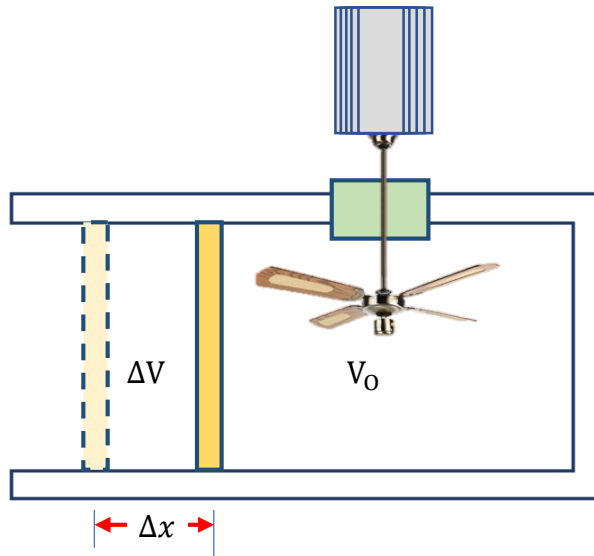
Trabajo realizado por el ventilador durante la expansión isobárica
($W_{\text{ventilador}}$) = 4 kJ

Trabajo neto del sistema (W_{neto}) = 7 kJ

Presión atmosférica ($P_{atm} = 1\,000\,000 \text{ Pa}$)

Representación gráfica del fenómeno:

Durante la expansión isobárica, el pistón se desplaza mientras la presión se mantiene constante, tal como se muestra a continuación:

**Identificación de la ecuación física adecuada:**

$$W_{neto} = W_{ventilador} + W_{aire}$$

En una expansión isobárica, el trabajo realizado (W_{aire}) se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$W_{aire} = P\Delta V$$

La relación entre el área del pistón (A) y el cambio en volumen (ΔV) está dada por:

$$\Delta V = A\Delta x$$

Realización de los cálculos sustituyendo los datos proporcionados:

$$7 = 4 + W_{aire}$$

$$W_{aire} = 3 \text{ kJ}$$

$$3000 = 100000(0.8) \Delta x$$

$$3000 = 100000(0.8) \Delta x$$

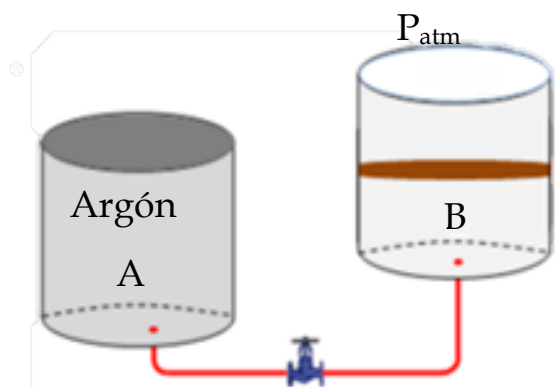
$$\Delta x = \frac{3000}{100000(0.8)}$$

$$\Delta x = 3.75 \text{ cm}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

El desplazamiento del pistón es de 3.75 centímetros durante la expansión isobárica del sistema. Este resultado se obtuvo considerando la relación entre el trabajo realizado, la presión constante y el área del pistón.

2. Un tanque de 0.5 m^3 con gas argón a 260 kPa y 27°C se conecta a un cilindro vacío mediante una válvula. El cilindro tiene un pistón sin fricción que flotará cuando la presión alcance 140 kPa . Inicialmente el cilindro se encuentra vacío, y al abrir la válvula, el gas fluye hacia el cilindro hasta alcanzar una presión uniforme de 140 kPa y 27°C . Se busca determinar el trabajo realizado por el gas en este proceso.



https://youtu.be/Zh-TvbJGtuc?si=QV_1mvZcHu7xEetu

Solución

Identificación de datos y sus unidades de medida:

Volumen inicial del tanque de gas, $V_1 = 0,5 \text{ m}^3$

Presión inicial del gas en el tanque, $P_1 = 260 \text{ kPa}$

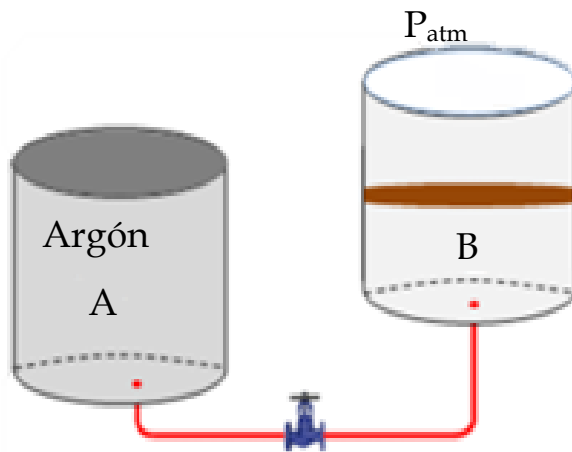
Temperatura inicial del gas en el tanque, $T_1 = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$

Presión final del gas en el cilindro, $P_2 = 140 \text{ kPa}$

Temperatura final del gas en el cilindro, $T_2 = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$

Representación gráfica del fenómeno:

El gas argón inicialmente en el tanque a una temperatura y presión dadas, se traslada a un cilindro con pistón libre, donde alcanza una nueva presión y temperatura de equilibrio.



Identificación de la ecuación física adecuada:

El trabajo realizado por el gas se calcula utilizando la ecuación del trabajo en un proceso isotérmico:

$$W = P\Delta V = P(V_2 - V_1)$$

Realización de los cálculos sustituyendo los datos proporcionados:

Para calcular el trabajo, primero necesitamos encontrar el volumen final del gas en el cilindro:

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

Sustituyendo los valores conocidos:

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{260(0.5)}{140}$$

$$V_2 = 0.92857 \text{ m}^3$$

Ahora podemos calcular el trabajo:

$$W = 140(0.92857 - 0.5)$$

$$W = 60 \text{ kJ}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

El trabajo realizado por el gas argón al expandirse desde el tanque al cilindro es de 60 kJ.

3. Una máquina de Carnot opera entre dos isothermas a temperaturas $T_A = 270^\circ\text{C}$ y $T_B = -73^\circ\text{C}$. Si durante cada ciclo, la máquina recibe 120 calorías de la fuente caliente, determinar cuánto calor cede la máquina a la fuente fría en cada ciclo.

<https://youtu.be/XcIzfCVcUxw?si=SqY-N3Djtu8Mq4e->

Solución**Identificación de datos y sus unidades de medida:**

Temperatura de la fuente caliente (T_A): 270°C

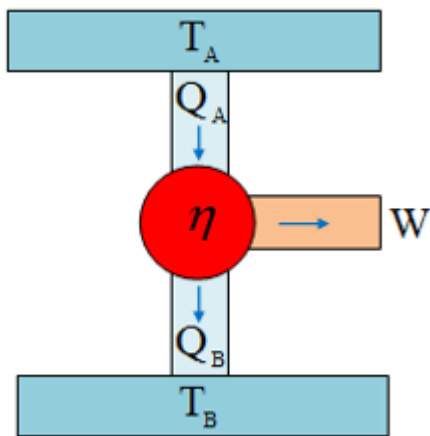
Temperatura de la fuente fría (T_B): -73°C

Calor recibido por la máquina de Carnot (Q_H): 120 cal

Calor cedido por la máquina de Carnot a la fuente fría (Q_B): ¿?

Temperaturas absolutas de las fuentes: $T_A = 270 + 273 = 543 \text{ K}$, $T_B = -73 + 273 = 200 \text{ K}$

Representación gráfica del fenómeno:



Identificación de la ecuación física adecuada:

La eficiencia de la máquina de Carnot está dada por la fórmula:

$$\eta = 1 - T_B/T_A.$$

Además, la relación de calor entre las fuentes es:

$$Q_B/Q_H = T_B/T_A$$

Realización de los cálculos sustituyendo los datos proporcionados:

$$Q_B/Q_H = T_B/T_A$$

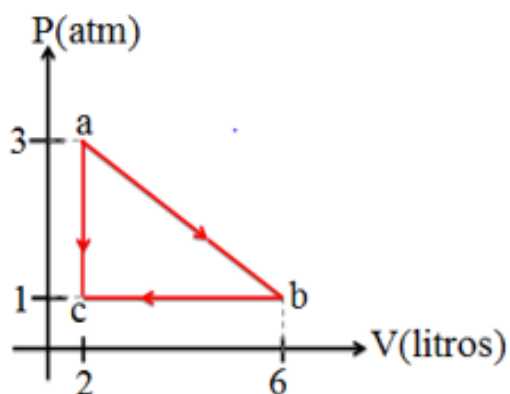
$$Q_B/120 = 200/300$$

$$Q_B=80 \text{ cal}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

La máquina de Carnot cede 80 calorías a la fuente fría en cada ciclo.

4. Un gas ideal realiza el ciclo "abca". Hallar el trabajo realizado por el gas en este ciclo.



<https://youtu.be/E6ED298kiSk?si=spnecQoqQnyfeZ4u>

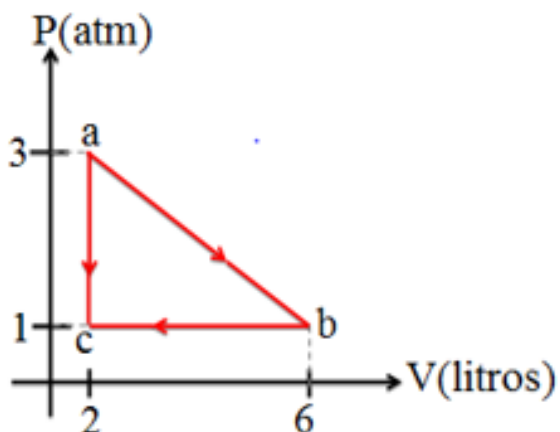
Solución

Identificación de datos y sus unidades de medida:

Los volúmenes inicial y final del ciclo son: $V_a = 2 \text{ L}$ y $V_b = 6 \text{ L}$

Las presiones inicial y final del ciclo son: $P_a = 3 \text{ atm}$ y $P_c = 1 \text{ atm}$.

Representación gráfica del fenómeno:



Identificación de la ecuación física adecuada:

El trabajo realizado por el gas en un ciclo cerrado es igual al área encerrada en el diagrama P-V.

Realización de los cálculos sustituyendo los datos proporcionados:

El trabajo neto realizado por el gas en todo el ciclo es:

$$W_n = W_{ab} + W_{bc} + W_{ca}$$

El trabajo realizado en todo el ciclo es igual al área del triángulo rectángulo "abc":

$$W = \frac{(V_b - V_a)(P_a - P_c)}{2}$$

$$W = \frac{(6 - 2)(3 - 1)}{2}$$

$$W = 4 \text{ atm.l}$$

Expresando en joule:

$$W = 4 \text{ atm.l} \left(101,2 \frac{1}{\text{atm.l}} \right)$$

$$W = 404,8 \text{ J}$$

Análisis de los resultados obtenidos:

El trabajo realizado por el gas en el ciclo "abca" es de 404.8 J

Problemas propuestos

1. Si durante un proceso, un sistema absorbe 75 calorías de calor y realiza un trabajo de 125,5 J al expandirse, calcular el módulo de la variación de la energía interna del sistema.

<https://youtu.be/eLj-5Bd7fu4?si=7SpPwVADZ4gF3Idg>

Respuesta: 188 J

2. Un mol de gas ideal realiza 3000J de trabajo sobre los alrededores al expandirse isotérmicamente hasta una presión final de 1 atm y un volumen de 25 litros. Determinar el volumen inicial y la temperatura del gas.

<https://youtu.be/wR9Brs2Vung?si=arKLaY57rytVDWa4>

Respuesta: 7.65 lt; 305 K

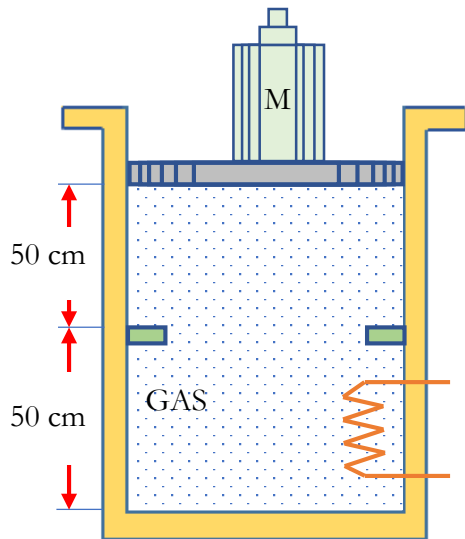
3. Un bloque de 1 kg de aluminio se calienta a presión atmosférica, lo que resulta en un aumento de temperatura de 22°C a 40°C. Determinar a). el trabajo realizado por el aluminio, b). la energía térmica que se le entrega, y c). el cambio de su energía interna.

https://youtu.be/V6p_GWzYpac?si=0cGZFVUIRaJA3iBB

Respuesta: 48 mJ; 16.2 kJ; 16.2 kJ

4. Un cilindro vertical está cerrado por un pistón sin fricción que pesa 5 kN y soporta una carga M. La sección transversal del cilindro tiene un área de $A = 0.4 \text{ m}^2$, y se conoce que el resistor entrega un trabajo de 5 kJ cuando el pistón se mueve desde la posición

mostrada hasta los topes indicados. Si se tiene en cuenta que el pistón desciende lentamente, y la presión atmosférica es de 1 Bar, determinar el peso de la carga M , considerando que el sistema realiza un trabajo neto de -30 kJ .



https://youtu.be/WJRPge9AK9E?si=98Hap5iO_d9dBO8l

Respuesta: 5 kN

5. Un gas ideal a presión constante utilizado en la industria de la construcción absorbe 2000 J de calor y se expande 2 m^3 . Si durante el proceso acumula 800 J de energía interna, determinar el trabajo realizado en el proceso y la presión del gas.

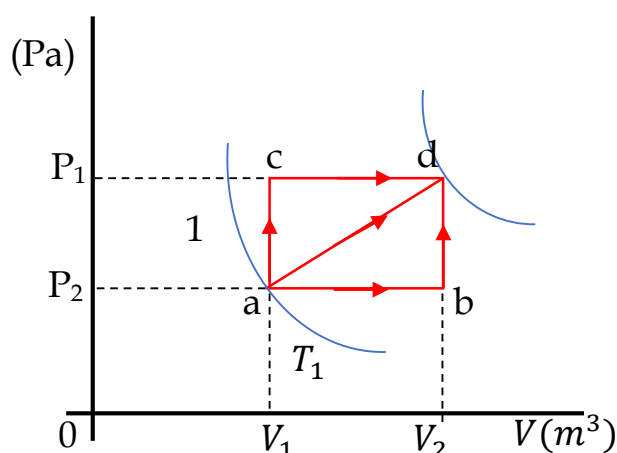
<https://youtu.be/NMok-NBrkgA?si=2RsJUH6wU8N3dnE2>

Respuesta: 1200 J ; 600 Pa .

6. Un gas ideal con $C_V = \frac{5\eta R}{2}$ es llevado del punto "a" al punto "b" a través de los caminos acb, adb y ab, tal como se muestra en la figura. Si la presión y el volumen finales son $P_2 = 2P_1$ y $V_2 = 2V_1$, respectivamente, determinar: a) el calor suministrado al gas en cada proceso, en función de η , R , T_1 , y b) la capacidad calorífica en función de R para el proceso ab.

<https://youtu.be/wR9Brs2Vung?si=xK52XBJRMH83B9Co>

Respuesta: $Q_{acb} = \frac{19}{2}nRT_1$; $Q_{adb} = \frac{17}{2}nRT_1$; $Q_{acb} = 9nRT_1$; $C = 3nR \frac{1}{K}$



7. El aire contiene un 25% de oxígeno, un 72% de nitrógeno y un 3.9% de radón, expresados en masa. Si la densidad del aire es de 1.293 g/l, calcular a) el número de moléculas de oxígeno presentes en 3 litros de aire, y b) la presión ejercida por los tres litros de aire cuando se introduce en un recipiente de 1 litro de capacidad a una temperatura de 37°C. Considerar: P.a. (O) = 16; P.a. (N) = 14 y P.a. (Ra) = 400

<https://youtu.be/Vnjs-eZdhAQ?si=waZC-Rev0aiu0sF7>

Respuesta: 1.825×10^{22} ; 3.41 atm.

8. Un congelador opera según el ciclo frigorífico de Carnot y enfría a una velocidad de 720 kJ/h. Si la temperatura del congelador debe mantenerse a aproximadamente $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ para conservar los alimentos, mientras que la temperatura ambiente es de $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, determinar: a) la potencia que debe tener el motor del congelador para cumplir con esta tarea, y b) calcular la potencia que debería tener el motor si la eficiencia fuera solo del 50% de la eficiencia ideal de Carnot.

<https://youtu.be/ophQPuUPqcg?si=PMWTmsffhSNpvyFn>

Respuesta: 40 W; 80 W

9. Un gas ideal contenido en un recipiente cerrado experimenta un aumento del 0.5% en su presión al calentarse en 1°C . ¿Hallar la temperatura inicial del gas?

<https://youtu.be/TUyWJJLpjRU?si=gNrJfnYyhLjmy5gL>

Respuesta: $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

10. Un recipiente de volumen variable, inicialmente, tiene un volumen de 500 cm^3 y contiene 34 g de amoníaco. Si manteniendo la presión y la temperatura constantes, se introducen 68 g adicionales de amoníaco, determinar el volumen final que tendrá el recipiente. Considera: P. a. (N)=14; P. a. (H)=1.

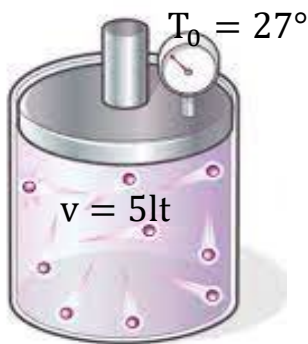
https://youtu.be/kKGHPbj0Vmk?si=TXOjM1GNmq9lnI_B

Respuesta: 1500 cm^3

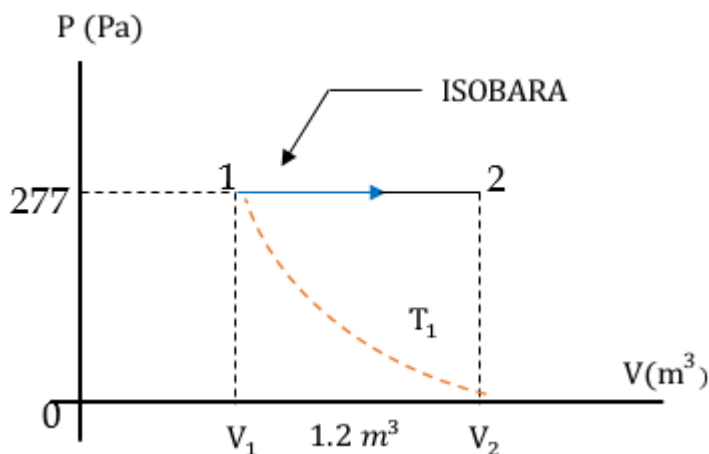
11. Un gas ideal se encuentra en un recipiente con un émbolo móvil, inicialmente a un volumen de 5 litros y una presión de 1,033 atmósferas. Si se calienta a presión constante desde 27°C hasta 87°C , determinar el trabajo realizado por el gas durante este proceso.

<https://youtu.be/0Rbt4F3OL7U?si=0xDmoDkPxeYmOSV8>

Respuesta: 0.09 J



12. Un gas se expande a presión constante desde una temperatura inicial de 27°C , tal como se muestra en la figura. Si la masa del gas es de 0.4 moles, determinar la temperatura final del gas.

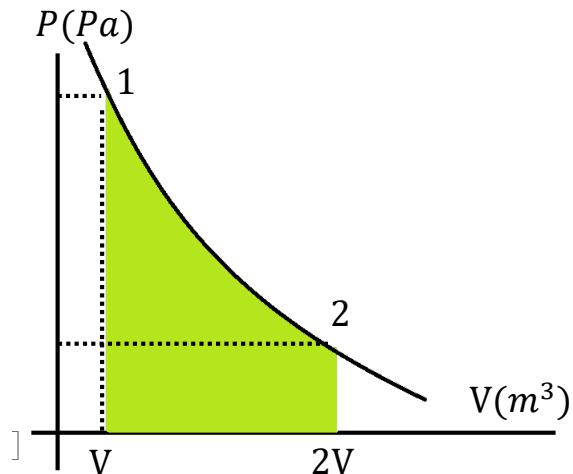


13.

https://youtu.be/0XmUi9x5e8s?si=Mt7k_4uulWJnKy6z

Respuesta: 108.91°C

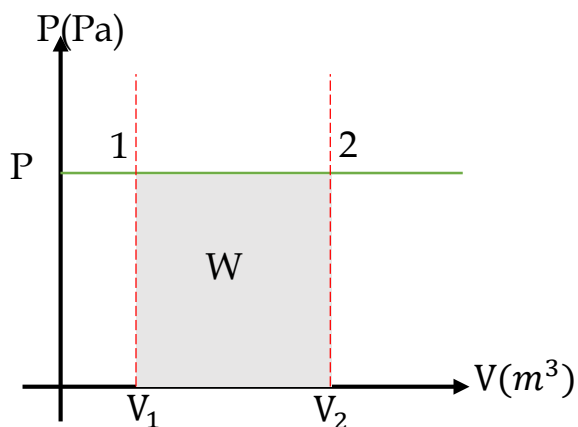
14. En dos moles de un gas ideal a 27°C , se expanden isotérmicamente hasta duplicar su volumen. Determinar la cantidad de calor que se necesita suministrar al gas durante el proceso ($\ln 2 \approx 0.69$).



<https://youtu.be/rY5obuQl6yE?si=SoLH-QFyhM91F7yY>

Respuesta: 3441.996 J

15. Si en un proceso isobárico a una presión de $4 \times 10^6 \text{ Pa}$, un gas triplica su volumen y realiza un trabajo de $8 \times 10^6 \text{ J}$, determinar el volumen inicial del gas.



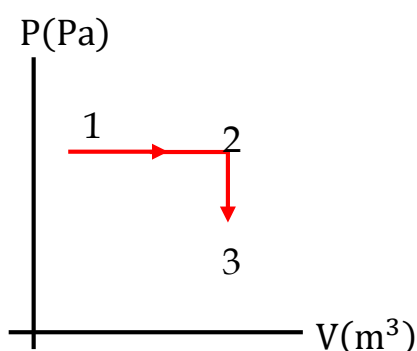
https://youtu.be/EjwV98Dodko?si=yyaF1on7S_tLanQ_

Respuesta: 1 m^3

16. Un mol de gas ideal primero se expande bajo una isóbara (proceso 1-2) y luego se somete a una isométrica (proceso 2-3). Si durante estos procesos, el gas realiza un trabajo total de 8.31 kJ y la relación entre las presiones en los estados 2 y 3 es $P_2/P_3 = 3$, calcular la temperatura en el estado 1, considerando que es la misma que en el estado 3.

<https://youtu.be/wsb5lnEQg0k?si=TrqoCde6oN9OdE0e>

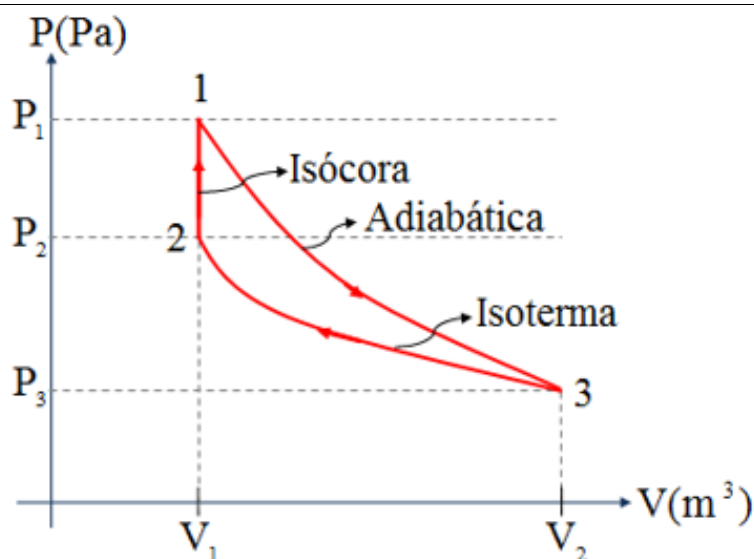
Respuesta: 500 K



17. Inicialmente, tenemos un gas ideal diatómico a 300 K y 10^5 Pa, con un volumen de 0.4 m^3 . Si este gas experimenta una expansión adiabática hasta alcanzar un volumen de 1.2 m^3 , luego, se comprime isotérmicamente hasta volver a su volumen inicial de 0.4 m^3 y finalmente, se lleva a cabo una transformación isócara que lo devuelve a su estado inicial, determinar a) el número de moles del gas y la temperatura después de la expansión adiabática, b) la variación de energía interna, el trabajo y el calor en el proceso 3-2.

https://youtu.be/BZKg3sWkMTE?si=O9AeKV AfhfS_6q2Y

Respuesta: a) 16 moles; 193.7 K; b) 0; 28294 J; 28294 J



18. Una máquina de Carnot operando entre dos fuentes térmicas a 400 K y 300 K realiza 100 J de trabajo por ciclo. Determinar la suma de la cantidad de calor absorbido y devuelto en cada ciclo.

https://youtu.be/Fi-vGcYdDjA?si=_f1se4nWIKlK3mE4

Respuesta: 700 J

Bibliografía

- Ahmed, F. S. (2023). *Fluid mechanics and its applications*. Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/C2020-0-01392-8>
- Anderson, J. L. (2021). *The physics of turbulent flows*. Springer Nature.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-53356-3>
- Atkins, P., & De Paula, J. (2018). *Elements of physical chemistry*. Oxford University Press.
- Baker, D. R., Schwikowski, M., Udisti, R., & Isaksson, E. (2021). A Holocene Southern Hemisphere volcanic climatic record from an East Antarctic ice core. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(19), e2021JD034710. <https://doi.org/10.1029/2021JD034710>
- Bansal, R. K. (2020). *A textbook of fluid mechanics and hydraulic machines*. Laxmi Publications.
- Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (2007). *Transport phenomena*. John Wiley & Sons.
- Biswas, S., Kushari, A., & Sharma, V. (2022). Effects of surface free energy and dynamic viscosity in the transportation of two immiscible liquid plugs in a square microchannel. *Chemical Engineering Science*, 257, 117502.
<https://doi.org/10.1016/j.ces.2021.117502>
- Castro, S. (2023). *Conceptos fundamentales en hidráulica de canales*. Ediciones UCSS.
- Castro, S. (2023). *Hidráulica aplicada al diseño de canales y estructuras hidráulicas*. Universidad de los Andes.
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*. McGraw-Hill Education.

-
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2022). *Fluid mechanics: Fundamentals and applications*. McGraw Hill.
- Chang, R. (2022). *Química*. McGraw-Hill.
- Cox, A. (2024). Fundamentos de dinámica de fluidos en ingeniería aeronáutica. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Aeroespacial*, 2(1), 56-71. <https://doi.org/10.0000/rlia.2024.v2.n1.56-71>
- Daintith, J. (2005). *Oxford dictionary of physics*. Oxford University Press.
- Das, S., Das, P. K., & Azzopardi, B. J. (2015). Effects of surfactants on bubble formation at orifice in quiescent and flowing systems. *Langmuir*, 31(28), 7816-7825. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.5b01603>
- Fazli, H., Sharifi Hashjin, A., Baou, K., Homayoun, H., & Mosaddeghi, E. (2022). Preparation of stable multifunctional microcapsules containing biological control agents in foam-mat drying: Shell formation mechanism. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 637, 128729. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.128729>
- Gómez, T. et al. (2022). *Calor y temperatura: Conceptos básicos en física térmica*. Universidad Técnica Federico Santa María.
- Gray, W., & Mann, J. (2020). Principles and methods of temperature measurement. *Sensors Magazine*.
- Gupta, M., et al. (2021). From Maxwell-Boltzmann distribution to Boltzmann distribution and non-equilibrium thermodynamics. *Results in Physics*, 26, 104752. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.104752>
- Hofmann et al. (2021). *Temperature measurement techniques: Non-contact temperature measurement*. Springer Nature.
- Holman, J. (2024). *Transferencia de calor*. Editorial McGraw-Hill.

- Heras, J. A. (2023). *Propiedades térmicas de los materiales* (2da ed.).
- Ramachandran, K. K. (2023). *Ingeniería de los materiales*. Editorial Paraninfo.
- Lee, J. (2023). Principles and applications of infrared thermometers. *MDPI Sensors*.
- Miller et al. (2022). *Thermodynamics in nuclear power plant systems*. Elsevier.
- Mott, R. (2022). *Diseño de elementos de máquinas*. Editorial Pearson.
- Paul, S., Saha, A., & Chakraborty, S. (2019). Effect of surfactants on surface tension, viscosity, and stability of biosurfactant-stabilized nanofluids. *Journal of Molecular Liquids*, 294, 111534. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111534>
- Potter, M. C., Wiggert, D. C., & Ramadan, B. H. (2022). *Mecánica de fluidos*. Cengage Learning.
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (2024). *Física* (Vol. 1). CECSA.
- Romo, R. (2022). *Fundamentos de termodinámica técnica*. Editorial Reverté.
- Santos, F. P. D., E Silva, F. T. D., Neto, P. D. S., Moura, M. C. P. D. A., Santana, H. D. B., & Azevedo, D. C. S. (2023). Volumetric properties of {ILs}+ {1-Butyl-3-methylimidazolium trifluoromethanesulfonate} mixtures: Experimental measurements and modeling using PC-SAFT equation of state. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 68(3), 1246-1260. <https://doi.org/10.1021/acs.jced.2c00725>
- Santos de Souza, T. C., da Silva Couto, R., Neto Pereira, A. L., Fernandes Rodrigues, R. A., & Kabasci, S. (2022). The spreading of immiscible liquid droplets over porous surfaces. *Chemical Engineering Journal*, 428, 131739. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131739>

Sears, F., Zemansky, M., Young, H., & Freedman, R. (2023). *Física universitaria* (Vol. 1). Pearson Educación.

Silbey, R. J. et al. (2023). *Physical chemistry*. Wiley.

Smith, W. (2021). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. Editorial McGraw-Hill.

Tipler, P., & Mosca, G. (2024). *Física para la ciencia y la tecnología* (6ta ed.).

White, F. M. (2020). *Fluid mechanics*. McGraw-Hill Education.

Yin, W., Zhang, L., & Yu, G. (2021). Membrane-based gaseous separation technologies for biogas upgrading. *Chemical Engineering Journal*, 426, 131828.



En esta foto, se puede apreciar al talentoso equipo de estudiantes que participó en la creación de los videos educativos. Con gran entusiasmo y dedicación, colaboraron para simplificar conceptos de física y transformarlos en lecciones claras y accesibles para sus compañeros de los primeros ciclos de la Escuela Profesional de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, así como para toda persona interesada en las ciencias físicas. Su compromiso y esfuerzo son evidentes en cada video, contribuyendo a que otros puedan avanzar en su comprensión y conocimiento del fascinante mundo de la física.

FUNDACIÓN EDICIONES CLÍO

La Fundación Ediciones Clío es una institución académica que promueve la ciencia, la cultura y la formación integral de las comunidades, con el objetivo de difundir contenido científico, humanístico, pedagógico y cultural para formar a personas e instituciones interesadas. Nuestra visión es contribuir a la generación de capacidades científicas, tecnológicas y culturales que sean herramientas útiles en la resolución de los problemas de la sociedad. Para lograrlo, ofrecemos un repositorio bibliográfico con contenidos descargables de forma gratuita desde nuestra página web y redes sociales, donde se pueden encontrar libros, revistas científicas y otros materiales educativos de interés.

Este libro es el resultado de un proyecto de investigación llevado a cabo en la Universidad Nacional de Jaén, Perú, con la finalidad de mejorar los contenidos y la enseñanza de la asignatura de Física II. Iniciado en diciembre de 2023 con la Resolución de la Vicepresidencia de Investigación N° 087-2023-UNJ, el proyecto se centró en el diseño y validación de guías de desarrollo experimental para equipos en el laboratorio de física. El objetivo principal fue optimizar los procesos experimentales para garantizar la eficiencia y precisión de los resultados obtenidos por los estudiantes. Para lograrlo, se desarrolló este libro con ejercicios prácticos contextualizados que sirven como base teórica sólida para la correcta ejecución de los experimentos.

Este libro proporciona a los estudiantes una visión detallada de la forma en que se llevan a cabo el desarrollo de los ejercicios relacionado a su contexto, generando así un impacto directo en la calidad del aprendizaje y el empoderamiento en esta disciplina fundamental. Esperamos que este libro sea una valiosa contribución al acervo bibliográfico de la Fundación Ediciones Clío y una herramienta útil para promover la enseñanza efectiva de la física experimental en las instituciones educativas del país y la región.

Atentamente;

Dr. Jorge Fymark Vidovic López

<https://orcid.org/0000-0001-8148-4403>

Director Editorial

<https://www.edicionesclio.com/>

