

COLEGIO DE FÍSICA

**ÁREA 1 FÍSICO-MATEMÁTICAS  
Y DE LAS INGENIERÍAS**

Grado: 6°    Clave: 1611    Plan: 96

**GUÍA DE ESTUDIO  
FÍSICA IV ÁREA 1**

Autores:            Mario Cruz Terán  
                          Isauro Figueroa Rodríguez  
                          Emilio Jesús Flores Llamas

Coordinador:      Isauro Figueroa Rodríguez

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Escuela Nacional Preparatoria  
Directora General: Mtra. Silvia E. Jurado Cuéllar  
Secretario Académico: Biól. Alejandro Martínez Pérez

Diseño de portada: DCV. Cintia Amador Saloma  
Diseño editorial: DCG. Edgar Rafael Franco Rodríguez  
3ª edición: 2010  
© Universidad Nacional Autónoma de México  
Escuela Nacional Preparatoria  
Dirección General  
Adolfo Prieto 722, Col. Del Valle  
C. P. 03100, México, D. F.  
Impreso en México

# PRESENTACIÓN

La Escuela Nacional Preparatoria ha trabajado durante casi 145 años en la formación de jóvenes llenos de ideales y metas por cumplir, con deseos de superación y comprometidos con su país, a quienes tenemos que guiar y conducir hacia el logro de sus éxitos académicos, factores que reforzarán su seguridad personal.

Las herramientas que adquieran los estudiantes, durante esta etapa escolar, serán fundamentales, columna vertebral que sostenga sus estudios profesionales, con lo que el desarrollo de habilidades y actitudes se verá reflejado en su futuro próximo.

Es nuestra responsabilidad dotar a los alumnos de todos los materiales didácticos que ayuden a enfrentar los retos de adquisición del aprendizaje, para que continúen con sus estudios de manera organizada, armónica y persistente.

Por lo mismo, los profesores que integran esta dependencia universitaria, trabajan de manera colegiada; ponen toda su energía en desarrollar las Guías de estudio para aquellos alumnos que, por cualquier razón, necesitan presentar un examen final o extraordinario y requieren elementos de apoyo para aprobarlos y concluir sus estudios en la Preparatoria.

La presente *Guía de estudio* es un elemento didáctico que facilita la enseñanza y el aprendizaje. Se puede utilizar de manera autodidacta o con la ayuda de los muchos profesores que a diario brindan asesorías en cada uno de los planteles de la Escuela Nacional Preparatoria.

Continuaremos buscando más y mejores elementos didácticos: presenciales y en línea, con el objetivo de ayudar a nuestros alumnos a que aprueben y egresen del bachillerato.

Sólo me resta desearles éxito en su camino personal y profesional.

Juntos por la Escuela Nacional Preparatoria.

**Mtra. Silvia E. Jurado Cuéllar**  
**Directora General**

# ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| <b>A los alumnos</b> .....  | 7  |
| <b>Estrategias de aprendizaje</b> .....   | 9  |
| <b>Temario de estudio</b> .....   | 13 |
| <b>Capítulo I. Mecánica</b> .....   | 17 |
| Resumen .....   | 17 |
| Propósitos.....   | 17 |
| 1.1. El concepto de fuerza y las leyes de la dinámica .....   | 17 |
| Leyes de Newton: primera, segunda y tercera   |    |
| 1.2. Estática.....  | 20 |
| Concepto de torca   |    |
| Equilibrio de fuerzas y equilibrio de torcas  |    |
| 1.3. Descripción del movimiento .....   | 22 |
| Clases de movimiento: movimiento rectilíneo uniforme, movimiento uniformemente acelerado, movimiento circular uniforme y oscilador armónico |    |
| 1.4. Gravitación universal .....  | 25 |
| 1.5. Conservación de la energía mecánica .....  | 26 |
| Concepto de trabajo mecánico  |    |
| Principio de conservación de la energía mecánica  |    |
| Conceptos clave .....   | 27 |
| Respuestas a los problemas propuestos .....   | 27 |
| Autoevaluación 1 .....  | 31 |
| <b>Capítulo II. Hidrostática e Hidrodinámica</b> .....  | 35 |
| Resumen .....   | 35 |
| Propósitos .....  | 35 |
| 2.1. Presión, presión atmosférica, presión absoluta y presión manométrica .....   | 35 |
| Concepto de presión   |    |
| Presión hidrostática  |    |
| Presión atmosférica: experimento de Torricelli  |    |
| Presión absoluta y manométrica  |    |
| Principio de Pascal   |    |
| 2.2. Principio de Arquímedes.....   | 40 |
| 2.3. Capilaridad, tensión superficial, cohesión y adherencia .....  | 41 |
| 2.4. Líquidos en movimiento .....   | 43 |
| Ecuación de continuidad y gasto hidráulico  |    |
| Teorema de Bernoulli  |    |
| Concepto de viscosidad  |    |
| Ecuación de Poiseuille  |    |
| Número de Reynolds: flujo laminar y turbulento  |    |
| Conceptos clave .....   | 49 |
| Respuestas a los problemas propuestos .....   | 49 |
| Autoevaluación 2 .....  | 55 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Capítulo III. Termodinámica</b> .....                                      | 57  |
| Resumen .....   | 57  |
| Propósitos.....   | 57  |
| 3.1. Ley cero de la termodinámica .....                                       | 57  |
| Equilibrio térmico  |     |
| Ley cero de la termodinámica  |     |
| Concepto de temperatura   |     |
| 3.2. El concepto de energía interna .....                                     | 58  |
| 3.3. El concepto de calor .....   | 59  |
| Formas de transmisión del calor   |     |
| 3.4. La primera ley de la termodinámica .....                                 | 60  |
| Experimento de Joule  |     |
| La primera ley de la termodinámica  |     |
| 3.5. Calorimetría .....   | 62  |
| Dilatación térmica: lineal, superficial y volumétrica                         |     |
| Capacidad calorífica específica   |     |
| Calorímetro: balances de energía entre dos cuerpos en contacto térmico        |     |
| 3.6. Procesos termodinámicos.....   | 65  |
| · Ecuación de estado de un gas ideal  |     |
| · Procesos termodinámicos: isobáricos, isotérmicos, isométricos y adiabáticos |     |
| 3.7. La segunda ley de la termodinámica.....                                  | 70  |
| La segunda ley de la termodinámica  |     |
| Entropía de un sistema. Orden y desorden                                      |     |
| 3.8. Máquinas térmicas, eficiencia y ciclos.....                              | 75  |
| Conceptos clave .....   | 76  |
| Respuestas a los problemas propuestos .....                                   | 76  |
| Autoevaluación 3 .....  | 81  |
| <br>  |     |
| <b>Capítulo IV. Electromagnetismo</b> .....                                   | 84  |
| Resumen .....   | 84  |
| Propósitos.....   | 84  |
| 4.1. Circuitos eléctricos resistivos .....                                    | 84  |
| Concepto de intensidad de corriente, voltaje y resistencia eléctrica          |     |
| Ley de Ohm: circuitos eléctricos  |     |
| Resistores en serie y en paralelo   |     |
| Concepto de potencia eléctrica  |     |
| Leyes de Kirchhoff  |     |
| 4.2. Campo magnético.....   | 88  |
| Experimento de Oersted  |     |
| Fuerza magnética sobre una carga en movimiento                                |     |
| Ley de Biot y Savart  |     |
| Fuerza sobre conductores  |     |
| Funcionamiento de motores y medidores eléctricos                              |     |
| 4.3. Inducción electromagnética .....   | 93  |
| Ley de Faraday y flujo magnético  |     |
| Ley de Lenz   |     |
| Generador y transformador eléctrico   |     |
| Conceptos clave .....   | 98  |
| Respuestas a los problemas propuestos .....                                   | 98  |
| Autoevaluación 4 .....  | 100 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Examen tipo extraordinario</b> .....                  | 103 |
| <b>Respuestas a los instrumentos de evaluación</b> ..... | 109 |
| Autoevaluación   |     |
| Examen tipo extraordinario                               |     |
| <b>Para saber más</b> .....                              | 111 |
| Bibliografía   |     |

# A LOS ALUMNOS

La *Guía de Estudio* que está en tus manos es producto de la labor académica realizada por profesores que imparten la asignatura de **Física IV (área 1)**, en la Escuela Nacional Preparatoria.

Este equipo de trabajo, tiene el propósito de *orientarte, aconsejarte y proporcionarte un apoyo*, para que cuando te presentes al Examen Extraordinario de **Física IV (área 1)**, tengas bases suficientes para contestarlo correctamente.

Esta Guía de Estudio, está estructurada en cinco partes: Estrategias de aprendizaje, temario de estudio, guía conceptual, examen tipo extraordinario, respuestas a los instrumentos de evaluación y bibliografía.

Las *Estrategias de Aprendizaje*, ofrecen un horizonte hacia un aprendizaje independiente y autónomo. Para ello, conocerás estrategias para la lectura, para identificar ideas principales, elaborar y organizar información, y para mejorar la retención. Adopta aquellas que te resulten más eficientes, dependiendo de los contenidos que vas a estudiar.

En el *Temario de Estudio*, se describen los contenidos que se evaluarán en el examen. El Colegio, después de revisar el Programa de la Asignatura, consideró que éstos, son los contenidos necesarios para acreditar la asignatura con una buena formación y visión integrada de la disciplina.

En la *Guía Conceptual*, se hace un breve desglose de los contenidos que se muestran en el Temario de Estudio, queda claro que ésta no pretende ser un libro donde encontrarás la respuesta a todas tus dudas, simplemente te orienta sobre los conceptos y leyes que se evaluarán en el examen. Además, se organiza por capítulos siguiendo el orden del Programa de la Asignatura. Se incluyen una serie de reactivos intercalados (Problemas para la reflexión) con sus respuestas, y un instrumento de autoevaluación al final de cada capítulo.

El *Examen Tipo Extraordinario*, constituye una parte importante de la Guía, se presentan reactivos similares a los que se desarrollarán en el Examen Extraordinario, organizados por niveles cognitivos (conocimiento, comprensión y aplicación), que puedes resolver y de esta forma practicar para tener así una aproximación confiable a tus posibilidades de acreditar el examen.

En las *Respuestas a los instrumentos de evaluación*, se incluyen las respuestas a todos los reactivos que se proponen a lo largo de la Guía (Problemas para la reflexión, Autoevaluación y Examen Tipo Extraordinario), para que puedas dar seguimiento al dominio de los contenidos. A su vez, para que puedas reforzar aquellos temas en los que tu aprendizaje es deficiente y al mismo tiempo corregir los errores cometidos.

En la *Bibliografía*, se propone una bibliografía actualizada, con la seguridad de que el libro que elijas cubre todo el Temario de Estudio. En general, se encuentran en la biblioteca de tu plantel. Sin temor a equivocarnos, los encontraras en una biblioteca pública cercana a tu casa, o bien, quizás sea el momento de adquirir un libro; los títulos propuestos se

localizan en cualquier librería. Con esto, queda claro que en el momento de estudiar, necesitas la Guía de Estudio y un libro de Física.

No obstante, tales esfuerzos cumplirán su objetivo en la medida en que también haya de tu parte una decisión firme para invertir tiempo y esfuerzo en tu propia preparación, estudiando y realizando las actividades que se te proponen.

Te invitamos a que con dedicación y entusiasmo te prepares a conciencia y logres la meta de superar exitosamente **el examen**.

Por último, te recordamos que en tu plantel se imparten asesorías y cursos para preparar el examen. Si necesitas ayuda, consulta las fechas y horarios en los que puedes asistir.

# ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE<sup>1</sup>

Hay muchas maneras de estudiar o preparar un examen. En esta sección te recomendamos algunas estrategias de aprendizaje que te servirán para:

- Identificar, entender, organizar, recordar y aplicar lo aprendido
- Descubrir los factores que apoyan tu aprendizaje y utilizarlos en tu beneficio
- Asumir una actitud positiva y responsable hacia el estudio

Es probable que estas estrategias ya te sean conocidas, quizás en alguna ocasión las aplicaste con resultados favorables en tu aprendizaje. Para que las recuerdes o en tu caso las conozcas, te mostramos cinco estrategias que te ayudarán a promover el aprendizaje:

## 1. Para la lectura

### · *Hojeada rápida*

Es una lectura superficial o primera lectura. Te ayudará a elaborar una idea global de lo que debes estudiar y a recordar lo que sabes acerca de lo que retrata en el texto, en preparación de una segunda lectura, más detenida y analítica.

### · *Lectura selectiva*

También es lectura rápida y superficial pero, a diferencia de la anterior, no se ocupa de lo esencial. Más bien, te apoya para buscar algo particular. Se emplea para localizar:

- Hechos (fechas, lugares, personajes).
- Conceptos de interés particular. Por ejemplo, conceptos relacionados con la transferencia del calor, como son: conducción, convección y radiación.
- Principios teóricos que se utilizan para la explicación de una ley, como la segunda ley de Newton y sus conceptos.
- Pasos específicos en la realización de un procedimiento, como despejar una ecuación.

### · *Lectura comprensiva*

Para alcanzar la comprensión plena del contenido, la lectura debe ser lenta y cuidadosa. Esto requiere de un esfuerzo intelectual importante para encontrar:

- Las ideas principales
- Las relaciones entre las ideas centrales
- La relación de estas ideas con los detalles de apoyo

## 2. Para identificar ideas principales y detalles

### · *El subrayado*

Conviene subrayar sólo una idea importante en cada párrafo:

- Títulos y subtítulos
- Palabras clave, es decir, las palabras que representan lo que se habla en todo el párrafo (definiciones, explicaciones, argumentaciones, etc.)
- Las relaciones entre las palabras clave, por ejemplo: relaciones causa-efecto, relaciones que describen contraste entre las ideas, las que identifican relaciones de antecedente-consecuente, etc.

### · *Elaborar notas*

---

<sup>1</sup> Las estrategias tienen que ver con las investigaciones de Sandra Castañeda F. y Miguel López O. En la propuesta que hacen en "Modelamiento cognoscitivo de mecanismos de aprendizaje: de novato a experto". Revista Mexicana de Psicología. 1990, Vol. 7, Núm. 1 y 2, Páginas: 157-171.

Para localizar con rapidez información útil:

- Aclara las ideas centrales del contenido, escribiendo su definición.
- Compara conceptos difíciles de diferenciar, escribiendo su distinción específica.
- Relaciona detalles relevantes con las ideas principales, escribiendo el tipo de relación específica.
- Relaciona personajes, hechos y lugares con situaciones que los presentan de una manera integrada.
- Relaciona los pasos a seguir con el procedimiento correspondiente.
- Escribe palabras u oraciones breves que resuman, concluyan, deduzcan o induzcan alguna idea.

### 3. Para elaborar la información

Se trata de que inventes palabras o expresiones que sirvan como puentes o enlaces entre lo que ya sabes y lo nuevo que estás aprendiendo, haciendo que el material sea más comprensible y más fácil de recordar.

Agrega algo a la información, para hacerla más comprensible: un título, una oración, una imagen mental, una analogía, etc.

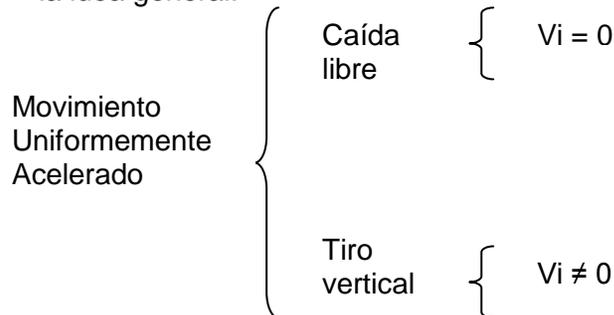
Las imágenes te ayudarán a comparar ideas, objetos y acciones; también te ayudarán a presentar gráficamente los pasos que se dan en una secuencia de movimientos o procedimientos, etc.

### 4. Para organizar la información

Se aplican para estructurar el contenido de estudio y organizar la información clave, como son los conceptos e ideas principales, buscando que te apoyen en la comprensión y aprendizaje. Hay varias estrategias de organización:

#### • *Elaboración de esquemas*

- a) Esquemas de llave. Distribuyen las ideas del material según su relación de pertenencia. Por lo común, la más general se emplea como título. Se pone a la izquierda y a continuación, a la derecha, las partes en las que se divide la idea general.

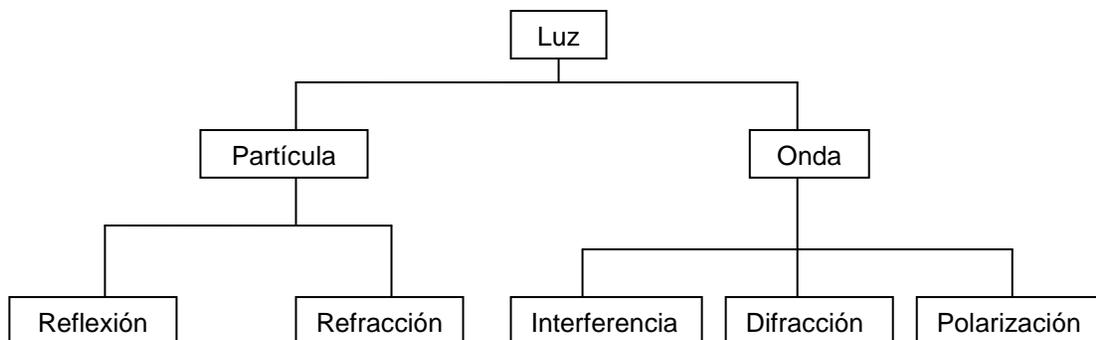


- b) Esquemas numéricos. Son útiles para ordenar índices de trabajos y organizar tus apuntes. Por ejemplo el siguiente:

FÍSICA

1. Movimiento rectilíneo uniforme.
  - 1.1. Características del movimiento
  - 1.2. Gráficas de movimiento
  - 1.3. Resolución de problemas

- c) Esquemas de subordinación. Te ayudan a identificar y expresar relaciones de jerarquía entre los conceptos



• *Establecer relaciones entre ideas*

Estrategias de agrupamiento. Te sirven para establecer relaciones que muestren las ideas o hechos que deben ponerse juntos, atendiendo a que comparten características, tienen rasgos similares, funciones parecidas o aspectos comunes. Por ejemplo, puedes hacer una lista de palabras clave de acuerdo con las funciones que cumplen en el texto: verbos, adjetivos, preposiciones, adverbios. O bien, agrupar procedimientos según el tipo de problema que solucionan. Por ejemplo:

| Cantidades  |                |
|-------------|----------------|
| Escalares   | Vectoriales    |
| Masa        | Fuerza         |
| Volumen     | Aceleración    |
| Temperatura | Velocidad      |
| Energía     | Desplazamiento |

• *Establecer secuencia temporal*

Estas estrategias son fáciles de usar y puedes aplicarlas para establecer cadenas temporales, donde los acontecimientos se relacionen en términos de antecedentes y consecuentes sin implicar una relación de causa-efecto.

• *Establecer secuencia causal*

Se refiere al tipo de relación en donde uno de los elementos es la causa de que otro ocurra, indicando el antecedente y luego la consecuencia o efecto. Por ejemplo, si se aplica corriente eléctrica (causa) a un alambre, entonces aumentará su temperatura (efecto), entre otras cosas.

• *Comparación*

Identifican diferencias y semejanzas entre objetos o entre acontecimientos. Por ejemplo, una característica de los líquidos encerrados en un recipiente es que la presión, que ejercen aumenta con la profundidad, en tanto que una característica de un gas es que la presión que ejercen en cualquier punto de la superficie que lo limita tiene la misma magnitud.

• *Relaciones de descripción*

Dan información minuciosa acerca del tema presentado. Pueden precisar atributos de varias maneras: forma, tamaño, función, estructura, color, uso. Por ejemplo, la mecánica clásica conocida como la mecánica de Newton se caracterizó por su aplicación a los objetos celestes.

- *Resumen*  
Puede aplicarse a diversos contenidos y consisten en efectuar los pasos siguientes:
  - a) Eliminar el material innecesario o repetido.
  - b) Sustituir términos, conceptos o acciones por otros de un grado mayor de generalidad, es decir, supraordinados.  
Por ejemplo sustituir madera, plástico, vidrio y cerámica, por un concepto que los incluye a todos por ser más general (supraordinado): el de materiales aislantes. También se puede emplear esta estrategia para resumir acciones, integrando las que sean de menor generalidad.
  - c) Elaborar una síntesis, seleccionando las ideas centrales o, en su caso, construir oraciones con la información principal, sin entrar en precisiones.
  
- *Solución de problemas*  
Consiste en dos pasos:
  - a) Decidir qué hacer:
    - Seleccionar las operaciones correctas
    - Identificar la información importante
    - Ignorar la información irrelevante
    - Estar al tanto de la información que se haya omitido
    - Estudiar las respuestas correctas para ver si se procedió acertadamente
  - b) Aplicar los conocimientos
    - Buscar formas de solución adecuadas al tipo de problema e información con que se cuenta
    - Efectuar operaciones que sean necesarias (hacer cálculos, aplicar fórmulas o resolver ecuaciones)
    - Revisar los resultados y verificar si son la solución al problema

## 5. Para mejorar la retención y recuperación de lo aprendido

- *El repaso y la lectura*  
Cada repaso o relectura eleva el índice de recuperación de la información. Los repasos deben ser al menos dos y tener un intervalo óptimo de ocho horas entre uno y otro
- *Recuperar información*  
Para recuperar de tu memoria los conocimientos ya aprendidos, efectúa ejercicios de reconocimiento de lo que ya sabes de cada contenido. El reconocimiento es un proceso relativamente sencillo. Por ejemplo, al ver a una persona nos damos cuenta de inmediato si se trata de algún conocido; de igual manera, ante un examen de opción múltiple (como el extraordinario) puedes reconocer entre varias respuestas cuál es la correcta.

La dificultad del reconocimiento depende, en gran parte:

- Del dominio que se tenga sobre el contenido que se está evaluando
- Del grado de dificultad de lo que se tenga que reconocer
- Del grado de dificultad de la tarea a realizar

Por último, te recomendamos buscar un lugar tranquilo, donde te sientas seguro para estudiar (quizás escuchando música instrumental y tomando café). Toma pausas en tu preparación, por ejemplo, distraerte un rato, asistir a una fiesta o simplemente descansar. En otras palabras, organiza tu tiempo y te darás cuenta que puedes hacer muchas cosas a lo largo del día, hasta estudiar o preparar tu examen.

# TEMARIO DE ESTUDIO

Algunos contenidos de este *temario* se desarrollaron en la *guía conceptual*. Sin embargo, te darás cuenta al momento de enfrentar los reactivos que se proponen en los **Problemas para la reflexión**, en la **Autoevaluación** y en el **Examen tipo extraordinario** que hay contenidos que tienes que indagar, buscar e investigar en otros medios. Se han dejado de lado con toda intención, para que tengas un pretexto de estudiar en compañía de un libro de Física. Por esto, te hemos recomendado una serie de ellos en la *bibliografía*, para que incluso aumentes tus conocimientos en los temas que se tratan en la guía.

## Capítulo I. Mecánica

### 1.1. El concepto de fuerza y las leyes de la dinámica.

- Leyes de Newton: primera, segunda y tercera.
- Análisis y resolución de problemas.

### 1.2. Estática.

- Concepto de torca.
- Equilibrio de fuerzas y equilibrio de torcas.
- Análisis y resolución de problemas.

### 1.3. Descripción del movimiento.

- Clases de movimiento: movimiento rectilíneo uniforme, movimiento uniformemente acelerado (plano inclinado, caída libre, tiro vertical, tiro parabólico), movimiento circular uniforme y oscilador armónico.
- Características y sus representaciones gráficas.
- Análisis y resolución de problemas.

### 1.4. Gravitación universal.

- Definir el peso de un cuerpo.
- Ley de la gravitación universal.
- Análisis y resolución de problemas.

### 1.5. Conservación de la energía mecánica.

- Concepto de trabajo y potencia mecánica.
- Teorema del trabajo y energía.
- Energía mecánica: cinética y potencial.
- Principio de conservación de la energía mecánica.
- Análisis y resolución de problemas.

## Capítulo II. Hidrostática e Hidrodinámica

### 2.1. Presión, presión atmosférica, presión absoluta y presión manométrica.

- Concepto de presión: absoluta y manométrica.
- Presión hidrostática.
- Presión atmosférica: experimento de Torricelli.
- Principio de Pascal.
- Análisis y resolución de problemas.

## 2.2. Principio de Arquímedes.

- Análisis y resolución de problemas.

## 2.3. Capilaridad, tensión superficial, cohesión y adherencia.

- Concepto de capilaridad, tensión superficial, cohesión y adherencia.
- Ley de Jurin.
- Características de los fenómenos relacionados con la tensión superficial.

## 2.4. Líquidos en movimiento.

- Ecuación de continuidad y gasto hidráulico.
- Teorema de Bernoulli: en un conducto cilíndrico, en donde cambian el calibre y la altura del mismo.
- Teorema de Torricelli de la salida de líquidos por un orificio.
- Concepto de viscosidad.
- Ecuación de Poiseuille.
- Número de Reynolds: flujo laminar y turbulento.
- Análisis y resolución de problemas.

# Capítulo III. Termodinámica

## 3.1. Ley cero de la termodinámica.

- Características de un sistema termodinámico.
- Equilibrio térmico.
- Ley cero de la termodinámica.
- Concepto de temperatura y escalas termométricas: Celsius, Fahrenheit y Kelvin.
- Análisis y resolución de problemas.

## 3.2. El concepto de energía interna.

- Teoría cinética molecular.

## 3.3. El concepto de calor.

- Formas de transmisión del calor.

## 3.4. La primera ley de la termodinámica.

- Experimento de Joule.
- La primera ley de la termodinámica.
- Análisis y resolución de problemas.

## 3.5. Calorimetría.

- Dilatación térmica: lineal, superficial y volumétrica.
- Calor específico, latente de fusión y vaporización.
- Calorímetro: balances de energía entre dos cuerpos en contacto térmico.
- Análisis y resolución de problemas.

## 3.6. Procesos termodinámicos.

- Ecuación de estado de un gas ideal.
- Procesos termodinámicos: isobáricos, isotérmicos, isométricos y adiabáticos.
- Análisis y resolución de problemas.

### 3.7. La segunda ley de la termodinámica. Orden y desorden en los sistemas.

- La segunda ley de la termodinámica.
- Entropía de un sistema.
- Análisis y resolución de problemas.

### 3.8. Máquinas térmicas, eficiencia y ciclos.

- Características de una máquina térmica.
- Eficiencia de una máquina térmica y su valor máximo.
- Procesos cíclicos.
- Análisis y resolución de problemas.

## **Capítulo IV. Electromagnetismo**

### 4.1. Circuitos eléctricos resistivos.

- Definir intensidad de corriente, voltaje y resistencia eléctrica y establecer la forma de medirlas.
- Ley de Ohm: circuitos eléctricos.
- Resistores en serie y en paralelo.
- Concepto de potencia eléctrica.
- Leyes de Kirchhoff.
- Análisis y resolución de problemas.

### 4.2. Campo magnético.

- Experimento de Oersted.
- Fuerza magnética sobre una carga en movimiento.
- Ley de Biot y Savart.
- Fuerza sobre conductores.
- Funcionamiento de motores y medidores eléctricos.
- Análisis y resolución de problemas.

### 4.3. Inducción electromagnética.

- Ley de Faraday y de Lenz.
- Características de un generador y un transformador eléctrico.
- Análisis y resolución de problemas.



# CAPÍTULO I

## MECÁNICA

### Resumen

En este capítulo se describen las cuatro leyes de Newton (1era., 2da., 3era. y la gravitación universal). Con ellas se analiza cómo cambia el movimiento bajo la influencia de una fuerza. También se verá que, cuando las fuerzas o torcas que se ejercen sobre un objeto se anulan entre sí, de tal manera que no hay cambio en la velocidad, el objeto está en equilibrio, hay dos tipos de equilibrio: de fuerzas y de torcas.

Por otro lado, cuando la fuerza que se ejerce sobre un objeto produce un desplazamiento, se dice que se realiza trabajo mecánico sobre éste. El concepto de trabajo nos llevará a la idea de energía mecánica (cinética y potencial) y con ello al principio de conservación de la energía.

### Propósitos

Que el alumno logre:

- Aplicar las leyes de Newton en problemas relativos al movimiento de objetos sobre los cuales se ejercen fuerzas, balanceadas o no.
- Analizar las condiciones de equilibrio translacional y rotacional.
- Resolver problemas relacionados con la ley de la gravitación universal.
- Establecer casos donde se cumpla el principio de conservación de la energía mecánica.

### 1.1. El concepto de fuerza y las leyes de la dinámica

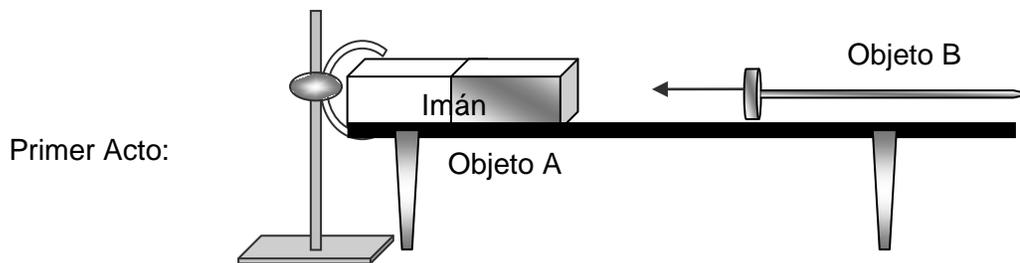
Intuitivamente asociamos el concepto de fuerza al hecho de jalar o empujar un objeto. Nadie pondrá objeciones si decimos que al empujar (o jalar) un objeto le estamos aplicando una fuerza.

#### Tercera ley de Newton

Pensemos en un sencillo experimento, que ilustra el contenido cualitativo de la 3ª ley. Como actores necesitas: un clavo de acero y un imán de barra. El imán tiene la propiedad de atraer objetos de fierro y que el clavo carece de dicha propiedad. El clavo de la ferretería no puede atraer a otro clavo, por ejemplo.

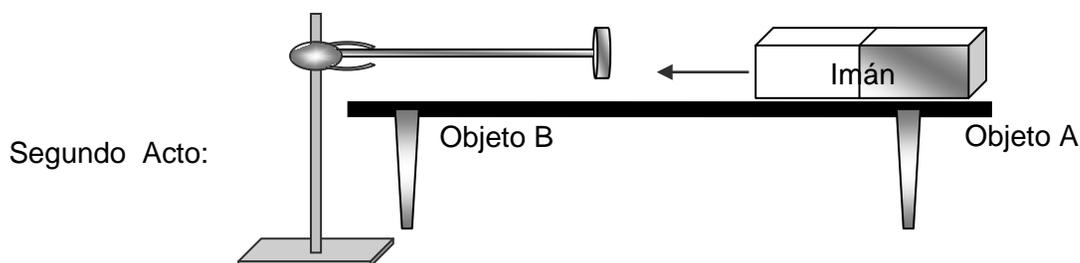
En una mesa lisa, mantén el imán inmóvil sujetándolo con un soporte (con tu mano puede ser) mientras acercas paulatinamente el clavo hacia el imán, empujándolo con la otra mano.

Llegará un momento, a cierta distancia de separación, en el que el clavo saldrá disparado hacia el imán y se pegará a él. Si llamamos al imán “objeto A” y al clavo “objeto B”, este primer acto del experimento pone en evidencia, sin lugar a dudas, que el objeto A jaló al objeto B, o mejor dicho, que el objeto A ejerció una fuerza sobre el objeto B.

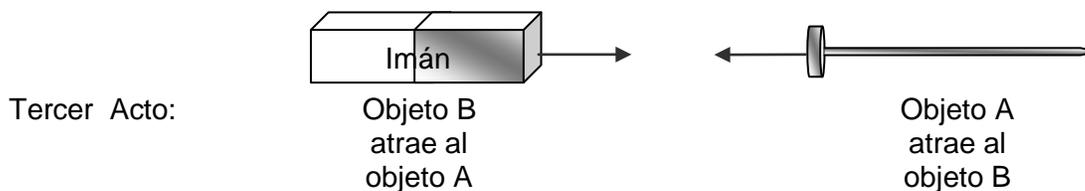


En el segundo acto tienes que mantener el clavo fijo y acercar el imán, poco a poco, hacia el clavo. Ahora es el imán el que “corre” a juntarse con el clavo. El imán es jalado por el clavo, aunque éste no tenga la propiedad magnética del imán. Conclusión,

El objeto B ejerció una fuerza sobre el objeto A.



Tercer acto: Sin que ninguno de los dos objetos se mantengan inmóviles, acercas uno hacia el otro, poco a poco, empujándolos con los dedos. Llegará un momento en que, simultáneamente “correrán”, uno hacia el otro, hasta juntarse en algún punto intermedio de la distancia de separación inicial.



Este tercer acto incluye a los dos primeros, si pensamos de la siguiente manera:  
 ¿Por qué en el primer acto el imán no “corrió” hacia el clavo? El imán sí “quería” hacerlo; no pudo porque se le obligó a estar inmóvil.  
 ¿Por qué en el segundo acto el clavo no “corrió” hacia el imán? También el clavo “quería”, pero se le obligó a permanecer quieto.

¿Cómo se llama la obra?  
 3ª ley de Newton. La cual establece que cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, este último ejerce una fuerza de igual magnitud, pero de sentido contrario sobre el primero.

### **Primera Ley de Newton**

Cuando un objeto se pone en movimiento, no te preguntes por qué se sigue moviendo, pregúntate por qué se para.

En otras palabras, Galileo y Newton nos dicen que el “deseo” de un objeto en movimiento no es alcanzar el reposo sino seguir moviéndose. A este “deseo” de los objetos de persistir en su movimiento es a lo que se le llama *inercia*.

La primera ley de Newton puede resumirse de la siguiente manera: si no existe ninguna fuerza neta que se ejerza sobre un objeto, éste continuará en su estado de reposo o de movimiento uniforme rectilíneo.

### **Segunda ley de Newton**

Desde el punto de vista operativo, esta es la ley más importante de la dinámica newtoniana, porque su correcta aplicación permite describir el movimiento de cualquier objeto bajo la condición de saber, principalmente, el tipo de fuerza que actúa sobre él. El gran éxito inicial de esta ley fue que le permitió a Newton describir el movimiento de los planetas alrededor del Sol explicando el por qué de las leyes de Kepler.

Cualitativamente la 2ª ley afirma que: “la aplicación de una fuerza neta a un objeto tiene como efecto cambiar la velocidad de dicho objeto”.

Por ejemplo, cuando te encuentras en el centro comercial al empujar y poner en movimiento un objeto (un carrito de super), que se encontraba inicialmente en reposo, estás comprobando esta parte cualitativa; cambiaste la velocidad de cero a cierto valor debido a la fuerza del empuje. El problema se presenta cuando empujas insistentemente un objeto en reposo (un auto descompuesto) y no logras moverlo. Debemos revisar nuestro esquema mental sobre la segunda ley para explicar esta situación. La fuerza a la que se refiere la 2ª ley puede ser una única fuerza o la fuerza neta resultante de un sistema de fuerzas que actúa simultáneamente sobre el objeto; en cualquiera de los dos casos la afirmación de arriba debe modificarse y dejar claro que: la aplicación de una fuerza neta a un objeto tiene como efecto cambiar la velocidad de dicho objeto. Puesto que esto es cierto (se ha seguido comprobando una y otra vez desde tiempos de Newton), entonces debes concluir que si empujas un auto descompuesto y no logras moverlo (cambiarle la velocidad) se debe a que la fuerza neta sobre el auto debe ser cero; esto significa que la fuerza de tu empuje debe estar equilibrándose con alguna otra fuerza oculta. Si el auto está en neutral y no tiene accionado el freno de mano, lo más seguro es que la fuerza oculta sea la fricción con el suelo.

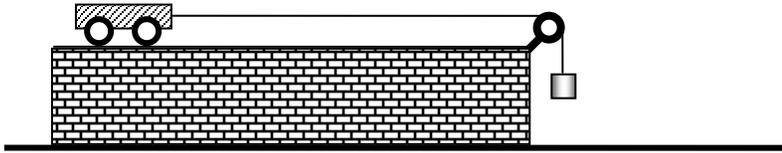
### **Problemas para la reflexión**

1.1. La Tierra ejerce una fuerza de atracción gravitacional sobre una manzana; si la soltamos, la manzana cae hacia el suelo debido a dicha fuerza. De acuerdo con la 3ª ley ¿qué hace la manzana en todo momento?

1.2. Si una fuerza constante  $F$  empuja sobre una superficie horizontal a una caja y la caja se mueve con velocidad constante. ¿A qué conclusión llegas respecto a las fuerzas involucradas?

1.3. El carrito de 1 kg es jalado por el bloque de  $\frac{1}{4}$  kg que cuelga fuera de la mesa por medio de la cuerda que pasa por la polea. Supongamos que no hay fuerzas de fricción y considerando despreciable la masa de la cuerda y de la polea. Mientras la pesa no llega

al suelo ¿cuál es la tensión de la cuerda y la aceleración del carrito? Considera  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .



1.4. Si una persona se pesa dentro de un elevador con una báscula de resorte, ¿qué valor se leerá en la báscula si el elevador asciende con una aceleración de  $1.5 \text{ m/s}^2$ ? La persona sabe que su masa es de  $80 \text{ kg}$ . Considera  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .

## 1.2. Estática

Para que un objeto esté en equilibrio estático es necesario que las fuerzas que actúan tengan una resultante igual a cero. Esto evita que el cuerpo se traslade. Sin embargo, también se debe evitar que el objeto gire. Para estudiar la tendencia “a girar” de el objeto debemos introducir el concepto de “torca”. La palabra tiene sus raíces en la palabra latina que significa “torcer”. Vamos a restringirnos a las torcas producidas por fuerzas coplanares. Es decir, fuerzas que se encuentren en el mismo plano.

La torca es un vector cuya magnitud se calcula con la simple fórmula:

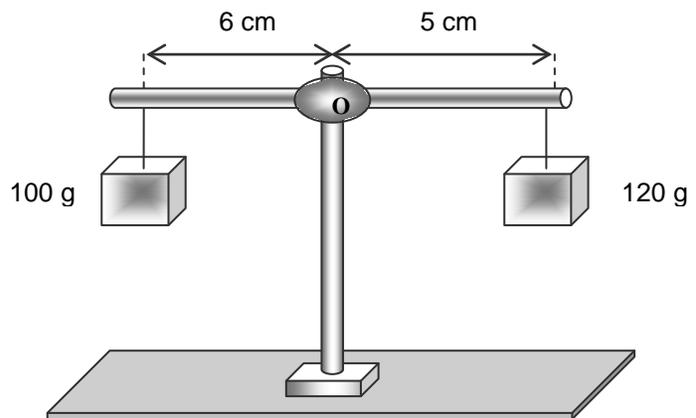
Torca = Fuerza por la longitud del brazo de palanca

$$t = F l$$

Siempre que la fuerza sea perpendicular al brazo de palanca. Para el caso general se tiene que  $t = Fl \sin \theta$ , donde  $\theta$  es el ángulo entre la fuerza y el brazo de palanca.

La manera más simple de introducir el tratamiento cuantitativamente el concepto de torca es mediante el siguiente dispositivo que asemeja una balanza.

Tenemos una regla homogénea sostenida a la mitad por un pedestal. En el punto  $\bullet$  hay un pivote alrededor del cual puede girar la regla. A lo largo de la regla pueden colocarse varios ganchos corredizos de los que se pueden colgar pesas. El problema experimental es el siguiente. Si se cuelga un bloque de masa  $100 \text{ g}$  a  $6 \text{ cm}$  a la izquierda del punto  $\bullet$  (éste es el brazo de palanca), ¿a qué distancia a la derecha de  $\bullet$  debo de colgar un bloque de masa  $120 \text{ g}$ , para que la regla permanezca horizontal?



Respuesta: el bloque de  $120 \text{ g}$  debe colocarse a  $5 \text{ cm}$  a la derecha de  $\bullet$ .

En general, con un bloque de masa  $m_1$  colgada a  $x_1$  a la izquierda de  $\bullet$  y otro bloque de masa  $m_2$  colgada a  $x_2$  a la derecha de  $\bullet$ , se encuentra que la condición para que la regla quede horizontal es que:

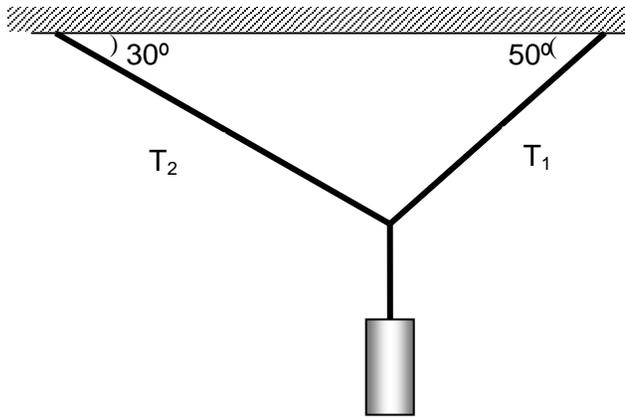
$$m_1 x_1 = m_2 x_2$$

Por el carácter vectorial que tiene la torca, se aplica el criterio de que la tendencia a hacer girar del peso (fuerza) del bloque de la izquierda se equilibra con la tendencia a hacer girar del peso del bloque de la derecha. Si se cumple la condición que acabamos de escribir, nos damos cuenta que el bloque de la izquierda trata de hacer girar a la regla en sentido contrario al de las manecillas del reloj (el giro se puede considerar positivo), mientras que el bloque de la derecha trata de que la regla gire en el mismo sentido que el de las manecillas del reloj (el giro se puede considerar negativo).

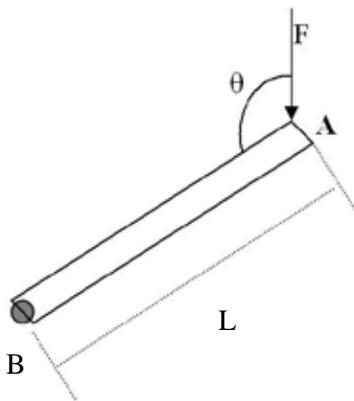
Finalmente para evitar que el objeto gire, se necesita que las torcas que actúan sobre él, tengan una resultante igual a cero. Es decir,  $m_1 x_1 - m_2 x_2 = 0$ .

### Problemas para la reflexión

1.5. Encuentra la magnitud de la fuerza de tensión a la que está sometida la cuerda  $T_1$  y  $T_2$  en el sistema en equilibrio. El peso del cilindro colgado es de 100 N.



1.6. El dibujo muestra una puerta vista desde arriba. Una fuerza de magnitud  $F$  se le aplica en el extremo A. En el extremo B tiene bisagras que le permiten girar. La puerta tiene una longitud  $L$  y la dirección de la fuerza forma un ángulo obtuso  $\theta$  con el plano de la puerta. ¿Cuál es la magnitud de la torca  $t$  que ejerce la fuerza con respecto al punto B?



### 1.3. Descripción del movimiento

El movimiento de los objetos, ya sean balones de fútbol, automóviles, personas caminando o incluso el Sol y la Luna, es una parte evidente de la vida cotidiana.

Los movimientos de los objetos los percibimos cuando lanzamos hacia arriba una moneda (tiro vertical), al patear un balón (tiro parabólico), o bien, al ver el segundero de un reloj (movimiento circular uniforme), etc.

La descripción del movimiento de los objetos se hace en los siguientes casos: Movimiento rectilíneo uniforme (la velocidad es constante), movimiento uniformemente acelerado (la aceleración es constante), el movimiento circular uniforme (la rapidez es constante) y el movimiento armónico simple (es periódico).

#### **Movimiento rectilíneo uniforme (MRU).**

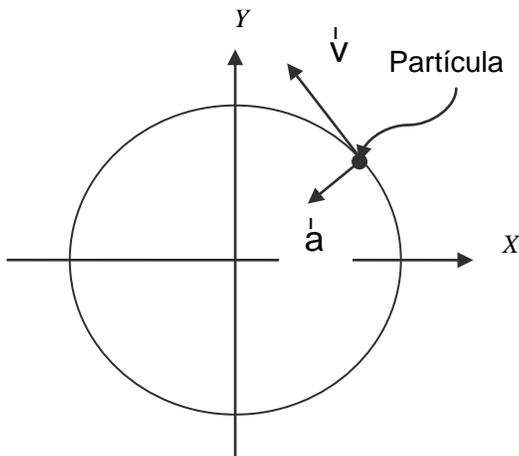
En este movimiento la velocidad no cambia, lo que significa, en primer lugar, que la dirección no cambia, es decir, la dirección de la velocidad es la misma que la del desplazamiento, se trata de un movimiento siempre en la misma dirección, esto es, en línea recta, por eso el movimiento se llama rectilíneo. En segundo lugar, que el sentido no cambia, o sea, que el objeto no llega a un punto en que se regrese. En tercer lugar, que la magnitud no cambia en ningún momento, lo que implica que la rapidez se mantiene constante. En conclusión es un movimiento cuya velocidad no cambia ni en magnitud, ni en dirección, ni en sentido.

#### **Movimiento uniformemente acelerado (MUA)**

El término aceleración es sinónimo de cambio en la velocidad. Un cambio en la velocidad, implica cambiar la rapidez, o la dirección, o bien, el sentido, o cuando cambien todas simultáneamente, hay aceleración. Si el cambio de la velocidad es proporcional al tiempo durante todo el movimiento, la aceleración es constante. Este tipo de movimiento es importante porque se aplica a muchos objetos en la naturaleza. Por ejemplo, un objeto en caída libre, en tiro vertical y en tiro parabólico.

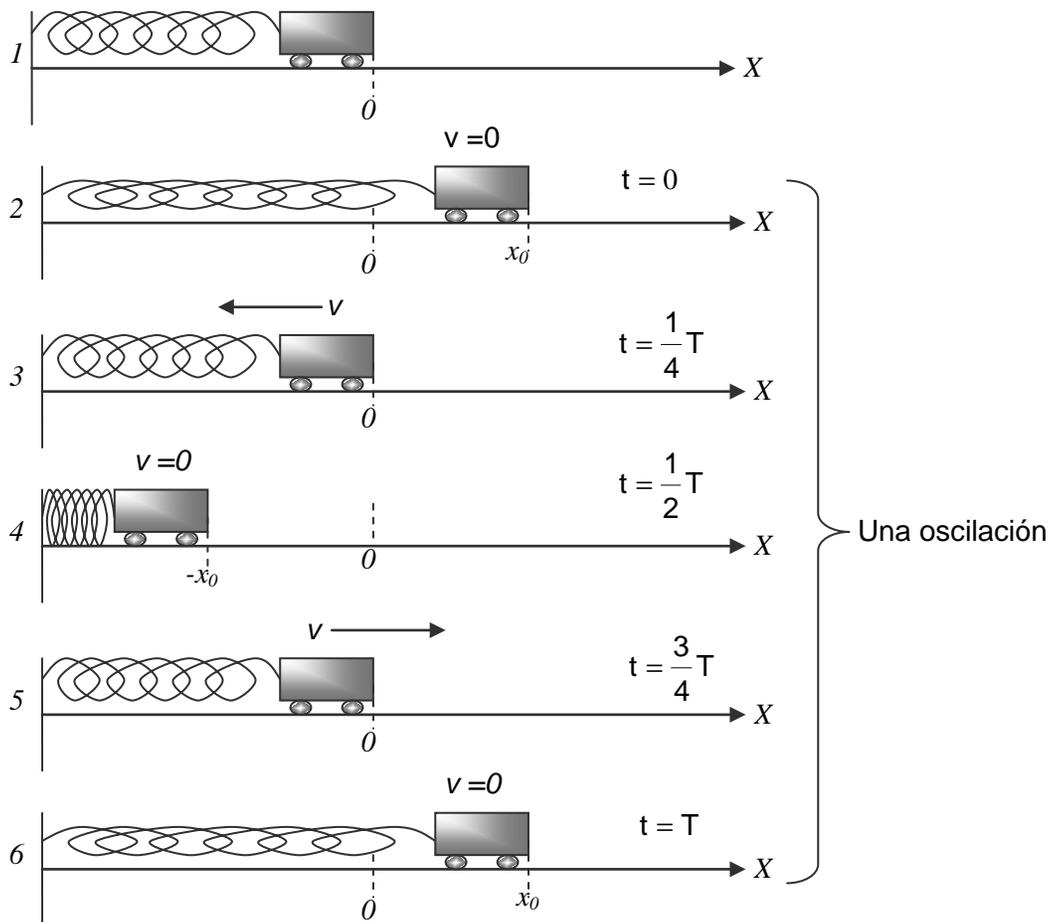
#### **Movimiento circular uniforme (MCU)**

Como su nombre lo indica, se trata de un movimiento en círculo y con una velocidad  $\vec{v}$  constante en magnitud (rapidez constante), pero que cambia continuamente de dirección durante el movimiento. Este movimiento es periódico, lo que quiere decir que se repite con regularidad: al cabo de cada vuelta el objeto pasa otra vez por la misma posición y con la misma velocidad. Además, el vector velocidad es siempre tangente a la trayectoria (como en todo movimiento en trayectoria curva).



### Movimiento armónico simple (MAS)

Cuando un objeto se desplaza continuamente hacia delante y hacia atrás (hacia arriba y hacia abajo), sobre una trayectoria definida, en intervalos iguales se dice que tiene movimiento periódico. Este movimiento es un tipo de desplazamiento lineal de una partícula en el que la aceleración es proporcional al desplazamiento de la partícula, desde su posición de equilibrio, y se dirige siempre hacia esta última. Ejemplos de este movimiento, es un bloque que vibra hacia arriba y hacia abajo sobre un resorte.



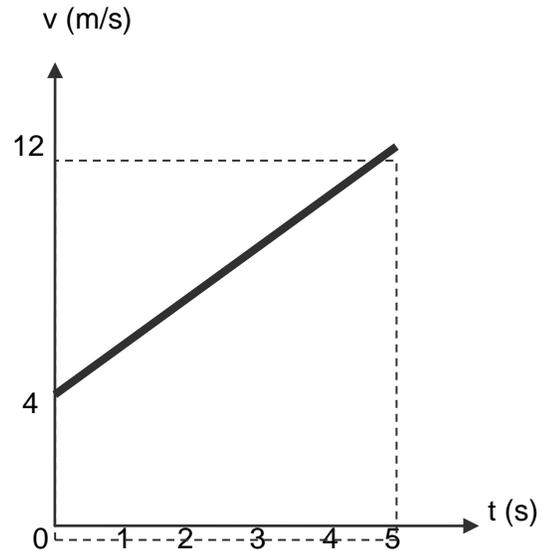
$T$  = periodo (tiempo de 1 oscilación).

$f$  = frecuencia (número de oscilaciones en cada segundo).

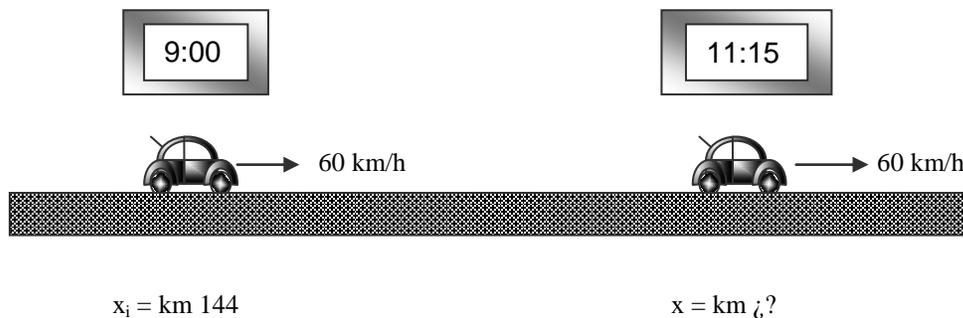
$x_0$  = Amplitud.

### Problemas para la reflexión

1.7. Considera que a un móvil se le aplica una fuerza constante de manera que aumenta su velocidad uniformemente desde 4 m/s hasta 12 m/s en un intervalo de tiempo de 5 segundos. ¿Cuál es la aceleración del móvil?



1.8. Si un auto pasa por el km 144 de una carretera recta a las 9 h del día y se va moviendo con una velocidad constante de 60 km/h, en el sentido en el que crece el kilometraje marcado en la carretera, ¿por cuál km irá pasando a las 11:15 horas del mismo día?



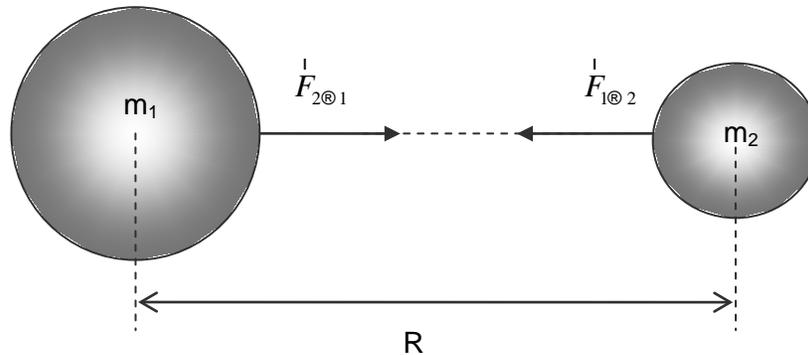
1.9. Un comercial asegura que un auto aumenta su velocidad de 0 a 100 km/h en un intervalo de tiempo de 8 segundos. Suponiéndola constante, ¿qué aceleración logra el auto? ¿Qué distancia recorre en los 8 segundos?

1.10. Una piedra de  $\frac{1}{2}$  kg amarrada a un hilo gira con movimiento circular uniforme (MCU) en una trayectoria de 50 cm de radio completando cada vuelta en 2 segundos. Calcula la rapidez de la piedra (la magnitud de su velocidad), la magnitud de la aceleración centrípeta y la magnitud de la fuerza de tensión que soporta el hilo debida al MCU.

1.11. Un proyectil es lanzado desde el suelo con un ángulo de tiro de  $60^\circ$  y con una velocidad inicial de magnitud igual a 50 m/s. ¿Qué altura máxima alcanza el proyectil sobre el suelo? y ¿Cuál es el alcance máximo del proyectil? Considera  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .

## 1.4. Gravitación universal

Esencialmente la teoría de la gravitación se basa en la fuerza, propuesta por Newton, con la que se atraen entre sí dos objetos cualesquiera de masas  $m_1$  y  $m_2$  separados una distancia  $R$ .



Se trata de una fuerza de interacción en la que la fuerza  $F_{2@1}$  que  $m_2$  ejerce sobre  $m_1$  y la fuerza  $F_{1@2}$  que  $m_1$  ejerce sobre  $m_2$ , de acuerdo con la tercera ley de Newton, tienen la misma magnitud y sentido contrario; la magnitud de dichas fuerzas es:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

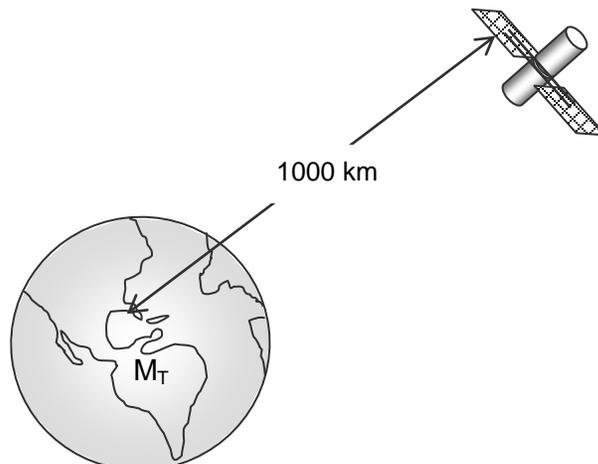
La  $G$  es una constante de proporcionalidad cuyo valor en el SI es  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$  y se le llama la constante de la gravitación universal.

Newton demostró que tratándose de cuerpos esféricos y homogéneos, la masa puede considerarse concentrada en el centro de la esfera, donde  $R$  es grande comparada con los radios de las esferas. Por lo tanto, la distancia  $R$  entre dos objetos esféricos es la distancia de centro a centro.

### Problemas para la reflexión

1.12. La masa de la Tierra, aproximadamente, es de  $6 \times 10^{24}$  kg y radio de 6,380 km. Para un objeto pequeño, en comparación con la Tierra, colocado en su superficie, la distancia  $R$  del objeto al centro del planeta es el radio terrestre. Calcula la magnitud de la fuerza con la que la Tierra atrae a un objeto de 1 kg colocado en su superficie.

1.13. Un satélite de la Tierra se encuentra en órbita a una altura de 1000 km sobre la superficie terrestre. ¿En cuánto tiempo le da una vuelta a la Tierra? La masa de la Tierra  $M_T = 6 \times 10^{24}$  kg, el radio terrestre  $R_T = 6.38 \times 10^6$  m y  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$ .



## 1.5. Conservación de la energía mecánica

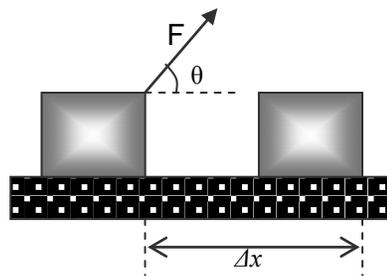
### Trabajo mecánico

La definición de trabajo mecánico que nos aprendemos es:

Trabajo = Fuerza por Distancia recorrida

$$W = F \Delta x$$

Es muy sencilla, lo malo es que sólo vale para fuerzas constantes paralelas al desplazamiento del objeto. Si la fuerza es constante pero no paralela al desplazamiento, la definición debe incluir como factor al coseno del ángulo  $\theta$  que forman entre sí el desplazamiento y la fuerza. Es decir,  $W = F \Delta x \cos \theta$ .



Esto implica que una fuerza perpendicular al desplazamiento ( $\theta = 90^\circ$ ), o la componente de una fuerza perpendicular al desplazamiento, no realiza trabajo ( $\cos 90^\circ = 0$ ).

### Principio de conservación de la energía mecánica

Cuando el trabajo realizado por una fuerza conservativa sobre un objeto no se manifiesta directamente en un cambio de energía cinética del objeto, la energía adquirida por el objeto como resultado del trabajo puede almacenarse en forma de energía potencial, energía que puede ser utilizada a su vez para la realización de un trabajo.

El principio de conservación de la energía mecánica establece que en un sistema en movimiento en que sólo puede haber transformaciones de energía cinética a potencial y a la inversa, la suma de estas energías se mantiene constante. Esta ley es aplicable sólo cuando no hay fuerzas disipativas (la fricción, la resistencia del aire, etc.) entre las partes del sistema.

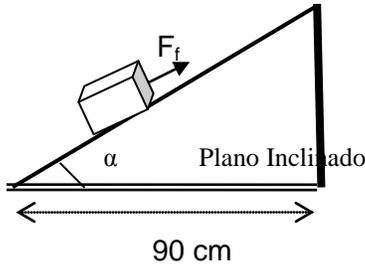
### Problemas para la reflexión

1.14. Un objeto de 1.2 kg fue lanzado en tiro vertical hacia arriba. Si su energía mecánica total es de 384 J con respecto al suelo.

- ¿A qué altura sobre el suelo se encuentra cuando su rapidez es de 10 m/s?
- ¿Qué altura máxima alcanza sobre el suelo?
- ¿Con qué velocidad choca con el suelo?

Considera  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .

1.15. Un bloque de  $\frac{1}{2}$  kg se desliza con velocidad constante hacia abajo de un plano inclinado de  $30^\circ$ . ¿Cuánto trabajo realiza la fuerza de fricción  $F_f$  sobre el bloque mientras se desliza la longitud total del plano? Considera  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .



### Conceptos claves

Distancia, velocidad, aceleración, fuerza y masa. Fuerza de fricción y torca. Fuerza conservativa.

Aceleración centrípeta, periodo y frecuencia.

Energía potencial y cinética, trabajo y potencia mecánica.

### Respuestas a los problemas propuestos

1.1. Atrae a la Tierra con una fuerza de igual magnitud pero de sentido contrario a la fuerza que la Tierra ejerce sobre la manzana.

1.2. La primera ley de Newton asegura que si un objeto se mueve con velocidad constante entonces la suma de todas las fuerzas que se ejercen sobre el objeto es igual a cero. La fuerza constante  $F$  debe de ser igual en magnitud pero de sentido contrario a la fuerza de fricción.

1.3. Del diagrama de cuerpo libre para el carrito y para el bloque tenemos (considerando la dirección del movimiento con sentido positivo):

Para el carrito por 2° ley de Newton se tiene que

$$T = m_1 a \dots \text{ecuación 1}$$

Donde

$T$  es la tensión de la cuerda

$a$  es la aceleración del sistema

$m_1$  es la masa del carrito

Para el bloque por 2° ley de Newton se tiene que

$$P - T = m_2 a \dots \text{ecuación 2}$$

Donde

$P$  es el peso del bloque

$m_2$  la masa del bloque

Resolviendo el sistema de ecuaciones, la tensión de la cuerda es  $T = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} g$ .

Sustituyendo valores  $T = \frac{(1\text{kg})(0.25\text{kg})}{1\text{kg} + 0.25\text{kg}} (9.8\text{m/s}^2)$ . Simplificando  $T = 1.96 \text{ N}$ .

La aceleración del carrito es  $a = \frac{T}{m_1}$ . Sustituyendo valores  $a = \frac{1.96 \text{ N}}{1 \text{ kg}} = 1.96 \text{ m/s}^2$ .

**1.4.** Considerando que hacia arriba el sentido del movimiento es positivo y por 2° ley de Newton  $F - P = ma$ .

Donde

- F es la lectura de la báscula
- P el peso de la persona ( $P = mg$ )
- m la masa de la persona
- a la aceleración del elevador

Despejando F se tiene  $F = ma + mg = m(a + g)$ . Sustituyendo valores y simplificando  $F = 80 \text{ kg} (1.5 \text{ m/s}^2 + 9.8 \text{ m/s}^2) = 904 \text{ N}$ .

**1.5.** La condición de equilibrio es que la suma de fuerzas es cero,  $\sum \vec{F} = 0$ .

Para las componentes en "x" se tiene que

$$T_1 \cos 50^\circ = T_2 \cos 30^\circ. \dots \text{ecuación 1}$$

Para las componentes en "y" se tiene que

$$T_1 \sin 50^\circ + T_2 \sin 30^\circ = P. \dots \text{ecuación 2}$$

Donde P es el peso del cilindro.

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene que

$$T_2 = \frac{P}{\cos 30^\circ \tan 50^\circ + \sin 30^\circ} = 65.27 \text{ N.}$$

$$T_1 = \frac{\cos 30^\circ}{\cos 50^\circ} T_2 = 87.94 \text{ N.}$$

**1.6.** La componente de la fuerza que es responsable de generar una torca es la componente perpendicular al brazo de palanca, es decir,

$$F_\perp = F \sin (180^\circ - q) = F \sin q. \text{ Por lo tanto, la torca } t = L.F_\perp = LF \sin q.$$

**1.7.** La magnitud de la aceleración es  $a = \frac{v_f - v_i}{t}$ . Sustituyendo valores y simplificando se

$$\text{tiene } a = \frac{12 \text{ m/s} - 4 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = 1.6 \text{ m/s}^2$$

**1.8.** Las 11:15 del día es 11.25 horas. Por el km 144 son las 9 horas, por lo tanto el tiempo transcurrido será  $Dt = 11.25 \text{ h} - 9 \text{ h} = 2.25 \text{ horas}$ . La distancia que recorre en este intervalo de tiempo es  $d = v \cdot Dt = 135 \text{ km}$ . Finalmente en el km por el que irá pasando a las 11:15 del mismo día será  $144 \text{ km} + 135 \text{ km} = 279 \text{ km}$ .

**1.9.** La  $v_f = 100 \text{ km/h} = 27.78 \text{ m/s}$  y  $v_i = 0$ . La aceleración es

$$a = \frac{v_f - v_i}{t} = \frac{27.78 \text{ m/s} - 0}{8 \text{ s}} = 3.47 \text{ m/s}^2.$$

La distancia es  $2ad = v_f^2 - v_i^2$ . Despejando  $d$  se tiene  $d = \frac{v_f^2}{2a}$ , porque  $v_i = 0$ . Sustituyendo valores y simplificando  $d = \frac{(27.78 \text{ m/s})^2}{2(3.47 \text{ m/s}^2)} = 111.20 \text{ m}$ .

**1.10.** El radio  $r = 50 \text{ cm} = 0.5 \text{ m}$ . La rapidez  $v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi(0.5 \text{ m})}{2 \text{ s}} = 1.57 \text{ m/s}$ .

La magnitud de la aceleración centrípeta  $a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(1.57 \text{ m/s})^2}{0.5 \text{ m}} = 4.93 \text{ m/s}^2$ .

La magnitud de la fuerza de tensión  $F = m a_c = 0.5 \text{ kg} (4.93 \text{ m/s}^2) = 2.47 \text{ N}$ .

**1.11.** La altura máxima es  $H = \frac{v^2 \sin^2 \theta}{2g} = \frac{(50 \text{ m/s})^2 (\sin 60^\circ)^2}{2(9.8 \text{ m/s}^2)} = 95.66 \text{ m}$ .

El alcance  $R = \frac{v^2 \sin 2\theta}{g} = \frac{(50 \text{ m/s})^2 \sin 2(60^\circ)}{9.8 \text{ m/s}^2} = 220.92 \text{ m}$ .

**1.12.** La ley de la gravitación universal es  $F = G \frac{M_T m}{R_T^2}$ , donde

$$M_T = 6 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$R_T = 6380 \text{ km} = 6.38 \times 10^6 \text{ m}$$

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}$$

Sustituyendo valores  $F = G \frac{M_T m}{R_T^2} = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg} \frac{(6 \times 10^{24} \text{ kg})(1 \text{ kg})}{(6.38 \times 10^6 \text{ m})^2} = 9.8 \text{ N}$ .

La Tierra atrae a cualquier objeto de 1kg, situado en su superficie, con una fuerza de magnitud igual a 9.8 N. Como a la fuerza con la que la Tierra atrae a un objeto le llamamos "el peso" del objeto, podemos decir que un objeto de 1 kg pesa 9.8 N.

**1.13.** Igualando la fuerza centrípeta con la gravitacional se obtiene la rapidez orbital del satélite  $v = \sqrt{\frac{GM_T}{R}}$ , donde  $R = R_T + h$  ( $R_T$  es el radio terrestre y  $h$  la altura del satélite).

Por lo tanto  $v = 7919.43 \text{ m/s}$ .

El periodo es  $T = \frac{2\pi r}{v} = 5062.61 \text{ s} = 1.41 \text{ horas}$ .

**1.14. a)** Por principio de conservación de la energía  $E_T = E_P + E_C$ .

Donde

$E_T$  es la energía mecánica total

$E_P$  es la energía potencial gravitacional

$E_C$  es la energía cinética

Cuando el objeto lleva una rapidez de 10 m/s, su energía cinética es

$$E_c = \frac{mv^2}{2} = \frac{1.2\text{kg}(10\text{m/s})^2}{2} = 60 \text{ J.}$$

Por lo tanto, despejando  $E_p$  se tiene  $E_P = E_T - E_C$ . Sustituyendo valores

$$E_P = 384 \text{ J} - 60 \text{ J} = 324 \text{ J.}$$

Por definición la energía potencial es  $mgh$ . Finalmente  $mgh = 324 \text{ J}$ . Despejando  $h$ ,

$$h = \frac{324 \text{ J}}{mg} = \frac{324 \text{ J}}{1.2\text{kg}(9.8\text{m/s}^2)} = 27.55 \text{ m.}$$

b) En la altura máxima ( $H$ ) la velocidad es cero, lo que implica que la energía cinética también es cero. Toda la energía mecánica es igual a la energía potencial  $E_p = E_T$ . Es decir

$mgh = 384 \text{ J}$ . Despejando  $H$ ,

$$H = \frac{384 \text{ J}}{mg} = \frac{384 \text{ J}}{1.2\text{kg}(9.8\text{m/s}^2)} = 32.65 \text{ m.}$$

c) Cuando choca en el suelo la altura es cero, lo que implica que la energía potencial también es cero. Toda la energía mecánica es igual a la energía cinética  $E_c = E_T$ . Es decir,

$$\frac{mv^2}{2} = 384 \text{ J. Despejando } v,$$

$$v = \sqrt{\frac{2(384 \text{ J})}{m}} = \sqrt{\frac{2(384 \text{ J})}{1.2\text{kg}}} = 25.3 \text{ m/s.}$$

**1.15.** La base del plano  $x = 90 \text{ cm} = 0.9 \text{ m}$ . La distancia "d" que el bloque recorre sobre el

$$\text{plano es } d = \frac{0.9}{\cos 30^\circ} = 1.05 \text{ m.}$$

Por otro lado, como se desliza con velocidad constante se cumple la 1ª. Ley de Newton. La suma de las fuerzas que se ejercen sobre el bloque debe de ser cero. Por lo tanto, en magnitud la fuerza de fricción debe de ser  $F_f = mg \sin 30^\circ = 0.5 \text{ kg} (9.8 \text{ m/s}^2) \sin 30^\circ = 2.45 \text{ N}$ . Finalmente el trabajo  $W = -F_f d = -2.57 \text{ J}$ .

## Autoevaluación 1

INSTRUCCIONES. En unas hojas aparte realiza tu autoevaluación. Lee cuidadosamente cada una de las preguntas, intenta razonarlas, si es necesario realiza un diagrama que te ayude a visualizar el fenómeno del que se trata y analiza los datos proporcionados en el enunciado. Por favor, intenta escribir tus procedimientos completos, esto es muy útil para que puedas revisarlas y preguntarle tus dudas a alguien. Cuando hayas terminado compara con las respuestas que se encuentran al final de la guía. Marca las respuestas correctas con una  $\checkmark$ , y obtén tu calificación, de la siguiente manera:

$$\text{Calificación} = (\text{No. de aciertos}) \frac{10}{15}$$

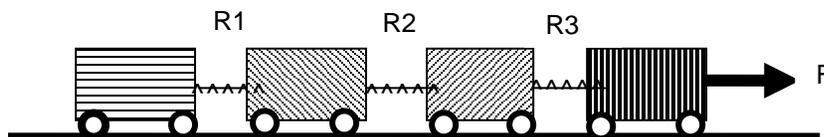
1. Cuando vas parado, sin agarrarte, en el pasillo de un microbús que va con velocidad constante (cosa rara), viendo la nuca del chofer. En determinado momento, el chofer da tremendo frenón. ¿Qué sucede contigo en el momento que frenó?

- A) Te vas hacia delante
- B) Te vas hacia atrás
- C) Te quedas parado en la misma posición
- D) Giras sobre la vertical de tu cuerpo

2. Esta ley usualmente se enuncia diciendo: "A cada acción corresponde una reacción igual y opuesta". ¿A cuál ley de Newton corresponde?

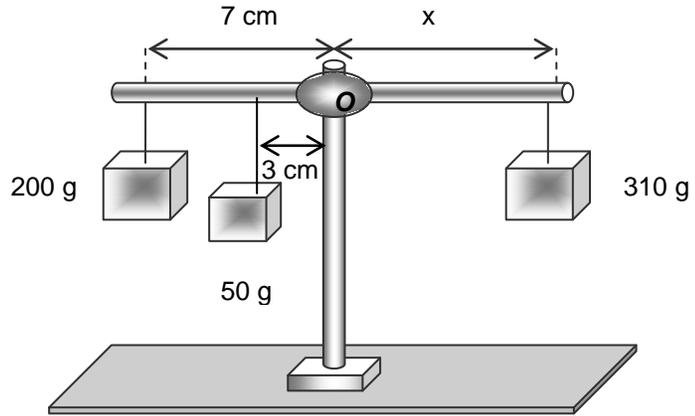
- A) La gravitación universal
- B) Primera ley
- C) Segunda ley
- D) Tercera ley

3. En este convoy de carritos de masa iguales unidos con resortes idénticos R1, R2 y R3, cuando sean jalados por una fuerza externa constante F, ¿cuál resorte se estirará más?



- A) R1
- B) R2
- C) R3
- D) Igual todos

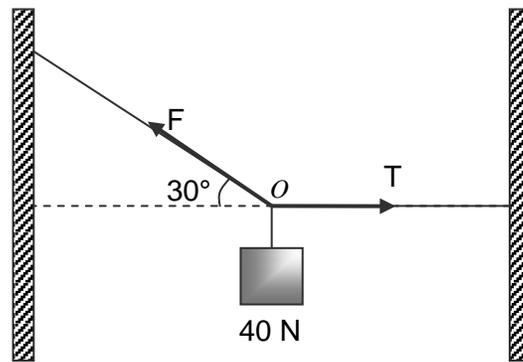
4. Si en la regla colocas una pesa de 50 g a 3 cm a la izquierda de O y otra de 200 g a 7 cm, también a la izquierda de O, ¿a qué distancia x, a la derecha de O, debes colocar una pesa de 310 g para que la regla quede horizontal?



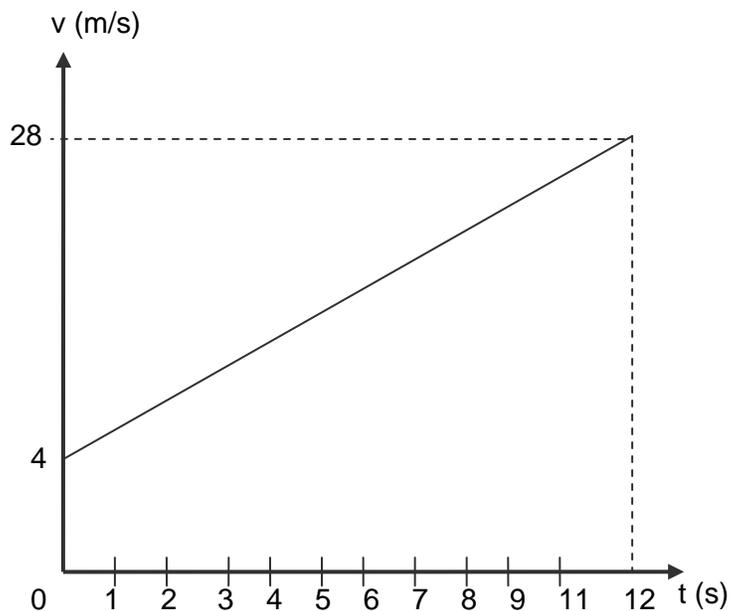
- A) 8.1 cm
- B) 5.0 cm
- C) 0.8 cm
- D) 0.2 cm

5. La caja que cuelga inmóvil en el siguiente esquema pesa 40 N. Calcula la tensión de las dos cuerdas F y T para mantener al punto O en equilibrio.

- A)  $F = 80.0 \text{ N}$  y  $T = 69.3 \text{ N}$
- B)  $F = 69.3 \text{ N}$  y  $T = 80.0 \text{ N}$
- C)  $F = 46.2 \text{ N}$  y  $T = 23.1 \text{ N}$
- D)  $F = 23.1 \text{ N}$  y  $T = 46.2 \text{ N}$

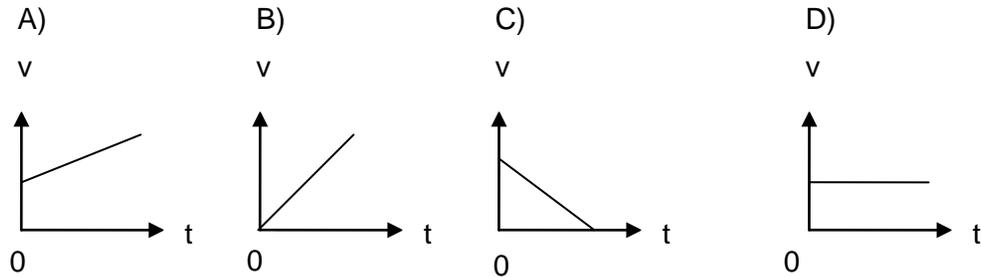


6. La gráfica v-t representa el movimiento de un auto que se mueve con una aceleración constante. ¿Cuál es la distancia recorrida por el auto en los 12 segundos?

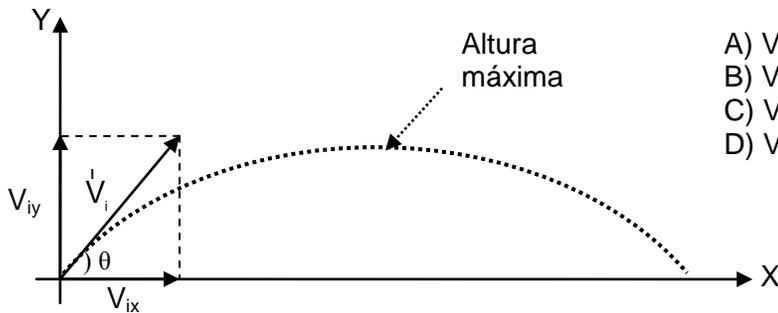


- A) 336 m
- B) 192 m
- C) 60 m
- D) 48 m

7. Un objeto tenía una velocidad de 6 m/s en el momento en que la empezó a aumentar uniformemente a razón de 3 m/s<sup>2</sup>. Si esta aceleración la mantiene durante 8 segundos. ¿Cuál gráfica de velocidad-tiempo describe el movimiento?



8. En un tiro parabólico ¿qué características tienen las componentes  $V_x$  y  $V_y$  de la velocidad cuando pasa por la altura máxima de su trayectoria, sabiendo que se lanza con un ángulo de tiro  $\theta$  y con una velocidad inicial  $V_i$ ?



- A)  $V_x = 0$  y  $V_y = 0$
- B)  $V_x = 0$  y  $V_y = V_{iy}$
- C)  $V_x = V_{ix}$  y  $V_y = 0$
- D)  $V_x = V_{ix}$  y  $V_y = V_{iy}$

9. En el movimiento circular uniforme, ¿qué ángulo forman entre sí el vector velocidad con el vector aceleración?

- A) 0°
- B) 45°
- C) 90°
- D) 180°

10. El movimiento lineal en el que la aceleración de una partícula es proporcional a su desplazamiento y se dirige hacia su posición de equilibrio, corresponde a un movimiento

- A) Rectilíneo uniforme
- B) Uniformemente acelerado
- C) Circular uniforme
- D) Armónico simple

11. Si la magnitud de la fuerza de atracción gravitacional entre dos objetos es  $F$  cuando están separados una distancia  $R$ , ¿cuál sería la distancia de separación si la magnitud de la fuerza se triplicara?

- A)  $\frac{R}{3}$
- B)  $\frac{R}{\sqrt{3}}$
- C)  $\frac{\sqrt{3}}{R}$
- D)  $3R$

12. Un objeto de 0.5 kg es lanzado verticalmente hacia arriba desde el borde de la azotea de un edificio de 20 m de altura, con una velocidad inicial de 26 m/s. ¿Cuál es la altura a la que se encuentra el objeto respecto al suelo cuando lleva una velocidad de 12 m/s? Considera el valor de  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .

- A) 7.1 m
- B) 27.1 m
- C) 47.1 m
- D) 61.8 m

13. Cuando se lanza un objeto verticalmente hacia arriba ¿qué sucede con su energía cinética mientras sube?

- A) Es cero
- B) Permanece constante
- C) Aumenta
- D) Disminuye

14. Un esquiador se desliza hacia abajo en un tramo recto de la montaña. Su energía cinética aumenta de 3 500 J hasta 20 000 J mientras recorre 50 m. Si el aumento se debió a una fuerza neta constante. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza?

- A) 70 N
- B) 330 N
- C) 400 N
- D) 470 N

15. El motor de una grúa desarrolla una potencia de 1865 W al subir una carga a una altura de 20 m en un tiempo de 4 minutos. Calcula la masa que es capaz de levantar en esas condiciones. Considera  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .

- A) 0.05 kg
- B) 3.1 kg
- C) 2 238.7 kg
- D) 2 283.6 kg

# CAPÍTULO II

## HIDROSTÁTICA E HIDRODINÁMICA

### Resumen

En este capítulo se da una visión general del comportamiento de los fluidos cuando se encuentran en reposo y en movimiento. Así como de las diferencias entre los conceptos de presión, presión manométrica y presión absoluta.

En particular, para los líquidos en reposo se le dedica un especial interés al Principio de Pascal y de Arquímedes. En el caso de los líquidos en movimiento, a la ecuación de continuidad y el teorema de Bernoulli.

Por otro lado, se trata de explicar los fenómenos relacionados con la capilaridad, tensión superficial, cohesión y adherencia. Al mismo tiempo se aborda la Ley de Jurin.

### Propósitos

Que el alumno logre:

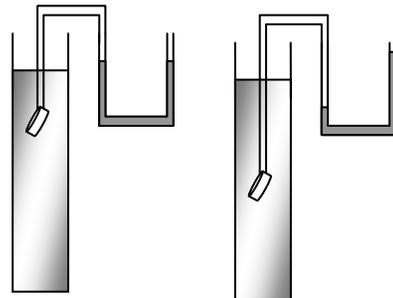
- Identificar los conceptos de presión, presión manométrica y presión absoluta.
- Describir fenómenos relacionados con la capilaridad, tensión superficial, cohesión y adherencia.
- Aplicar el principio de Pascal y de Arquímedes en problemas relacionados con fluidos en reposo.
- Analizar el teorema de Bernoulli y Torricelli en los líquidos en movimiento.

### 2.1. Presión, presión atmosférica, presión absoluta y presión manométrica

Cuando se empuja un objeto con la mano, la fuerza que se aplica actúa sobre toda la superficie de contacto entre el objeto y la mano; en cambio cuando nos picamos con una aguja, toda la fuerza que se aplica se concentra en el punto de contacto entre la aguja y la piel. Por otra parte, si ponemos un poco de agua sobre la mesa, el agua se desparrama sobre una cierta región de la mesa y el peso se reparte en toda la superficie de esa región. Estas observaciones, nos hacen ver que se necesita definir un concepto que relacione la fuerza y el área de la superficie sobre la que está aplicada; ese concepto es el de presión, que se define como el cociente de la componente de la fuerza en la dirección perpendicular a la superficie sobre la que se aplica y al área de esa superficie.

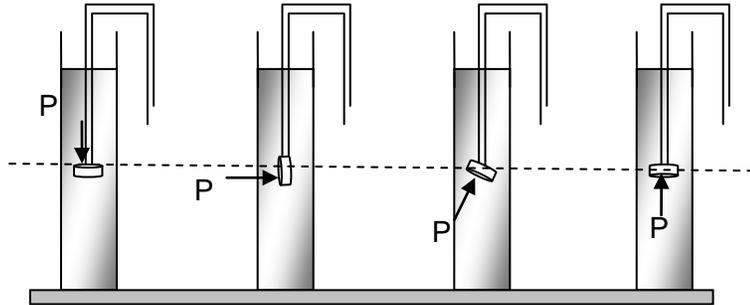
#### Presión hidrostática

En el dibujo se muestra cómo se puede utilizar el manómetro formado por el tubo en U más la cajita con la membrana para medir la presión ejercida, a diferentes profundidades, por un líquido contenido en un recipiente. La diferencia de los niveles del agua (o longitud de la sobrecolumna) en el tubo en U, va aumentando a medida que la profundidad a la que se coloca la cajita se incrementa: a mayor profundidad mayor presión.



El resultado de esta secuencia experimental es que la presión en el seno del líquido a una profundidad  $h$  es  $p = r gh$ , donde  $r$  ( $\rho$ ) es la densidad del líquido y  $g$  es la aceleración de la gravedad.

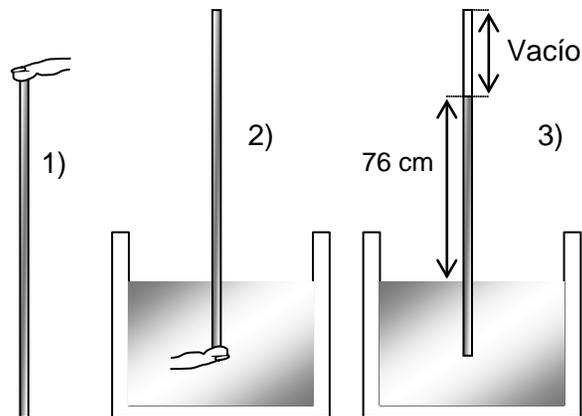
Se puede concluir que la presión es equivalente a la presión de una columna del líquido de altura  $h$ . Otro resultado importante que se obtiene de la misma serie de experimentos, y que tiene que ver con el principio de Pascal, es que a la presión no se le puede asignar ninguna dirección. Si el centro de la membrana se mantiene a una misma profundidad  $h$ , la presión marcada por el manómetro es la misma independientemente de la orientación de la membrana. La cajita se puede poner boca arriba, boca abajo, inclinada, vertical viendo hacia la derecha o viendo hacia la izquierda.



### Presión atmosférica

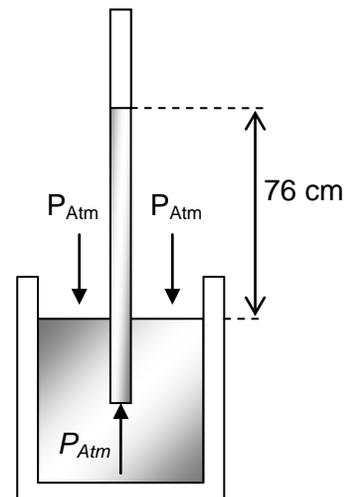
En 1643, Evangelista Torricelli (1608-1647) físico y geómetra italiano, sugirió que vivimos en el fondo de un “mar de aire” y que el peso de este aire debía ejercer una presión sobre nosotros y todo lo que nos rodea. Para probar la certeza de su conjetura realizó un experimento similar al descrito a continuación:

- 1) Se llena de mercurio un tubo de vidrio como de 1 m de largo y se tapa el extremo abierto con el dedo índice.
- 2) Se invierte el tubo girándolo  $180^\circ$ , con el índice en la misma posición para impedir que el Hg caiga, y se introduce el extremo tapado con el dedo en un recipiente con más Hg.
- 3) Se retira el dedo y en ese momento la columna de Hg dentro del tubo desciende hasta quedar con una altura de 76 cm por encima del nivel del Hg en el recipiente.



La altura de 76 cm de la columna de mercurio resulta cuando el experimento se realiza al nivel del mar. Si el experimento lo llevas a cabo en la Cd. de México la altura de la columna es de 56 cm, aproximadamente.

La explicación del experimento es que la presión atmosférica, al nivel del mar, es capaz de sostener una columna de Hg de 76 cm de altura.



En el caso de la columna líquida, su peso está sostenido por un líquido presionado por la atmósfera. Esto sugiere que la presión “hacia abajo” del aire sobre la superficie del Hg en el recipiente se “trasmite” a través del líquido y empuja hacia arriba a la columna.

El experimento de Torricelli se convierte en un dispositivo que puede cuantificar la presión atmosférica, se convierte en un “barómetro”.

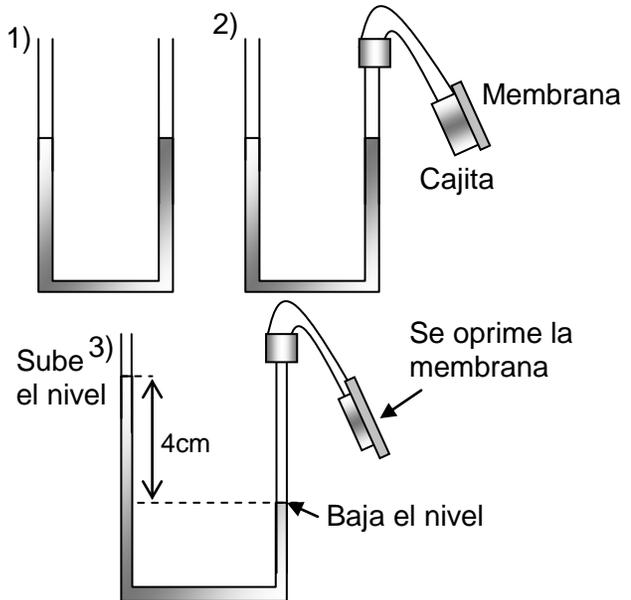
### Presión manométrica y presión absoluta

En la siguiente figura se muestra un tubo en forma de U lleno de agua hasta el nivel mostrado en el dibujo (1). Ambas ramas están abiertas a la atmósfera, por lo que la presión del aire sobre el área expuesta del agua en la rama izquierda es igual a la de la rama derecha; las fuerzas por unidad de área son iguales, hay equilibrio y los niveles del agua son iguales.

En el dibujo (2), al extremo superior de la rama derecha se ha acoplado un tubo de hule conectado a una cajita de plástico tapada con una membrana de hule fácilmente compresible.

En el dibujo (3), al oprimir la membrana se nota que el nivel del agua baja en la rama derecha y sube en la izquierda.

Supongamos que entre los niveles hay una diferencia de 4 cm. Esto significa que, al oprimir la membrana, el aire encerrado en la cajita, en el tubo de hule y en la parte superior de la rama derecha del tubo en U, encima del nivel del agua, está ejerciendo una presión que debe equilibrar la de la rama izquierda, es decir, la presión en la rama derecha debe ser igual a la de la rama izquierda. Pero resulta que podemos saber cual es la presión en la rama izquierda.



Presión en la rama izquierda = Presión atmosférica + presión de la columna de agua

Si el experimento se realizara en la Cd. de México, escribiríamos:

$$\begin{aligned}
 \text{Presión en la rama izquierda} &= 56 \text{ cm de Hg} + 4 \text{ cm de H}_2\text{O} \\
 &= 56 \text{ cm de Hg} + 0.3 \text{ cm de Hg} \\
 &= 56.3 \text{ cm de Hg} \\
 &= 0.74 \cdot 10^5 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Y podemos asegurar que la presión del aire encerrado, en contacto con el agua de la rama derecha es, precisamente,  $0.74 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .

Se acostumbra decir que la presión de la sobrecolumna de líquido, en este caso agua, nos da la presión manométrica del gas. En este ejemplo, la presión manométrica es de 4 cm de agua o, equivalentemente, de 0.3 cm de mercurio. Si a esta presión se le suma la

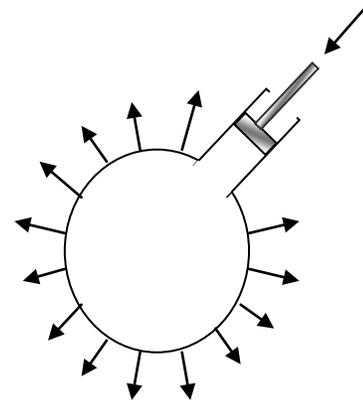
presión atmosférica, el resultado es la presión absoluta. En este ejemplo calculamos la presión absoluta del gas encerrado que resultó ser de  $0.74 \cdot 10^5$  Pa.

### Principio de Pascal.

En los problemas que se abordaron sobre la presión de las columnas sólidas, ésta se ejerce sobre el piso que las sostiene y parecería que se le puede asignar a la presión una dirección hacia abajo, la misma que la del peso. No sucede lo mismo cuando se trata de fluidos esto se pone de manifiesto por el principio de Pascal.

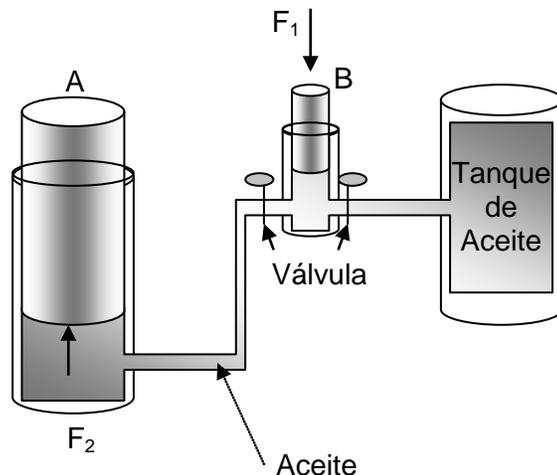
Blaise Pascal (1623-1662) fue un hombre de ciencia y filósofo francés al que le debemos, entre otras muchas cosas, el triángulo numérico (triángulo de Pascal) de los coeficientes binomiales, el cálculo de probabilidades y la teoría de la ruleta (nombre que le dio Pascal a la curva cicloide); a los 18 años inventó una máquina de calcular (una calculadora mecánica). Por su estudio de los líquidos inventó la prensa hidráulica en la que se aplica su famoso “principio”.

El principio de Pascal, que junto con el principio de Arquímedes forman la base de la hidrostática, establece que un fluido, al que se comprime dentro de un recipiente cerrado, “oprime” con la misma fuerza por unidad de área cualquier punto de las paredes del recipiente. La jeringa de Pascal es la forma experimental con la que demostró su principio.



Sin embargo, no nada más los puntos de las paredes están sometidos a la misma presión, también lo está cualquier punto del interior del fluido. La jeringa es una ampolla esférica de vidrio, con agujeritos uniformemente distribuidos, rematada con una parte cilíndrica provista de un émbolo; si se llena de agua y se comprime con el émbolo, salen chorritos por los agujeros todos con la misma rapidez. Esto indica que la presión es la misma sobre toda la superficie de la esfera.

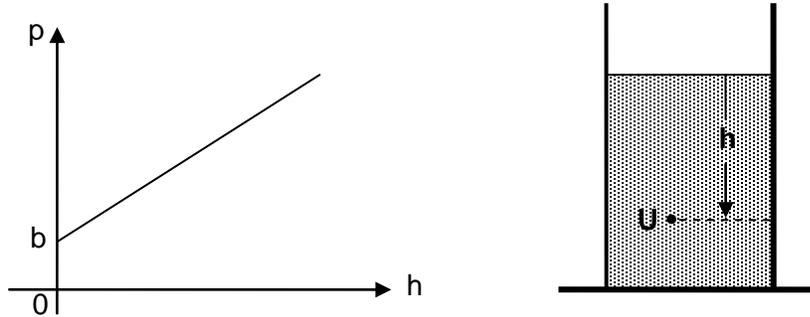
El principio de Pascal encuentra amplia aplicación en la construcción de varios dispositivos hidráulicos. Por ejemplo, si tenemos dos cilindros A y B de diferentes diámetros, conectados mediante un tubo, y provistos de pistones móviles, la fuerza total que actúa sobre el pistón más grande A será mucho mayor de la que actúa sobre el pistón más pequeño B, dichas fuerzas estarán en la misma proporción que las áreas de los pistones. De manera que una fuerza  $F_1$  comparativamente débil aplicada a mano sobre el pistón del cilindro angosto se convertirá en una fuerza  $F_2$  mucho mayor actuando sobre el pistón del cilindro ancho con lo que se logra alzar algún objeto pesado. El “costo” que nos hace pagar la conservación de la energía es que el desplazamiento logrado en el pistón grande es proporcionalmente menor al producido en el pistón angosto. Este dispositivo es la llamada “prensa hidráulica”.



### Problemas para la reflexión

2.1. Calcula, en pascales, la presión que ejerce una columna de Hg de 76 cm de altura y un área de la base (área de la sección transversal del tubo de vidrio) de  $1 \text{ cm}^2$ . La densidad del mercurio es de  $13\,600 \text{ kg/m}^3$  y  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .

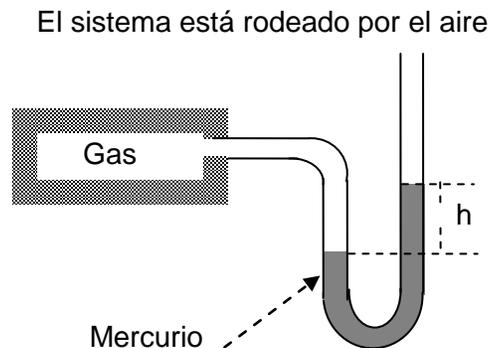
2.2. La gráfica muestra la variación de la presión absoluta  $p$  registrada en un punto  $U$ , a medida que aumenta la profundidad  $h$  a la que se encuentra el punto con respecto a la superficie libre de un líquido de densidad  $\rho$  contenido en un recipiente abierto a la atmósfera.



a) Con los datos proporcionados por la gráfica ¿cómo determinarías la densidad  $\rho$  del líquido?

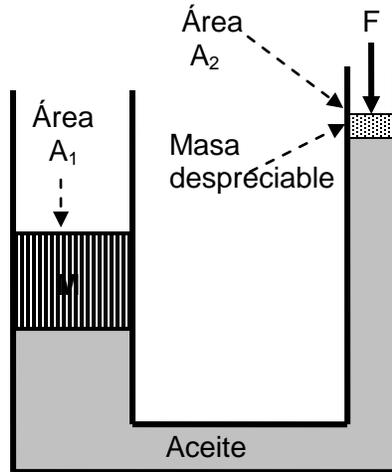
b) ¿Qué cantidad física representa la ordenada en el origen  $b$ ?

2.3. La figura muestra un manómetro de U que contiene mercurio. Si el valor de  $h$  es de 15 cm, ¿Cuál es la presión absoluta en pascales del gas encerrado en el cilindro? La presión atmosférica del lugar donde se realizó el experimento es de 60 cm de Hg. Considera la densidad del mercurio de  $13\,600 \text{ kg/m}^3$  y el valor de la aceleración de la gravedad de  $9.8 \text{ m/s}^2$ .



2.4. El pistón de salida de una prensa hidráulica tiene un radio de 25 cm. ¿Qué fuerza mínima se aplica al pistón de entrada si tiene un radio de 2.5 cm y levanta un objeto de  $5 \times 10^6 \text{ N}$ ?

2.5. El sistema mostrado está en equilibrio cuando se aplica la fuerza  $F$  en la rama derecha. El bloque cilíndrico de la rama izquierda tiene una masa  $M = 50 \text{ kg}$  y un área en las caras circulares  $A_1 = 0.75 \text{ m}^2$ . El bloque cilíndrico pequeño de la rama derecha tiene una masa despreciable comparada con  $M$  y un área en las caras circulares  $A_2 = 0.15 \text{ m}^2$ . El tubo horizontal y los tubos verticales están llenos de aceite. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza  $F$ ? Considera  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  y que no hay fricción.



## 2.2. Principio de Arquímedes

Arquímedes de Siracusa (287 – 212 a.C.) descubrió un principio fundamental que afecta a los objetos sumergidos en fluidos. Este es el principio de Arquímedes: “Un cuerpo sumergido (total o parcialmente) en un fluido está sujeto a la acción de una fuerza vertical hacia arriba cuya magnitud es igual al peso del fluido desalojado por el objeto”.

El hecho de que exista el empuje de abajo hacia arriba es muy conocido. Por ejemplo, es relativamente fácil para una persona levantar a otra si ambas están en una alberca, mientras que levantar a la misma persona en tierra firme es una tarea bastante difícil, es decir, los objetos parecen pesar menos si están dentro del agua. También, una pelota que flota en el agua tiene que ser empujada para que se sumerja. Es claro, entonces, que el agua empuja hacia arriba a los objetos que están en ella.

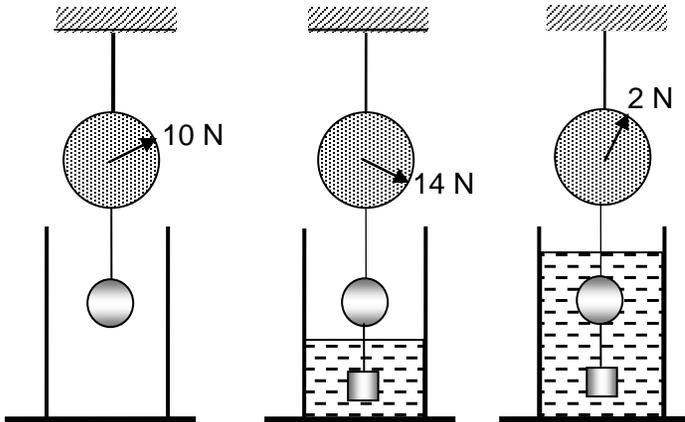
El principio también es cierto para el caso de los objetos sumergidos en gases (ya que los gases son fluidos): un globo de aire caliente asciende porque sufre un empuje igual al peso del aire frío exterior que desplaza y que resulta mayor que el peso del globo más el del aire caliente del interior.

### Problemas para la reflexión

2.6. Cuando un cubo y una esfera se colocan en agua los dos flotan con la mitad de su volumen sumergido y la otra mitad al aire. Si la densidad del cubo es  $\rho_C$  y la de la esfera es  $\rho_E$  ¿qué relación existe entre ellas si el cubo tiene la mitad del volumen de la esfera?

2.7. Una esfera sólida de hierro de 5 cm de radio cuya masa es de 4136 g, se sumerge en agua, colgada de un dinamómetro. a) ¿Cuál es la densidad de la esfera, b) ¿cuál será la lectura en el aparato en newtons? Considera la densidad del agua de  $1000 \text{ kg/m}^3$  y  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .

2.8. Una esfera de madera tiene un peso en el aire de 10 N, marcado por un dinamómetro. Cuando se le cuelga un cilindro metálico y éste se sumerge en agua, el dinamómetro marca 14 N. Cuando la esfera como el cilindro se sumergen en el agua, el dinamómetro marca 2 N. ¿Cuál es la densidad  $\rho_E$  de la esfera?

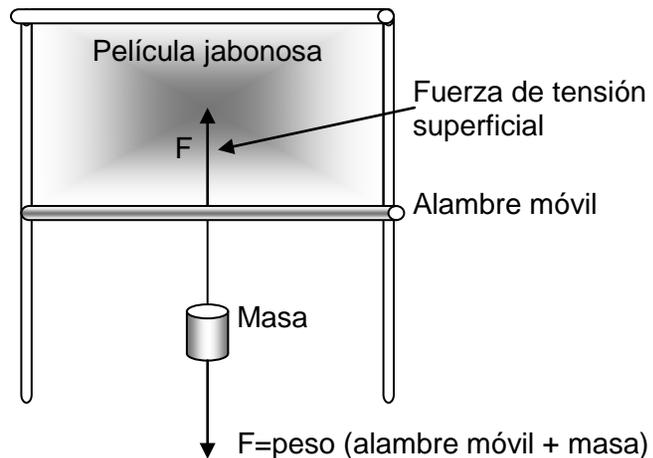


### 2.3. Capilaridad, tensión superficial, cohesión y adherencia

En el estudio de las propiedades de los líquidos destacan, como fenómenos de importancia, las fuerzas que actúan a lo largo de las superficies de separación entre dos materiales diferentes, tal como la “superficie libre” que separa a un líquido del aire que la rodea o que tiene encima, la superficie que separa a un líquido de las paredes sólidas del recipiente que lo contiene y la superficie de separación entre dos líquidos como en el caso del aceite flotando en agua.

Estas fuerzas, que se conocen como fuerzas de *tensión superficial*, se originan por el hecho de cada molécula de un líquido se “pega” a sus vecinas inmediatas. Las moléculas del interior del líquido son jaladas para todos lados por las otras que las rodean, de manera que la fuerza neta que actúa sobre ellas es cero. Por otro lado, las moléculas que están en la superficie son jaladas hacia dentro del líquido por las vecinas que les quedan debajo. Esto trae como resultado la tendencia general de los líquidos a reducir, tanto como sea posible, sus superficies libres. Puesto que la superficie de menor área que encierra un volumen dado es la esfera, los líquidos que no se ven afectados ( o que se ven muy poco afectados) por fuerzas externas asumen la forma esférica o esferoidal, tal como lo hacen las gotas de lluvia o las que caen de una llave mal cerrada.

La figura de la derecha muestra un marco vertical de alambre con un lado móvil. Al introducirlo en agua jabonosa, se forma una película de jabón que jala hacia arriba el lado móvil que tiene un peso muy pequeño; si lo obligamos a bajar aumentando el área de la película, para mantener el sistema en equilibrio es necesario añadir una masa de peso  $P$ . La fuerza total de magnitud  $F$  que actúa hacia abajo sobre la película es igual al peso del alambre móvil más el de la masa agregada.



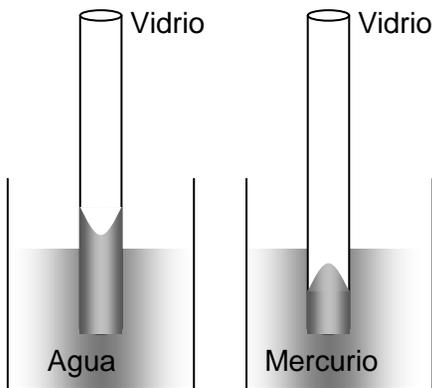
Esta fuerza está equilibrada por la fuerza, también de magnitud  $F$ , que la película ejerce hacia arriba. Esta fuerza hacia arriba es debida a la tensión superficial. Si  $L$  es la longitud del alambre móvil y tomando en cuenta que la película tiene dos superficies, (la de enfrente y la de atrás), la longitud total a lo

largo de la cual actúa la fuerza de la película es  $2L$ . La tensión superficial  $g$  de la película se define como la fuerza por unidad de longitud,

$$g = \frac{F}{2L}$$

Otro fenómeno que tiene que ver con las fuerzas entre las moléculas de un líquido o de tensión superficial es el de la *capilaridad*. Aunque en este caso también entran en juego las fuerzas entre las moléculas del líquido y las de la pared de un tubo. A las primeras les podemos llamar fuerzas de *cohesión* y a las segundas fuerzas de *adherencia*.

El fenómeno de la *capilaridad* se puede ver en un tubo de diámetro muy pequeño, de manera que se asemeja a un cabello, le decimos tubo capilar o capilar simplemente. Si un capilar de vidrio se introduce en un recipiente con agua se observa que el agua dentro del capilar sube hasta un nivel superior al del agua del recipiente. Si el capilar se introduce en un recipiente con mercurio, el mercurio dentro del capilar asciende hasta un nivel que queda por debajo del nivel del mercurio en el recipiente.

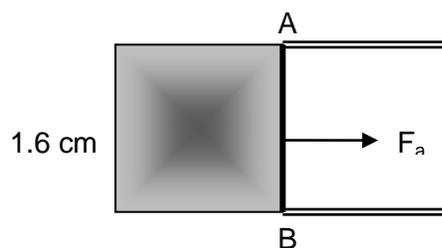


En ambos casos la superficie libre del líquido dentro del capilar es curva. En el caso del agua es cóncava y en el caso del mercurio es convexa. A esta superficie curva se le llama *menisco*. La explicación más sencilla que se da a este fenómeno es que en el caso del agua, la fuerza de adherencia entre las moléculas del agua y las del vidrio es mayor que las fuerza de cohesión entre las moléculas del agua. En el caso del mercurio sucede lo contrario.

### Problemas para la reflexión

2.9. Se coloca un tubo capilar de radio  $R$  dentro de un líquido y se observa que el líquido sube una altura  $H$ . Después se introduce otro tubo capilar de un radio igual a la cuarta parte del radio del primer tubo. ¿Cuánto subirá el líquido en este tubo?

2.10. La figura representa un marco de alambre en el que se ha formado una película jabonosa. Para formarla, el alambre  $AB$  se ha jalado con velocidad constante, aplicándole una fuerza constante  $F_a = 8 \times 10^{-4}$  N. ¿Cuál es la tensión superficial en N/m del agua jabonosa?



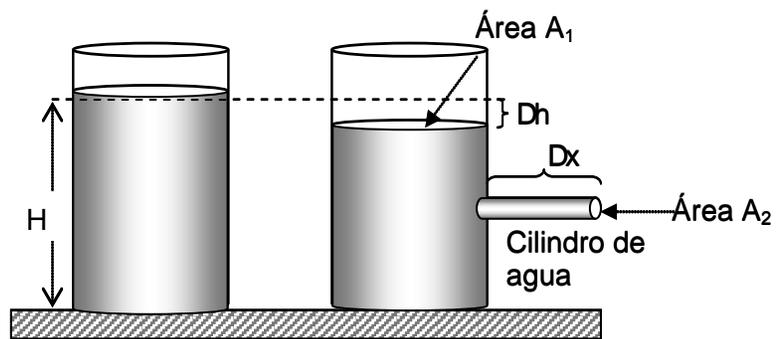
## 2.4. Líquidos en movimiento

Muchas de las características del movimiento de los fluidos se comprenden examinando el comportamiento de un fluido ideal, el cual satisface las condiciones siguientes:

- El fluido es no viscoso, es decir, no hay fuerzas de fricción internas entre capas adyacentes.
- El fluido es incompresible, lo que significa que su densidad es constante.
- El movimiento del fluido es estable, es decir, la velocidad, la densidad y la presión en cada punto del fluido no cambian en el tiempo.
- El fluido se mueve sin turbulencia, esto implica que cada elemento del fluido tiene una velocidad angular de cero en torno a su centro, esto es, no puede haber corrientes de remolino presentes en el fluido en movimiento.

### Ecuación de continuidad. Teorema de Bernoulli

Tomamos el problema del recipiente con un agujero por donde sale un chorro de agua, para establecer la ecuación de continuidad o conservación del gasto. Considera, que no se deja constante el nivel  $H$  del agua en el recipiente, sino que en un pequeño intervalo de tiempo  $Dt$  el nivel del agua baja cierta distancia  $Dh$ . Puesto que el agua no se comprime, en el mismo intervalo de tiempo tiene que salir por el agujero un chorro de longitud  $Dx$ , de manera que el volumen de agua que descendió en el recipiente sea igual al volumen que salió por el agujero.



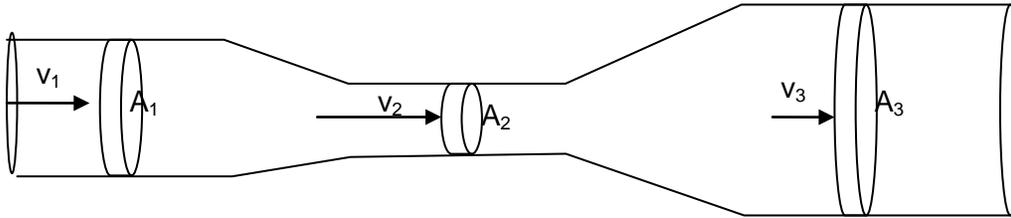
Si  $A_1$  es el área de la base del recipiente cilíndrico y  $A_2$  la del agujero, el volumen  $A_1 Dh = \text{volumen } A_2 Dx$ . Al volumen que atraviesa las áreas por unidad de tiempo se le llama el gasto.

Si dividimos la igualdad de los volúmenes entre el intervalo  $Dt$ , se obtiene:  $A_1 \frac{\Delta h}{\Delta t} = A_2 \frac{\Delta x}{\Delta t}$

(el gasto en la parte superior del recipiente = gasto por el agujero).

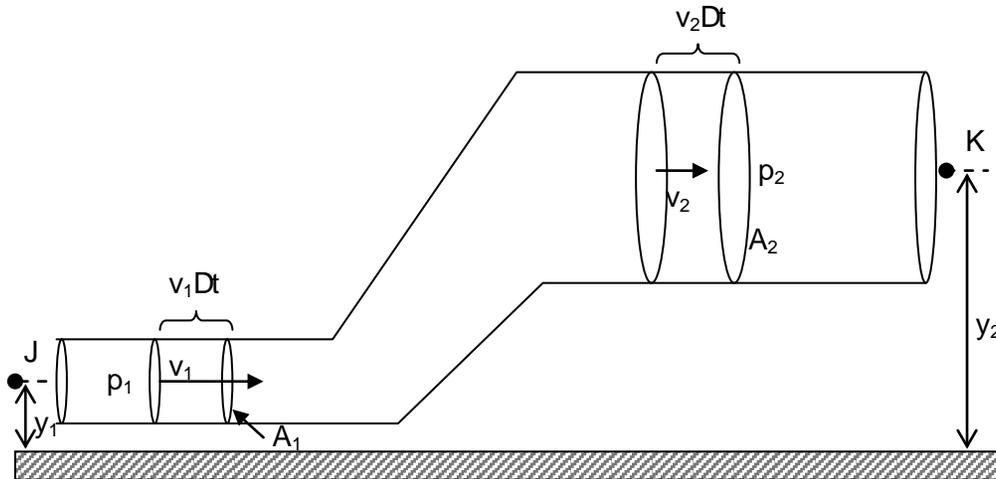
Pero  $\frac{\Delta h}{\Delta t}$  es la velocidad  $v_1$  con la que baja el agua en el recipiente y  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$  es la velocidad  $v_2$  con la que el agua sale por el agujero, y la igualdad de los gastos se convierte en  $A_1 v_1 = A_2 v_2$ . Esta es una expresión simple de lo que se llama ecuación de continuidad.

En la situación mostrada en el siguiente dibujo se cumple que  $A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_3 v_3$ .



El teorema de Bernoulli es una manera de establecer la conservación de la energía para un fluido en movimiento. Cuando un fluido incompresible circula a lo largo de un tubo de sección variable, su velocidad cambia. Esto significa que el fluido se acelera y que, por lo tanto, debe estar sometido a una fuerza neta debida a una diferencia de presiones.

Supongamos que seguimos la pista a una porción del fluido al pasar de un punto J a otro punto K dentro del tubo. La porción debe tener cierto volumen  $V$  y una masa  $m$ .



En el punto J, la porción de fluido se encuentra a una altura  $y_1$  se desplaza con una rapidez  $v_1$  y está sometido a una presión  $p_1$  hacia la derecha. En el punto K, la misma se encuentra a una altura  $y_2$ , lleva una velocidad  $v_2$  y está sometida a una presión  $p_2$  hacia la izquierda. Esto significa que hubo cambios tanto en la energía potencial como en la energía cinética de la porción considerada

$$\Delta E_p = mg (y_2 - y_1)$$

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2)$$

En un tiempo  $Dt$ , el fluido que atraviesa el área  $A_1$  del tubo en el punto J, forma un cilindro de largo  $v_1 Dt$  y el trabajo realizado por la fuerza debida a la presión  $p_1$  es:  $(p_1 A_1) (v_1 Dt)$ . En forma similar, en el punto K, en donde el área del tubo es  $A_2$ , el trabajo realizado por la fuerza debida a la presión  $p_2$  es:

$$(p_2 A_2) (v_2 Dt)$$

El trabajo neto realizado es:

$$W = [(A_1 v_1) p_1 - (A_2 v_2) p_2] Dt$$

Por la ecuación de continuidad  $A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{Gasto} = \frac{V}{\Delta t}$  (volumen por unidad de tiempo)

y resulta que  $W = \int_{p_1}^{p_2} \frac{\partial V}{\partial t} dt = V(p_1 - p_2)$ .

Por la conservación de la energía, el trabajo neto realizado por la fuerza neta debido a la diferencia de presiones debe ser igual a la suma de los cambios en la energía potencial y en la energía cinética, por lo tanto:

$$\begin{aligned} (p_1 - p_2) V &= DE_p + DE_c \\ &= mg (y_2 - y_1) + \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) \end{aligned}$$

Si el fluido tiene una densidad  $\rho$ , el volumen  $V$  se puede escribir como  $\frac{m}{\rho}$ , y resulta:

$$p_1 - p_2 = \rho g (y_2 - y_1) + \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$$

Finalmente, la expresión anterior se puede escribir como:

$$p_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

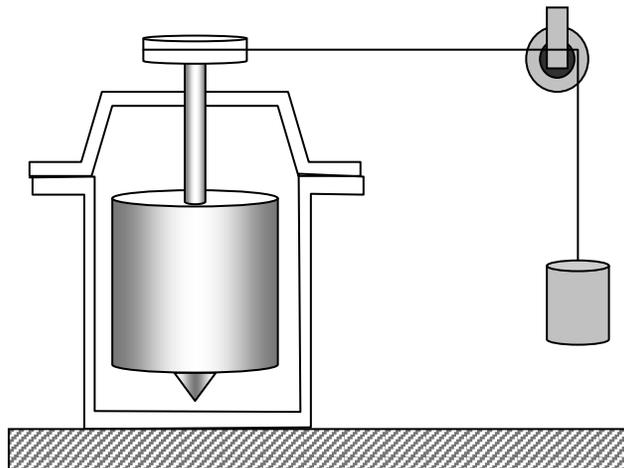
Y puesto que  $J$  y  $K$  son dos puntos cualesquiera, debe cumplirse que:

$$p + \rho g y + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{constante}$$

En cualquier punto del tubo. Este es el Teorema de Bernoulli.

### Viscosidad. Ecuación de Poiseuille (puaseil).

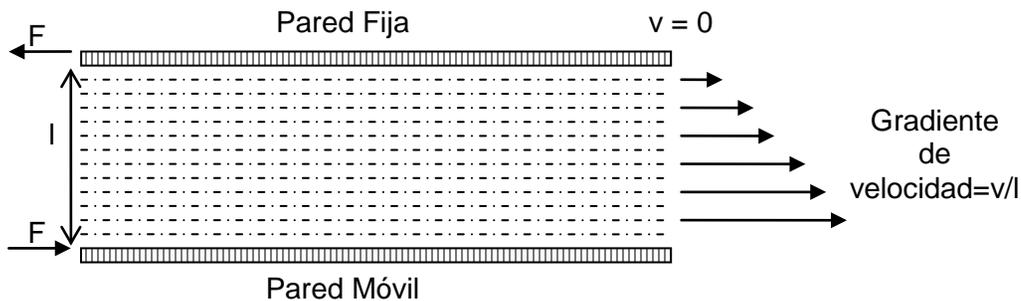
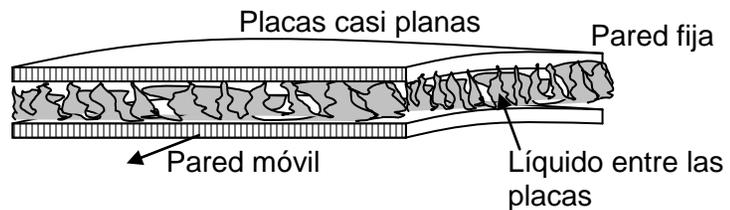
Hasta ahora no hemos considerado efectos de fricción en el movimiento de los fluidos. Si nos imaginamos a un fluido compuesto por capas superpuestas hemos supuesto, implícitamente, que dichas capas pueden resbalarse unas sobre otras sin fricción. Esta suposición resulta razonablemente realista para cierto tipo de fluidos, especialmente si sus velocidades de flujo son pequeñas, sin embargo con fluidos del tipo de la miel (melasas) o aceites pesados deja de serlo. La resistencia que, en mayor o menor grado, presentan todos los fluidos reales al deslizamiento relativo de sus capas adyacentes, se le llama *viscosidad* y puede considerarse como cierta clase de fricción interna en un fluido. La figura de la derecha muestra un tipo de aparato para medir la viscosidad de un líquido. Consta de un cilindro cuyo eje está montado en cojinetes de poco rozamiento, de modo



que pueda girar en el interior de un recipiente cilíndrico coaxial. El líquido cuya viscosidad se quiere medir se vierte en el espacio que hay entre el cilindro giratorio y la pared del recipiente. Mediante un sistema de poleas y masas descendentes se aplica una torca que hace que el cilindro gire.

Al inicio, el movimiento del cilindro es con aceleración angular, sin embargo, en poco tiempo, alcanza una velocidad angular constante y continúa girando a dicha velocidad mientras actúe la torca que hace girar al cilindro. Experimentalmente se observa que para líquidos como agua o gasolina, la velocidad angular terminal es grande, mientras que para líquidos como miel o glicerina, la velocidad angular terminal es pequeña. Con los valores experimentales de la torca, las dimensiones del cilindro y la velocidad angular terminal, se puede calcular la viscosidad del líquido. Para no meternos en complicaciones, podemos reducir el problema a sus elementos esenciales. Para empezar vamos a suponer que el recipiente y el cilindro tienen radios casi iguales, de manera que entre ellos existe una capa de líquido muy delgada y para evitar problemas con la curvatura de las superficies, vamos a tratar el caso de paredes y capa de líquido rectilíneas (es como si tomáramos un pequeño arco de paredes y capa líquida de cilindros de radio muy grande).

La figura que sigue, en el lado derecho, está representada una capa líquida entre la pared móvil (cilindro giratorio) y la pared fija (del recipiente). Los experimentos muestran que el líquido en contacto con la pared móvil tiene la misma velocidad  $v$  que ella, mientras que el adyacente a la pared fija permanece en reposo. La velocidad de las capas intermedias va aumentando uniformemente desde cero de la pared fija hasta la  $v$  de la pared móvil. Es decir, por cada cm (o por cada unidad de longitud) que se recorra de la pared fija a la móvil, el aumento de velocidad es el mismo, es decir, si entre las dos paredes hay una distancia  $l$ .



El cociente  $\frac{v}{l}$  es una constante característica del fenómeno, se le llama el gradiente de velocidad y es la razón de cambio de la velocidad con la distancia perpendicular a la dirección del flujo. Al tipo de flujo en que esto sucede se le llama flujo laminar.

Para mantener el movimiento de la pared móvil (y la de la capa de líquido en contacto) es necesario aplicar una fuerza  $F$ . Además este movimiento se trasmite a las capas inferiores adyacentes hasta llegar a la pared fija, de manera que para que ésta permanezca fija es necesario aplicarle la fuerza  $F$  pero en sentido contrario, como se muestra en la figura.

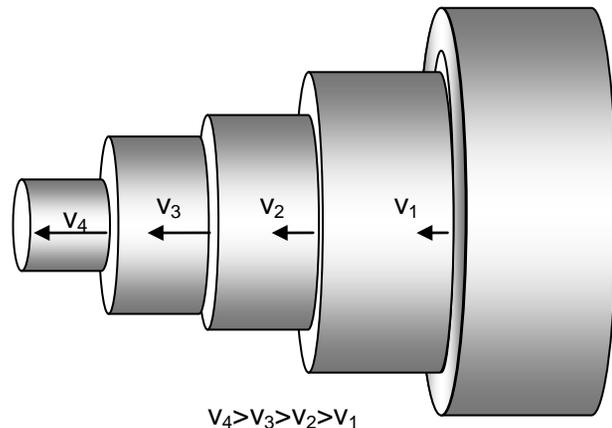
Los experimentos muestran que la magnitud de  $F$  es directamente proporcional tanto al área de las capas como al gradiente de velocidad producido. Mientras mayor sea el área "A" que tengan las capas, mayor será la cantidad de fluido que hay que mover y mayor tendrá que ser la fuerza. Mientras mayor se requiera que sea la razón de cambio de la velocidad con la distancia perpendicular al flujo, mayor será la fuerza requerida. Es decir, si para un gradiente de velocidad de 0.5 (m/s)/cm se requiere una fuerza  $F$ , para un gradiente de 1(m/s)/cm se requiere una fuerza del doble. En resumen:

$$F \propto \mu A \frac{\partial v}{\partial l}$$

Para escribir una igualdad necesitamos multiplicar por una constante de proporcionalidad a la que asignaremos la letra  $\eta$  (eta),  $F = \eta A \frac{\partial v}{\partial l}$ . Donde a  $\eta$  se le llama el coeficiente de viscosidad o simplemente la viscosidad.

Por lo tanto, si experimentalmente se miden los valores de la fuerza  $F$ , el área  $A$ , la velocidad  $v$  de la pared móvil y la distancia  $l$  entre las paredes, se encuentra el valor de la viscosidad del líquido.

La expresión  $F = \eta A \frac{\partial v}{\partial l}$  nos da la magnitud de la fuerza que se debe aplicar para mantener el flujo de cada capa a velocidad constante, lo que significa, por la 1ª ley de Newton, que debe de haber una fuerza de igual magnitud pero de sentido contrario que, como la fuerza de fricción, se opone al movimiento. Por este hecho decimos que la expresión para  $F$  también nos da la fuerza de amortiguamiento del flujo debido a la viscosidad del líquido o, en general, de un fluido.



Una aplicación importante de la expresión de la fuerza de amortiguamiento del flujo debido a la viscosidad se presenta en el movimiento de un fluido por el interior de una tubería. La ecuación de Bernoulli, que es válida sólo para fluidos no viscosos, predice que en un tubo horizontal de sección transversal uniforme, la presión es la misma a lo largo de todo el tubo. Sin embargo la experiencia contradice lo anterior, la presión siempre decrece en la dirección del flujo debido a la viscosidad del fluido. Las capas del fluido que están cerca de las paredes del tubo se "pegan" a él y tienen una velocidad de flujo menor que las capas centrales, de manera que en la mera pared del tubo la velocidad es cero. Se puede visualizar el flujo como una serie de tubos telescópicos con el central moviéndose con la mayor rapidez y los adyacentes con una rapidez cada vez menor, a medida que más cerca esté de la pared del tubo.

Para este caso, la razón de flujo (volumen por unidad de tiempo) depende de la diferencia de presión  $\Delta p$  que hay en los extremos del tubo, de las dimensiones del tubo (longitud  $L$  y radio  $r$ ) y de la viscosidad del fluido  $\eta$ . El resultado, conocido como ley de Poiseuille es

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta L}.$$

### Flujo turbulento. Número de Reynolds

Cuando la velocidad de flujo de un fluido alcanza cierto valor crítico, que depende de las propiedades del fluido, el flujo laminar deja de existir y el patrón de flujo se vuelve mucho más complicado; aparecen remolinos y el patrón cambia continuamente de un instante a otro. Este tipo de situación se llama flujo turbulento y casi todos los fluidos exhiben este tipo de flujo a velocidades suficientemente altas.

Como se trata de un fenómeno complejo en extremo es difícil discutir los detalles y derivar mediante argumentos teóricos una explicación matemática de la turbulencia. Sin embargo, en forma empírica, se ha encontrado la forma en que el flujo turbulento depende de las características del fluido y la manera de expresar esta dependencia es por medio del llamado número de Reynolds.

Para un fluido de densidad  $\rho$  y viscosidad  $\eta$  fluyendo por un tubo de diámetro  $D$  con una velocidad media  $v_M$ , el número de Reynolds  $N_R$  se define como  $N_R = \frac{\rho v_M D}{\eta}$ .

Experimentalmente se ha establecido que el flujo laminar (no turbulento) se presenta siempre que el valor de  $R$  sea menor que 2000. Cuando  $R$  es mayor que 3000, el flujo es turbulento casi siempre, y en la región entre 2000 y 3000 el flujo es inestable, cambiándose de un tipo a otro.

El número de Reynolds reviste mucha importancia en la investigación experimental del flujo de fluidos. Por ejemplo, para probar las estructuras de los aviones en túneles de viento, se construyen modelos a escala reducida. El número de Reynolds les dice a los ingenieros en qué proporción debe disminuirse la velocidad del viento en el túnel de manera que su efecto sea el mismo que para la situación real a escala normal.

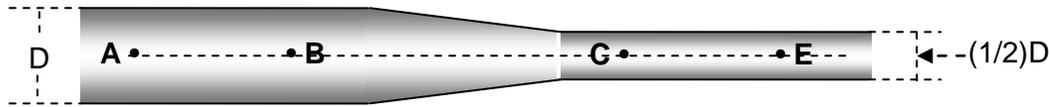
### Problemas para la reflexión

2.11. Una tubería tiene una sección de 10 cm de diámetro y en ella circula agua con una velocidad  $v$ ; después el diámetro de la tubería se angosta a un diámetro de 2.5 cm donde la velocidad es de 12 m/s. Considera al flujo laminar ¿Cuál es el valor de la velocidad  $v$  del agua en la parte ancha?

2.12. El suministro de agua para una casa entra por una tubería de 2 cm de diámetro interior, a una presión absoluta de  $5 \times 10^5$  Pa. Esta tubería conecta con la que surge de agua a un baño en el segundo piso a una altura de 6 m, con un diámetro de 1 cm. Si la velocidad del agua en la tubería de suministro es de 4 m/s ¿cuál es la velocidad y la presión del agua en el baño? Considera  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  y la densidad del agua  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

2.13. El gasto de un fluido que circula por un tubo de radio interior  $R$  tiene un valor  $Q$ . Para el mismo fluido, circulando por un tubo de radio  $R/2$ , con la misma caída de presión por unidad de longitud, ¿Cuál es el valor del gasto?

2.14. Un líquido no viscoso fluye hacia la derecha por la tubería mostrada en la figura.



El tramo delgado de tubo de la derecha tiene la mitad del diámetro del tramo ancho de la izquierda. Tanto los puntos A y B en la parte gruesa como los puntos C y E en la parte estrecha, están separados por la misma distancia  $\Delta x$ . El flujo es laminar y una partícula del líquido tarda un intervalo de tiempo  $\Delta t_1$  en viajar del punto A hasta el punto B y un intervalo  $\Delta t_2$  en ir del punto C al punto E. ¿Cuál es la relación entre  $\Delta t_2$  y  $\Delta t_1$ ?

2.15. Calcula el número de Reynolds para un tubo de 3 cm de diámetro que conduce agua a una velocidad de 20 cm/s. ¿El flujo es laminar o turbulento? Considera para el agua la viscosidad de  $1 \times 10^{-3}$  Pa.s y la densidad de  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

### Conceptos clave

Presión, presión manométrica y presión absoluta.

Presión hidrostática y presión atmosférica.

Fuerza de empuje.

Capilaridad, tensión superficial, cohesión y adherencia.

Gasto hidráulico y viscosidad.

### Respuestas a los problemas para la reflexión

2.1. La presión que ejerce la columna de mercurio es  $p = r \cdot g \cdot h$ . Sustituyendo valores  $p = (13\,600 \text{ kg/m}^3) (9.8 \text{ m/s}^2) (0.76 \text{ m}) = 1.0129 \times 10^5 \text{ Pa}$ .

2.2. La ecuación de la recta tiene la forma de  $p = b + kh$ . Esta ecuación se parece a la presión absoluta  $p_{\text{Abs}}$  a una profundidad  $h$  que es  $p_{\text{Abs}} = p_{\text{Atm}} + r \cdot g \cdot h$ .

a) Por lo tanto, la pendiente  $k$  de la recta está relacionada con el valor de  $r \cdot g$ . Es decir,  $k = r \cdot g$ . Despejando la densidad de esta relación  $r = k/g$ .

b) La ordenada al origen  $b$  es la presión atmosférica del lugar. Por lo tanto,  $b = p_{\text{Atm}}$ .

2.3. La presión en la rama izquierda es la presión del gas  $p_{\text{gas}}$ .

La presión en la rama derecha es la presión del mercurio más la presión del aire  $p_{\text{man}} + p_{\text{atm}}$ .

Por equilibrio de presiones se tiene que

$p_{\text{gas}} = p_{\text{man}} + p_{\text{atm}}$ . Sustituyendo valores  $p_{\text{gas}} = 15 \text{ cm de Hg} + 60 \text{ cm de Hg} = 75 \text{ cm de Hg}$ .

Para convertir a pascales  $p_{\text{gas}} = r \cdot g \cdot h$

$p_{\text{gas}} = (13\,600 \text{ kg/m}^3) (9.8 \text{ m/s}^2) (0.75 \text{ m}) = 99\,960 \text{ Pa}$ .

2.4. Por principio de Pascal, la presión de entrada es igual a la presión de salida. Es decir,

$p_{\text{Ent}} = p_{\text{Sal}}$ , donde

$p_{\text{Ent}} = F/A_{\text{Ent}}$

$p_{\text{Sal}} = W/A_{\text{Sal}}$ .

Igualando estas relaciones  $\frac{F}{A_{Ent}} = \frac{W}{A_{Sal}}$ , donde

$$A_{Ent} = \pi R_{Ent}^2$$

$$A_{Sal} = \pi R_{Sal}^2$$

Simplificando y sustituyendo valores  $F = \frac{\pi R_{Ent}^2}{\pi R_{Sal}^2} W = \frac{2.5 \text{ cm}^2}{25 \text{ cm}^2} (5 \times 10^6 \text{ N}) = 5 \times 10^4 \text{ N}$ .

**2.5.** Por el principio de Pascal,  $p_1 = p_2$ , donde  $p_1 = F_1/A_1$  y  $p_2 = F_2/A_2$ . Por lo tanto

$p_1 = Mg/A_1$  y  $p_2 = F/A_2$ . Igualando  $\frac{Mg}{A_1} = \frac{F}{A_2}$ . Despejando F y sustituyendo valores

$$F = \frac{A_2}{A_1} Mg = \frac{0.15 \text{ m}^2}{0.75 \text{ m}^2} (50 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) = 98 \text{ N}.$$

**2.6.** Por definición de peso se tiene que:

El peso del cubo es  $P_C = m_C g = r_C V_C g$  y el peso de la esfera  $P_E = m_E g = r_E V_E g$ .

Por equilibrio de fuerzas ( $SF = 0$ ) el peso del objeto es igual a la fuerza de empuje.

Por otro lado, aplicando el principio de Arquímedes se tiene que:

La fuerza de empuje para el cubo es  $F_C = \rho \frac{V_C}{2} g$ , donde  $\rho$  es la densidad del agua y

$\frac{V_C}{2}$  es el volumen desplazado por el cubo. De manera análoga, la fuerza de empuje para

la esfera es  $F_E = \rho \frac{V_E}{2} g$ , donde  $\frac{V_E}{2}$  es el volumen desplazado por la esfera.

Considerando el cociente de  $P_E/P_C$  se tiene que:

$$\frac{P_E}{P_C} = \frac{\rho_E V_E g}{\rho_C V_C g} = \frac{\rho_E V_E}{\rho_C V_C} \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

Considerando el cociente  $F_E/F_C$  se tiene que:

$$\frac{F_E}{F_C} = \frac{\frac{\rho V_E g}{2}}{\frac{\rho V_C g}{2}} = \frac{V_E}{V_C} \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

Igualando la ecuación 1 con 2 se tiene que:

$$\frac{\rho_E V_E}{\rho_C V_C} = \frac{V_E}{V_C}. \text{ Finalmente } r_C = r_E.$$

**2.7.** a) Por definición de densidad  $r = m/V$ , donde V es el volumen de una esfera

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi (5 \text{ cm})^3 = 523.6 \text{ cm}^3. \text{ Por lo tanto, } \rho = \frac{4136 \text{ g}}{523.6 \text{ cm}^3} = 7.9 \text{ g/cm}^3.$$

b) Por equilibrio de fuerzas ( $SF = 0$ ) se tiene que  $F = W - F_e$ , donde

$F$  es la lectura del dinamómetro

$W$  es el peso de la esfera

$F_e$  es la fuerza de empuje

Sustituyendo  $F = mg - r_L V_D g = g (m - r_L V_D)$ . Sustituyendo valores

$$F = 9.8 \text{ m/s}^2 (4.136 \text{ kg} - [1000 \text{ kg/m}^3][523.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3]) = 35.4 \text{ N.}$$

**2.8.** El peso de la esfera es  $P_e = m_e g = \rho_e V_e g$ , donde  $\rho_e$  es la densidad y  $V_e$  es el volumen de la esfera.

El empuje  $F_e$  que recibe al estar completamente sumergida en el agua es  $F_e = \rho V_e g$ , donde  $\rho$  es la densidad del agua.

En las dos figuras de la derecha en presencia de agua, el peso total es el mismo, la única diferencia es que en una la esfera está en el aire y en la otra la esfera está sumergida, es decir la diferencia es el empuje del agua sobre la esfera, el cual, de acuerdo con las marcas del dinamómetro debe ser

$F_e = 14 \text{ N} - 2 \text{ N} = 12 \text{ N}$ . Por lo tanto, considerando el cociente de  $P_e/F_e$  se tiene que

$$\frac{P_e}{F_e} = \frac{\rho_e V_e g}{\rho V_e g}. \text{ Simplificando y despejando } \rho_e = \frac{P_e}{F_e} \rho. \text{ Sustituyendo valores}$$

$$\rho_e = \frac{10 \text{ N}}{12 \text{ N}} (1000 \text{ kg/m}^3) = 8.3 \times 10^2 \text{ kg/m}^3.$$

**2.9.** Por la ley de Jurin se tiene que para el primer capilar  $H = k/R$ . Para el segundo capilar se tiene  $h = k/r$ , como  $r = R/4$  entonces  $h = 4k/R$ . Pero  $k$  es la misma constante en las dos expresiones anteriores. Por lo tanto  $HR = hR/4$ , simplificando y despejando  $h$ . Finalmente  $h = 4H$ .

**2.10.** La tensión superficial es  $g = F/2L$ , donde  $L$  es la longitud del alambre  $AB$  y  $F$  es la

$$\text{fuerza necesaria para moverlo. Sustituyendo valores } \gamma = \frac{8 \times 10^{-4} \text{ N}}{2(0.016 \text{ m})} = 0.025 \text{ N/m.}$$

**2.11.** Aplicando la ecuación de continuidad se tiene que  $v_1 A_1 = v_2 A_2$ , donde

$v_1 = v$

$A_1$  es el área de la sección ancha

$v_2$  es la velocidad del agua en la sección angosta

$A_2$  es el área de la sección angosta

Despejando  $v_1$  de la ecuación de continuidad se tiene que  $v = \frac{A_2}{A_1} v_2$ , donde el área de la

sección  $A_1$  y  $A_2$  corresponde a la de un círculo  $\pi r^2$ . La velocidad del agua es

$$v = \frac{\pi(D_2/2)^2}{\pi(D_1/2)^2} v_2 = \frac{D_2^2}{D_1^2} v_2. \text{ Sustituyendo valores } v = \frac{2.5 \text{ cm}^2}{10 \text{ cm}^2} (12 \text{ cm/s}) = 0.75 \text{ m/s.}$$

**2.12.** Para determinar la velocidad del agua en el baño se aplica la ecuación de continuidad

$$v_1 A_1 = v_2 A_2. \text{ Por lo tanto } v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{r_1^2}{r_2^2} v_1. \text{ Sustituyendo valores } v_2 = 16 \text{ m/s.}$$

Aplicando la ecuación de Bernoulli se tiene que la presión del agua en el baño es

$$p_2 = p_1 - \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2) - \rho g(h_2 - h_1). \text{ Sustituyendo valores}$$

$$p_2 = 5 \times 10^5 - \frac{1}{2}(10^3)(16^2 - 4^2) - 10^3(9.8)(6) = 3.21 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

**2.13.** Aplicando la ecuación de Poiseuille el gasto en el tubo de radio R es

$$Q = k R^4.$$

Para el tubo de radio R/2 el gasto es  $Q' = k(R/2)^4 = kR^4/16$ .

Por lo tanto  $Q' = Q/16$ .

**2.14.** Aplicando la ecuación de continuidad  $A_1 v_1 = A_2 v_2$ , donde

$$A_1 = \rho (D/2)^2 = \rho D^2/4$$

$$v_1 = Dx/Dt_1$$

$$A_2 = \rho (D/4)^2 = \rho D^2/16$$

$$v_2 = Dx/Dt_2$$

Sustituyendo estas relaciones en la ecuación de continuidad se tiene que

$$\frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial \Delta x}{\partial \Delta t_1} = \frac{\pi D^2}{16} \frac{\partial \Delta x}{\partial \Delta t_2}. \text{ Simplificando } \frac{1}{\Delta t_1} = \frac{1}{4 \Delta t_2}. \text{ Finalmente } \Delta t_1 = 4 \Delta t_2$$

**2.15.** El número de Reynolds se calcula con  $N_R = \frac{\rho v L}{\eta}$ . Sustituyendo valores y

$$\text{simplificando se tiene que } N_R = \frac{(1000 \text{ kg/m}^3)(0.20 \text{ m/s})(0.03 \text{ m})}{1 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 6000.$$

Los números de Reynolds de aproximadamente 2000 corresponde a flujo laminar y los que son mayores de 3000 implican flujo turbulento. Para valores entre 2000 y 3000 el flujo es inestable y tal vez pase de un tipo de flujo a otro. Por lo tanto, para este problema el flujo es turbulento.

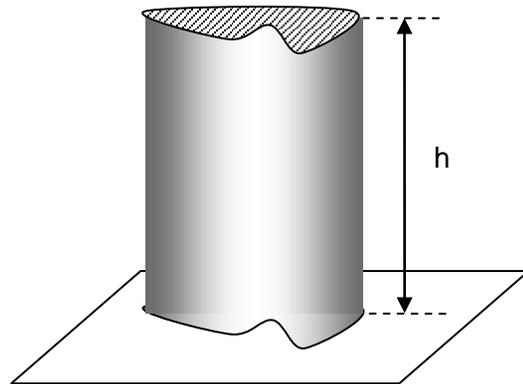
## Autoevaluación 2

INSTRUCCIONES. En unas hojas aparte realiza tu autoevaluación. Lee cuidadosamente cada una de las preguntas, intenta razonarlas, si es necesario realiza un diagrama que te ayude a visualizar el fenómeno del que se trata y analiza los datos proporcionados en el enunciado. Por favor, intenta escribir tus procedimientos completos, esto es muy útil para que puedas revisarlas y preguntarle tus dudas a alguien. Cuando hayas terminado compara con las respuestas que se encuentran al final de la guía. Marca las respuestas correctas con una  $\checkmark$ , y obtén tu calificación, de la siguiente manera:

$$\text{Calificación} = (\text{No. de aciertos}) \frac{100}{15}$$

1. Considerar una columna recta, sólida y homogénea de altura  $h$ , hecha de un material de densidad igual a  $\rho$  (rho), y cuya base tenga un área de  $A$  (sin importar su forma). ¿Cuál es la presión que la columna ejerce sobre el área donde descansa? La  $g$  es la aceleración de la gravedad.

- A)  $p = \rho g h$
- B)  $p = \rho g h/A$
- C)  $p = \rho g A$
- D)  $p = \rho g h A$



2. Podemos aproximar el área de la suela de un zapato de alguna persona por un rectángulo de 27 cm de largo por 10 cm de ancho. Si la persona tiene un peso de 700 N, esta fuerza se reparte sobre el área del suelo debajo de la suela de sus zapatos, ¿Cuál es la presión que soporta la parte del suelo donde está parada la persona?

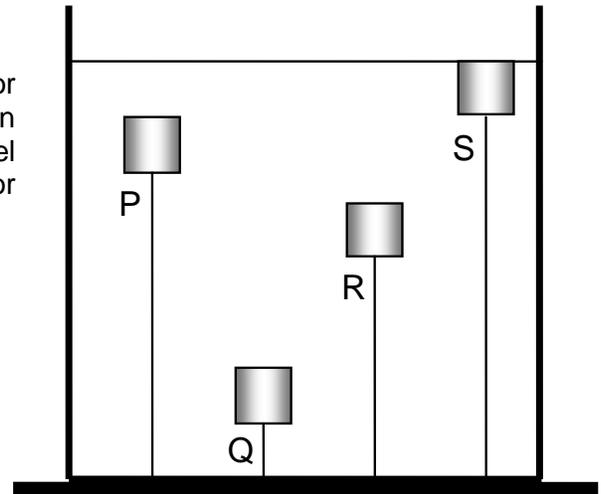
- A) 1.30 Pa
- B) 129.63 Pa
- C) 6 481.48 Pa
- D) 12 962.96 Pa

3. En la Cd. de México la altura de la columna de mercurio de un barómetro es de 56 cm. Si en el experimento de Torricelli se utilizara agua en vez de mercurio, ¿De qué largo aproximado debería ser el tubo de vidrio utilizado? La densidad del mercurio es de 13.6 g/cm<sup>3</sup> y la del agua es de 1 g/cm<sup>3</sup>.

- A) 0.56 m
- B) 7.62 m
- C) 10.00 m
- D) 13.60 m

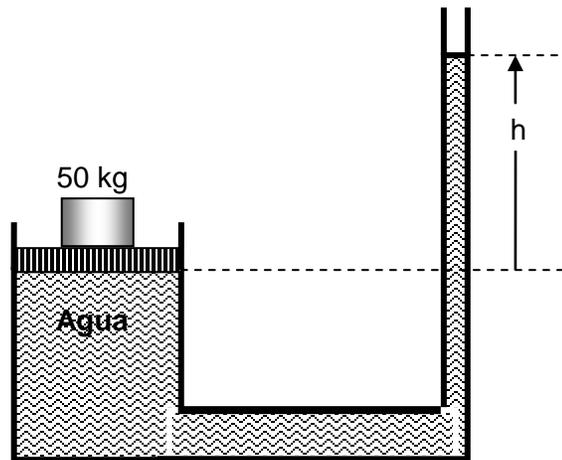
4. Cuatro cilindros idénticos P, Q, R y S de menor densidad que la del agua están sumergidos en dicho líquido atados mediante hilos al fondo del recipiente. ¿Cuál cilindro soporta la mayor presión hidrostática?

- A) P                      C) R  
 B) Q                      D) S



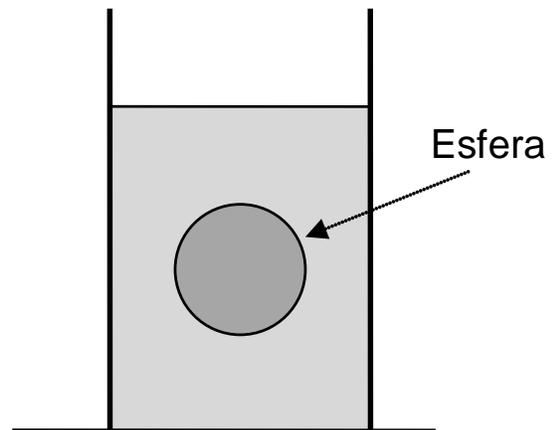
5. En el dibujo se muestra una masa de 50 kg colocada sobre un émbolo de  $1000 \text{ cm}^2$  de área. ¿Hasta qué altura  $h$  debe subir el agua en el tubo delgado de la derecha para que el sistema alcance el equilibrio? Considera la densidad del agua  $10^3 \text{ kg/m}^3$  y despreciable la masa del émbolo.

- A)  $5 \times 10^{-5} \text{ cm}$   
 B)  $5 \times 10^{-3} \text{ cm}$   
 C) 50 cm  
 D)  $5 \times 10^6 \text{ cm}$



6. La figura muestra un recipiente con agua y dentro de ella una esfera de determinado material. Si el agua del recipiente está en reposo y la esfera ni sube ni baja. ¿Qué se puede decir sobre la fuerza de empuje?

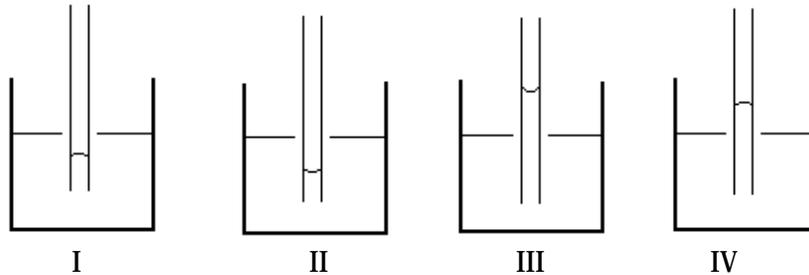
- A) Es igual al peso de la esfera  
 B) Es menor al peso de la esfera  
 C) Es mayor al peso de la esfera  
 D) No hay fuerza de empuje



7. El enunciado que dice: “Las elevaciones y depresiones que aparecen en el interior de un tubo capilar introducido en un líquido son inversamente proporcionales al radio del tubo y a la densidad del líquido, y directamente proporcionales al coeficiente de tensión superficial”. Corresponde a la ley de

- A) Pascal  
 B) Bernoulli  
 C) Torricelli  
 D) Jurin

8. Se tienen cuatro recipientes con agua y en cada uno de ellos un tubo capilar del mismo tamaño. Elige el esquema que mejor represente el fenómeno de la capilaridad.



- A) I  
 B) II  
 C) III  
 D) IV

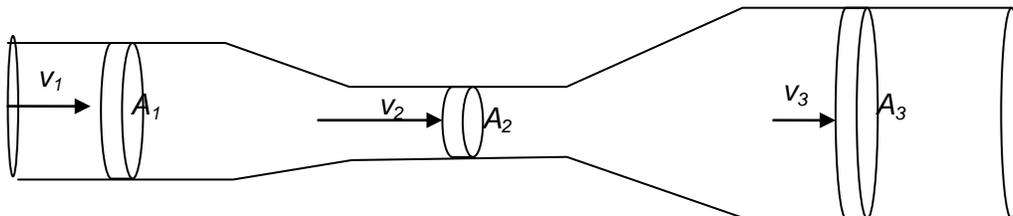
9. La evidencia experimental de que una aguja puesta con cuidado en forma horizontal sobre la superficie del agua no se hunde, se debe al fenómeno de la

- A) Viscosidad  
 B) Capilaridad  
 C) Adherencia  
 D) Tensión superficial

10. Una tubería tiene una sección circular de  $r$  cm de diámetro y en ella circula agua con una velocidad de 9 m/s. Después el diámetro de la tubería se enancha a un diámetro  $3r$ . ¿Cuál es la velocidad del agua en esta parte ancha?

- A) 1 m/s  
 B) 3 m/s  
 C) 27 m/s  
 D) 81 m/s

11. Por un tubo con secciones transversales de diferente área, circula agua. Se sabe que la sección transversal  $A_3 > A_1 > A_2$ . ¿Cómo es la presión del agua móvil debido al principio de Bernoulli?



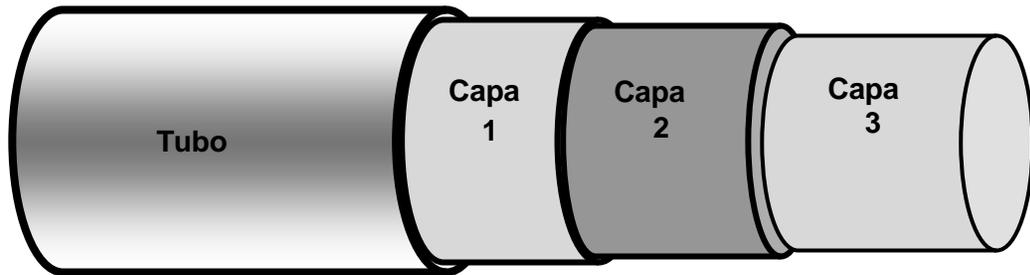
- A) Mínima en la sección  $A_1$   
 B) Nula en la sección  $A_2$   
 C) Máxima en la sección  $A_3$   
 D) Igual en todas las secciones

12. Un chorro de agua sale por un agujero hecho en la pared lateral de un recipiente. Si el agujero está a una profundidad  $z_1$  y tiene un área  $A_1$ , ¿a qué profundidad  $z_2$  debe estar otro agujero de área  $A_2 = (1/4) A_1$  para que en ambos, el gasto sea el mismo?

- A)  $32 z_1$
- B)  $16 z_1$

- C)  $4 z_1$
- D)  $z_1$

13. Se tiene un flujo viscoso que circula por un tubo. ¿Cómo es la velocidad del fluido debido a la Ley de Poiseuille?



- A) Cero en la capa 1
- B) Menor en la capa 2

- C) Mayor en la capa 3
- D) Igual en todo el tubo

14. Por la ecuación de Poiseuille  $Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta L}$ , ¿cuánto aumenta el gasto  $Q$  si incrementamos al doble el radio de una tubería de agua?

- A) Dos veces
- B) Cuatro veces

- C) Ocho veces
- D) Dieciséis veces

15. ¿Quién es el científico que llevó a cabo experimentos sobre el movimiento de fluidos en tubos y demostró que hay dos tipos de flujo: laminar y turbulento?

- A) Bernoulli
- B) Reynolds

- C) Pascal
- D) Poiseuille

# CAPÍTULO III

## TERMODINÁMICA

### Resumen

El desarrollo de los temas que se incluyen en este capítulo tienen que ver con las leyes de la termodinámica (ley cero, primera y segunda) y procesos termodinámicos, para ello se escogen sistemas sencillos de pocas partes que consisten, generalmente, en un gas encerrado en un cilindro provisto de un émbolo. También se abordan conceptos cotidianos y del dominio común: la temperatura y el calor. Estos conceptos siempre están presentes en las pláticas comunes y corrientes cuando hablamos sobre “hace calor”, “hace frío”, “la fiebre le subió a 40 grados”, “abrigate bien para que no te entre el frío”, “sírvenme un atolito para entrar en calor”, etc.

Por otro lado, se abordan los fenómenos que se relacionan con un cambio de temperatura como el calor específico y la dilatación térmica: lineal, superficial y volumétrica.

Por último se determina la eficiencia de una máquina térmica.

### Propósitos

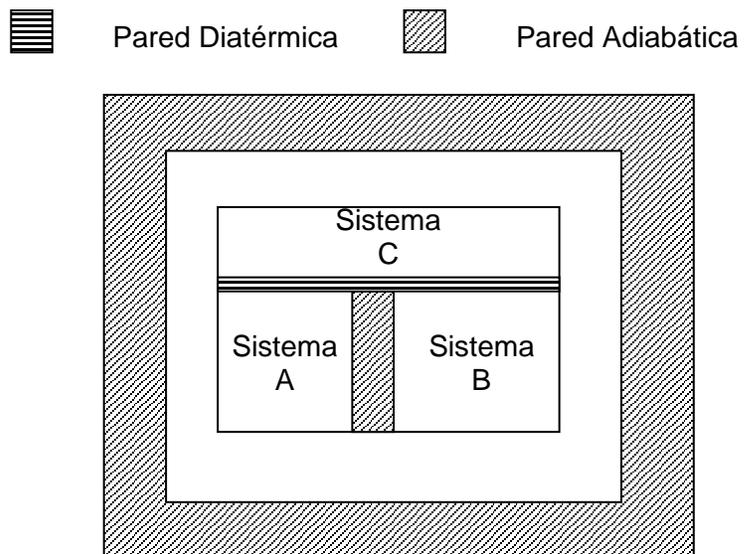
Que el alumno logre:

- Distinguir, por medio de ejemplos, los conceptos de temperatura y calor.
- Expresar en forma oral o por escrito, los enunciados de la ley cero, la primera y la segunda ley de la termodinámica.
- Reconocer los principales procesos reversibles que puede sufrir un sistema termodinámico: isobárico, isotérmico, isométrico y adiabático.
- Aplicar las leyes de la termodinámica a procesos reversibles cíclicos y no cíclicos realizados en un sistema consistente en un gas ideal confinado en un cilindro provisto de un émbolo.

### 3.1. Ley cero de la termodinámica

La figura muestra tres sistemas A, B y C; A y B están separados entre sí por una pared adiabática (no pasa calor), cada uno de ellos está en contacto con C por medio de paredes diatérmicas (sí pasa calor), y el conjunto de los 3 sistemas está rodeado por paredes adiabáticas. La experiencia muestra que, generalmente, cada uno de ellos sufre variaciones en las variables que determinan el estado en que se encuentran (la presión y la densidad, por ejemplo) y que dichas variaciones se van haciendo más pequeñas con el tiempo hasta que llega un momento en

que sus valores se estabilizan, es decir, alcanzan valores que permanecen fijos. En estas condiciones decimos que A está en equilibrio térmico con C y que B está en equilibrio térmico con C. Si luego, quitamos la pared adiabática entre A y B y la sustituimos por una



pared diatérmica, la experiencia muestra que los sistemas *A* y *B* permanecen sin cambio. Decimos entonces que *A* y *B* permanecen en equilibrio. Si repetimos la experiencia pero permitiendo que primero, por separado, *A* establezca equilibrio con *C* y luego, por separado *B* con *C*, al poner en contacto térmico *A* con *B* se descubre que están en equilibrio. Estas experiencias dan lugar al enunciado de la llamada ley cero de la termodinámica:

“Si un sistema *A* está en equilibrio térmico con un sistema *B* y *B* está en equilibrio térmico con un tercer sistema *C*, entonces *A* y *C* están en equilibrio térmico entre sí”.

De esta ley emerge la definición operacional del concepto de “temperatura”.

El hecho es que el equilibrio térmico se puede determinar utilizando variables como la presión, el volumen o la resistencia eléctrica sin referencia a la temperatura, y este hecho hace posible que el enunciado de arriba de la ley cero puede utilizarse para decir que:

“Si un sistema *A* está en equilibrio térmico con un sistema *B* significa que *A* y *B*, por definición, están a la misma “temperatura”, y si *B* está en equilibrio térmico con un tercer sistema *C* entonces, por definición *B* y *C* están a la misma temperatura y entonces, la ley cero asegura, ya no por definición, que *A* y *C* están a la misma temperatura”.

### Problemas para la reflexión

3.1. Alguna persona, nada más para llevar la contraria, podría construir un termómetro con una escala centígrada en la que el agua se congelara a  $100^\circ X$  e hirviera a  $0^\circ X$ . ¿Sería posible? Si nuestra temperatura corporal normal es de  $36.5^\circ C$ , ¿cuál sería en grados  $X$ ?

3.2. Si tu mamá lee en una receta que tiene que hornear un pastel a  $572^\circ F$  y su horno está graduado en  $^\circ C$ , te pregunta, ¿a qué temperatura tengo que graduar mi horno?

### 3.2. El concepto de energía interna

El modelo más sencillo de un gas es considerarlo compuesto de partículas puntuales que pueden chocar entre ellas y con las paredes del recipiente que las contiene. En este caso la energía interna del gas se debe únicamente a la energía cinética media (promedio) de las partículas y en mecánica estadística se demuestra que la temperatura kelvin del gas es directamente proporcional a dicha energía cinética y solo depende de ella, confirmándose lo que la termodinámica también demuestra sin necesidad de recurrir a un modelo de partículas: la energía interna de un gas ideal solo depende de la temperatura.

La mecánica estadística (teoría cinética del gas ideal) demuestra que la energía interna *u* por partícula se debe solamente a la energía cinética promedio de las partículas del gas y que se relaciona con la temperatura absoluta mediante la fórmula:

$$u = \frac{1}{2} m v_{\text{prom}}^2 = \frac{3}{2} kT$$

Donde *m* es la masa de una de las partículas del gas,  $v_{\text{prom}}$  es la velocidad promedio de todas las partículas, *T* es la temperatura kelvin y *k* es una constante, llamada constante de Boltzmann, cuyo valor se obtiene de dividir la constante *R* ( $8.3 \times 10^3$  J/kg-mol K) de los gases entre el número de Avogadro  $N_0$  ( $6.023 \times 10^{26}$  moléculas/kg-mol),  $k = R/N_0$ .

La constante de Boltzmann es  $k = \frac{R}{N_0} = 1.38 \times 10^{-23}$  J/(molécula)K

### **Problema para la reflexión**

3.3. Un frasco de 250 ml contiene aire a una temperatura de 27 °C. De acuerdo con la teoría cinética del gas ideal, ¿Cuál es la energía interna del aire en el frasco?

### **3.3. El concepto de calor**

El calor es energía que se intercambia entre dos sistemas en virtud exclusivamente de la diferencia de temperatura entre ellos, es energía intercambiada por medios no mecánicos, es decir, sin trabajo. Puedes “calentar” una barra metálica poniéndola en una flama pero también a martillazos. En el primer caso pasa energía en forma de calor de la flama a la barra por la diferencia de temperaturas, la de la flama es mayor que la de la barra; en el segundo caso, pasa energía a la barra debido al trabajo realizado al martillar.

En cualquier caso, si el calentamiento de la barra se logró con la flama o a martillazos, debemos decir que la energía interna de la barra sufrió un cambio, es decir, no es el trabajo realizado sobre la barra ni el calor absorbido por ella lo que se “almacenó”, el calentamiento se debe a que aumentó la energía interna de la barra.

Hay que recalcar que sólo se puede hablar de energía en forma de calor, como “energía en tránsito”, solo hay calor cuando hay “flujo” de energía entre dos objetos a diferente temperatura. De la misma manera podemos decir que la “lluvia” es agua en tránsito; una cubeta puede haberse llenado con agua de lluvia pero no es lluvia.

Seguramente has oído hablar de las “calorías”. Antes del experimento de Joule se creía que el calor era una especie de sustancia que fluía de lo caliente a lo frío y para cuantificarlo se definió “la caloría” como “la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua”.

### **Formas de transmisión del calor**

El calor puede transmitirse por conducción. Esto lo ha comprobado la gente que ha sufrido quemadas cuando toca el mango de una cuchara metálica que tiene rato dentro de un caldo caliente. Por otro lado, la cuchara puede quedar igual de caliente si lleva mucho tiempo expuesta a la luz del sol.

¿Cómo le hace el Sol, que está tan lejos, para calentar la cuchara? Pues resulta que tanto la luz visible como el calor que nos llega del Sol, pertenecen al llamado espectro electromagnético de radiación. De manera que el Sol, radia energía en forma de ondas electromagnéticas, la luz es radiación visible y el calor es radiación infrarroja. Por lo tanto el calor también se trasmite por radiación. Esta forma de emitir calor no es privativa del Sol, un metal caliente al rojo vivo también emite ondas electromagnéticas infrarrojas que no necesitan un medio para transmitirse. Las ondas electromagnéticas pueden viajar por el vacío. Sin embargo, el metal al rojo también calienta el aire que entra en contacto con él, esto produce corrientes ascendentes de aire caliente y corrientes descendentes de aire frío. Este mismo fenómeno se presenta cuando pones agua a calentar al fuego en un recipiente. El agua del fondo se calienta primero, se hace menos densa y, por el principio de Arquímedes, es empujada hacia arriba, esto hace que baje agua fría al fondo y se establecen corrientes llamadas de convección que tienden a estabilizar una sola temperatura para el agua. El calor, dentro del agua, se trasmite por convección.

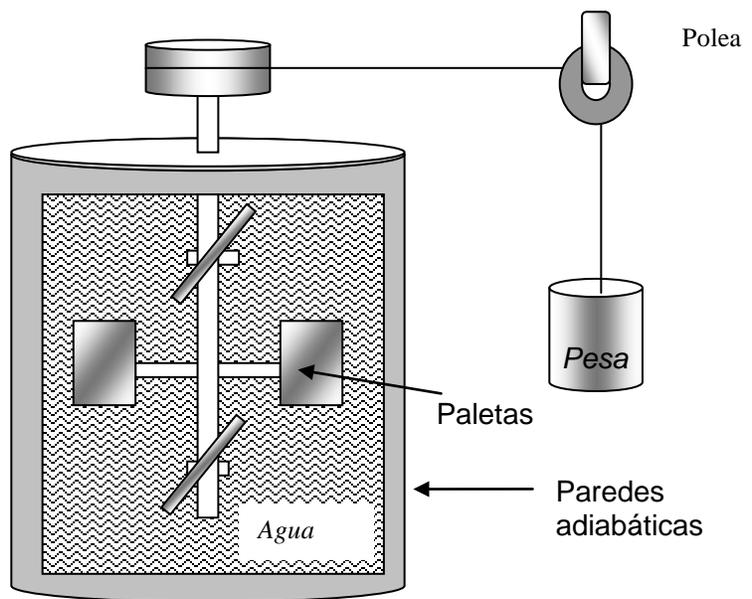
### **Problema para la reflexión**

3.4. ¿Puede considerarse el calor como energía almacenada? Por ejemplo, la leche muy caliente en una taza ¿se podría decir que almacenó mucho calor? Explica.

### 3.4. La primera ley de la termodinámica

#### Experimento de Joule

En 1843, James Prescott Joule (1818-1889) realizó un famoso experimento en el que lograba hacer subir la temperatura de una masa conocida de agua mediante trabajo mecánico únicamente. En su experimento, las paredes del recipiente que contenía el agua eran adiabáticas, de manera que el trabajo realizado sobre el agua era adiabático. Lo que hizo Joule, fue disponer dentro del recipiente un eje con paletas que, al rotar, agitaban el agua. El eje giraba debido a un sistema de poleas acopladas a una pesa de masa conocida que descendía bajo la acción de la fuerza de gravedad.



Al descender la pesa se podía calcular el trabajo hecho por la fuerza de gravedad, que era igual al que se le daba al agua del recipiente. Joule encontró que a una cantidad definida de trabajo correspondía siempre a la misma elevación en la temperatura del agua. A esta cantidad se le llamó “el equivalente mecánico del calor”. Una caloría es equivalente a 4.18 joules de trabajo mecánico.

En conclusión, el trabajo, como sabemos, es energía. Ahora bien, al efectuar trabajo sobre un sistema rodeado de paredes adiabáticas esa energía “aparentemente” ha desaparecido. Por otra parte, por el principio de conservación de la energía, debemos aceptar que, cuando el sistema recibe energía en forma de trabajo mecánico, esa energía ni se ha perdido ni ha desaparecido, sino que debe haberse quedado almacenada en el interior del sistema y si, por lo contrario, el sistema es el que efectúa un trabajo sobre sus alrededores, esa energía no se ha generado de la nada, sino que proviene de la energía almacenada en el interior del sistema; a esta energía se le llama energía interna del sistema.

Puedes hacer un sencillo experimento para que “sientas” la energía interna de un gas. Vamos a suponer que las paredes de una jeringa de plástico, de las que consigues en la farmacia, son adiabáticas. Taponas bien, con plastiloca, el hoyito del extremo en donde se coloca la aguja. Dentro del cilindro que forma el cuerpo de la jeringa queda atrapada por el émbolo cierta cantidad de aire. Si empujas el émbolo, estás haciendo trabajo sobre el sistema y dicho trabajo, de acuerdo con la 1ª ley, aumenta la energía interna del aire. Donde se manifiesta la energía interna es cuando, después de comprimir, sueltas el émbolo. Solito el aire se expande, empuja al émbolo y lo desplaza. ¿De dónde sale el trabajo que realiza el aire al aumentar de volumen y empujar el émbolo? Sencillamente, el aire está haciendo trabajo a expensas de su energía interna. Si el proceso fuera reversible, la energía interna disminuiría y el aire realizaría una cantidad de trabajo igual a dicha disminución. La energía se conserva. En un proceso irreversible, por fuerzas de fricción, la disminución de la energía interna no sería igual al trabajo sobre los alrededores

#### Primera ley de la termodinámica

La cantidad de energía  $Q$  proporcionada a cualquier sistema, en forma de calor, es igual al trabajo  $W$  realizado por el sistema, más el cambio  $\Delta U$  de energía interna del mismo.

$$Q = \Delta U + W, \text{ o también } \Delta U = Q - W$$

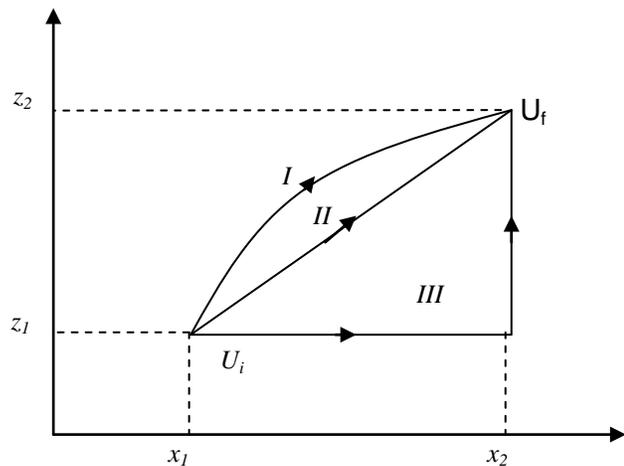
En otras palabras, sólo parte del calor es transformado en trabajo, la otra parte se almacena en el sistema en forma de energía térmica o interna. Otra forma de considerar esto mismo es que el cambio en la energía interna es igual al calor absorbido menos el trabajo realizado. La convención de signos para el calor y el trabajo es:  $Q > 0$  si es absorbido por el sistema,  $Q < 0$  si es cedido por el sistema,  $W > 0$  si es realizado por el sistema,  $W < 0$  si es realizado sobre el sistema.

Si el sistema consiste en un gas encerrado en un cilindro provisto de un émbolo, al absorber calor  $Q$  el gas se expande realizando trabajo,  $W$ , si  $Q > W$  entonces hay un aumento  $\Delta U$ , que se manifiesta como un calentamiento. Si  $Q < W$  entonces una parte del trabajo se realiza a expensas de la energía interna del gas y hay una disminución  $\Delta U$  que se manifiesta como un enfriamiento del gas.

Matemáticamente decimos que la energía interna es una "función de estado". Si el estado de un sistema está determinado por el valor de ciertas variables  $(x,z)$ , la energía interna es una función  $U$  cuyo valor sólo depende de los valores de la pareja  $(x,z)$ . La "x" puede ser la presión y la "z" el volumen de un gas, por ejemplo.

Si un sistema rodeado de paredes adiabáticas sufre diferentes procesos pero siempre desde un mismo estado inicial determinado por los valores  $(x_1, z_1)$  hasta otro mismo estado final determinado por los valores  $(x_2, z_2)$  de las variables, los experimentos demuestran que el trabajo realizado es el mismo en cada uno de los procesos

La siguiente gráfica muestra lo que significa el enunciado anterior. Las tres trayectorias (procesos) I, II y III van del mismo estado inicial al mismo estado final y si los procesos son adiabáticos reversibles se descubre experimentalmente que el trabajo realizado es independiente de la "trayectoria" que une los estados y sólo depende de los valores  $(x_1, z_1)$  y  $(x_2, z_2)$ .



Este hecho experimental conduce a la postulación de la función de estado  $U$ , llamada energía interna del sistema, cuyo valor sólo depende de los valores de las variables  $(x,z)$ , de manera que en el estado inicial  $U_i = U(x_1, z_1)$  es el valor inicial de la energía interna y  $U_f = U(x_2, z_2)$  es el valor al final en los procesos mostrados en la figura. Resulta entonces que  $W_I = W_{II} = W_{III}$  porque los procesos son adiabáticos y el estado inicial y el estado final son los mismos para los tres procesos y, además,  $W_I = W_{II} = W_{III} = U_f - U_i$ .

Sin embargo, para completar la primera ley, los experimentos también señalan que hay estados del sistema en que los que no se puede "ir" del estado inicial al estado final mediante procesos adiabáticos, en estos casos el trabajo  $W \neq U_f - U_i$ . Es decir, no se puede cambiar la energía interna del sistema solamente con trabajo  $W$ , hay que añadir otro tipo de energía  $Q$ , no mecánica, a la que llamamos "calor". Por lo tanto, lo que resulta cierto en todo tipo de proceso es que  $U_f - U_i = Q - W$ , o sea,  $\Delta U = Q - W$  (Igualdad que se cumple con la convención de signos señalada en un párrafo anterior).

A la energía que podemos transmitir a un sistema y que es diferente al trabajo, le llamamos calor. Si en un sistema que está térmicamente aislado (paredes adiabáticas) se efectúa un proceso en el cual se le suministra al sistema cierta cantidad de trabajo, la igualdad  $DU = -W_{\text{adiab}}$  se cumple, es decir,  $DU + W_{\text{adiab}} = 0$ .

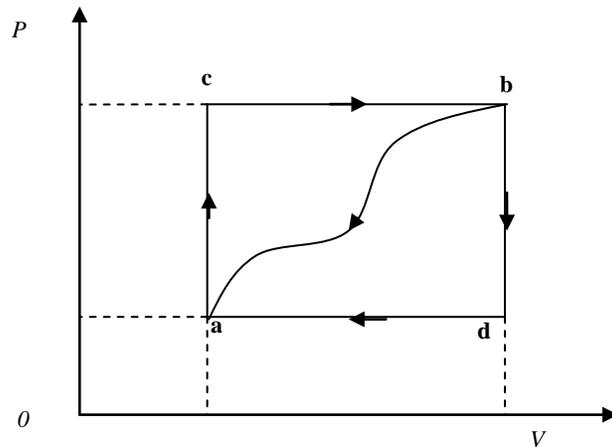
Por otro lado, si el mismo proceso ocurre cuando hay paredes diatérmicas que ponen al sistema en contacto térmico con los alrededores, se encuentra que, en general,  $DU + W \neq 0$  ( $W$  ya no es adiabático) porque el sistema puede intercambiar energía  $Q$  en forma de calor con los alrededores.

Entonces la conservación de la energía exige que:  $DU + W = Q$ , que también se puede escribir como:

$$DU = Q - W \quad (\text{expresión de la 1ª. ley de la termodinámica}).$$

### Problema para la reflexión

3.5. En la siguiente gráfica, cuando el sistema es llevado del estado **a** al **b** por la trayectoria **acb**, el sistema absorbe 80 J de calor y realiza 30 J de trabajo. a) ¿Cuánto calor absorbe a lo largo de la trayectoria **adb**, si el trabajo realizado por el sistema es de 10 J? b) Cuando el sistema es regresado del estado **b** al estado **a** por la trayectoria curva, se realizan 20 J de trabajo sobre el sistema. El sistema ¿absorbe o cede calor? ¿Qué cantidad? c) Si  $U_a = 0$  y  $U_d = 40$  J, encuentra el calor absorbido en los procesos **ad** y **db**.

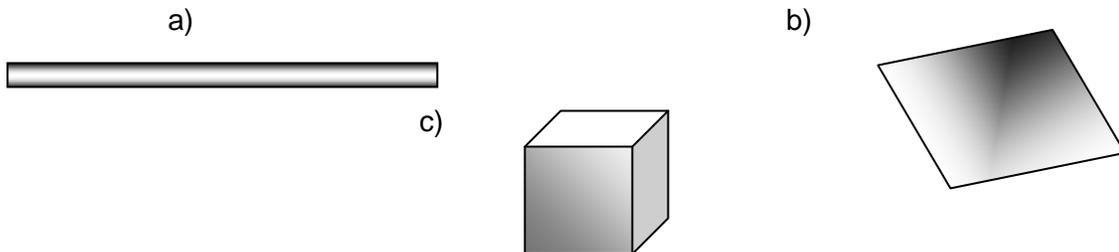


d) ¿Cuánto cambia la energía interna del gas si experimenta el proceso cíclico **acba**? ¿Y en el proceso cíclico **cbdac**?

### 3.5. Calorimetría

La calorimetría en esencia estudia la respuesta de las sustancias a los cambios de temperatura debidos a la absorción o liberación de calor. Es del dominio común que, en general, los objetos se dilatan al aumentar su temperatura o se contraen al disminuirla.

Vamos a imaginarnos un metal que puede presentarse en forma de a) varilla sólida larga y delgada, b) de lámina cuadrada de pequeño espesor y c) de trozo cúbico de cierto volumen.



Al calentarlos los tres aumentan su volumen, sin embargo en la varilla lo más significativo es el aumento en la longitud, en la lámina lo más significativo es el aumento en el área o superficie y solo en el trozo lo significativo es el aumento en el volumen.

### Coeficientes de dilatación térmica

a) Para la varilla se define el coeficiente de dilatación lineal  $\alpha$  como la fracción  $\Delta L / L_0$  que resulta de dividir el aumento de longitud entre la longitud original de la varilla, calculada por cada grado de incremento en la temperatura.

Para que quede claro, supongamos que a una temperatura de 293 K (20° C) la longitud de una varilla es  $L_0 = 24$  cm, y que cuando la varilla se calienta hasta 313 K (40° C) sufre un aumento de longitud  $\Delta L = 3$  cm. Nos preguntamos ¿qué fracción de la longitud original resulta ser el aumento?

$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{3 \text{ cm}}{24 \text{ cm}} = \frac{1}{8}$ . Por lo tanto,  $\Delta L = (1/8) L_0$ , el aumento  $\Delta L$  resulta ser un octavo de la longitud original.

Esta fracción corresponde a un aumento  $\Delta T = 313 \text{ K} - 293 \text{ K} = 20 \text{ K}$  y la siguiente pregunta es ¿cuál es la fracción para cada grado de aumento en la temperatura?

Para contestarla hacemos una nueva división  $\frac{(\Delta L/L_0)}{\Delta T} = \frac{1/8}{20 \text{ K}} = 0.00625 \text{ K}^{-1}$ .

La unidad  $\text{K}^{-1}$ , la puedes traducir: “por cada kelvin”. Por lo tanto, el resultado indica que el coeficiente de dilatación lineal del metal:  $\alpha = 6.25 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . Y se considera constante dentro de cierto rango de temperaturas, es decir, cualquier varilla hecha de este metal aumenta un ciento sesentavo de su longitud original por cada kelvin de aumento en la temperatura. Resumiendo, la definición del coeficiente  $\alpha$  de expansión lineal de una varilla queda expresada como

$$\frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} = \alpha.$$

De esta expresión se puede despejar  $\Delta L$  y resulta  $\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$ . Considerando que  $\Delta L$  se puede escribir como  $\Delta L = L - L_0$ , donde  $L$  es la longitud en la temperatura final, la expresión se convierte en:

$$L - L_0 = \alpha L_0 \Delta T \longrightarrow L = L_0 + L_0 \alpha \Delta T \longrightarrow L = L_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

b) Para la lámina se define, en forma similar, el coeficiente de dilatación superficial. Si  $S_0$  es la superficie original de la lámina y sufre un aumento  $\Delta S$  cuando la temperatura aumenta  $\Delta T$ , se define el coeficiente  $\gamma$  de expansión superficial como  $\frac{\Delta S}{S_0 \Delta T} = \gamma$ , o bien,

$$S = S_0 (1 + \gamma \Delta T).$$

c) Por último, para un trozo de cierto volumen se define, en forma similar, el coeficiente de expansión cúbica (o volumétrica)  $\beta$ . Si  $V_0$  es el volumen original del trozo y sufre un aumento  $\Delta V$  cuando la temperatura aumenta  $\Delta T$ , se define el coeficiente de expansión cúbica  $\beta$  como  $\frac{\Delta V}{V_0 \Delta T} = \beta$ , o bien,  $V = V_0 (1 + \beta \Delta T)$ .

Esta expresión dice cual es volumen final  $V$  de un objeto cuyo volumen inicial es  $V_0$ , su coeficiente de expansión es  $\beta$  y sufre un aumento de temperatura  $\Delta T$ .

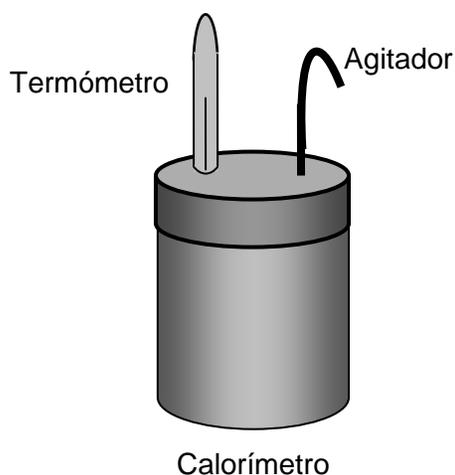
### Capacidad calorífica específica

Otro fenómeno relacionado con el calor es que las sustancias reaccionan a su absorción de manera diferente. Unas, al absorber calor, elevan fácilmente su temperatura mientras que otras no. Para caracterizar estos comportamientos diferentes se define la capacidad calorífica específica de una sustancia: si la cantidad  $m$  de una sustancia debe absorber calor  $Q$  para elevar su temperatura  $\Delta T$ , la capacidad calorífica específica media de la sustancia es:

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

Podemos decir que  $c$  es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 kg de la sustancia en un kelvin.

Un experimento clásico que se realiza en el laboratorio de la prepa, es el de determinar la capacidad calorífica específica a presión constante (la atmosférica) de algún metal  $X$ . Para hacerlo se cuenta con un recipiente metálico, de aluminio generalmente, forrado con fieltro para hacer las paredes adiabáticas. Dentro del recipiente se pone una masa conocida de agua a la temperatura ambiente  $\theta_0$  medida con un termómetro. Se hierve agua en otro recipiente cualquiera y con un termómetro se registra la temperatura de ebullición. Se introduce en el agua hirviendo una masa conocida de municiones hechas del metal  $X$  y se dejan cierto tiempo para asegurar que el metal entre en equilibrio térmico con el agua hirviendo a la temperatura  $\theta_v$ . Se sacan del agua las municiones, se vierten sin perder tiempo en el agua del calorímetro, y se tapa el aparato.



La tapa tiene dos horadaciones, una para introducir un termómetro y otra para introducir un agitador; éste sirve para uniformar la temperatura, agitando el agua. Con el tiempo, el termómetro se estabiliza y marca una temperatura  $\theta_f$  de equilibrio. Para no hacer difícil la discusión matemática del experimento vamos a suponer que sólo hay intercambio de calor entre el agua y las municiones, es decir, no tomaremos en cuenta el calentamiento de las paredes metálicas del calorímetro. En todo caso, es mejor utilizar como calorímetro un vaso de poliuretano forrado con fieltro. En este caso el intercambio de calor con las paredes del vaso disminuye bastante

Vamos a derivar una fórmula para la temperatura final de equilibrio con la siguiente nomenclatura:

La masa  $m_A$  agua del calorímetro aumentó su temperatura de  $\theta_0$  a  $\theta_f$ .

La masa  $m_M$  de las municiones del metal  $X$  disminuyeron su temperatura de  $\theta_v$  a  $\theta_f$ .

El calor  $Q$  absorbido por el agua es  $Q_A = m_A c_A (\theta_f - \theta_0)$ , (cantidad positiva).

El calor  $Q$  cedido por las municiones es  $Q_M = m_M c_x (\theta_f - \theta_v)$ , (cantidad negativa).

El valor absoluto de los dos cantidades de calor debe ser el mismo, el calor ganado por el agua debe ser igual al calor perdido por el metal. Como no podemos igualar una cantidad positiva con una negativa, para poder hacerlo tenemos que escribir:

$$Q_A = - Q_M. \text{ Es decir, } m_A c_A (\theta_f - \theta_0) = - m_M c_x (\theta_f - \theta_v).$$

De la igualdad de arriba se puede determinar la capacidad calorífica del metal X:  $c_x$ , donde  $c_A$  es la capacidad calorífica específica del agua. Como ya se dijo esta fórmula predice un valor para  $c_x$  que puedes comprobar experimentalmente en el laboratorio.

### Problemas para la reflexión

3.6. Una lámina metálica cuadrada tiene 30 cm de lado cuando se encuentra a una temperatura de 20° C; cuando se calienta uniformemente hasta una temperatura de 35° C se convierte en un cuadrado de 32 cm de lado ¿cuál es el coeficiente de dilatación superficial del metal del que está hecha?

3.7. Si un alambre delgado de 10 cm de largo estuviera hecho de un metal cuyo coeficiente de expansión cúbica o volumétrica es  $\beta = 4.2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  ¿cuál sería, aproximadamente, su coeficiente de dilatación lineal? ¿cuánto aumentaría su longitud si se calentara desde 20° C hasta 100° C

3.8. Si una masa  $m$  de municiones de metal de capacidad calorífica específica  $c_M$  a una temperatura  $\theta_M$ , se mezclan en un calorímetro con la misma masa  $m$  de agua de capacidad calorífica específica  $c_A = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$  a una temperatura  $\theta_A$ ; si la temperatura final de equilibrio es  $\theta_F$ , demuestra que la capacidad calorífica del metal es

$$c_M = \frac{\theta_F - \theta_A}{\theta_M - \theta_F} \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

### 3.6. Procesos termodinámicos

Para ilustrar los procesos termodinámicos consideraremos un sistema sencillo compuesto por un gas encerrado en un cilindro provisto de un émbolo que permite que el gas sufra cambios de volumen realizando trabajo cuando se expande y recibiendo trabajo cuando se comprime.

Resulta interesante estudiar la dependencia que existe entre la presión, el volumen y la temperatura del gas, así como la relación entre el calor y el trabajo intercambiado entre el sistema y sus alrededores y la relación que guardan estas energías con el cambio en la energía interna del sistema durante los procesos.

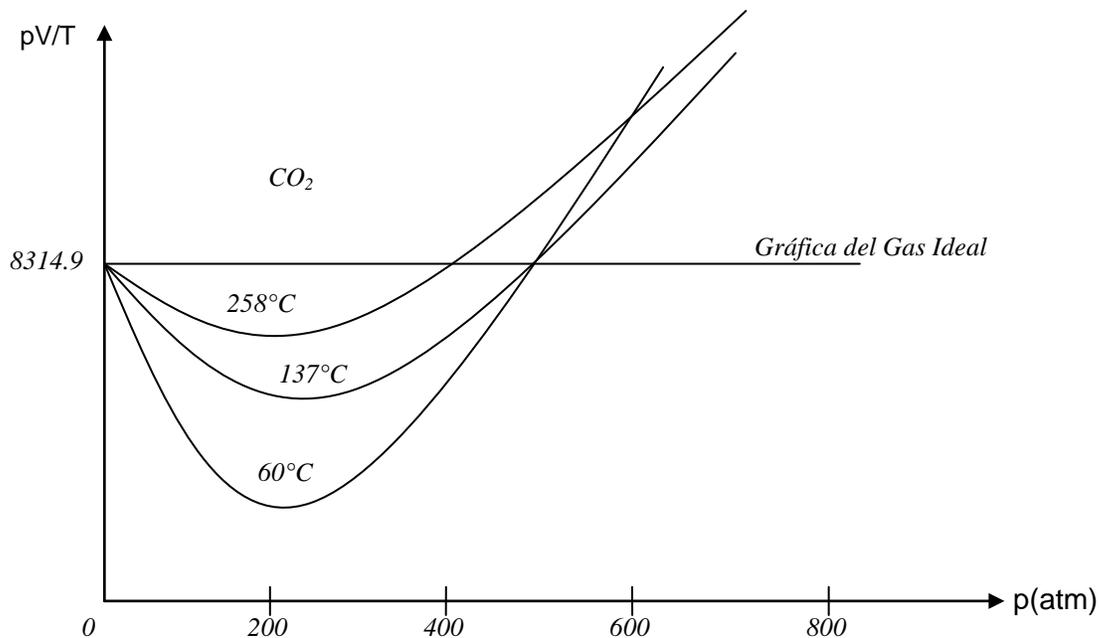
En este caso se dice que la “sustancia laborante” en el sistema es el gas y para mantener sencillas las matemáticas se considera que el gas es ideal.

#### Ecuación de estado de un gas ideal

Experimentando con gases reales encerrados en un cilindro provisto de un émbolo, se pueden realizar experimentos en los que se registren diversos valores de la presión, el volumen y la temperatura Kelvin del gas.

Cada uno de los valores del volumen  $V$  se puede dividir entre el número  $n$  de kilogramos mol confinados en el cilindro para tener valores del volumen específico molar del gas  $v = V/n$ .

Con la colección de datos correspondientes registrados experimentalmente para  $p$ ,  $v$  y  $T$  de un gas, se puede trazar una gráfica del cociente  $pv/T$  contra  $p$ , medida en atmósferas, para una temperatura  $T$  fija. La siguiente figura muestra la gráfica que se obtiene para el bióxido de carbono a 3 diferentes temperaturas (dadas en grados celsius).



La característica sorprendente de estas gráficas es que todas las curvas, extrapoladas al eje vertical, convergen hacia la misma ordenada independientemente de la temperatura.

Este comportamiento se observa en las curvas de todos los gases, no nada más para el  $\text{CO}_2$ . El valor de la ordenada es 8314.9 joules/kg-mol K. Como este valor es común para todos los gases, se le llama la constante universal de los gases. Y se denota con la letra R.

$$R = 8.3149 \times 10^3 \text{ J/kg mol K}$$

Con este valor se inventa un gas cuya gráfica  $\frac{pV}{T}$  contra p, sea una línea recta horizontal que corte al eje vertical en el valor de R. La ecuación de esta recta horizontal es:

$$\frac{pV}{T} = R, \text{ o también, } pV = RT \text{ y como } v = V/n. \text{ Resulta que } p \frac{v}{n} = RT, \text{ o bien, } pV = nRT.$$

Entonces la ecuación de estado  $F(p,V) = T$  para el gas toma la forma  $\frac{pV}{nR} = T$ . A este gas se le llama gas ideal y su ecuación de estado es:  $pV = nRT$ .

### Procesos con un gas ideal.

Vamos a estudiar 4 tipos de procesos reversibles que pueden realizarse con el gas contenido en un cilindro provisto de un pistón móvil, suponiendo que el gas cumple con la ecuación de estado de un gas ideal:

#### 1) proceso isobárico

Cuando se mantiene constante la presión del gas, el volumen es directamente proporcional a la temperatura (ley de Gay-Lussac):  $V = k_1 T$ .

## 2) proceso isotérmico

Cuando el gas se mantiene a temperatura constante, su presión es inversamente proporcional a su volumen (ley de Boyle):  $pV = k_2$ .

## 3) proceso isométrico

Cuando el volumen se mantiene constante, la presión es directamente proporcional a la temperatura (ley de Charles):  $p = k_3 T$ .

En las expresiones para las "leyes" de los gases,  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$  son constantes. Las tres "leyes" pueden resumirse en la llamada ecuación de estado del gas ideal:

$$pV = nRT$$

donde  $n$  es el número de kg-mol de gas contenidas en el cilindro y  $R$  es la constante de los gases. En el Sistema Internacional de Unidades :  $R = 8.3149 \times 10^3 \text{ J/kg-mol K}$ .

## 4) proceso adiabático

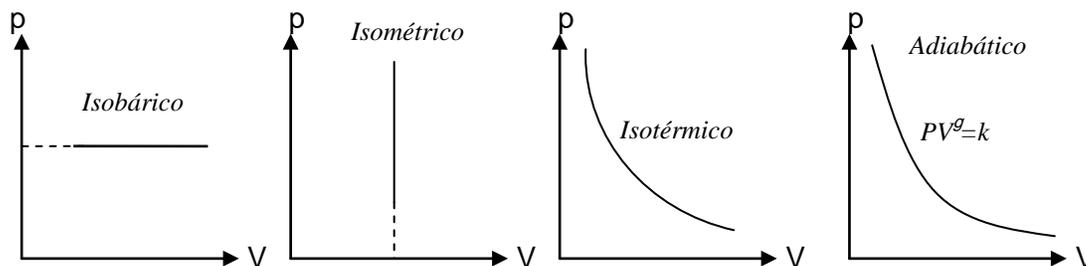
Un proceso adiabático reversible para un gas ideal se caracteriza porque la presión y el volumen varían de manera que la relación  $pV^g = K$  (constante) se cumple durante todo el proceso. El exponente  $g$  tiene un valor numérico que depende del tipo de gas: si es monoatómico o si es diatómico, por ejemplo. Para el *He* (helio) y el *Ar* (argón) que son monoatómicos  $g = 1.6$  mientras que para el  $O_2$  y el  $N_2$  que son diatómicos,  $g = 1.4$ . Para el  $CO_2$ , el vapor de agua (a  $200^\circ \text{C}$ ) y el  $CH_4$  (metano),  $g = 1.3$ .

Utilizando la relación entre la presión y el volumen  $pV^g = K$  y la ecuación de estado del gas  $pV = nRT$ , podemos encontrar la relación correspondiente entre la presión y la temperatura.

La ecuación de estado la podemos escribir como  $pV = K'T$  ( $K' = nR$ ). Si la elevamos a la  $g$  resulta,  $p^g V^g = (K')^g T^g$ , si esta expresión la dividimos entre  $pV^g = K$ , obtenemos que  $\frac{p^g V^g}{pV^g} = \frac{K'^g T^g}{K}$ . Simplificando  $p^{g-1} = K_1 T^g$ , donde  $K_1 = \frac{K'^g}{K}$ .

## Graficas en el plano $p$ - $V$ (presión-volumen)

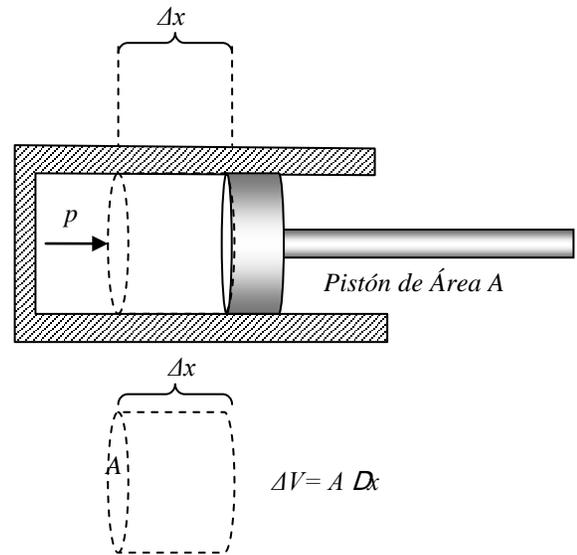
Cada uno de los procesos que estamos estudiando puede ser representado gráficamente en una gráfica presión-volumen ( $p$ - $V$ ), como se muestra en la siguiente figura.



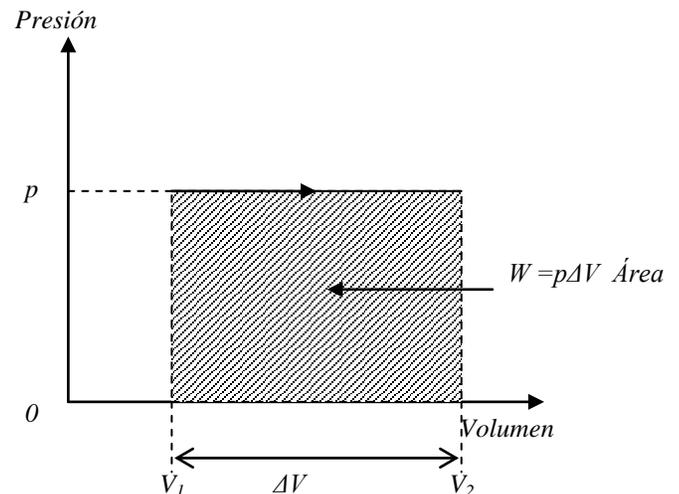
Las curvas de los procesos isotérmicos son una de las ramas de una hipérbola equilátera. A estas curvas les llamaremos isotermas. Las curvas de los procesos adiabáticos, a las que llamaremos adiabáticas, también tienen como asíntotas a los ejes coordenados pero su acercamiento al eje horizontal es más pronunciado que para las isotermas.

## Trabajo

Cuando un gas se expande contra el pistón del cilindro que lo contiene, realiza trabajo: ejerce una fuerza sobre el pistón y lo desplaza cierta distancia. Si el área del pistón es  $A$  y la presión que el gas ejerce sobre él es  $p$ , la fuerza  $F$  que el gas ejerce es  $F = pA$ . Si el pistón se desplaza una distancia  $Dx$  y la fuerza es constante (presión constante) el trabajo que realiza el gas durante la expansión es  $W = FDx = pADx$ . En el dibujo de la derecha se muestra que el producto del área  $A$  del pistón por el desplazamiento  $Dx$ , es igual al volumen de un cilindro con área de la base  $A$  y altura  $Dx$ . Puedes ver que dicho cilindro es, precisamente el aumento  $DV$  de volumen sufrido por el gas. En resumen, cuando un gas se expande de un volumen inicial  $V_1$  hasta un volumen  $V_2$  final, aumenta su volumen en la cantidad  $DV = (V_2 - V_1)$  y el trabajo realizado, a presión constante, es  $W = pA Dx = p DV = p (V_2 - V_1)$ .



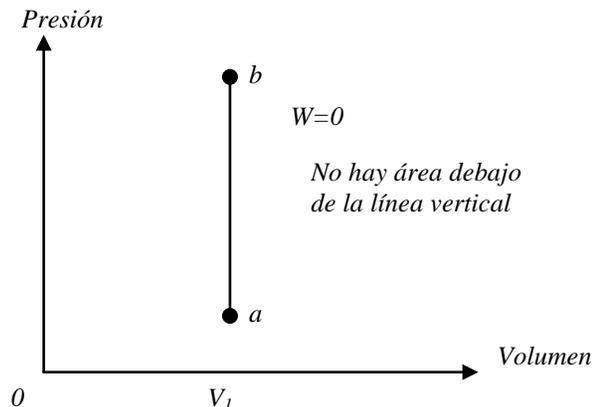
En el siguiente dibujo puedes ver que este trabajo está representado por el área de un rectángulo de base igual al aumento de volumen  $DV = (V_2 - V_1)$  y altura igual a la presión constante que el gas ejerció sobre el pistón durante la expansión. Si en lugar de una expansión el gas sufre una compresión que disminuye su volumen de  $V_1$  a  $V_2$ , la resta  $(V_2 - V_1)$  resulta negativa porque  $V_2$  menor que  $V_1$ . Esto introduce una convención de signos con respecto el trabajo. Si el trabajo es realizado por el gas (expansión) se considera positivo; si el trabajo es realizado sobre el gas (compresión), el trabajo es negativo.



En general para cualquier sistema termodinámico  $S$ , el trabajo es positivo si es realizado por  $S$ ; el trabajo es negativo si es realizado sobre  $S$ .

En un proceso isométrico (volumen constante), el pistón está trabado para impedir que el gas se expanda (o se comprima), en este caso, aunque el gas ejerza una fuerza, debida a la presión, sobre el pistón, no hay desplazamiento,  $Dx$  es cero, por consiguiente,  $DV$  es cero y el trabajo  $W = pDV = p(0) = 0$ .

Pero, además, bajo una línea vertical no hay área. En resumen en un proceso isométrico el trabajo es cero.



El verdadero problema de calcular el trabajo se presenta en los procesos en los que hay aumento o disminución de volumen del sistema con la presión variando, como en los isotérmicos y adiabáticos.

En resumen, para los 4 procesos considerados tenemos los siguientes resultados

$$\begin{aligned} \text{Isobárico: } W_{\text{isob}} &= p(V_f - V_i) & \text{Isotérmico: } W_{\text{isot}} &= nRT \ln(V_f / V_i) \\ \text{Isométrico: } W_{\text{isom}} &= 0 & \text{Adiabático: } W_{\text{adiab}} &= \frac{nR}{1 - \gamma} (T_f - T_i) \end{aligned}$$

Recuerda que las fórmulas para el trabajo isotérmico y adiabático solo son validas para un gas ideal y si tienes curiosidad, se necesita un poco de Cálculo Integral elemental para demostrarlas.

A manera de conclusión: para cualquier proceso reversible el área bajo la gráfica del proceso, en el plano  $p$ - $V$ , es igual al trabajo.

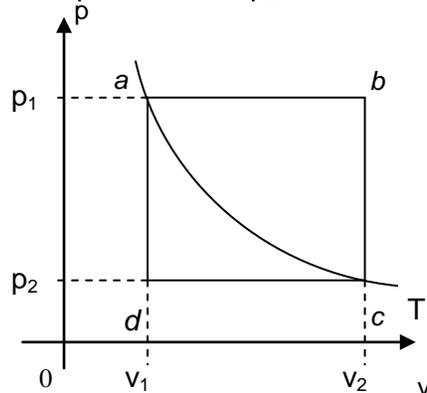
### Problemas para la reflexión

3.9. Un gas ideal sufre un proceso a presión constante, pasando de una temperatura inicial de  $T_i$  hasta una temperatura final  $T_f = 1.5T_i$ . Si el volumen inicial del gas era de  $0.6 \text{ m}^3$  ¿cuál es el volumen final?

3.10. Si en un proceso isotérmico, la presión de un gas se reduce a la tercera parte, ¿qué sucede con el volumen del gas?

3.11. Un gas ideal sufre un proceso isométrico desde una presión inicial  $p_1 = 1.5 \text{ atm}$ . hasta una presión final  $p_2 = 4.5 \text{ atm}$ . Si la temperatura inicial del gas es de  $0^\circ \text{ C}$  ¿qué temperatura final alcanza el gas?

3.12. En la siguiente figura hay 5 procesos  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$ ,  $da$  y  $ac$ , graficados en el plano  $p$ - $v$ , para un gas ideal. Si  $p_1 = 10 \text{ atm}$ ,  $p_2 = 4 \text{ atm}$ ,  $v_1 = 2.5 \text{ m}^3 / \text{kg-mol}$ . Calcula



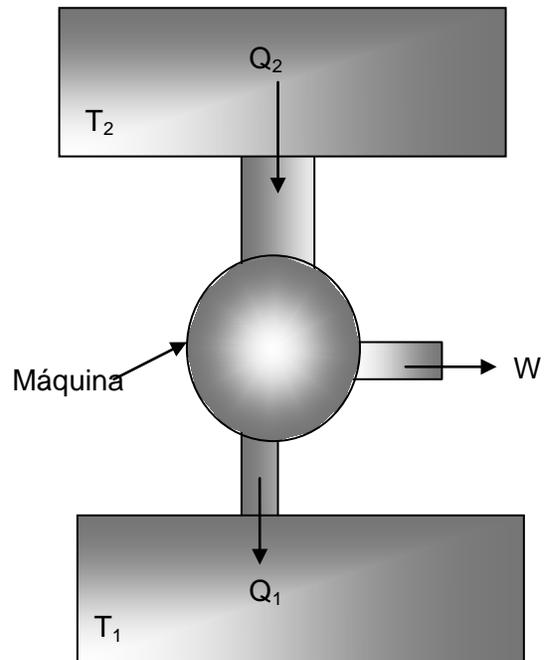
- La temperatura  $T$  en la isoterma  $ac$ .
- La temperatura del gas en los puntos  $b$  y  $d$ .
- El volumen específico molar  $v_2$ .
- El volumen real del gas en el punto  $d$  si son  $4 \text{ kg}$  de  $\text{O}_2$  con los que se realizan los procesos y suponiendo que se comporta como gas ideal.
- Los trabajos  $W_{ab}$  y  $W_{ad}$ .
- El trabajo en la expansión isotérmica  $ac$ .

### 3.7. La segunda ley de la termodinámica

Una vez que fue establecida la 1ª ley como el principio sagrado de la conservación de la energía, el ingeniero francés Sadi Carnot comenzó a estudiar las leyes que rigen la transformación de la energía de una forma a otra. En especial, la conversión de la energía calorífica en trabajo mediante el diseño de máquinas térmicas. Por experiencia sabemos que el calor siempre fluye de los cuerpos calientes a los fríos y nunca, espontáneamente, en sentido contrario. También sabemos que la energía mecánica puede transformarse completamente en calor (por la fricción, por ejemplo). De lo que se dio cuenta Carnot es que la transformación íntegra de calor en trabajo mecánico representa una imposibilidad física.

Carnot imaginaba al calor como una especie de fluido que, como el agua de una cascada, debía “descender” de una temperatura alta a una temperatura baja para poder sacarle provecho en la realización de trabajo mecánico.

El dibujo de la derecha muestra un esquema de una máquina térmica operando entre dos recipientes térmicos, uno a temperatura alta  $T_2$  y otro a temperatura baja  $T_1$ . Suponemos que la máquina opera mediante un proceso cíclico de manera que en cada ciclo absorbe una cantidad  $Q_2$  de calor del recipiente a temperatura alta, realiza una cantidad  $W$  de trabajo mecánico y libera una cantidad  $Q_1$  de calor al recipiente a baja temperatura.

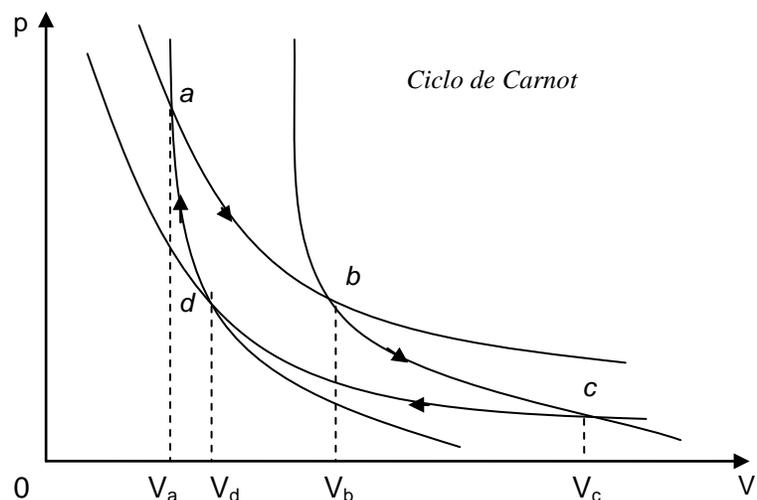


El proceso cíclico ideal más sencillo con el que puede operar una máquina es el llamado ciclo de Carnot, compuesto de 2 procesos isotérmicos y de 2 procesos adiabáticos. Si la sustancia laborante en la máquina es un gas ideal, el ciclo es el mostrado en la siguiente gráfica  $p$ - $V$ . La línea  $ab$  y la  $cd$  son isotermas y las líneas  $bc$  y  $da$  son adiabáticas.

Relacionados con las máquinas térmicas existen dos enunciados de la 2ª ley de la termodinámica.

El enunciado llamado de Kelvin-Planck de la 2ª ley de la termodinámica, asegura que:

“Toda transformación cíclica, cuyo único resultado final sea el de absorber calor de una fuente térmica a una temperatura dada y convertirlo íntegramente en trabajo, es imposible”.



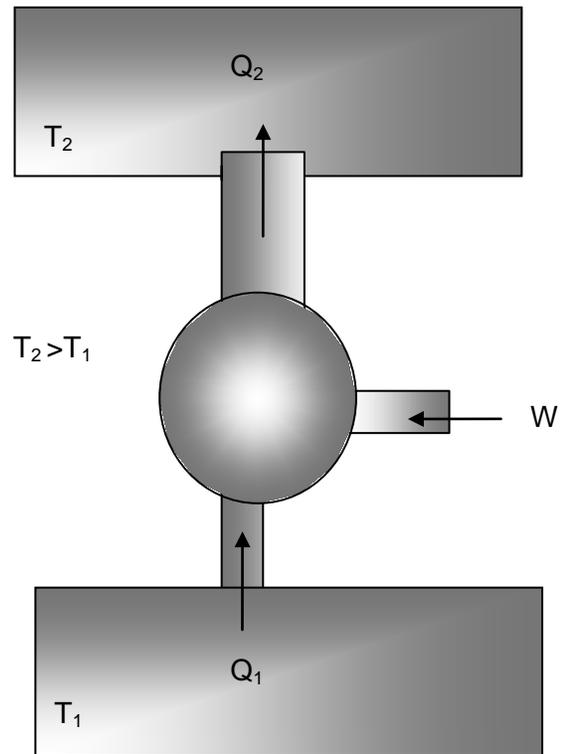
Otro enunciado, que puede probarse que es equivalente al anterior, es el enunciado de Clausius de la 2ª ley:

“Toda transformación cíclica cuyo único resultado final sea absorber una cantidad de calor  $Q$  de un recipiente térmico a baja temperatura y ceder la misma cantidad a otro recipiente térmico a alta temperatura, es imposible”.

En otras palabras el calor no puede pasar de un objeto frío a uno caliente, sin que otra cosa suceda.

Por ejemplo, si una máquina de Carnot (una que sigue el ciclo de Carnot) invierte los procesos (se puede porque son reversibles), se convierte en un refrigerador de Carnot, tal como se muestra en la figura de la derecha.

En cada ciclo, el refrigerador extrae la cantidad  $Q$  de calor del recipiente “frío” y entrega la cantidad  $Q$  de calor al recipiente “caliente”. Se logra que el calor fluya de lo frío a lo caliente.



Pero no es lo único que sucede, para lograrlo hay que suministrarle trabajo  $W$  al refrigerador, (el de tu casa lo tienes que enchufar al toma-corriente, y no te resulta gratis “bombear” calor del congelador frío a la cocina caliente).

El calor no puede fluir espontáneamente (es decir, sin que te cueste energía) de un objeto frío a uno caliente.

Ahora imagina tres procesos diferentes:

1) Dos bloques, uno caliente y otro frío (estado inicial), se ponen en contacto térmico. El conjunto está rodeado de paredes adiabáticas que los aíslan térmicamente de los alrededores. Después de cierto tiempo, los dos bloques están a la misma temperatura (estado final), el calor cedido por el caliente es igual al absorbido por el frío. Hay conservación de la energía, se cumple la primera ley.

2) Una rueda de bicicleta está girando (estado inicial). Después de cierto tiempo la rueda se detiene, pero la temperatura de la rueda y del eje se ha incrementado (estado final). El aumento en la energía interna de la rueda y del eje es igual a la energía cinética inicial con la que giraba la rueda. Se cumple la 1ª ley.

3) Tienes un recipiente cerrado dividido en dos partes por una pared intermedia. En una de las partes está encerrado un gas, la otra está vacía (estado inicial). Quitas la pared divisoria y el gas se difunde hacia la parte vacía hasta que ocupa todo el volumen disponible del recipiente (estado final). Se puede demostrar que la energía interna del sistema, antes y después de quitar la pared divisoria es la misma. Se cumple la 1ª Ley.

Considera que tienes una película en la que aparecen filmados los tres procesos. Para divertirte pasa la película de atrás para adelante. Los tres procesos aparecen invertidos en el tiempo.

1') Los dos bloques están a la misma temperatura (estado inicial, en la película pasada al revés). De repente uno de ellos se empieza a enfriar y el otro a calentar, hasta que uno queda a una temperatura mayor que la del otro (estado final). El calor perdido por el frío es igual al calor ganado por el caliente. La energía se conserva. Se cumple la 1ª ley.

2') La rueda de bicicleta está en reposo, de repente empieza a girar debido a que tanto ella como el eje se enfrían, la energía interna de la rueda y del eje disminuye y este cambio aparece como energía cinética de la rueda. Se cumple la 1ª ley.

3') Tienes un recipiente lleno de gas, de repente, todo el gas fluye hacia un solo lado y se acumula en una de las mitades de la caja. Alguien aprovecha la situación y mete una pared divisoria para que el gas permanezca confinado en un solo lado del recipiente. Como en 3) la energía interna antes y después es la misma. Se cumple la 1ª ley.

Es evidente que cualquiera que llegue de improviso y observe la película se dará cuenta que está pasada al revés, porque los procesos 1'), 2') y 3') no pueden suceder en la vida real.

En consecuencia debe de existir alguna otra ley de la naturaleza, diferente a la 1ª ley de la termodinámica e independiente, que explique la “dirección” real en el tiempo en la que deben suceder los procesos reales. Esta ley es precisamente la 2ª ley de la termodinámica.

Así como la 1ª ley encuentra que para cada sistema debe existir una función de estado llamada energía interna, la 2ª ley demuestra que debe existir otra función de estado llamada entropía, que a diferencia de la energía, no se conserva sino que, en los procesos naturales irreversibles, siempre aumenta.

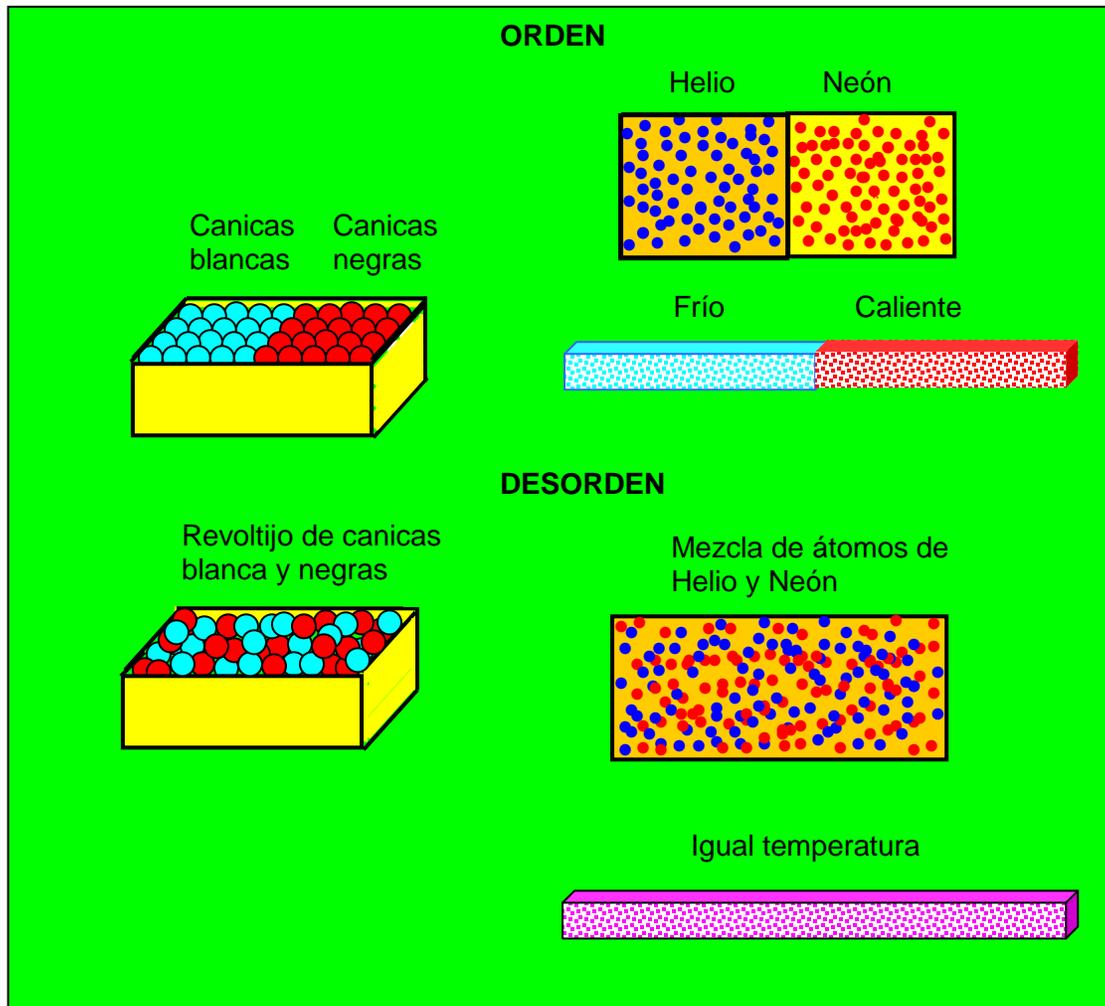
Lo que dice la 2ª ley en términos de la entropía es que siempre que un sistema interacciona con sus alrededores, cambia tanto la entropía del sistema como la de los alrededores y que la suma de los cambios siempre es una cantidad positiva que indica que la entropía del universo aumentó durante la interacción.

Si un sistema absorbe calor  $Q$  a una temperatura constante  $T$ , el cambio en la entropía sufrido por el sistema es  $\Delta S = \frac{Q}{T}$  (se utiliza la letra  $S$  para la entropía).

### **Orden y desorden**

En la figura que sigue se muestran esquemáticamente 3 sistemas “ordenados”:

- Una caja con puras canicas blancas ( o azules) a la izquierda y puras canicas negras ( o rojas) a la derecha.
- Un recipiente dividido por un pared intermedia de manera que en lado izquierdo hay puros átomos de helio y en el derecho puros átomos de neón.
- Y una barra metálica con el extremo izquierdo con moléculas “frías” y el derecho con moléculas “calientes” (el extremo izquierdo a menor temperatura que el derecho).



Quitando la pared intermedia del recipiente que mantiene a los gases separados se pasará espontáneamente del estado “ordenado” a un estado desordenado que consistirá en una mezcla de los átomos de los dos gases.

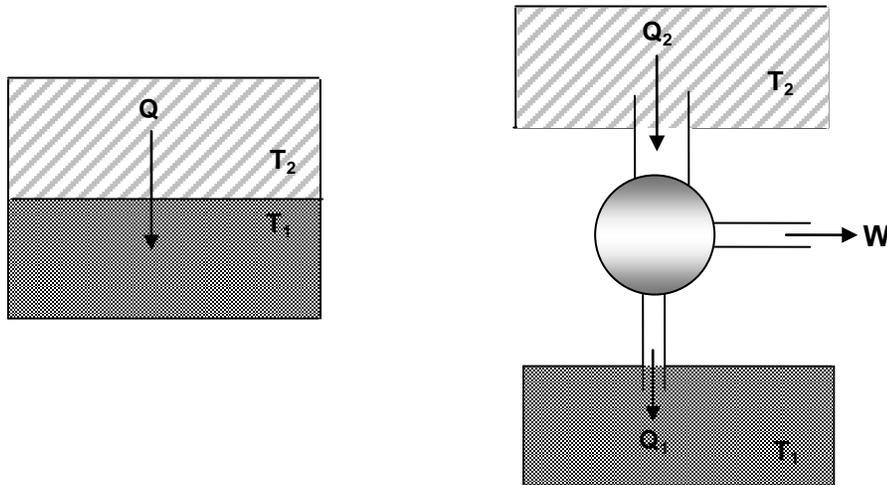
En el caso de la barra fría-caliente que de alguna manera es un estado “ordenado” se pasará espontáneamente a un estado “desordenado” en que toda la barra estará a la misma temperatura.

En los dos ejemplos anteriores la agitación térmica de las partículas que forman los materiales es la causante del paso del orden al desorden. Debido a esto, tapando la caja de canicas, la tenemos que sacudir para simular la agitación térmica y lo que obtendremos será un revoltijo de canicas blancas y negras.

Las probabilidades de que los gases vuelvan, aunque sea por un instante, a separarse espontáneamente, que un lado de la barra se caliente y el otro se enfríe espontáneamente o que la seguir agitando la caja, las canicas vuelvan a separarse en blancas de un lado y negras del otro son más pequeñas que las de los estados iniciales desordenados y como consecuencia la entropía de los estados ordenados es menor con respecto a la de los estados desordenados.

En otras palabras, mientras más orden menos entropía o mientras más desorden mayor entropía. En los procesos naturales espontáneos los sistemas pasan del orden al desorden y por ello la entropía siempre aumenta.

Si tenemos un recipiente térmico a la temperatura  $T_2$  y otro a una menor temperatura  $T_1$  y los ponemos en contacto térmico, al pasar calor del caliente al frío al final los dos estarán a la misma temperatura. La entropía del universo aumenta. Y es muy improbable que, espontáneamente, uno se enfríe y el otro se caliente para que se restaure la diferencia de temperaturas inicial.



Por otro lado, en su estado inicial, los podemos utilizar para que una máquina opere entre ellos y obtener trabajo. En un proceso real con la máquina, al final los dos estarán a la misma temperatura como en el caso del contacto térmico directo. En ambos casos la conservación de la energía es válida. No se pierde energía. Sin embargo, con el contacto térmico directo lo que se ha perdido es la oportunidad de aprovechar la diferencia de temperaturas para obtener trabajo útil. Una vez que los recipientes se encuentran a la misma temperatura la oportunidad de obtener trabajo se ha perdido para siempre.

De acuerdo con esta visión en el momento en que el universo, debido a los procesos en curso, alcanzara una temperatura uniforme, es decir, que en ninguna parte existieran ya diferencias de temperatura, en esa condición no podría llevarse a cabo ningún proceso. A esto es a lo que se le llama "muerte térmica del universo". Actualmente, con la teoría del big-bang y la de la creación de múltiples universos esta predicción se pone en duda.

### Problemas para la reflexión

3.13. Un bloque de 2 kg de cobre (calor específico =  $387 \text{ J/kg}\cdot\text{mol K}$ ) se pone en contacto térmico con un recipiente térmico a  $150^\circ \text{C}$ , para que su temperatura se eleve de  $40^\circ \text{C}$  a  $150^\circ \text{C}$ .

- ¿Cuánto calor absorbe el cobre?
- ¿Cuál es el cambio en la entropía del cobre?
- ¿Cuál es el cambio en la entropía del recipiente térmico?
- ¿Cuál es el cambio en la entropía del universo?

3.14. Cada vez que mezclas agua caliente con agua fría estás aumentando la entropía del universo o, lo que es casi lo mismo, cada vez que al café caliente le agregas leche fría, estás aumentando la entropía del universo. Calcula el aumento en la entropía del universo cuando 250 g de agua a  $80^\circ \text{C}$  se mezclan con 100 g de agua a  $8^\circ \text{C}$ .

### 3.8. Máquinas térmicas, eficiencia y ciclos

El ciclo de Carnot empieza en el punto *a*.

- 1) El gas se expande isotérmicamente aumentando su volumen de  $V_a$  a  $V_b$ . En este proceso es cuando el gas absorbe la cantidad de calor  $Q_2$ .
- 2) El gas se sigue expandiendo adiabáticamente, a expensas de su energía interna (no puede absorber ni ceder calor), desde el volumen  $V_b$  hasta el volumen  $V_c$ . En los dos procesos anteriores el sistema realiza trabajo (trabajo positivo).
- 3) El gas se comprime isotérmicamente desde el volumen  $V_c$  hasta el volumen  $V_d$ .
- 4) El gas se sigue comprimiendo, pero ahora adiabáticamente desde el volumen  $V_d$  hasta que recupera su volumen inicial  $V_a$ . En este proceso es cuando el sistema cede la cantidad  $Q_1$  de calor al recipiente térmico a baja temperatura. En 3) y 4) debe hacerse trabajo sobre el sistema (trabajo negativo). El trabajo total  $W_t$  es igual al área encerrada por el ciclo. Los cuatro procesos son reversibles.

La eficiencia de la máquina se define como el cociente de la energía entregada como trabajo entre la energía absorbida como calor en cada ciclo. Si llamamos  $h$  ( $\eta$ ) a la eficiencia, resulta que:

$$h = \frac{W_t}{Q_2}$$

Si la máquina realizara un trabajo  $W_t$  por ciclo tal que:  $W_t = (1/2)Q_2$ , la eficiencia sería  $1/2$ , lo que significaría que la mitad del calor absorbido se transformó en trabajo y diríamos que la eficiencia de la máquina es del  $(1/2) \cdot 100 = 50\%$ .

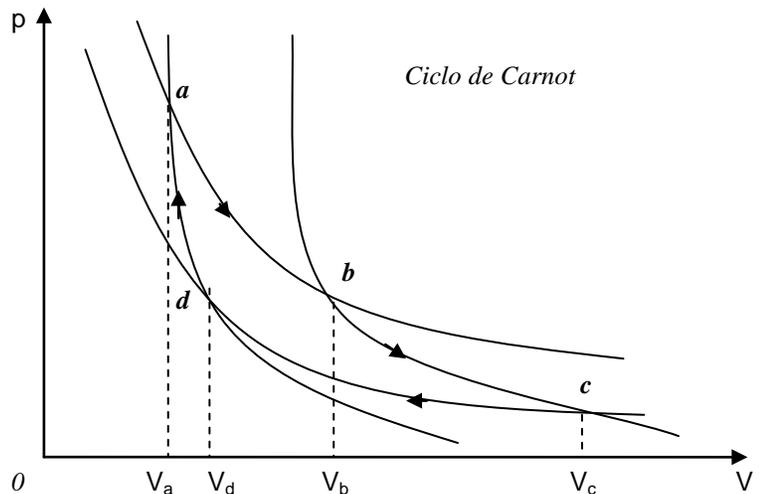
Como el proceso es cíclico, al final del ciclo, el sistema vuelve a su estado inicial, es decir, de una energía interna inicial  $U_a$  regresa a una energía interna final  $U_a$  igual a la inicial. El cambio  $\Delta U$  de la energía interna es cero y de acuerdo con la primera ley  $\Delta U = Q - W$ , y resulta  $Q = W$ , al terminar cada ciclo. Pero el calor neto absorbido por el sistema que puede cambiar la energía interna es  $Q_2 - Q_1$ , por lo tanto,  $W = Q_2 - Q_1$ , y la eficiencia queda:

$$h = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$$

De esta expresión podemos ver que para tener una eficiencia igual a 1 (100%), sería necesario que  $Q_1$  fuera cero. La 2ª ley de la termodinámica nos asegura que  $Q_1$  nunca, en ninguna circunstancia, puede ser cero. En un proceso cíclico, no se puede convertir todo el calor en trabajo.

Aplicando las propiedades de los procesos isotérmicos y adiabáticos del ciclo de Carnot (que  $pV = K$  para un isotérmico y que  $pV^\gamma = K'$  para un adiabático) se puede demostrar que la relación  $Q_1/Q_2$  entre los calores es igual a la relación  $T_1/T_2$  entre las temperaturas

de manera que la eficiencia  $h = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$ , se puede escribir como  $h = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$ .



### Problema para la reflexión

3.15. Una máquina de Carnot trabaja entre un recipiente térmico a  $500^{\circ}\text{C}$  y otro a  $200^{\circ}\text{C}$ . Si absorbe  $25000\text{ J}$  de calor del recipiente a  $500^{\circ}\text{C}$  en cada ciclo, ¿cuál es el trabajo que realiza en cada ciclo? ¿Cuánto calor entrega al recipiente a  $200^{\circ}\text{C}$ ?

### Conceptos clave

Equilibrio térmico y temperatura.

Calor y energía interna.

Dilatación térmica, calor específico, calor latente de fusión y vaporización.

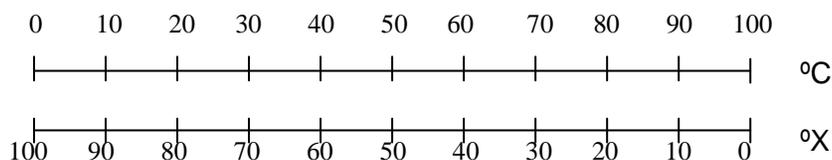
Proceso isobárico, isotérmico, isométrico y adiabático.

Entropía.

Eficiencia de una máquina térmica.

### Respuestas a los problemas de reflexión

3.1. No existe ningún impedimento para construir una escala de grados X. Las escalas termométricas tienen mucho de arbitrarias. Quizá no suena “lógico” que a mayor temperatura X se sienta más “frío” y a menor temperatura X se sienta más “calor”, sin embargo todo es cuestión de costumbre.



Tal como están acomodadas las escalas en la figura de arriba, nota que el número de la escala superior sumado con el correspondiente de la escala inferior siempre da 100. Es decir,  $^{\circ}\text{C} + ^{\circ}\text{X} = 100$  por lo tanto,  $36.5^{\circ}\text{C} + ^{\circ}\text{X} = 100$ , entonces:  
 $^{\circ}\text{X} = 100 - 36.5 = 63.5$

A la temperatura de  $36.5^{\circ}\text{C}$  le corresponde una temperatura de  $63.5^{\circ}\text{X}$ .

3.2. Si de la ecuación  $T_F = 9/5 T_C + 32$  despejamos la  $T_C$ , resulta ,  $T_C = (5/9)(T_F - 32)$ . Por lo tanto si la  $T_F = 572^{\circ}\text{F}$ , resulta que:

$$T_C = (5/9)(572 - 32) = (5/9)(540) = 5(60) = 300^{\circ}\text{C}.$$

3.3. Lo que demuestra la teoría cinética del gas ideal es que la energía de cada una de las partículas que lo componen tienen una energía (solo cinética):

$$E = (3/2) kT = u \text{ (energía interna/molécula)}$$

Es decir, la energía interna del gas ideal solo depende de la temperatura absoluta (esto lo demuestra la termodinámica sin necesidad de recurrir a un modelo de partículas) y es independiente de la masa de las partículas.

Si en el gas hay N moléculas, la energía interna es  $U = (3/2) NkT$ .

El aire es una mezcla de  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$ , sin embargo la teoría proporciona, independientemente de la masa, la energía cinética de cada molécula sea de nitrógeno o de oxígeno  $300\text{ K}$ .

$$E = 3/2 kT = 1.5 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300 = 6.21 \times 10^{-21} \text{ joules/molécula}$$

La densidad del aire es de  $1.29 \text{ kg/m}^3$ , de manera que un volumen de  $250 \text{ ml}$  ( $250 \text{ cm}^3 = 2.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ ) tiene una masa  $m = 1.29 \times 2.5 \times 10^{-4} \text{ kg} = 3.22 \times 10^{-4} \text{ kg}$ .

Tomando en cuenta el porcentaje de  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$  que forman la mezcla que llamamos "aire", resulta que la masa molecular promedio es de  $27 \text{ u.m.a.}$  lo cual significa que  $1 \text{ kg-mol}$  de aire es igual a  $27 \text{ kg}$  de aire. Entonces,  $3.22 \times 10^{-4} \text{ kg}$  ( $250 \text{ ml}$  de aire) son  $(3.22 / 27) \times 10^{-4} = 1.19 \times 10^{-5} \text{ kg-mol}$  de aire.

Y si  $1 \text{ kg-mol}$  tiene  $6.023 \times 10^{26}$  moléculas (número de Avogadro),  $1.19 \times 10^{-5} \text{ kg-mol}$  tendrán un número  $N = 6.023 \times 10^{26} \times 1.19 \times 10^{-5} = 7.16 \times 10^{21}$  de moléculas.

Finalmente la energía interna de los  $250 \text{ ml}$  de aire será

$$[6.21 \times 10^{-21} \text{ joules/molécula}] \times [7.16 \times 10^{21} \text{ moléculas}] = 44.4 \text{ joules.}$$

**3.4.** En el lenguaje cotidiano, cuando se dice que la leche está muy caliente, parece implicarse que guarda mucho calor, lo que a su vez se puede interpretar como un almacenamiento de calor por parte de la leche. Esta interpretación es errónea. El calor se hizo presente solo mientras la leche estaba en la estufa calentándose con la llama del gas. Como resultado de la transferencia de calor, la energía interna de la leche caliente es mayor que la de la leche fría.

Por otro lado, si alguien alega que sí hay calor almacenado en la leche porque si mete un dedo se quema, se le replica que en ese caso sí se aplica el concepto de calor porque hay transferencia de energía de la leche a alta temperatura al dedo a temperatura más baja.

**3.5.** a) En la trayectoria  $adb$ , el estado inicial y el estado final son los mismos que para la trayectoria  $acb$ , por lo tanto, el cambio en la energía interna es el mismo  $\Delta U = 50 \text{ J}$ . El trabajo ahora es  $W = 10 \text{ J}$  (positivo) y el calor debe ser  $Q = \Delta U + W = 50 \text{ J} + 10 \text{ J} = 60 \text{ J}$ . El signo positivo indica que es calor absorbido por el sistema.

b) Se invierten el estado inicial y final, ahora el estado final es "a" y el inicial es "b". Si al ir de "a" a "b" el cambio en la energía interna es  $\Delta U_{ab} = 50 \text{ J}$ , de regreso, el cambio en la energía interna es  $\Delta U_{ba} = -50 \text{ J}$  y el trabajo realizado sobre el sistema también es negativo  $W = -20 \text{ J}$ .

Por lo tanto,  $Q = \Delta U + W = -50 \text{ J} - 20 \text{ J} = -70 \text{ J}$ . El signo menos indica que es calor cedido a los alrededores.

c) En el proceso o trayectoria de "a" hacia "d",  $\Delta U_{ad} = U_d - U_a = 40 \text{ J} - 0 \text{ J} = 40 \text{ J}$ . Pero en el proceso  $adb$ , todo el trabajo de  $10 \text{ J}$  (inciso a) se hace en el proceso  $ad$ , porque en el proceso a volumen constante  $db$ , el trabajo es cero. Por lo tanto,  $Q_{ad} = \Delta U_{ad} + W_{ad} = 40 + 10 = 50 \text{ J}$ . Pero el calor total absorbido en  $adb$  fue de  $60 \text{ J}$  (inciso a), por lo tanto, en el proceso  $db$  se debieron absorber  $10 \text{ J}$ .

d) Como el estado inicial es “a” la energía interna inicial es  $U_i = U_a$  y como el estado final es el mismo estado “a”, la energía interna final del sistema es  $U_f = U_a$ , por lo tanto,  $\Delta U = U_f - U_i = U_a - U_a = 0$ .

**3.6.**  $S = S_0 (1 + \gamma \Delta\theta)$ , los datos son:  $S = 32^2 \text{ cm}^2$ ,  $S_0 = 30^2 \text{ cm}^2$  y  $\Delta\theta = 35^\circ - 20^\circ = 15^\circ = \Delta T = 15 \text{ K}$ .

$\gamma = (S - S_0) / S_0 \Delta T = (32^2 - 30^2) / (30^2)(15) = 124 / 13500 = 0.00918 \approx 0.0092 \text{ K}^{-1}$  (S es superficie en este caso, no es entropía).

**3.7.** Partiendo de que  $\beta = 3\alpha$  de manera que  $\alpha = (1/3)\beta = (1/3)(4.2 \times 10^{-5})$ . Por lo tanto,  $\alpha = 1.4 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ .

El aumento de longitud sería:  $\Delta L = L_0 \alpha \Delta T = 10 \times 1.4 \times 10^{-5} = 1.4 \times 10^{-4} \times 80 = 112 \times 10^{-4} = 1.12 \times 10^{-2} \text{ cm} = 0.01 \text{ cm}$ . Esto es consistente con el resultado del problema anterior.

**3.8.** Por principio de conservación de la energía. La energía que gana el agua es igual a la energía que pierden las municiones:

$$m c_{\text{agua}} (\theta_f - \theta_A) = - m c_M (\theta_f - \theta_M)$$

$$c_{\text{agua}} (\theta_f - \theta_A) = - c_M (\theta_f - \theta_M)$$

$$(1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}) (\theta_f - \theta_A) = - c_M (\theta_f - \theta_M)$$

$$\theta_f - \theta_A [\text{cal/g } ^\circ\text{C}] = c_M (\theta_M - \theta_f)$$

$$c_M (\theta_M - \theta_f) = \theta_f - \theta_A [\text{cal/g } ^\circ\text{C}]$$

$$c_M = \frac{\theta_f - \theta_A}{\theta_M - \theta_f} \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

**3.9.** Por la proporcionalidad directa, si la temperatura se multiplica por 1.5 también el volumen se debe multiplicar por 1.5. Si  $V_i = 0.6 \text{ m}^3$ , resulta  $V_f = 1.5 (0.6) = 0.9 \text{ m}^3$ .

**3.10.** Si la presión se multiplica por (1/3), o sea, se reduce a la tercera parte, por la proporcionalidad inversa, el volumen se debe multiplicar por el inverso multiplicativo de (1/3) es decir, se debe multiplicar por 3. En palabras, “si la presión se reduce a la tercera parte, el volumen se triplica”.

**3.11.**  $p_2/p_1 = 4.5/1.5 = 3$ , es decir, la presión final es el triple de la inicial. Por la proporcionalidad directa entre la presión y la temperatura, si la presión aumento 3 veces, la temperatura debe aumentar 3 veces también, la temperatura final debe ser el triple de la inicial. La temperatura kelvin inicial es de 273 K ( $0^\circ \text{ C}$ ), por lo tanto la temperatura final es de  $3 \times 273 = 819 \text{ K}$ .

**3.12.** Se proporciona como dato el volumen específico molar del gas  $v_1 = 2.5 \text{ m}^3/\text{kg-mol}$ , en este caso la ecuación de estado  $pV = nRT$ , se escribe  $p(V/n) = RT \rightarrow pv = RT$ , donde  $v = V/n$  es el volumen de cada kg-mol de gas.

a) En el estado "a" se cumple que  $T = p_1 v_1 / R = (10 \times 10^5)(2.5) / (8.3 \times 10^3) = 25 \times 10^5 / 8.3 \times 10^3$ . Finalmente,  $T = 3.012 \times 10^2 = 301.2 \text{ K}$ .

b) El proceso bc es isométrico, de manera que  $T_b = (p_b/p_a)T_a$  pero  $T_a = T$  (de la isoterma ac). Por lo tanto,  $T_b = (p_1/p_2)T = (10/4)(301.2) = 2.5 \times 301.2 = 753 \text{ K}$ .

El proceso ad es isométrico, de manera que  $T_d = (p_d/p_c)T_c$  pero  $T_c = T$  (de la isoterma ac). Por lo tanto,  $T_d = (p_2/p_1)T = (4/10)(301.2) = 0.4 \times 301.2 = 120.4 \text{ K}$ .

c) El proceso ac es isotérmico de manera que  $v_c = p_a v_a / p_c = p_1 v_1 / p_2 = (10 \times 2.5) / 4 = 6.25$ . Finalmente se tiene que  $v_2 = 6.25 \text{ m}^3/\text{kg-mol}$ .

d) La masa atómica del oxígeno = 16 u.m.a. por lo que 1 kg-mol de  $\text{O}_2 = 32 \text{ kg}$ . Entonces 4 kg del gas son  $1/8 \text{ kg-mol} = 0.125 \text{ kg-mol}$  y  $V_d = n v_d = n v_1 = 0.125 \times 2.5 = 0.312 \text{ m}^3$ .

e) El trabajo  $w_{ab}$  por cada kg- mol es igual al área del rectángulo que se forma debajo del segmento horizontal ab, la base es  $v_2 - v_1 = 6.25 - 2.5 = 3.75 \text{ m}^3/\text{kg-mol}$  y la altura es  $p_1 = 10 \times 10^5 \text{ Pa}$ . Por lo tanto,  $w_{ab} = 3.75 \times 10 \times 10^5 = 3.75 \times 10^6 \text{ joules/kg-mol}$ .

El trabajo total, atendiendo al resultado del inciso d),  $n = 1/8 \text{ kg-mol}$ , resulta ser que  $W_{ab} = (1/8)(3.75 \times 10^6) = 0.468 \times 10^6 = 4.68 \times 10^5 \text{ joules}$ .

El trabajo  $W_{ad} = 0$ , por ser un proceso a volumen constante.

f) El área bajo la curva ac es igual al trabajo por kg-mol. Realizando una integración se encuentra que  $w_{ac} = RT \ln(v_2/v_1) = 8.3 \times 10^3 \times 301.2 \times \ln(6.25/2.5) = 2.5 \times 10^6 \ln 2.5 = 2.5 \times 10^6 \times 0.9163 = 2.29 \times 10^6 \text{ J/kg-mol}$  y como el número de kg-mol es  $1/8$ , resulta que:  $W_{ac} = (1/8)(2.29 \times 10^6) = 2.86 \times 10^5 \text{ J}$ .

**3.13.** Para elevar la temperatura de los 2 kg de cobre de  $40^\circ$  a  $150^\circ \text{ C}$ , ( $\Delta\theta = 150 - 40 = 110^\circ \text{ C} = \Delta T = 110 \text{ K}$ ) el metal necesita absorber una cantidad de calor

a)  $Q = 2 \times 387 \times 110 = 85140 \text{ joules}$

b) El cambio en la entropía del cobre es:

$$\Delta S_{\text{Cu}} = (2 \text{ kg}) \times (387 \text{ J/kg K}) \times \ln[(150 + 273) / (40 + 273)] = 774 \times \ln(423/313) = 233.1 \text{ J/K}$$

c) El recipiente térmico cedió (al cobre) 85140 joules a la temperatura constante de 423 K ( $150^\circ \text{ C}$ ). El calor cedido es negativo por convención, por lo tanto, el cambio en la entropía del recipiente es:

$$\Delta S_{\text{R}} = Q/T = -85140/423 = -201.2 \text{ J/K}$$

d) Puesto que solamente el cobre y el recipiente están involucrados en el proceso, el cambio neto de la entropía (cambio en la entropía del universo) es

$$\Delta S_{\text{Universo}} = \Delta S_{\text{Cu}} + \Delta S_{\text{R}} = 233.1 + (-201.2) = 31.9 \text{ J/K}$$

Como el proceso de calentamiento fue irreversible, hubo un aumento en la entropía del universo.

Nota: Para calentar el cobre reversiblemente, se necesitaría un número grande de recipientes térmicos con diferencias de temperaturas, entre uno y otro, muy pequeñas, por ejemplo, 40°C, 40.5°C, 41°C, 41.5°C, 42°C, 42.5°C y así sucesivamente hasta que el último recipiente estuviera a 150°C. Al ir poniendo al cobre en contacto térmico con esta sucesión de recipientes, alcanzando el equilibrio térmico con cada uno de ellos, se iría calentando lentamente en forma aproximadamente reversible. El cambio en la entropía del cobre sería el mismo que calculamos 233.1J/K, pero ahora habría que sumar los cambios negativos en la entropía de la multitud de recipientes, de manera que  $\Delta S_{\text{Universo}} = \Delta S_{\text{Cu}} + \sum(-\Delta S_{\text{R}}) \approx 0$ , mientras más recipientes se utilizaran con temperaturas aumentando gradualmente desde 40°C a 150°C, más se aproximaría a cero el cambio en la entropía del universo.

**3.14.** Aplicando la formula:

$$\theta_f = (m_1\theta_1 + m_2\theta_2) / (m_1+m_2) = [(250 \times 80) + (100 \times 8)] / (250 + 100) = 20800/350 = 59.43^\circ\text{C}$$

La cantidad de calor  $Q_2$  que el agua caliente tiene que perder para enfriarse de 80°C a 59.43°C es  $Q_2 = -250(1)(80 - 59.43) = -5142.5$  calorías  $\approx -5143$  cal = -21497 J.

La cantidad de calor  $Q_1$  que el agua fría tiene que ganar para calentarse de 8°C a 59.43°C es  $Q_1 = 100(1)(59.43 - 8) = 5143$  calorías = 21497 J.

Ahora supongamos que en lugar de mezclarlos, ponemos los 250 g a 80°C y los 100 g a 8°C en contacto térmico con un recipiente térmico a 59.43° C. El calor neto que intercambia este recipiente es cero, porque absorbe 21497 J del agua caliente a la temperatura constante de 59.43°C (332.43 K) y cede 21497 J al agua fría a la misma temperatura constante, por lo tanto, el cambio en la entropía del recipiente es cero.

El cambio en la entropía de los 250 g (0.25 kg) al enfriarse 80°C (353 K) a 59.43°C (332.43 K) es  $\Delta S_2 = 0.25 \text{ Kg} \times 1000 \text{ J/kg K} \times \ln(332.43/353) = 250 \times \ln(0.9417) = 250 \times (-0.16004) = -15 \text{ J/K}$ .

El cambio en la entropía de los 100 g (0.1 kg) al calentarse de 8°C (281 K) a 59.43°C (332.43 K) es  $\Delta S_1 = 0.1 \text{ Kg} \times 1000 \text{ J/kg K} \times \ln(332.43/281) = 100 \times \ln(1.1830) = 100 \times (0.1681) = 16.8 \text{ J/K}$ .

El cambio en la entropía del universo es  $\Delta S_{\text{Universo}} = \Delta S_2 + \Delta S_1 = -15 + 16.8 = 1.8 \text{ J/K}$

**3.15.** La máquina trabaja entre las temperaturas  $T_1 = 473 \text{ K}$  y  $T_2 = 773 \text{ K}$  y su eficiencia es  $\eta = (773 - 473) / 773 = 300/773 = 0.388 = 38.8\%$

Esto significa que solo el 38.8% del calor absorbido del recipiente “caliente” se convierte en trabajo realizado en cada ciclo:  $W = 0.388 \times 25000 = 9700 \text{ J}$ .

El calor  $Q_1$  entregado en cada ciclo al recipiente “frío” es  $Q_1 = Q_2 - W = 25000 - 9700 = 15300 \text{ J}$ .

### Autoevaluación 3

INSTRUCCIONES. En unas hojas aparte realiza tu autoevaluación. Lee cuidadosamente cada una de las preguntas, intenta razonarlas, si es necesario realiza un diagrama que te ayude a visualizar el fenómeno del que se trata y analiza los datos proporcionados en el enunciado. Por favor, intenta escribir tus procedimientos completos, esto es muy útil para que puedas revisarlas y preguntarle tus dudas a alguien. Cuando hayas terminado compara con las respuestas que se encuentran al final de la Guía. Marca las respuestas correctas con una  $\checkmark$ , y obtén tu calificación, de la siguiente manera:

$$\text{Calificación} = (\text{No. de aciertos}) \frac{20}{15}$$

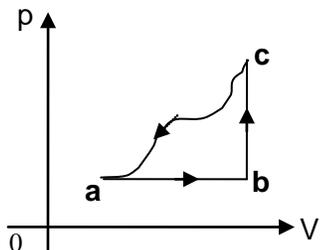
1. El enunciado: "Dos sistemas en equilibrio térmico con un tercer sistema se encuentran en equilibrio térmico entre sí", corresponde a:

- A) La ley cero de la termodinámica      C) La segunda ley de la termodinámica  
B) La primera ley de la termodinámica      D) El concepto de calor específico

2. Nuestra temperatura corporal normal es de  $36.5^\circ \text{C}$  ¿qué temperatura Fahrenheit (F) y Kelvin (K) le corresponde?

- A)  $F = 52.3^\circ$  y  $K = 263.5^\circ$       C)  $F = 97.7^\circ$  y  $K = 263.5^\circ$   
B)  $F = 52.3^\circ$  y  $K = 309.5^\circ$       D)  $F = 97.7^\circ$  y  $K = 309.5^\circ$

3. En la siguiente gráfica presión-volumen, cuando el sistema es llevado del estado **a** al estado **c** a lo largo de la trayectoria **abc**, el sistema absorbe 700 J de calor y realiza 200 J de trabajo. Luego es regresado del estado **c** al estado **a** mediante el proceso representado por la línea curva.



¿Cuál es el cambio en la energía interna del sistema en el proceso **ca** representado por la línea curva?

- A) 900 J      B) 500 J      C) -900 J      D) -500 J

4. Aquello que se intercambia entre dos sistemas en virtud exclusivamente de la diferencia de temperatura entre ellos, se le llama:

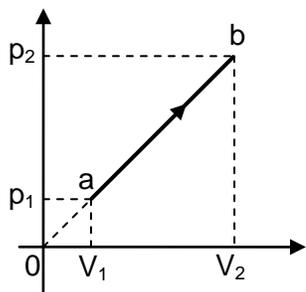
- A) Temperatura      C) Calor  
B) Presión      D) Densidad

5. Un inventor afirma haber desarrollado el prototipo de una máquina que funciona mediante un proceso cíclico y que, al término de cada ciclo, ha absorbido  $10.6 \times 10^7 \text{ J}$  de calor, liberado  $26.3 \times 10^6 \text{ J}$  al ambiente y realizado  $0.9 \times 10^8 \text{ J}$  de trabajo mecánico. ¿Invertirías dinero para comercializar la máquina?

- A) Si invertiría, porque la eficiencia de la máquina es del 85%  
B) Sí invertiría, porque la eficiencia es menor que la de una máquina de Carnot  
C) No invertiría, porque la máquina viola la 1ª ley de la termodinámica  
D) No invertiría, porque libera mucha energía al ambiente



11. En el proceso **ab** sufrido por  $n$  kg-mol de un gas ideal, mostrado en la siguiente gráfica, la presión varía en proporción directa con el volumen ( $p = kV$ ).



Si  $V_2 = 4V_1$  (el volumen se cuadruplica en el proceso), ¿qué relación existe entre la temperatura  $T_b$  del gas en el estado **b** y la temperatura  $T_a$  del gas en el estado **a** ?

- A)  $T_b = 16T_a$     B)  $T_b = 8T_a$     C)  $T_b = 4T_a$     D)  $T_b = 2T_a$

12. Si un gas ideal, a una temperatura de  $127^\circ \text{C}$ , se comprime isobáricamente de un volumen inicial  $V_i$  hasta un volumen final  $V_f = (1/3)V_i$ , ¿cuál es la temperatura final del gas?

- A) 48.7 K    C) 400 K  
B) 133.3 K    D) 1 200 K

13. Si en un proceso isotérmico, el volumen de un gas ideal se duplica, ¿qué sucede con la presión del gas?

- A) Permanece constante    C) Reduce a la mitad  
B) Incrementa al doble    D) Reduce a la cuarta parte

14. La ley que dice: “Cuando se mantiene constante el volumen, la presión absoluta de determinada cantidad de cualquier gas varía en relación directa con la temperatura termodinámica”, a quién corresponde

- A) Boyle    C) Celsius  
B) Gay-Lussac    D) Charles

15. Una máquina de Carnot, al término de cada ciclo, absorbe  $Q_2$  joules de calor, realiza  $W$  joules de trabajo y desecha  $Q_1$  joules de calor a los alrededores. La eficiencia de esta máquina es

- A)  $(Q_2 - Q_1)/Q_2$     C)  $W/(Q_2 + Q_1)$   
B)  $W/Q_1$     D)  $(Q_2 - Q_1)/Q_1$

# Capítulo IV

## Electromagnetismo

### Resumen

En este capítulo se revisan y aplican las leyes de Ohm y las leyes de Kirchhoff en el análisis y solución de circuitos eléctricos.

A continuación se estudia al campo magnético a través del experimento de Oersted, la ley de Biot y Savart; así como la fuerza magnética sobre una carga en movimiento, y entre conductores.

Se revisa el funcionamiento de motores y medidores eléctricos. Se finaliza con la descripción de la inducción electromagnética a través de la ley de Faraday y su aplicación al generador eléctrico y al transformador.

### Propósitos

Que el alumno logre:

- Aplicar las leyes de Ohm y Kirchhoff a circuitos eléctricos
- Aplicar las leyes de la fuerza magnética a conductores y cargas en movimiento
- Aplicar la ley de Faraday a generadores y transformadores.

### 4.1. Circuitos eléctricos resistivos

#### Corriente eléctrica. El voltaje o diferencia de potencial

Si vas al “super” por pilas para un aparato, tienes que comprar las suficientes para satisfacer el número de volts con el que funciona el aparato. A un teclado (pianito electrónico) le tienes que insertar 6 pilas “AA”, en “serie”, de 1.5 volts cada una, porque necesita 9 volts para funcionar correctamente.

Ahora se nos presenta el problema de resolver el misterio de ¿qué información nos proporciona saber el voltaje de una pila? ¿qué quiere decir que una pila sea de 1.5 volts? La respuesta es sencilla: significa la energía que suministrará la pila a la unidad de carga eléctrica. La unidad de carga es el coulomb ( $6.2 \times 10^{18}$  electrones) y la energía se puede medir en joules, entonces 1.5 volts significa que cada coulomb de carga recibirá de la pila 1.5 joules de energía cuando esté en uso.

Todas las pilas tienen terminales o bornes para conectarlas al circuito eléctrico al que van a suministrar energía con un fin práctico como encender un foco o hacer funcionar un motor. El botoncito en la parte superior de la pila es, por convención, el borne positivo y la base de la pila es el borne negativo. Es correcto decir que el voltaje de la pila es la diferencia de potencial entre los bornes de ella.

Entonces el voltaje es energía por cada unidad de carga:

$$\text{Voltaje} = \frac{\text{Energía}}{\text{Carga}}$$

De forma que las unidades se relacionan de la siguiente manera  $\text{Volt} = \frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}}$ ,

abreviando,  $V = \frac{J}{C}$ . Además de los volts de la pila, en un circuito tenemos una segunda variable importante a la que llamamos la “intensidad de corriente” o “la corriente” simplemente; la unidad en que se mide se llama “ampere” en honor al físico francés André

Marie Ampère (1775-1836). Ahora aclaremos otro misterio ¿qué significado tiene la intensidad de corriente? Significa qué tanta carga pasa por un punto del circuito en cada unidad de tiempo. Como la unidad de carga es el coulomb y la unidad de tiempo es el segundo (en el Sistema Internacional), resulta que:

$$\text{Intensidad de corriente} = \frac{\text{Carga}}{\text{Tiempo}}$$

Las unidades cumplen la relación  $\text{Ampere} = \frac{\text{Coulombs}}{\text{segundo}}$ , abreviando,  $A = \frac{C}{s}$ . Si por un punto determinado de un circuito hay una intensidad de corriente (o una corriente) de 1 ampere, significa que por dicho punto pasa 1 coulomb de carga en cada segundo, o sea,  $6.2 \cdot 10^{18}$  electrones en cada segundo.

### La Ley de Ohm

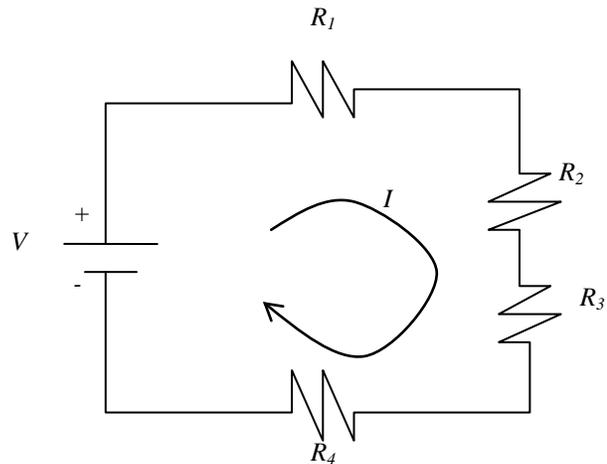
Tenemos tres cantidades que intervienen en un circuito eléctrico sencillo: el voltaje **V**, o diferencia de potencial de la pila o batería que se mide en volts, la corriente **i**, mejor dicho, la intensidad **I** de la corriente que circula que se mide en amperes y la resistencia eléctrica **R** que, en honor a George Simon Ohm, se mide en ohms. Todas son unidades del Sistema Internacional. La unidad “ohm” se abrevia con la letra  $\Omega$  (omega).

La expresión matemática que resume la ley de Ohm es:  **$I = V/R$**

### Resistores en serie y en paralelo. Resistencia equivalente

El siguiente esquema muestra 4 resistores de resistencias  $R_1, R_2, R_3$  y  $R_4$  conectados en serie a una batería de voltaje **V**. La batería “siente” conectada a ella una resistencia equivalente  $R_E$  de manera que suministra una corriente **I** al circuito que cumple con la ley de Ohm,  $I = \frac{V}{R_E}$ . El

efecto de  $R_E$  es el mismo que el efecto simultáneo de las 4 resistencias. La característica de este circuito es que por cada uno de los resistores pasa la misma corriente **I**.



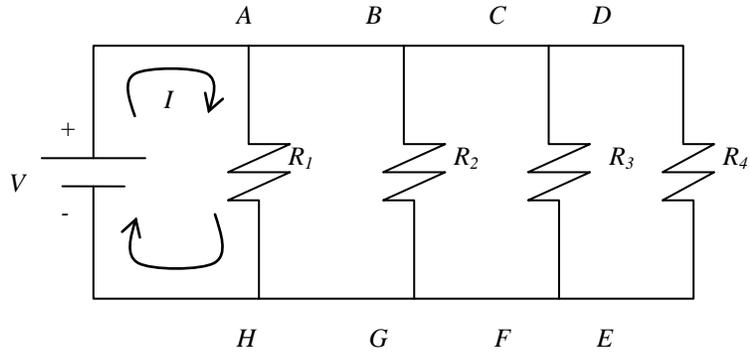
Donde  **$R_E = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$**

Y así como a la **V** de la batería se le llama la diferencia de potencial entre sus terminales, a  $V_1, V_2, V_3$  y  $V_4$  se les llama la diferencia de potencial entre los extremos del resistor respectivo. También, para indicar un consumo de energía por unidad de carga, se les llama la “caída de potencial” entre los extremos del resistor correspondiente. Y podemos decir que:

En un circuito de resistores en serie, la suma de las caídas de potencial en cada uno de ellos debe ser igual al voltaje suministrado por la batería.

El enunciado anterior no es otra cosa más que decir que la energía se conserva.

El siguiente esquema representa a los 4 resistores conectados en paralelo a la batería de voltaje  $V$ . Otra vez, la batería "siente" que el arreglo de resistores en paralelo le ofrece una resistencia equivalente  $R_E$  y de acuerdo con ella suministra una corriente  $I = \frac{V}{R_E}$ .



Donde  $1/R_E = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4$

En este circuito la corriente  $I$  se divide en cuatro corrientes  $I_1, I_2, I_3$  y  $I_4$  las cuales circulan por  $R_1, R_2, R_3$  y  $R_4$  respectivamente. Además,  $I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$ .

**Potencia eléctrica**

Un circuito simple, el cual consta de una pila de 1.5vots conectada a una resistencia de 3 ohms, se tiene que por él circula una corriente  $I = 0.5$  A (de acuerdo con la ley de Ohm). Como, idealmente, el resistor es la única parte del circuito que presenta resistencia, toda la energía suministrada por la pila a la carga eléctrica que circula se gasta como trabajo eléctrico que es lo que le permite a la corriente atravesar el resistor. Este trabajo (energía consumida) se manifiesta en forma de calor o de calor y luz como en el caso de un foco. El  $V = 1.5$  volts significa que la pila suministra 1.5 joules de energía a cada coulomb de carga.  $I = 0.5$  A significa que por cualquier punto el circuito pasan 0.5 coulombs en cada segundo. Es decir a los 0.5 C la pila les suministró 1.5 (J/C)  $\cdot$  0.5 C = 0.75 joules de energía, Esta es la energía que gasta la carga al pasar por el resistor, pero como están pasando 0.5 C en cada segundo, se están gastando 0.75 J de energía en cada segundo. Se dice entonces que el resistor está consumiendo una potencia de 0.75 watts.

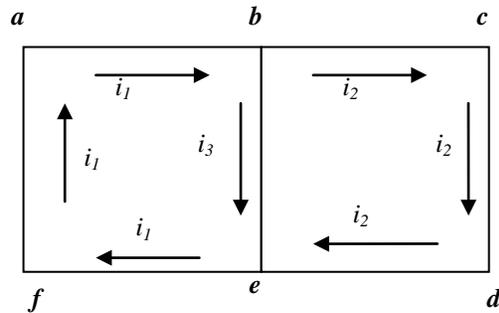
Por definición un Watt =  $\frac{\text{Joules}}{\text{segundo}}$ , abreviando las unidades,  $W = \frac{J}{s}$ . La manera de

calcular la potencia resulta, fijándonos en las unidades  $W = \frac{J}{s} = \frac{J}{C} \cdot \frac{C}{s}$ . Por lo tanto, la

potencia eléctrica es  $P = V I$ .

**Leyes de Kirchhoff**

Los circuitos anteriores son sencillos porque se pueden simplificar buscando conjuntos de resistores que estén en serie o en paralelo hasta encontrar una resistencia equivalente. En los circuitos complicados esto no se puede hacer porque hay resistores que ni están en serie ni están en paralelo, unos con respecto a otros, y además, porque, pueden estar insertadas en el circuito más de una pila o batería. Para estos casos se deben utilizar las dos leyes que llevan el nombre del físico alemán Gustav Kirchhoff (1824- 1887)



Considera el circuito mostrado arriba. En él se han suprimido resistores y baterías que pueden estar presentes en el circuito real. Es decir, entre los puntos **a** y **b** puede existir un resistor, una batería entre **b** y **c**, otro resistor entre **e** y **f**, otra batería entre **f** y **a**, etc. Se han marcado corrientes eléctricas cuyos sentidos de circulación son arbitrarios. Vamos a llamar “nodos” a los puntos **b** y **e** en donde se unen 3 o más alambres o elementos eléctricos. Debes notar que una vez que se han escogido los sentidos de las corrientes se debe cumplir que *la suma de las corrientes que llegan a un nodo debe ser igual a la suma de las corrientes que salen de él. Esta es la 1ª regla de Kirchhoff.* Por ejemplo, al nodo **f** llega  $i_1$  y sale  $i_1$  y se cumple  $i_1 = i_1$ , al nodo **b** llega  $i_1$  y salen  $i_2$  e  $i_3$  y se debe cumplir  $i_1 = i_2 + i_3$ , al nodo **e** llegan  $i_2$  e  $i_3$  y sale  $i_1$  y, otra vez, se debe cumplir que  $i_2 + i_3 = i_1$ .

La 2ª ley de Kirchhoff considera la suma de las diferencias de potencial en cualquier trayectoria cerrada o malla del circuito. Por ejemplo, en la trayectoria cerrada **abefa** llamaremos  $V_{ab}$ ,  $V_{be}$ ,  $V_{ef}$  y  $V_{fa}$  a las diferencias de potencial entre los nodos correspondientes y debe cumplirse que la suma algebraica sea igual a cero:

$$V_{ab} + V_{be} + V_{ef} + V_{fa} = 0$$

Cuando se trata de circuitos con resistencias y baterías, esta segunda regla puede escribirse como: *suma de las caídas de potencial por resistencia = suma de las subidas de potencial por baterías.*

### Problemas para la reflexión

4.1. Si por un circuito formado por un alambre conectado a las terminales de una pila de 1.5 V circula una corriente de 0.2 A, ¿cuánta energía proporciona la pila cada minuto?

4.2. Utilizando la ley de Ohm, en un solo diagrama, representa la gráfica de la variación de la intensidad de corriente con el voltaje para 3 alambres. Uno con resistencia de 0.5 W, otro de 1 W y un tercero de 2 W. Geométricamente, ¿qué característica de las gráficas representa a la resistencia?

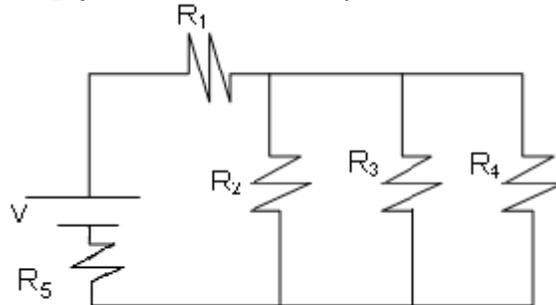
4.3. ¿Qué sucede con la corriente en un circuito si en lugar de un alambre de resistencia R se utiliza otro de triple resistencia, sin cambiar la pila?

4.4. ¿Cuál es la expresión para la potencia eléctrica en términos de la resistencia R del resistor y de la corriente I que circula?

4.5. Tres resistores con resistencias  $R_1 = 0.5 \text{ W}$ ,  $R_2 = 3 \text{ W}$  y  $R_3 = 2.5 \text{ W}$ , respectivamente, están conectados en serie a una batería que suministra 1.5 volts, ¿Cuál es la corriente que circula por el circuito?

4.6. Tres resistores de resistencias  $R_1 = 10 \text{ W}$ ,  $R_2 = 4 \text{ W}$  y  $R_3 = 20\text{W}$ , respectivamente están conectados en paralelo a una batería de 6 V. ¿Cuál es la resistencia equivalente del circuito? De acuerdo con el valor obtenido para la  $R_E$  ¿qué corriente total  $I$  debe suministrar la batería? Aplicando la ley de Ohm a cada resistor ¿qué corrientes  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  circulan, respectivamente, por cada uno de ellos? ¿Qué relación encuentras entre la  $I$  total calculada y los valores de  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ ?

4.7. En el circuito mostrado en la figura el voltaje de la batería es de 15 volts y los resistores tienen resistencias  $R_1 = 5 \text{ W}$ ,  $R_2 = 6\text{W}$ ,  $R_3 = 4\text{W}$ ,  $R_4 = 12\text{W}$  y  $R_5 = 0.5\text{W}$ , Calcula la resistencia equivalente  $R_E$  y la corriente total  $I$  que suministra la batería.



## 4.2. Campo magnético

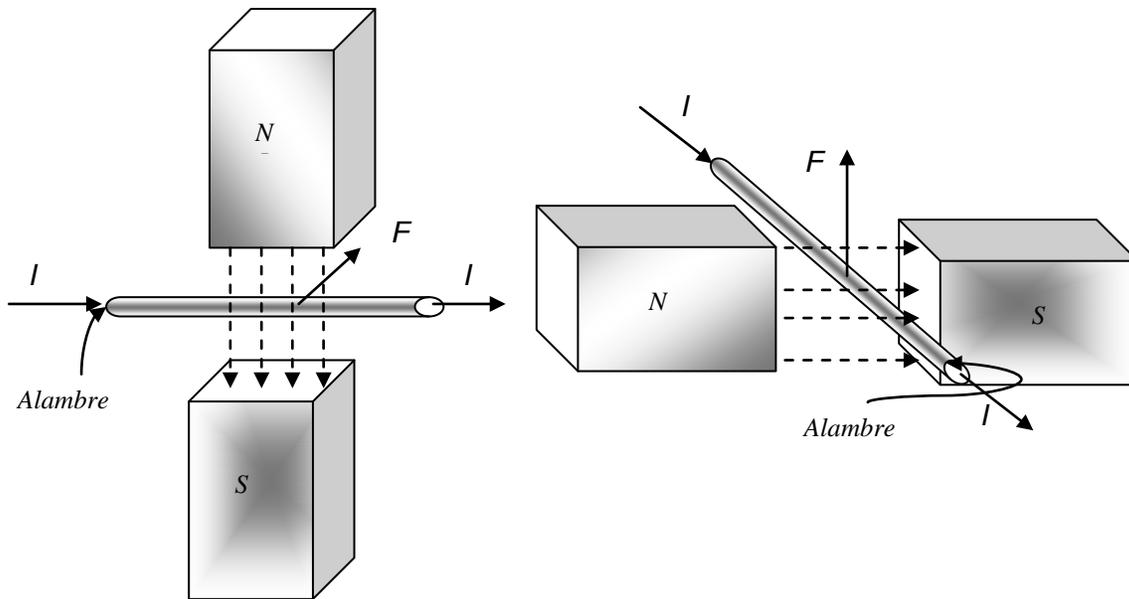
### Experimento de Oersted

Una vez descubiertos los hechos empíricos más simples sobre la electricidad y el magnetismo, el hecho notorio de que en electricidad existen cargas que se repelen y cargas que se atraen y que en magnetismo haya polos que se repelen y polos que se atraen, hizo sospechar a muchos investigadores que debía existir una relación entre los dos tipos de fenómenos.

Hans Christian Oersted (1777-1851) mediante una serie de experimentos demostró que la aguja magnética de una brújula estaba sujeta a un patrón sistemático de fuerzas en la presencia de un alambre que condujera una corriente eléctrica.

Los resultados de Oersted implican que una corriente eléctrica produce un campo magnético.

El mismo Oersted se dio cuenta que de alguna manera la 3ª Ley de Newton tenía que estar presente en sus experimentos sobre electromagnetismo y dijo que: “como un cuerpo no puede poner a otro en movimiento sin moverse él a su vez (cuando está capacitado para hacerlo) es fácil predecir que el alambre portador de corriente debe ser movido por el imán”. Es decir, cuando se invierten los papeles en el experimento de Oersted, un alambre portador de corriente fácilmente movable debe deflectarse (doblarse) cuando es colocado en la vecindad de un imán fijo.



Como la fuerza no actúa a lo largo de la línea que une el polo del imán con el alambre, no es obvio saber cuál debe ser la dirección de la fuerza sobre el alambre. Los siguientes dibujos muestran, cualitativamente, los resultados experimentales sobre la fuerza que un campo magnético (un imán) ejerce sobre cargas en movimiento (corriente eléctrica). Puedes imaginar que un imán de barra se dobló para que el polo norte y el sur se encontraran frente a frente. Por convención, el campo magnético del imán tiene la dirección y sentido que va del polo norte al polo sur. Se dice que las líneas (imaginarias) del campo salen por el polo norte y penetran por el polo sur.

Los experimentos demuestran que, para un mismo imán, la magnitud  $F$  de la fuerza es proporcional a la corriente  $I$  y a la longitud  $L$ , es  $F \propto IL$ .

Si se mantienen  $I$  y  $L$  constantes y se cambia la distancia entre los polos del imán o se prueba con diferentes imanes, se encuentra que el valor de  $F$  cambia, indicando que de alguna forma se alteró el campo que ejerce la fuerza. Esto sugiere introducir una constante de proporcionalidad  $B$  que indique la magnitud del campo magnético, es decir, escribimos que:  $F = BIL$  .....( $L$  perpendicular al campo)

a  $B$  se le llama "inducción magnética" o "densidad de flujo magnético". La expresión nos sirve para definir las unidades en que se debe medir  $B$ . Despejando obtenemos:

$$B = \frac{F}{IL}$$

en el Sistema Internacional  $F$  se mide en newtons,  $I$  se mide en amperes y  $L$  se mide en metros, de manera que las unidades de  $B$  serán:

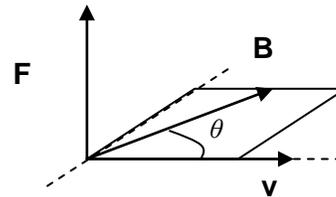
$$B = \frac{\text{newton}}{\text{ampere (metro)}} = \frac{\text{N}}{\text{Am}}. \text{ A esta unidad se le llama tesla.}$$

Si la porción  $L$  de alambre forma cierto ángulo  $\theta$  con la dirección del campo, entonces los experimentos indican que la magnitud de la fuerza sobre dicha porción de alambre es  $F = BIL \sin\theta$ . Esto significa que si la porción de alambre está alineada con las líneas del campo, el ángulo  $\theta = 0^\circ$  ( $\sin 0^\circ = 0$ ) y la fuerza es nula. Si la porción es perpendicular a las líneas del campo, entonces  $\theta = 90^\circ$  ( $\sin 90^\circ = 1$ ) y la magnitud de la fuerza tiene su valor máximo  $F = BIL$ .

### Fuerza magnética sobre una carga en movimiento

El experimento Oersted demuestra que un campo magnético sólo ejerce fuerzas sobre cargas en movimiento. Sin embargo dichas cargas no necesariamente deben ser los electrones de conducción dentro de un alambre. En un tubo de rayos catódicos se puede obtener un chorro de electrones viajando que responden también a la acción de un campo magnético. Si en las cercanías del tubo se coloca un imán se comprueba que el chorro se desvía de su dirección original indicando que sobre los electrones actuó una fuerza debida al imán. La magnitud de la fuerza es directamente proporcional al producto de la magnitud del vector  $B$  de inducción magnética del campo del imán por la magnitud de la velocidad de la partícula cargada, de la magnitud de su carga y del seno del ángulo  $\theta$  que la velocidad forma con la dirección del campo (la dirección del vector  $B$ ). A esta fuerza se le llama fuerza de Lorentz.

$$F = qvB \text{sen}\theta$$



La fuerza siempre es perpendicular al plano que determinan los vectores  $v$  y  $B$ , el sentido está determinado por la regla de la mano derecha cuando la carga es positiva. Si el pulgar indica la dirección de la velocidad y los otros cuatro dedos extendidos indican la dirección del campo, la fuerza tiene un sentido que sale de la palma de la mano. Como se indica en la figura.

Si la carga es negativa lo más fácil es determinar el sentido como si fuera positiva y luego invertir el sentido. A esta fuerza se le llama fuerza de Lorentz.

### Ley de Biot y Savart

Biot y Savart descubrieron que cuando una espira conduce una corriente  $I$ , produce un campo magnético, en el centro geométrico de la espira, el cual es perpendicular al plano que contiene a la espira y cuya magnitud es directamente proporcional a  $I$  e inversamente proporcional al radio  $R$  de la espira.

$$B \propto I/R$$

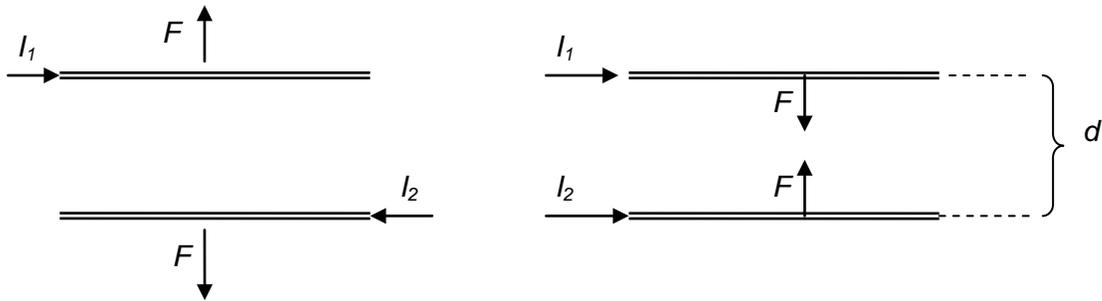
Por otra parte el campo magnético que produce una corriente que circula por un alambre recto muy largo, está formado por vectores tangentes a circunferencias concéntricas al alambre, que se encuentran en planos perpendiculares al alambre. El campo magnético, en un punto cercano al alambre, es directamente proporcional a la corriente que circula en el alambre e inversamente proporcional a la distancia entre el punto en cuestión y el alambre.

$$B \propto I/d$$

### Fuerza sobre conductores

Puesto que las corrientes eléctricas producen campos magnéticos y los campos magnéticos ejercen fuerzas sobre las corrientes es natural suponer que, si tenemos dos alambres que conducen corrientes, el campo magnético producido por uno de ellos ejerza una fuerza sobre la corriente en el otro y viceversa, con el resultado neto de la aparición de una fuerza mutua entre los dos alambres.

André Marie Ampere realizó una prueba experimental sobre esta suposición. Los resultados de la prueba se esquematizan en la siguiente figura:



Si las corrientes tienen el mismo sentido aparece una fuerza de atracción entre los alambres; si son de sentidos contrarios la fuerza es de repulsión

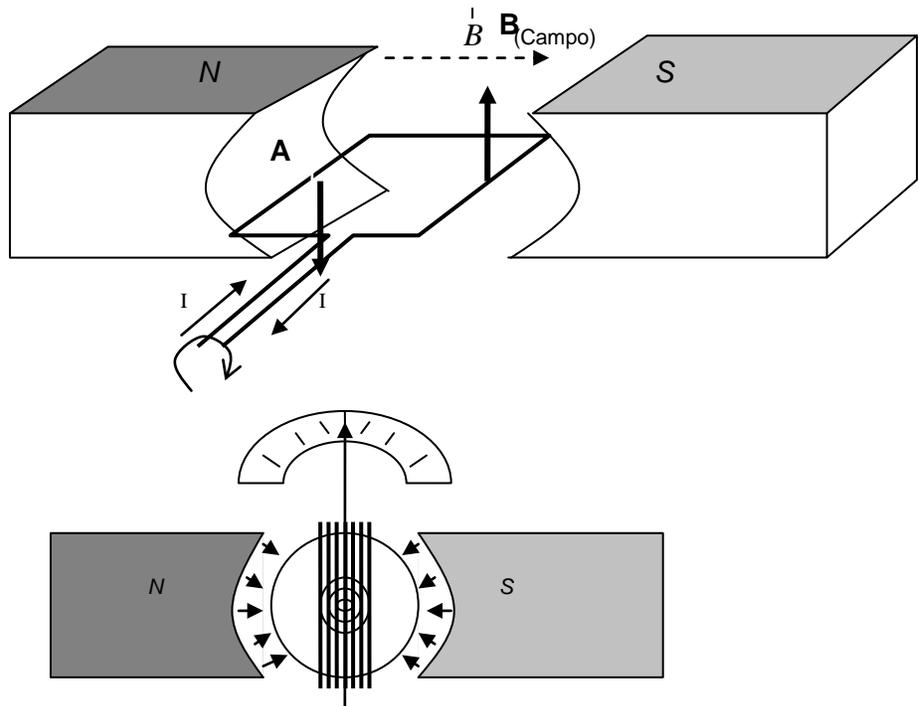
Por medio de una balanza de corrientes, Ampere pudo cuantificar la magnitud de la fuerza  $F$  por unidad de longitud entre dos alambres de longitud  $L$ . El resultado es que dicha fuerza es proporcional al producto de las intensidades  $I_1$  e  $I_2$  de las corrientes e inversamente proporcional a la distancia  $d$  de separación entre los alambres:

$$\frac{F}{L} \mu \frac{I_2 I_1}{d}$$

### Funcionamiento de motores y medidores eléctricos

Casi todos los dispositivos que miden la intensidad de una corriente eléctrica están basados en la fuerza que experimenta un alambre colocado en un campo magnético. Uno de lo más sencillo y sensible es el llamado "galvanómetro". La siguiente figura esquematiza el principio en el que basa su funcionamiento. Una espira rectangular de alambre se encuentra colocada entre los polos de un imán permanente. Al circular una corriente de cargas positivas por la espira en el sentido indicado, se puede deducir, aplicando la regla de la mano derecha que en el punto **A** habrá una fuerza dirigida hacia abajo y que en el punto **B** la fuerza estará dirigida hacia arriba. Este par de fuerzas hará que la espira gire.

Si se coloca un resorte espiral que se oponga al giro, la espira girará hasta que la torca debida a la interacción entre el imán y la corriente se equilibre con la torca opuesta ejercida por el resorte. Si a la espira se adapta una aguja indicadora y una escala, como el ángulo de deflexión de la espira es proporcional a la magnitud de las fuerzas del par que la hace girar y estas son proporcionales a la intensidad de la

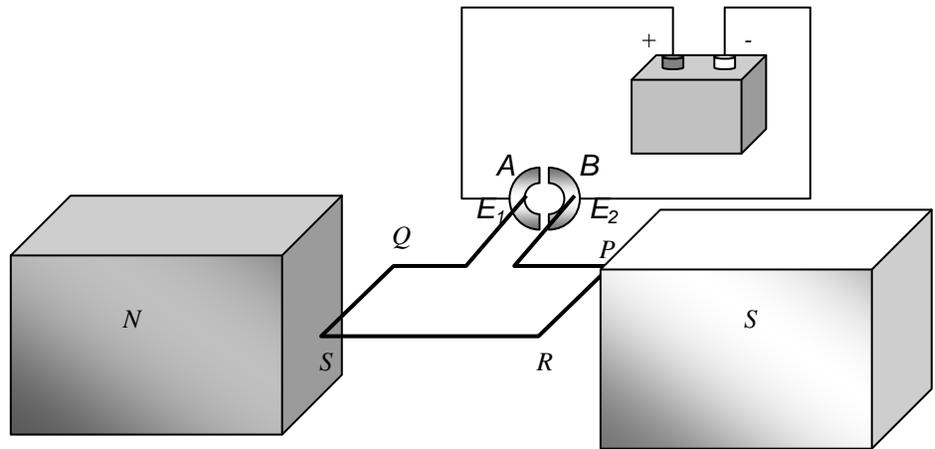


corriente, el dispositivo se puede calibrar para que la deflexión por medio de la aguja marque el valor de la corriente que circula por la espira. En el medidor real, en lugar de una espira se utiliza una bobina rectangular, imanes con polos de caras curvas y un núcleo de hierro dulce para lograr un campo magnético radial uniforme. Si el aparato mide solamente corrientes muy pequeñas del orden de miliamperes se le llama galvanómetro, si mide corrientes hasta del orden de amperes se le llama amperímetro. Si la escala del aparato está graduada para medir diferencias de potencial en función de la corriente, entonces se llama voltímetro.

Otra manera de utilizar el giro de una espira o una bobina (muchas espiras) que conduce corriente dentro de un campo magnético es en la construcción de motores. En este caso el campo magnético es proporcionado por medio de un electroimán que funciona con la misma corriente que suministra la fuente que alimenta al motor. La bobina está montada en cojinetes para que pueda girar libremente. Cuando circula corriente por la bobina, ésta gira hasta que las fuerzas del par quedan colineal y apuntadas en sentidos contrarios.

Debido a la inercia del movimiento, la bobina puede pasarse de este punto de equilibrio. Si se sigue, sin que se altere el sentido de la corriente, el par de fuerzas se invierte y la regresa a la posición de equilibrio. El truco que se debe hacer para que la espira siga girando consiste en lograr que las conexiones a la fuente (batería) se inviertan en el momento que la bobina pasa por la posición de equilibrio para que el par de fuerzas no se invierta y siga haciéndola girar en el sentido original. (Observa la figura).

De esta manera la bobina puede girar continuamente. El anillo seccionado en dos segmentos A y B, se llama conmutador. El conmutador hace contacto que las escobillas  $E_1$  y  $E_2$  conectadas a la fuente de corriente. Este es un motor de corriente directa.



### Problemas para la reflexión

4.8. Investiga y dibuja el campo magnético producido por un alambre recto muy largo que conduce una corriente eléctrica. Utiliza la regla de la mano derecha para saber la dirección del campo.

4.9. Completa el siguiente enunciado: Un campo magnético tiene una inducción magnética de  $1 \text{ N/A}\cdot\text{m}$ , si sobre un alambre de \_\_\_\_\_ de longitud, por el que circula una corriente de \_\_\_\_\_, ejerce una fuerza de magnitud igual a \_\_\_\_\_.

4.10. Entre dos alambres paralelos por los que circulan corrientes  $I_1$  e  $I_2$ , existe una fuerza de atracción por unidad de longitud, de magnitud igual a  $0.5 \cdot 10^{-7}$  newtons/metro, cuando están separados una distancia  $d$ . ¿Cuál será el valor de la magnitud de la fuerza por unidad de longitud, si  $I_1$  se triplica,  $I_2$  se duplica y  $d$  se reduce a la mitad?

4.11. Investiga de qué manera se intercalan en un circuito los amperímetros y los voltímetros ¿en serie o en paralelo?

## 4.3 Inducción electromagnética

### Ley de Faraday

Al fenómeno de la generación de una corriente eléctrica mediante un campo magnético se le llama inducción electromagnética y a la corriente generada se le llama corriente inducida.

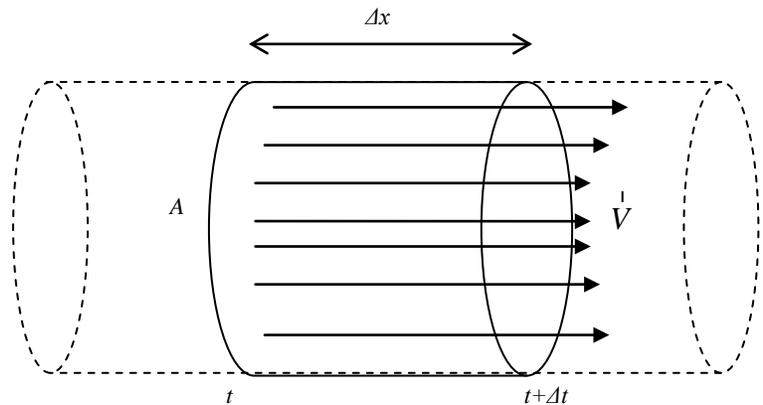
### Flujo magnético

La explicación de los fenómenos electromagnéticos tiene una parte matemática que utiliza conceptos muy abstractos tales como “el flujo de un vector”. Para entender el concepto de flujo de un vector, pensemos en agua que circula por un tubo.

Cuando por una cañería circula agua, podemos hablar del flujo del agua a través del área transversal de los tubos de la cañería. Si el agua circula con una velocidad (vector) de magnitud  $V$ , en un tiempo  $\Delta t$ , el agua habrá avanzado una distancia  $\Delta x = V\Delta t$  por el tubo. Si  $A$  es el área transversal del tubo, la cantidad de agua que pasa por cierto punto del tubo, en donde atraviesa el área  $A$ , será igual al volumen de un cilindro de altura  $\Delta x$  y base de área  $A$ , es decir, el volumen de agua será  $Vol. = A \Delta x = A V \Delta t = (VA) \Delta t$ .

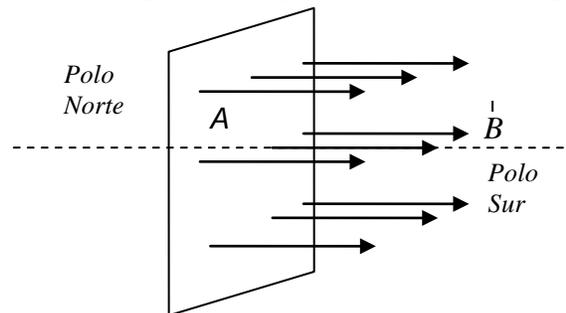
El volumen por unidad de tiempo

$$\text{será: } \frac{\text{Volumen}}{\Delta t} = VA$$

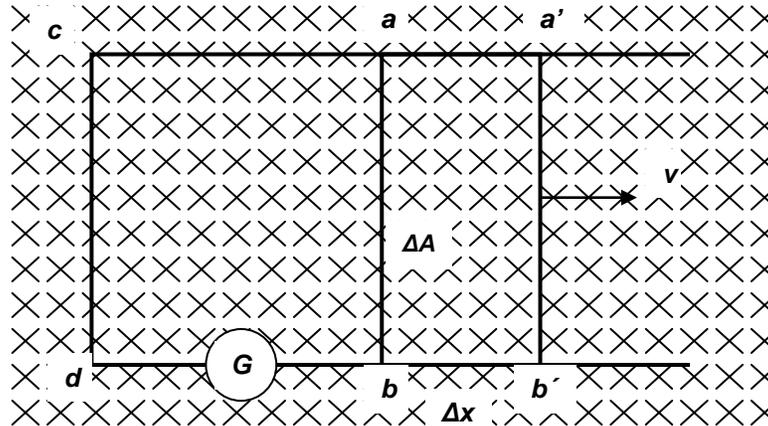


Si al volumen por unidad de tiempo lo bautizamos con el nombre de flujo  $F$  del agua, resulta  $F = VA$ . Este concepto de flujo, para hacerlo matemáticamente más fructífero, los físicos lo vuelven muy abstracto y en lugar de hablar del flujo del agua, lo cual es algo concreto, hablan del *flujo del vector  $V$  a través del área  $A$* . Es como si nos imagináramos a las flechas que representan al vector velocidad de cada partícula de agua atravesando el área  $A$ . En el ejemplo del agua, el flujo puede variar si el vector  $v$  varía aunque el área  $A$  se mantenga constante, o si el tamaño del área  $A$  varía aunque  $v$  permanezca constante.

Ahora pasemos al caso del campo magnético entre los polos de un imán. Puedes imaginar que un imán de barra se dobló para que el polo norte y el sur se encontraran frente a frente. Tenemos un vector  $B$  de inducción magnética que representa al campo y podemos imaginar un área  $A$  atravesada por las líneas del campo o por las flechas que representan al vector  $B$  en cada punto del espacio entre los polos. Por analogía, con el caso del vector velocidad, podemos definir el flujo del vector  $B$  a través del área  $A$  como  $F = BA$ .



Para que te des cuenta de la importancia del concepto de flujo de la inducción magnética  $B$ , considera el siguiente experimento: Un marco de alambre con un lado  $ab$  móvil, se encuentra dentro del campo magnético  $B$  uniforme de un imán. Las crucecitas indican que el campo penetra perpendicularmente en el plano del papel. Si el lado  $ab$  se mantiene fijo el flujo  $F = BA$  del vector  $B$  se mantiene constante, siendo  $A$  el área del rectángulo  $cabd$ . Cuando el lado móvil  $ab$ , moviéndose perpendicularmente al campo, pasa a la posición  $a'b'$ , hay un aumento  $\Delta A$  en el área, este aumento es igual al área del rectángulo  $aa'b'b$ .



Este aumento o variación en el área provoca una variación  $\Delta F = B \Delta A$  en el flujo de  $B$ . Si el lado móvil pasa de la posición  $ab$  a la  $a'b'$  en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , la variación del flujo por unidad de tiempo  $\frac{\Delta F}{\Delta t}$  será:  $\frac{\Delta F}{\Delta t} = B \frac{\Delta A}{\Delta t}$ , donde  $\frac{\Delta A}{\Delta t}$  es la variación del área por unidad de tiempo.

Ahora viene lo interesante, lo que Faraday descubrió experimentalmente, puesto en lenguaje matemático, es que lo que generan las corrientes inducidas por un campo magnético es, precisamente, la variación del flujo  $F$  de  $B$  con respecto al tiempo. Si  $F$  se mantiene constante no hay corriente inducida. Mientras el área del circuito cambia del área del rectángulo  $cabd$  al área del rectángulo  $ca'b'd$ , el galvanómetro registra el paso de una corriente.

Sin embargo, lo que se encuentra realmente es que la variación  $\frac{\Delta F}{\Delta t}$  del flujo con el tiempo sólo es directamente responsable de la inducción de una diferencia de potencial o voltaje como si en el circuito se hubiera introducido una pila y que, en unidades del Sistema Internacional, este voltaje es igual a la variación del flujo con respecto al tiempo. Al voltaje inducido le llamaremos  $FEM$  (iniciales de lo que antiguamente se llamaba Fuerza Electro-Motriz, y que sabemos que no es una fuerza sino una energía por unidad de carga)

$$FEM = \frac{\Delta F}{\Delta t}$$

Considerando que el lado móvil del circuito tiene una longitud  $L$  ( $ab = a'b' = L$ ) y que se desplaza con velocidad constante de manera que en el tiempo  $\Delta t$  recorre una distancia  $\Delta x$ . En ese caso,  $\Delta A = L \Delta x$  y la variación de flujo queda  $\frac{\Delta F}{\Delta t} = B \frac{L \Delta x}{\Delta t} = BL \frac{\Delta x}{\Delta t}$  y nos

damos que  $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  tiene que ser igual a la velocidad  $v$  con la que se desplaza el lado móvil, por lo que:

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = BLv$$

y, como ya dijimos, el voltaje inducido o la  $FEM = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ , resulta que la variación del área en el circuito da lugar a una:

$$FEM = BLv$$

Al desplazar el alambre móvil a la velocidad indicada es equivalente a insertar una pila en el circuito cuyo voltaje es igual a la  $FEM$ . En cuanto a la corriente  $I$  circulante y de acuerdo con la ley de Ohm, se puede decir que dependerá de  $R$ , la resistencia eléctrica del circuito ( $I = FEM/R$ ).

Ahora considera que repetimos exactamente el experimento pero con una diferencia, que sólo el lado móvil esté hecho de alambre conductor y que todo el resto del marco sea de plástico que no conduce electricidad. La variación de área sigue siendo la misma y en consecuencia la variación  $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  del flujo con el tiempo sigue siendo la misma. En este caso no puede haber corriente inducida, el galvanómetro no marcaría nada; sin embargo un voltímetro mostraría que entre los extremos del alambre móvil existe una diferencia de potencial o  $FEM = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ . Pero este resultado tiene una consecuencia más: el marco de plástico no sirve para nada, con tan solo mover el alambre de longitud  $L$ , perpendicularmente al campo  $B$ , con velocidad  $v$ , se inducirá en sus extremos una diferencia de potencial igual al producto  $BLv$ .

Otro resultado experimental importante es que si el tramo de alambre se mueve alineado con la dirección (paralelamente) del campo  $B$ , del polo norte al sur del imán o viceversa, no hay ninguna  $FEM$  inducida.

Faraday encontró que si una bobina tiene  $N$  vueltas y está dentro de un campo magnético variable de manera que hay un cambio  $D\Phi/Dt$  del flujo, entonces la magnitud de la  $FEM$  inducida es:

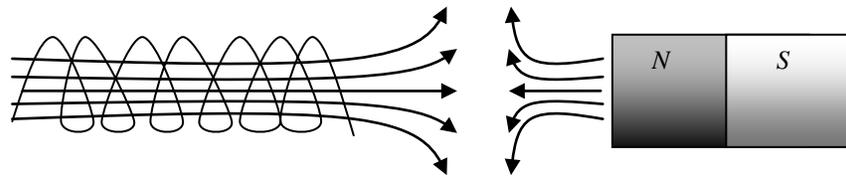
$$FEM = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Esta fórmula es válida solo para el caso en que  $(\frac{\Delta \Phi}{\Delta t})$  sea constante, es decir que a doble, triple, cuádruple, etc.  $Dt$ , corresponderá doble, triple, cuádruple etc.  $D\Phi$ .

En cualquier caso,  $FEM = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  proporciona la  $FEM$  media o promedio.

## Ley de Lenz

En la ciencia existe un principio muy general conocido con el nombre de *Principio de Le Chatelier*. Este principio establece que: *siempre que emprendemos cualquier acción para*



*cambiar algún sistema físico existente, el sistema reacciona en una forma que se opone a nuestra acción.* Reflexionando un poco puedes darte cuenta que el principio es necesario si es que queremos que la energía se conserve. De no ser así podrían construirse, a montones, máquinas de movimiento perpetuo que crearían gratis cantidades ilimitadas de energía. Cuando el principio de Le Chatelier se aplica a las interacciones entre corrientes eléctricas y campos magnéticos se le llama *Ley de Lenz*. Cuando induces una corriente en un solenoide o bobina por medio de un imán de barra, sacándolo y metiéndolo dentro del solenoide, la corriente que se genera en él, circula de manera que produce un campo magnético contrario al del imán. Es decir, cuando acercas el polo norte del imán a un extremo del solenoide, la corriente inducida circula de manera que crea un polo norte en dicho extremo para que repela al correspondiente del imán. El solenoide reacciona oponiéndose a la acción de introducir el imán.

Debido a la ley de Lenz, la ley de Faraday para las bobinas se escribe con un signo menos:

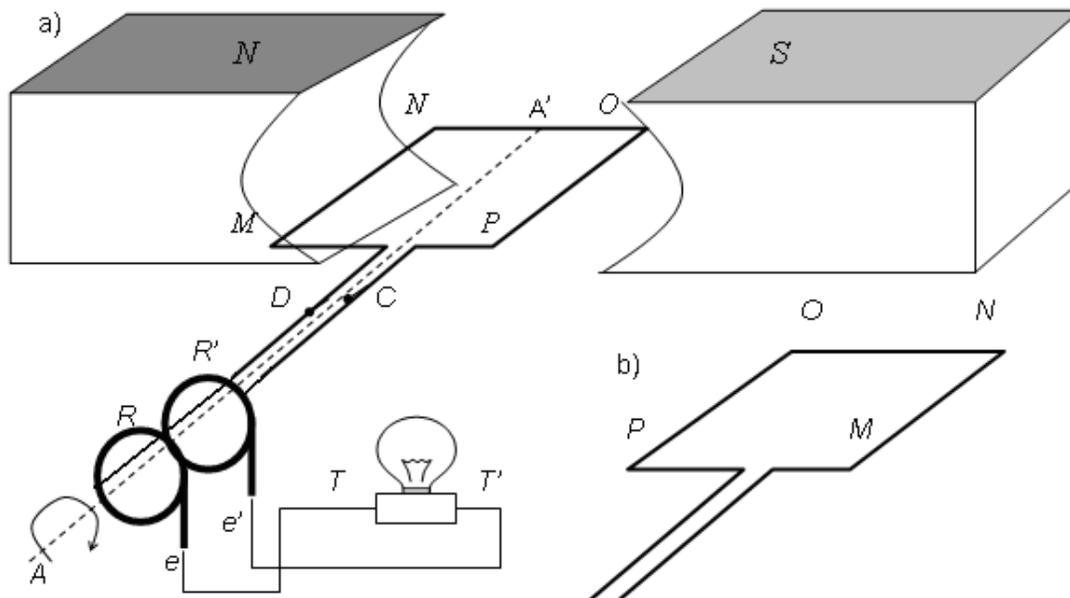
$$FEM = - N \frac{\Delta F}{\Delta t} .$$

La *FEM* inducida siempre se opone al cambio del flujo.

## Generador de corriente alterna

Ya hemos visto, en el generador de corriente, cómo mediante una espira que gira dentro del campo magnético de un imán se puede inducir una corriente en la espira. En general, en un generador se produce una *FEM* o diferencia de potencial entre dos terminales cambiando el flujo magnético a través de una bobina. Como sólo es el movimiento relativo el que cuenta, se podría tener la bobina fija y los polos del imán girando alrededor de ella, o el imán fijo y la bobina girando entre los polos. Este último procedimiento es el más viable y es el que se utiliza. Para simplificar la discusión vamos a suponer que hacemos girar la espira, dentro de un campo magnético, mediante una manivela. La energía mecánica utilizada en hacer girar la manivela es la que se convertirá en energía eléctrica al inducirse la *FEM* en la espira.

En la siguiente figura, la bobina se esquematiza mediante una espira *MNOP* que gira alrededor del eje *AA'*. Hay dos anillos *R* y *R'* que están conectados rígidamente a la espira y giran con ella. Dos escobillas fijas *e* y *e'* hacen contacto con los anillos y con las terminales *T* y *T'*, de manera que entre éstas se establece una diferencia de potencial igual a la *FEM* inducida en la espira. Como parte externa del circuito alimentado por el generador se muestra un foco conectado a las terminales *T* y *T'*.



En la parte (a) de la figura, el lado MN de la espira se va moviendo hacia arriba; en ese momento la velocidad  $V$  vertical hacia arriba y el campo magnético  $B$  del imán, son perpendiculares entre sí. El movimiento hacia arriba de la parte MN de la espira mueve las cargas del alambre en esa dirección, o sea  $V$  es la velocidad de las cargas y deben experimentar la fuerza de Lorentz porque se mueven en el campo magnético  $B$ ; de aquí que las cargas positivas (corriente convencional) se mueven de M hacia N y la terminal positiva es T. En la parte (b) de la figura, la espira ha girado  $180^\circ$  (media vuelta). Entonces la corriente va de N hacia M y la terminal positiva es T'. Con lo que se tiene un generador de corriente alterna.

### Transformadores

La corriente que llega a nuestros hogares a través de las líneas de transmisión es corriente alterna (c.a.). Esta corriente proviene de generadores gigantescos en donde para hacer girar la bobina se utilizan turbinas que giran debido a corrientes intensas de vapor de agua (plantas termoeléctricas) o por el impacto del agua de una cascada o catarata (plantas hidroeléctricas).

Por regla general, muchas de las ciudades que se abastecen de energía eléctrica quedan muy lejos (a cientos de kilómetros) de las estaciones o plantas en donde se origina. Esto representa un grave problema por la pérdida de energía que sucede a lo largo de las líneas de transmisión (recuerda que la potencia  $P = R I^2$  es la energía que se disipa, por unidad de tiempo, en conductores de resistencia  $R$  por los que circula una corriente  $I$ ). En una planta generadora, la c.a. se produce con una diferencia de potencial de 2200 volts entre las líneas de transmisión y por medio de dispositivos eléctricos llamados *transformadores*, se eleva hasta 110,000 volts, porque, en la transmisión resulta más económico tener una gran diferencia de potencial.

Al llegar la energía eléctrica a una ciudad existen subestaciones con transformadores que bajan el voltaje otra vez a 2200 volts para distribuirlo por la ciudad y cerca de donde vives seguramente habrá un poste de luz con un transformador en lo alto que vuelve a bajar el

voltaje para que, al entrar en tu casa, sea de 120 volts que es el que regularmente necesitan tus aparatos eléctricos para funcionar correctamente.

Un transformador típico consta de un núcleo de hierro en el cual están enrolladas dos bobinas, la bobina primaria, con  $N_p$  espiras, y la secundaria con  $N_s$  espiras. La bobina primaria está conectada a una fuente de poder de corriente alterna, la cual genera un campo magnético variable en el núcleo de hierro. Las líneas de flujo siguen al núcleo pasando a través de la bobina secundaria. El flujo a través de cada bobina es prácticamente el mismo. Aplicando la ley de Faraday a cada bobina, tenemos:

$$V_p = - N_p \frac{\Delta F}{\Delta t} \qquad V_s = - N_s \frac{\Delta F}{\Delta t}$$

Al hacer el cociente entre los voltajes inducidos  $V_s$  y  $V_p$ , obtenemos la siguiente relación

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

### Problemas para reflexionar

4.12. Investiga y describe, cómo se puede inducir una corriente en una bobina mediante un imán permanente en forma de barra.

4.13. En un generador de corriente alterna, si con la manivela logras que la espira realice 10 vueltas por segundo (frecuencia de rotación), ¿cuántas veces por segundo cambia el sentido de la corriente?

4.14. La bobina primaria de un transformador tiene 100 espiras y la FEM aplicada a ella es de 120 V. ¿Cuántas espiras deberá tener la bobina secundaria para obtener una FEM elevada de 1800 V?

4.15. La bobina primaria de un transformador ideal (sin pérdida de potencia) está conectada a una línea de 120 V. Si la corriente en la bobina secundaria es de 2 A y la FEM de 900 V, ¿cuál es la corriente en la bobina primaria? ¿Cuál es la potencia entregada al circuito secundario?

### Conceptos claves

Corriente eléctrica, voltaje, resistencia eléctrica y potencia eléctrica.

Fuerza magnética y campo magnético.

Corriente inducida, flujo de un vector, FEM inducida y corriente alterna.

### Respuestas a los problemas propuestos

4.1. Energía/tiempo = VI, despejando Energía, tenemos: Energía = V I t, sustituyendo los valores, se tiene Energía = (1.5V) (0.2A) (60s) = 18 J.

4.2. Las gráficas son tres rectas cuya pendiente es el recíproco de la resistencia 1/R. La recta más inclinada corresponde a la resistencia de 0.5Ω, la intermedia a 1Ω, y la menos inclinada a 2Ω. La característica geométrica que representa a la resistencia es precisamente el recíproco de la pendiente de la recta.

4.3. La corriente disminuye a la tercera parte.

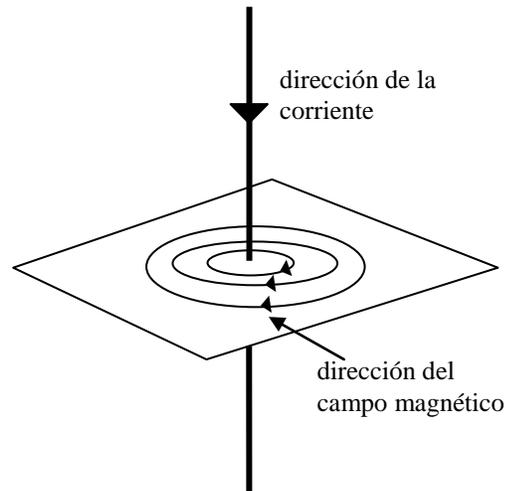
4.4. Sustituyendo la ley de Ohm  $V = R I$  en la expresión de la potencia,  $P = V I$ , se tiene.  
 $P = (R I) I = R I^2$ .

4.5. La resistencia equivalente, de un circuito en serie, es la suma de las resistencias.  
 $R_E = R_1 + R_2 + R_3 = 0.5\Omega + 3\Omega + 2.5\Omega = 6\Omega$ . Ahora, mediante la ley de Ohm, determinamos la corriente:  $I = V / R_E = 1.5V / 6\Omega = 0.25 A$ .

4.6. El recíproco de la resistencia equivalente, de un circuito en paralelo, es igual a la suma de los recíprocos de las resistencias.  $1/R_E = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 = 1/10 + 1/4 + 1/20 = 2/5$ , de aquí  $R_E = 5/2\Omega$ . Ahora aplicando la ley de Ohm se determina la corriente que entrega la batería.  $I = V / R_E = 6V / 2.5\Omega = 2.4 A$ . Nuevamente aplicamos la ley de Ohm a cada una de los resistores para obtener la corriente que pasa a través de cada uno de ellos:  $I_1 = 6V / 10\Omega = (3/5)A$ ,  $I_2 = 6V / 4\Omega = (3/2)A$ ,  $I_3 = 6V / 20\Omega = (3/10) A$ . Y la suma de las corrientes:  $I_1, I_2$  e  $I_3$  es igual a la corriente que entrega la batería.

4.7. La solución es  $R_E = 7.5\Omega$  e  $I = 2 A$ .

4.8. Al hacer circular corriente eléctrica a través de un hilo conductor, es posible visualizar las líneas de campo magnético si sobre una superficie perpendicular a la línea de conducción se espolvorea limadura de hierro.



4.9. Completa el siguiente enunciado: Un campo magnético tiene una inducción magnética de  $1 \text{ N/A}\cdot\text{m}$ , si sobre un alambre de un metro de longitud, por el que circula una corriente de un ampere, ejerce una fuerza de magnitud igual a un newton.

4.10. Solución  $F/L = 6 \times 10^{-7} \text{ N/m}$ .

4.11. Un voltímetro se conecta en paralelo mientras que un amperímetro en serie.

4.12. Se induce una corriente en una bobina al introducirle y extraerle un imán de barra.

4.13. La corriente cambia de sentido cuando la espira a girado  $180^\circ$ , por lo que en una vuelta cambia dos veces, entonces cambia 20 veces por segundo.

4.14.  $N_S = N_P V_S / V_P = (100) 1800V / 120V = 1500$ .

4.15.  $P = I_S V_S = (2A)(900V) = 1800 \text{ Watts}$ ,  $I_P = P / V_P = 1800\text{Watts} / 120V = 15A$ .

## Autoevaluación 4

INSTRUCCIONES. En unas hojas aparte realiza tu autoevaluación. Lee cuidadosamente cada una de las preguntas, intenta razonarlas, si es necesario realiza un diagrama que te ayude a visualizar el fenómeno del que se trata y analiza los datos proporcionados en el enunciado. Por favor, intenta escribir tus procedimientos completos, esto es muy útil para que puedas revisarlas y preguntarle tus dudas a alguien. Cuando hayas terminado compara con las respuestas que se encuentran al final de la Guía. Marca las respuestas correctas con una  $\checkmark$ , y obtén tu calificación, de la siguiente manera:

$$\text{Calificación} = (\text{No. de aciertos}) \frac{10}{15}$$

1. ¿Quién descubrió que en un circuito cerrado, la razón de la FEM de la fuente a la corriente en el circuito es constante?

- A) Ampère  
B) Faraday  
C) Oersted  
D) Ohm

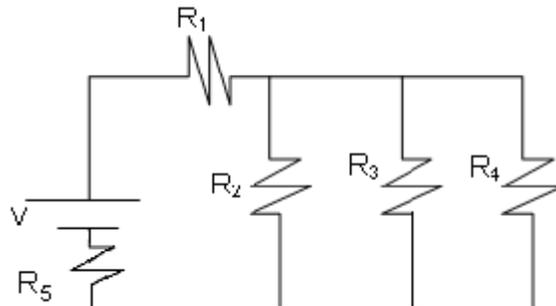
2. ¿Qué sucede con la intensidad de la corriente en un circuito si en lugar de un alambre de resistencia  $R$  se utiliza otro de triple resistencia, sin cambiar la pila?

- A) Disminuye a un tercio  
B) Aumenta al triple  
C) Disminuye a un noveno  
D) Aumenta nueve veces

3. Tres resistores con resistencias  $R_1 = 0.5 \text{ W}$ ,  $R_2 = 3.5 \text{ W}$  y  $R_3 = 2 \text{ W}$ , respectivamente, están conectados en serie a una batería que suministra 1.5 volts, ¿cuál es la corriente que circula por el circuito?

- A) 15 A  
B) 1.5 A  
C) 0.66 A  
D) 0.25 A

4. En el circuito mostrado en la figura el voltaje de la batería es de 15 volts y los resistores tienen resistencias  $R_1 = 5 \text{ W}$ ,  $R_2 = 6 \text{ W}$ ,  $R_3 = 4 \text{ W}$ ,  $R_4 = 12 \text{ W}$  y  $R_5 = 0.5 \text{ W}$ , Calcula las corrientes  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$  e  $I_5$  que atraviesan cada uno de los resistores, respectivamente.



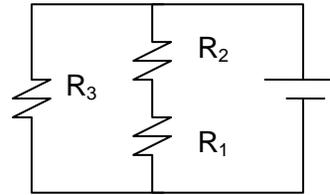
- A)  $I_1 = 2 \text{ A}$ ,  $I_2 = 2/3 \text{ A}$ ,  $I_3 = 1 \text{ A}$ ,  $I_4 = 1/3 \text{ A}$ ,  $I_5 = 2 \text{ A}$   
 B)  $I_1 = 2 \text{ A}$ ,  $I_2 = 1 \text{ A}$ ,  $I_3 = 2/3 \text{ A}$ ,  $I_4 = 1/3 \text{ A}$ ,  $I_5 = 2 \text{ A}$   
 C)  $I_1 = 2 \text{ A}$ ,  $I_2 = 1 \text{ A}$ ,  $I_3 = 1/3 \text{ A}$ ,  $I_4 = 2/3 \text{ A}$ ,  $I_5 = 2 \text{ A}$   
 D)  $I_1 = 2 \text{ A}$ ,  $I_2 = 1/3 \text{ A}$ ,  $I_3 = 2/3 \text{ A}$ ,  $I_4 = 1 \text{ A}$ ,  $I_5 = 2 \text{ A}$

5. En un circuito sencillo hay un resistor de 10 W. ¿Cuál debe ser el valor de la resistencia de otro resistor conectado en paralelo para que la resistencia total del circuito se reduzca a 6 W?

- A) 0.06 W  
B) 3.75 W  
C) 4 W  
D) 15 W

6. Si las resistencias eléctricas del circuito son:  $R_1 = R_2 = R_3 = R$  ohm. ¿Cuál es la resistencia equivalente del circuito cuando se conectan las resistencias eléctricas como se muestra en la figura?

- A)  $3R$
- B)  $(3/2) R$
- C)  $(2/3) R$
- D)  $R/3$



7. ¿Cuál es la expresión para la potencia eléctrica en términos del voltaje  $V$  de la pila y de la resistencia  $R$  del resistor?

- A)  $V/R^2$
- B)  $R/V^2$
- C)  $R^2/V$
- D)  $V^2/R$

8. Si la Compañía de Luz y Fuerza te cobrara a 40 centavos el kilowatt-hora, y si las especificaciones de tu televisor indican que consume 1 000 watts ¿cuánto cuesta ver en él una película que dura 1 h 45 min?

- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| A) 0.70 centavos | C) 70 centavos  |
| B) 7.0 centavos  | D) 700 centavos |

9. Cuando Oersted realizó el experimento de acercar una brújula a un alambre por el cual pasaba corriente, descubrió que:

- A) Los imanes siempre tienen dos polos
- B) El alambre se calienta y disipa calor
- C) La corriente eléctrica produce campos magnéticos
- D) Existe una relación entre el calor y el trabajo mecánico

10. Entre dos alambres paralelos por los que circulan corrientes  $I_1$  e  $I_2$ , existe una fuerza de atracción por unidad de longitud, de magnitud igual a  $0.7 \cdot 10^{-7}$  newtons/metro, cuando están separados una distancia  $d$ . ¿Cuál será la magnitud de la fuerza por unidad de longitud, si  $I_1$  se triplica,  $I_2$  se reduce a la mitad y  $d$  se reduce a la tercera parte?

- |  |  |
|--|--|
| A) $6.3 \times 10^{-7}$ newtons/metro  | C) $1.4 \times 10^{-7}$ newtons/metro  |
| B) $3.15 \times 10^{-7}$ newtons/metro | D) $1.05 \times 10^{-7}$ newtons/metro |

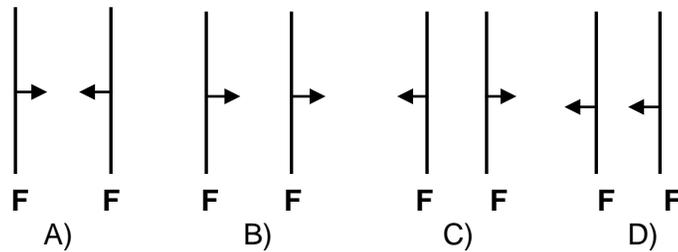
11. Si un campo magnético tiene una magnitud  $B = 6 \times 10^{-1}$  T (teslas) =  $6 \times 10^{-1}$  N/Am, y un alambre móvil tiene una longitud  $L = 30$  cm y se mueve con una velocidad  $v = 2$  m/s perpendicularmente al campo, ¿qué FEM se inducirá en el circuito?

- |            |          |
|------------|----------|
| A) 0.036 V | C) 3.6 V |
| B) 0.36 V  | D) 36 V  |

12. Por un conductor recto de gran longitud circula una corriente  $I$  que genera un campo magnético de 50 N/Am a una distancia perpendicular de 25 cm. ¿Cuál será el campo magnético  $B$  que genera dicha corriente a una distancia perpendicular de 1 metro del conductor?

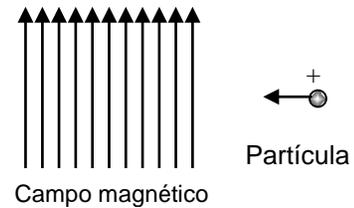
- |              |             |
|--------------|-------------|
| A) 0.08 N/Am | C) 50 N/Am  |
| B) 12.5 N/Am | D) 200 N/Am |

13. Los siguientes dibujos esquematizan las fuerzas que aparecen cuando dos alambres paralelos conducen corriente eléctrica en el mismo sentido, de abajo hacia arriba. ¿Cuál es el esquema correcto?



14. Una partícula cargada positivamente que se mueve en línea recta, penetra perpendicularmente en un campo magnético homogéneo, cuyo sentido es de abajo hacia arriba (como lo indican las flechas). ¿Hacia dónde se desvía la partícula una vez que penetra en el campo?

- A) Fuera de la hoja
- B) Adentro de la hoja
- C) Abajo
- D) Arriba



15. La bobina primaria de un transformador tiene 300 espiras y la FEM aplicada a ella es de 120 V. ¿Cuántas espiras deberá tener la bobina secundaria para obtener una FEM elevada de 3600 V?

- |                  |               |
|------------------|---------------|
| A) 9 000 espiras | C) 90 espiras |
| B) 900 espiras   | D) 9 espiras  |

# EXAMEN TIPO EXTRAORDINARIO

INSTRUCCIONES. Cuando consideres que estás listo para presentar el **Examen**, después de haber estudiado la *Guía Temática y Conceptual*, reflexiona sobre lo aprendido, de tu compromiso y responsabilidad para aprobar la asignatura. En caso de ser positiva tu reflexión, es el momento para responder el *Examen Tipo Extraordinario*.

Te proponemos un *Simulacro de Examen*. Acércate una calculadora, un formulario, goma, lápiz y hojas de papel para que realices una última evaluación.

Recuerda escribir tus procedimientos completos, esto es muy útil para que puedas revisarlas y preguntarle tus dudas a alguien. Cuando hayas terminado compara con las respuestas que se encuentran al final de la Guía. Marca las respuestas correctas con una Û, y obtén tu calificación de la siguiente manera:

$$\text{Calificación} = (\text{No. de aciertos}) \frac{100}{20}$$

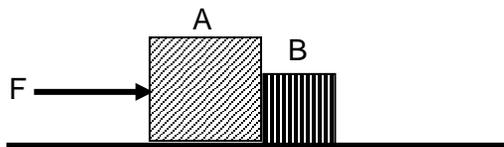
¡Suerte!

## ELIJE LA OPCIÓN QUE CONSIDERES CORRECTA

1. Una mesa descansa sobre el piso de una habitación. Sobre la mesa está colocado un libro. El libro pesa porque la Tierra lo jala hacia su centro. El libro no cae al suelo porque la mesa lo sostiene. De acuerdo con la 3ª ley, ¿cuál es la pareja correspondiente a la fuerza que la Tierra ejerce sobre el libro?

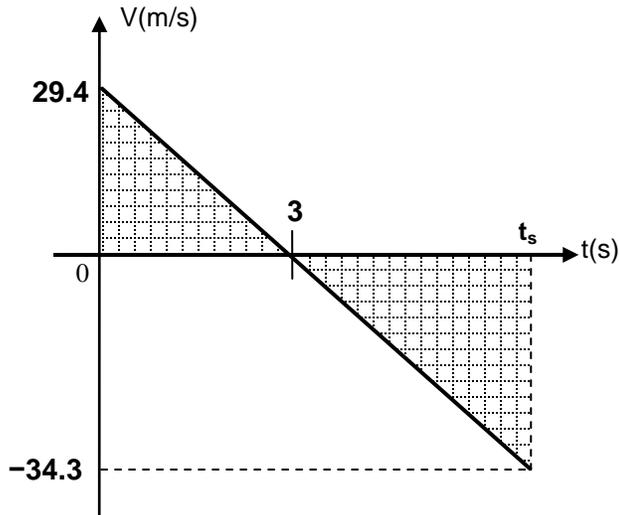
- A) La que la mesa ejerce sobre el libro
- B) La que la mesa ejerce sobre la Tierra
- C) La que el libro ejerce sobre la Tierra
- D) La que el libro ejerce sobre la mesa

2. Dos bloques A y B, de masas  $m_A = 2m$  y  $m_B = m$  respectivamente, se encuentran en reposo en contacto uno junto al otro sobre una mesa horizontal por la que pueden deslizarse sin fricción. En determinado momento al bloque A se le aplica una fuerza horizontal  $F$  hacia la derecha. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza neta que actúa sobre el bloque B de acuerdo con la 2ª ley de Newton?



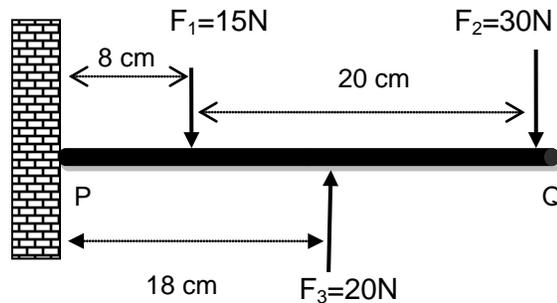
- A) La mitad de  $F$
- B) La tercera parte de  $F$
- C) Igual a  $F$
- D) El doble de  $F$

3. La gráfica corresponde al movimiento de un objeto que se lanza verticalmente hacia arriba desde el borde de la azotea de un edificio con una velocidad inicial de 29.4 m/s y que en el descenso, llega hasta el suelo chocando con una velocidad de  $-34.3$  m/s. ¿Cuál es la altura del edificio? Considera  $t_s$  el tiempo que tarda en llegar al suelo y el valor de la magnitud de la aceleración de la gravedad de  $9.8$  m/s<sup>2</sup>.



- A) 15.92 m
- B) 44.10 m
- C) 60.02 m
- D) 104.12 m

4. Sobre la barra horizontal PQ, de peso despreciable y que tiene su extremo P fijo, actúan 3 fuerzas,  $F_1$  y  $F_2$  verticales hacia abajo y  $F_3$  vertical hacia arriba. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza  $F_4$  y la distancia  $x$  a la que hay que aplicarla (se mide a partir de P), para que la barra esté en equilibrio?



- A)  $F_4 = 25$  N a una distancia  $x = 14.4$  cm
- B)  $F_4 = 25$  N a una distancia  $x = 24.0$  cm
- C)  $F_4 = 65$  N a una distancia  $x = 5.5$  cm
- D)  $F_4 = 65$  N a una distancia  $x = 9.2$  cm

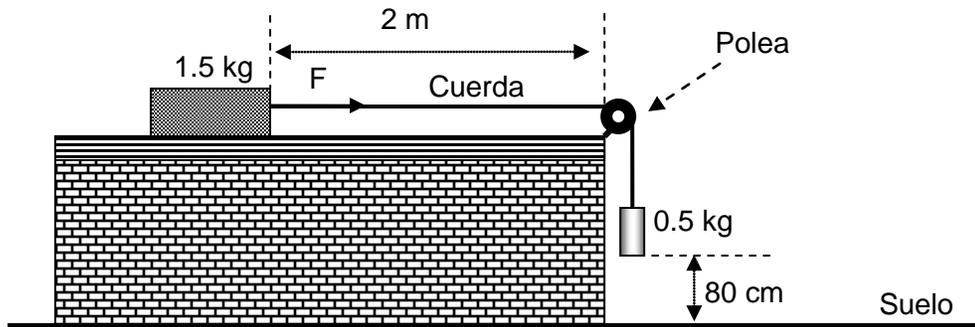
5. De acuerdo a la Ley de la Gravitación Universal, la magnitud de la fuerza con la que la

Tierra atrae a la Luna es  $F = \frac{G M_T M_L}{R^2}$

Donde  $M_T$  es la masa de la Tierra,  $M_L$  es la masa de la Luna,  $R$  es la distancia de centro a centro de la Tierra a la Luna y  $G$  es la constante de la gravitación universal. Si consideramos que  $M_T = 5.98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ ,  $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2$ , el radio de la Tierra  $R_T = 6.38 \cdot 10^6 \text{ m}$  y la distancia que hay de la superficie terrestre al centro de la Luna es  $h = 3.76 \cdot 10^8 \text{ m}$ , ¿cuál es la magnitud de la aceleración con la que gira la Luna alrededor de la Tierra?

- A)  $2.73 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$
- B)  $2.82 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$
- C)  $9.80 \text{ m/s}^2$
- D)  $1.04 \times 10^6 \text{ m/s}^2$

6. El sistema del dibujo parte del reposo en la situación mostrada. No existe ningún tipo fuerza de rozamiento. La masa de la cuerda y de la polea se considera despreciable. ¿Qué trabajo total realiza la fuerza  $F$  con la que la cuerda jala al bloque de  $1.5 \text{ kg}$  a partir de la situación mostrada en el dibujo? (Tómese  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ).



- A) 0.29 J
- B) 2.94 J
- C) 7.36 J
- D) 294.4 J

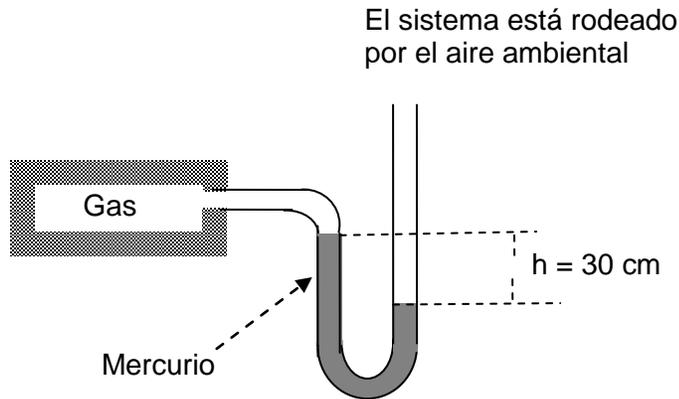
7. Se tienen 3 columnas cilíndricas P, Q y R, hechas del mismo material. La columna P tiene altura de  $h$  y área de la base  $A$ , la columna Q tiene la misma altura  $h$  pero el área de su base es del doble, es decir, es de  $2A$  y la columna R, tiene doble altura, o sea  $2h$ , y el área de su base es de la mitad de  $A$ , es decir,  $(1/2)A$ . Si las tres se colocan verticalmente sobre una mesa, ¿Cuál o cuáles cilindros ejercen mayor presión sobre la superficie de la mesa?

- A) Sólo P
- B) Sólo Q
- C) Sólo R
- D) Solamente P y Q

8. Un cilindro recto de madera de  $20 \text{ cm}$  de altura y  $5 \text{ cm}$  de radio de la base flota en agua de modo que  $943 \text{ cm}^3$  de madera quedan dentro del agua. ¿Cuál es la densidad de la madera de la que está hecho el cilindro? Considera que la densidad del agua es  $1 \text{ g/cm}^3$ .

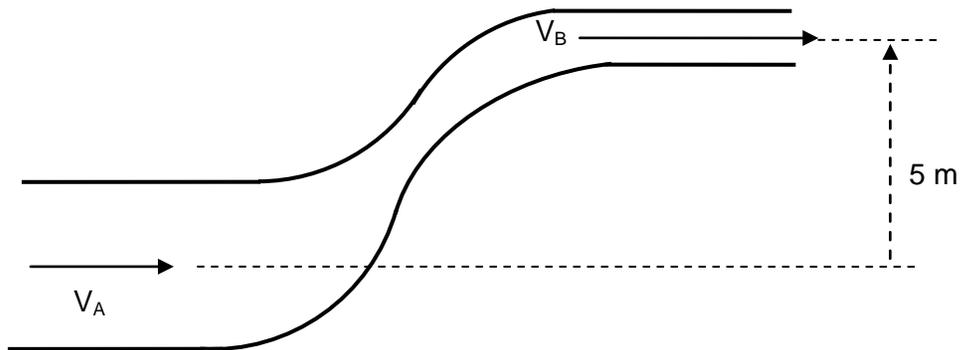
- A)  $0.4 \text{ g/cm}^3$
- B)  $0.6 \text{ g/cm}^3$
- C)  $1.0 \text{ g/cm}^3$
- D)  $1.9 \text{ g/cm}^3$

9. ¿Cuál es la presión manométrica en pascales del gas encerrado en el cilindro? Si la presión atmosférica del lugar donde se realizó el experimento es de 70 cm de Hg. Considera  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  y la densidad del mercurio de  $13\,600 \text{ kg/m}^3$ .



- |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| A) $5.33 \times 10^6 \text{ Pa}$ | C) $1.33 \times 10^5 \text{ Pa}$ |
| B) $5.33 \times 10^5 \text{ Pa}$ | D) $5.33 \times 10^4 \text{ Pa}$ |

10. Se transporta un flujo de agua por el tubo mostrado en el dibujo. En el tramo inferior grueso lleva una velocidad  $0.8 \text{ m/s}$  y en el tramo superior delgado de  $3.2 \text{ m/s}$ . La diferencia de alturas entre estos dos tramos es de  $5 \text{ m}$ . En la parte inferior existe una presión absoluta de  $400 \text{ kPa}$ . ¿Cuál es el valor de la presión absoluta en el tramo superior? Considera  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .

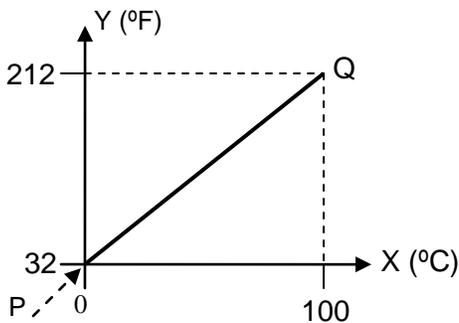


- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| A) $400.0 \text{ kPa}$ | C) $348.1 \text{ kPa}$ |
| B) $349.8 \text{ kPa}$ | D) $346.2 \text{ kPa}$ |

11. Cuando un sistema está rodeado de paredes adiabáticas ¿qué puede hacerse para que sufra un proceso de un estado inicial a otro final distinto?

- A) Intercambiar con los alrededores calor y trabajo
- B) Intercambiar con los alrededores calor solamente
- C) Intercambiar con los alrededores trabajo solamente
- D) No puede intercambiar energía, el sistema está aislado de los alrededores

12. En la siguiente gráfica, el eje X tiene la escala centígrada Celsius y el eje Y tiene la escala Fahrenheit. Nota que el punto donde se cruzan los ejes, corresponde al punto P (0,32) y que el punto Q (100,212) indica que a 100° C corresponden a 212° F. ¿Cuál es la relación entre las dos escalas de temperatura?

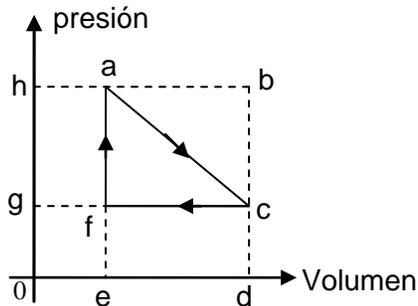


- A)  $Y = \frac{5}{9}X + 32$
- B)  $Y = \frac{5}{9}X - 32$
- C)  $Y = \frac{9}{5}X - 32$
- D)  $Y = \frac{9}{5}X + 32$

13. Para el establecimiento de la 1ª ley de la termodinámica, es esencial considerar sistemas que pasen de un estado inicial a otro final mediante procesos,

- A) Isobáricos
- B) Isotérmicos
- C) Adiabáticos
- D) Isométricos

14. En la siguiente gráfica presión-volumen se muestran tres procesos, ac, cf y fa que juntos forman un proceso cíclico. Para determinar el trabajo realizado por el sistema en el proceso ac tendrías que calcular el área del



- A) trapecio acdefa
- B) triángulo acfa
- C) rectángulo abcdefa
- D) trapecio hacfgh

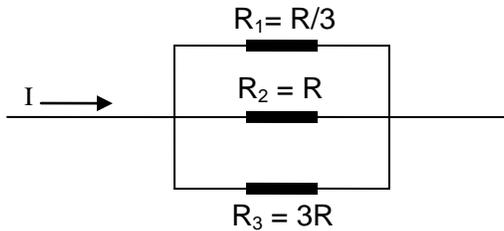
15. Una máquina de Carnot que tiene una eficiencia del 30% absorbe, al término de cada ciclo, 12 000 J de calor del recipiente térmico a alta temperatura. Si la temperatura del recipiente térmico a baja temperatura es de 500 K. ¿Cuánto trabajo W realiza la máquina y cuál es el cambio  $\Delta S$  en la entropía del recipiente térmico a alta temperatura al término de cada ciclo?

- A)  $W = 3\ 600\ J$  y  $\Delta S = -16.8\ J/K$
- B)  $W = 3\ 600\ J$  y  $\Delta S = -7.2\ J/K$
- C)  $W = 8\ 400\ J$  y  $\Delta S = 0\ J/K$
- D)  $W = 8\ 400\ J$  y  $\Delta S = 24\ J/K$

16. La expresión matemática que representa la ley de Ohm es:

- A)  $V = I/R$
- B)  $R = I/V$
- C)  $IV = R$
- D)  $I = V/R$

17. El dibujo muestra parte de un circuito en la que una corriente  $I$  llega a un nodo donde están conectados 3 resistores  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ . Si  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  son las corrientes en los resistores respectivos. ¿Qué relación hay entre ellas?

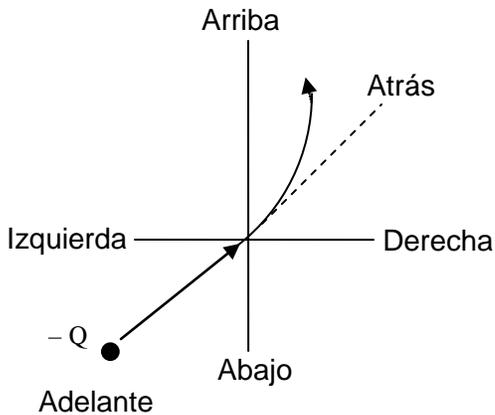


- A)  $I_1 = I_2 = I_3$
- B)  $I_2 = 3 I_1$  e  $I_3 = 9 I_1$
- C)  $I_1 = 3 I_2$  e  $I_1 = 9 I_3$
- D)  $I_1 = I_2/3$  e  $I_1 = 3 I_3$

18. Un alambre recto de una gran longitud que conduce una corriente de 6 A genera un campo magnético cuyo valor es  $B$  a 0.5 m del alambre. ¿Cuánto debe valer la corriente para que el campo producido tenga el mismo valor  $B$  a 1 m de distancia?

- A) 0.08 A
- B) 3 A
- C) 6 A
- D) 12 A

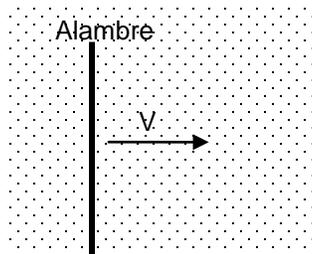
19. Una carga negativa penetra perpendicularmente, de adelante hacia atrás, dentro de un campo magnético constante  $\mathbf{B}$ . Por efecto del campo la carga se desvía hacia arriba. ¿Cuál debe ser la dirección y el sentido del campo  $\mathbf{B}$ ?



- A) Vertical hacia arriba
- B) Horizontal hacia la derecha
- C) Horizontal hacia la izquierda
- D) Vertical hacia abajo

20. Un alambre conductor recto de 50 cm de longitud se mueve con una velocidad constante de 1.5 cm/s, perpendicularmente a la dirección de un campo magnético homogéneo  $B$  cuya magnitud es de 0.06 N/Am. Calcula el valor de la FEM inducida.

- A) 0.00045 volts
- B) 0.0075 volts
- C) 0.03 volts
- D) 4.5 volts



# RESPUESTAS A LOS INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN

## Autoevaluación 1

| Reactivo | Respuesta | Nivel cognitivo |
|----------|-----------|-----------------|
| 1        | A         | Comprensión     |
| 2        | D         | Conocimiento    |
| 3        | C         | Comprensión     |
| 4        | B         | Aplicación      |
| 5        | A         | Aplicación      |
| 6        | B         | Aplicación      |
| 7        | A         | Comprensión     |
| 8        | C         | Conocimiento    |
| 9        | C         | Conocimiento    |
| 10       | D         | Conocimiento    |
| 11       | B         | Comprensión     |
| 12       | C         | Aplicación      |
| 13       | D         | Comprensión     |
| 14       | B         | Aplicación      |
| 15       | D         | Aplicación      |

## Autoevaluación 2

| Reactivo | Respuesta | Nivel cognitivo |
|----------|-----------|-----------------|
| 1        | A         | Conocimiento    |
| 2        | D         | Aplicación      |
| 3        | B         | Comprensión     |
| 4        | B         | Conocimiento    |
| 5        | C         | Aplicación      |
| 6        | A         | Comprensión     |
| 7        | D         | Conocimiento    |
| 8        | C         | Conocimiento    |
| 9        | D         | Conocimiento    |
| 10       | A         | Aplicación      |
| 11       | C         | Comprensión     |
| 12       | B         | Comprensión     |
| 13       | C         | Comprensión     |
| 14       | D         | Comprensión     |
| 15       | B         | Conocimiento    |

## Autoevaluación 3

| Reactivo | Respuesta | Nivel cognitivo |
|----------|-----------|-----------------|
| 1        | A         | Conocimiento    |
| 2        | D         | Aplicación      |
| 3        | D         | Aplicación      |
| 4        | C         | Conocimiento    |
| 5        | C         | Comprensión     |
| 6        | B         | Aplicación      |
| 7        | C         | Aplicación      |
| 8        | B         | Aplicación      |
| 9        | B         | Conocimiento    |
| 10       | D         | Comprensión     |
| 11       | A         | Comprensión     |
| 12       | B         | Aplicación      |
| 13       | C         | Comprensión     |
| 14       | D         | Conocimiento    |
| 15       | A         | Conocimiento    |

## Autoevaluación 4

| Reactivo | Respuesta | Nivel cognitivo |
|----------|-----------|-----------------|
| 1        | D         | Conocimiento    |
| 2        | A         | Comprensión     |
| 3        | D         | Aplicación      |
| 4        | A         | Aplicación      |
| 5        | D         | Comprensión     |
| 6        | C         | Aplicación      |
| 7        | D         | Conocimiento    |
| 8        | C         | Aplicación      |
| 9        | C         | Conocimiento    |
| 10       | B         | Aplicación      |
| 11       | B         | Aplicación      |
| 12       | B         | Aplicación      |
| 13       | A         | Conocimiento    |
| 14       | B         | Comprensión     |
| 15       | A         | Aplicación      |

## Examen tipo extraordinario

| Reactivo | Respuesta | Nivel cognitivo |
|----------|-----------|-----------------|
| 1        | C         | Comprensión     |
| 2        | B         | Comprensión     |
| 3        | A         | Aplicación      |
| 4        | B         | Aplicación      |
| 5        | A         | Aplicación      |
| 6        | B         | Aplicación      |
| 7        | C         | Comprensión     |
| 8        | B         | Aplicación      |
| 9        | D         | Aplicación      |
| 10       | D         | Aplicación      |
| 11       | C         | Conocimiento    |
| 12       | D         | Conocimiento    |
| 13       | C         | Conocimiento    |
| 14       | A         | Comprensión     |
| 15       | A         | Aplicación      |
| 16       | D         | Conocimiento    |
| 17       | C         | Aplicación      |
| 18       | D         | Comprensión     |
| 19       | B         | Comprensión     |
| 20       | A         | Aplicación      |

# PARA SABER MÁS

## Bibliografía

- Bueche, F. J. (1996). *Fundamentos de Física* (Tomo 1 y 2). México: Mc Graw-Hill.
- Giancoli, D.C. (2006). *Física (Principios con aplicaciones)*. México: Pearson Education.
- Hecht, E. (2000). *Física 1 y 2 (Algebra y trigonometría)*. México: Thomson.
- Jones, E. y Childers, R. (2001). *Física Contemporánea*. México: McGraw-Hill.
- Serway, R. A. y Faughn, J. S. (2005). *Física*. México: Thompson.
- Tippens, P. E. (2008). *Física (Conceptos y aplicaciones)*. Chile: Edición McGraw-Hill.
- Wilson, J. D. y Buffa, A. J. (2007). *Física*. México: Pearson Education.