

# OAF

# olimpiada argentina de fisica

## cuadernillo de prácticas

# TERMODINÁMICA



La Olimpiada Argentina de Física, es una actividad creada y desarrollada en el seno de la Facultad de Matemática, Astronomía y Física (FaMAF), de la Universidad Nacional de Córdoba.

Por resolución Nro. 612/98 del Honorable Consejo Superior de la Universidad Nacional de Córdoba, el Programa Olimpiada Argentina de Física forma parte de las actividades de extensión de esa casa de altos estudios.

Desde el año 1994, el Ministerio de Educación de la Nación auspicia y financia esta actividad.

La Olimpiada también es auspiciada por la Asociación Física Argentina (AFA).

### **Responsable Legal**

Dra. Esther Galina (Decana Famaf)

### **Responsable Pedagógico**

Dr. Gustavo Monti

### **Comité Organizador Ejecutivo de OAF**

Dr. Gustavo Monti

Dr. Guillermo Aguirre Varela

### **Consejo Académico de OAF**

Dr. Rodrigo Bürgesser

Dr. Sergio Ceppi

Dr. Carlos Condat

Dr. Axel Dente

Dr. Pedro Lamberti

Dra. Silvina Pérez

Dr. Rodolfo Pereyra

Dr. Guillermo Stutz

Dr. Alberto Wolfenson

## esto para qué sirve? cómo lo uso?...

Este cuadernillo está pensado como otro instrumento (además de entrenamientos, pruebas preparatorias, pruebas locales, concursos de videos...) para acercar a docentes y alumnos en la actividad “Olimpiadas de Física”. Con este objeto es que proponemos estas... “excusas”: ejercicios, situaciones problemáticas y problemas.

Esperamos que los alumnos intenten y logren resolver las propuestas planteadas en este cuadernillo, respondiendo las preguntas y elaborando las soluciones de los problemas dados. Por supuesto, esto no será posible sin que los docentes asesoren, ayuden y guíen a sus estudiantes.

Estos cuadernillos deben ser tomados como herramientas para que los estudiantes logren una mejor lectura comprensiva, elaboren sus propios mode-

los mentales para “comprender” las situaciones problemáticas, y manejen y asimilen los conceptos matemáticos necesarios en la resolución de todos los problemas que involucran la física.

Les sugerimos que comiencen con una lectura cuidadosa y detenida de todas las propuestas, llegando a la posterior contestación de las mismas sin que su simplicidad impida una discusión profunda de todas ellas.

## Termodinámica

La Física permite responder algunas preguntas que surgen de observar, por ejemplo, fenómenos cotidianos. Además nos confiere la posibilidad de predecir y proyectar, de comprender y de aventurarnos en lo desconocido. El estudio de la Física da respuestas y, a su vez, genera nuevas preguntas.

**La termodinámica trata fundamentalmente de las transformaciones del calor en trabajo mecánico y de las transformaciones opuestas: del trabajo mecánico en calor.**

Fenómenos que se explican usando las herramientas de la termodinámica, ya fueron estudiados desde el 1600; de ese siglo datan la bomba de vacío, las correlaciones entre presión, temperatura y volumen de los gases diluidos... y hasta los primeros motores térmicos. Más tarde, se construyó la primer

máquina a vapor y se observó la conversión de trabajo mecánico a calor... con esto se abrieron nuevas fronteras.

Carnot, Rankine, Clausius, Joule, Kelvin, se pueden considerar los fundadores de la termodinámica.

La termodinámica se basa en postulados apoyados en evidencia experimental, a partir de los cuales se extraen conclusiones para sistemas macroscópicos (formados por muchas partículas), sin adentrarse en los mecanismos cinéticos de los fenómenos.

## EJERCICIOS

1. La temperatura es una magnitud:

- escalar.
- vectorial.
- tensorial.

2. Para construir un termómetro se necesita una sustancia tal que:

- tenga alguna propiedad que tenga un comportamiento monótono con la temperatura.
- ninguna de sus propiedades dependa monótonamente de la temperatura.
- tenga alguna propiedad que dependa de la temperatura.



3. Para definir el grado celcius o centígrado ( $^{\circ}\text{C}$ ) se pueden utilizar como puntos fijos:

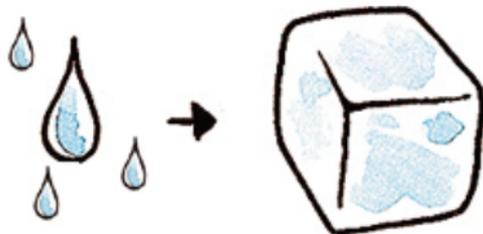


- mezcla de hielo y agua (cero grado) y agua en ebullición (cien grados) a una atmosfera de presión.
- mezcla de hielo y agua (cero grado) y agua en ebullición (cien grados) a 1033 atmosferas de presión.
- mezcla de hielo y agua (cien grados) y agua en ebullición (cero grado) a una atmosfera de presión.

4. La temperatura de una mezcla de hielo y agua en equilibrio, expresada en grados Kelvin (K) es:

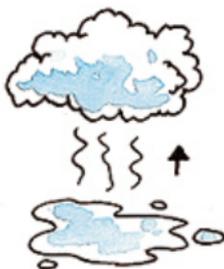
- cero grado.
- cien grados.
- doscientos setenta y tres grados con dieciséis centésimas de grado.

5. Una variación de un grado Celsius de temperatura corresponde a:
- una variación de un grado Kelvin de temperatura.
  - una variación de diez grados Kelvin de temperatura.
  - una variación de una décima parte de grado Kelvin de temperatura.
6. La materia puede presentarse naturalmente en las siguientes fases:
- sólida y líquida.
  - sólida, líquida, gaseosa y plasmática.
  - sólida, líquida y gaseosa.
7. El cambio de estado de agregación de la materia de líquido a sólido se denomina:
- solidificación.
  - fusión.
  - congelamiento.



8. El cambio de estado de agregación de la materia de líquido a vapor se denomina:

- evaporación.
- condensación.
- fusión.



9. El “gas ideal” es un modelo físico simple que sirve para describir sistemas formados por:

- gases reales con baja densidad.
- gases reales en general.
- líquidos.

10. Variables termodinámicas correspondientes a un sistema son aquellas cantidades a partir de las cuales:

- se determina el estado termodinámico del sistema.
- se determina la temperatura del sistema.
- se describe el comportamiento mecánico del sistema.

**11.** Una transformación reversible es aquella en la que:

- el sistema evoluciona cuasi-estáticamente y todo momento sus variables termodinámicas están bien definidas.
- evoluciona rápidamente.
- en la que no se tienen bien determinadas las variables termodinámicas.

**12.** Una transformación isotérmica es aquella en la que:



- la presión del sistema se mantiene constante.
- la temperatura del sistema se mantiene constante.
- el volumen de sistema se mantiene constante.

**13.** Una transformación isobárica es aquella en la que:

- la presión del sistema se mantiene constante.
- la temperatura del sistema se mantiene constante.
- el volumen de sistema se mantiene constante.

**14.** Una transformación isocórica es aquella en la que:

- la presión del sistema se mantiene constante.
- la temperatura del sistema se mantiene constante.
- el volumen de sistema se mantiene constante.

**15.** Cuando un sistema compuesto por  $n$  moles de un “gas ideal” experimenta, manteniendo su masa constante, una transformación isotérmica se cumple que:

- el producto de la presión del sistema y el volumen del sistema se mantiene constante.
- el cociente de la presión del sistema y la temperatura del sistema se mantiene constante.
- la temperatura del sistema varía linealmente.

**16.** Cuando un sistema compuesto por  $n$  moles de un “gas ideal” experimenta, manteniendo su masa constante, una transformación isobárica se cumple que:

- el producto de la presión del sistema y el volumen del sistema se mantiene constante.
- el cociente de la temperatura del sistema y el volumen del sis-

tema se mantiene constante.

el volumen del sistema se mantiene constante.

**17.** Cuando un sistema compuesto por  $n$  moles de un “gas ideal” experimenta, manteniendo su masa constante, una transformación isocórica se cumple que:

el producto de la presión del sistema y el volumen del sistema se mantiene constante.

el cociente de la temperatura del sistema y la presión del sistema se mantiene constante.

la presión del sistema se mantiene constante.

**18.** Un sistema compuesto por  $n$  moles de un “gas ideal” experimenta cualquier transformación manteniendo su masa constante:

el producto de la presión del sistema por el volumen del sistema dividido por la temperatura del sistema, esta última expresada en grados Kelvin, se mantiene constante.

el cociente de la temperatura del sistema y la presión del sistema multiplicado por el volumen del sistema se mantiene constante.

el producto de la presión del sistema por el volumen del siste-

ma dividido por la temperatura del sistema, esta última expresada en grados Celsius, se mantiene constante.

- 19.** Para un sistema compuesto por  $n$  moles de un “gas ideal” se cumple que El producto de la presión del sistema por el volumen del sistema dividido por la temperatura del sistema, esta última expresada en grados Kelvin, es igual:
- al producto de  $n$  y  $R$  (constante universal de los gases ideales).
  - al cociente de  $n$  y  $R$  (constante universal de los gases ideales).
  - a  $R$  (constante universal de los gases ideales).

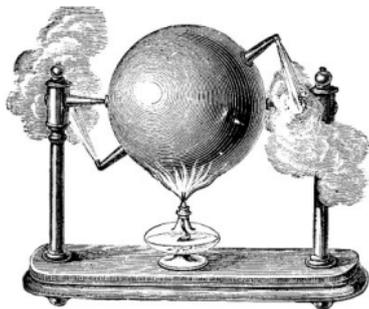
El valor de  $R$  en distintas unidades es:

$$R = 0.08205746 \left[ \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] = 62.36367 \left[ \frac{\text{mmHg} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] = 1.987207 \left[ \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] = 8.314472 \left[ \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right]$$

- 20.** Cuando en física se habla de Calor se está pensando en:
- el fluido calórico.
  - altas temperaturas.
  - el paso de energía térmica de un cuerpo a otro.

**21.** El primer principio de la termodinámica establece que la variación de energía interna de un sistema está asociada a:

- una cantidad de calor y a una cantidad de trabajo recibidos o cedidos por el sistema.
- variaciones de altura del sistema.
- cantidades de masa intercambiadas por el sistema.



**22.** La energía interna correspondiente a un sistema compuesto por un gas ideal, es una función que depende de la masa del sistema, de calor específico del gas ideal que lo compone y, también, solamente de:

- la temperatura.
- la presión.
- el volumen.

**23.** El trabajo realizado por o sobre un sistema compuesto por un gas ideal esta representado por:

- el área bajo la curva con la que se representa la transformación que experimentó el sistema en un diagrama "PV".
- el área bajo la curva con la que se representa la transformación que experimentó el sistema en un diagrama "PT".
- la longitud de la curva con la que se representa la transformación que experimentó el sistema en un diagrama "PV".

## SITUACIONES PROBLEMÁTICAS

### Situación 1

Suponga un sistema que inicialmente estaba a  $123^{\circ}\text{C}$  al cual se le entrega calor hasta que su temperatura se eleva a  $150^{\circ}\text{C}$ .

- Esquematice la situación propuesta.
- Determine la variación de temperatura que experimento el sistema, expréselas en grados Celsius y en grados Kelvin.
- Expresar la temperatura inicial y final del sistema en grados Kelvin.

### Situación 2

Suponga que un sistema compuesto por  $n=2$  moles de gas ideal experimenta una transformación isotérmica, de tal manera que su presión pasa de  $6000\text{Pa}$  a  $3000\text{Pa}$ .

- Esquematice la situación propuesta, proponga un tipo de recipiente

adecuado para contener el mencionado gas.

- b) Determine el cambio de volumen que experimentó el sistema.
- c) Determine el volumen inicial que tenía el sistema.

### Situación 3

Considere un sistema compuesto por  $n=3$  moles de gas ideal. Suponga que el mismo tenía inicialmente una temperatura de  $300\text{K}$  y ocupaba un volumen  $V=0,030\text{m}^3$ . Luego de una determinada transformación su volumen resultó  $V'=0,020$  y su presión  $P'=200000\text{Pa}$ .

- a) Esquematice la situación propuesta, proponga un tipo de recipiente adecuado para contener el mencionado gas.
- b) Determine presión  $P$  que tenía inicialmente el gas.
- c) Determine temperatura  $T'$  final del gas.

### Situación 4

En un diagrama cuyo eje de las ordenadas corresponda a la presión  $P$  de un sistema compuesto por un mol de gas ideal y cuyo eje de abscisas corresponda al volumen que ocupa dicho sistema:

- a) Represente una transformación isobárica.
- b) Represente una transformación isocórica.

- c) Represente una transformación isotérmica.

### Situación 5

Considerando que una cantidad de calor  $Q$  es positiva cuando ingresa al sistema y que una cantidad de trabajo  $W$  es positiva cuando sale del sistema (el sistema trabaja sobre el exterior), la variación de energía interna del sistema  $\Delta U = U_f - U_i$  (inicial y final) se puede escribir, primer principio de la termodinámica, de la forma:

$$\Delta U = Q - W$$

Utilizando la expresión anterior escriba:

- la relación entre variación de la energía interna del sistema y el trabajo involucrado en una transformación adiabática. Esto es, en la cual no hay calor involucrado ( $Q=0$ ).
- la relación entre variación de la energía interna del sistema y el calor involucrado en una transformación isocórica. Esto es, en la cual no hay trabajo involucrado ( $W=0$ ).

### Situación 6

Considere un sistema compuesto por  $n$  moles de un gas ideal. Recordando que el trabajo realizado por o sobre el sistema está representado por el área

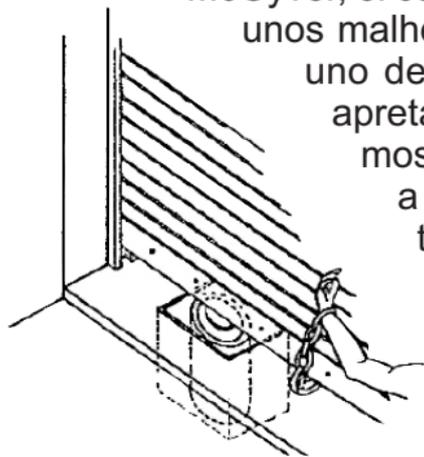
de la curva de la transformación en un diagrama PV, de una expresión para:

a) el trabajo asociado a una expansión isobárica que en un diagrama PV une los puntos  $(V_i, P_o)$  y  $(V_f, P_o)$ . Realice una representación grafica de la transformación.

b) el trabajo asociado a una expansión en la que la presión y el volumen están relacionados linealmente, una recta en un diagrama PV. La transformación une los puntos  $(V_i, P_i)$  y  $(V_f, P_f)$ . Suponga  $P = \alpha V + \beta$ , donde  $\alpha$  y  $\beta$  son constantes y  $\alpha$  también empareja unidades. Realice una representación grafica de la transformación, considere valores tanto positivos como negativos para  $\alpha$ .

## PROBLEMAS

### McGyver



McGyver, el conocido héroe de la televisión, ha sido atrapado por unos malhechores, quienes han fijado a su muñeca derecha uno de los anillos de unas “esposas”. El otro anillo fue apretado por una cortina metálica que pesa 280 kilogramos fuerza. La cortina solo puede moverse deslizando a lo largo de guías verticales. McGyver puede levantar hasta 80 kilogramos fuerza, de modo que debe conseguir alguna ayuda para liberarse. En el lugar hay un recipiente cilíndrico de hierro, que contiene 2 g de helio en su interior y está herméticamente cerrado por un émbolo de hierro, de área  $S = 20\text{cm}^2$ . También hay

una bolsa con 5 kg de carbón. El cilindro está colocado en un hueco existente en el piso debajo de la cortina (ver figura). La masa del recipiente es de 15 kg y la del émbolo de 5 kg.

- a) Sugiera alguna forma en que McGyver podría utilizar los elementos de que dispone para liberarse de esta situación. Su propuesta debe estar justificada consignando las leyes físicas en que se basa.
- b) Determine, mediante cálculos explícitos, si McGyver logra efectivamente liberarse utilizando el método que Ud. ha sugerido. Si es necesario, incluya cualquier hipótesis adicional, debidamente justificada.

### Datos que podrían serle útiles

Constante de los gases  $R = 0,082 \text{ litro. atmósfera}/(\text{mol } ^\circ\text{K.})$

Calor específico del helio a volumen constante  $C_v = 0,75 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{K.})$

Calor específico del hierro  $C = 0,10 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{K.})$

El calor liberado en la combustión de un gramo de carbón es de 5000 cal.

Ecuación de estado de un gas ideal:

$$\frac{\text{Presión} \cdot \text{Volumen}}{\text{Temperatura}} = \frac{\text{masa}}{\text{Masamolecular}} R$$

Aceleración de la gravedad en el lugar:  $9,80 \text{ m/s}^2$

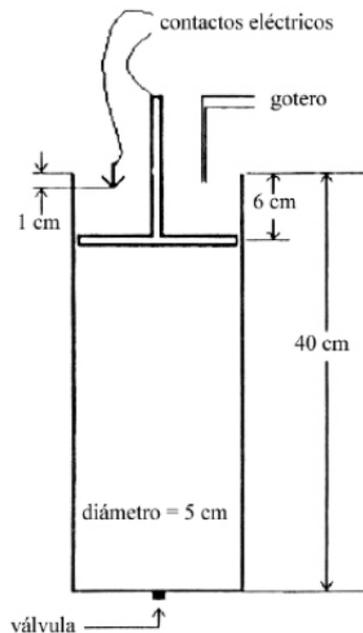
## Con un inflador

Se ha improvisado un sistema que permite controlar el tiempo que demora un dispositivo desde que se lo activa hasta que permite el paso de la corriente eléctrica. El mismo fue construido usando un inflador manual (ver la figura), cuya válvula está cerrada. El émbolo, que puede deslizarse sin rozamiento, tiene una masa de 100 grs. y su volumen es despreciable.

En el instante inicial el émbolo se halla libre a 5 cm del extremo superior del inflador, la presión ambiente es de 1 atmósfera y la temperatura ambiente de 20°C.

Un gotero agrega una gota de mercurio cada dos segundos en el espacio entre el émbolo y las paredes del inflador. A medida que se acumula el mercurio, el émbolo baja. El sistema se ha preparado de tal manera que cuando el menisco de mercurio llega a 1 cm del borde superior de las paredes del inflador, se cierra un contacto eléctrico que permite el paso de la corriente.

- Suponiendo que el aire dentro del inflador



se comporte como gas ideal y la temperatura se mantiene constante, calcule el tamaño máximo de la gota para que el contacto no se cierre antes de que transcurran 20000seg (5h 33m 20seg) desde que se depósito la primera gota.

### Datos numéricos

- aceleración de la gravedad:  $g = 9.80m/s^2$
- $1 \text{ atmósfera} = 760 \text{ mm de mercurio}$
- densidad del mercurio:  $13600 \text{ kg/m}^3$

### Una huída riesgosa

A fines del siglo pasado, un funcionario de la corte Británica abandonó sus tareas llevando consigo cuatro lingotes de oro, de 10 Kg cada uno, que pertenecían al tesoro real. Su plan contemplaba cruzar el canal de la Mancha utilizando un globo aerostático (de aire caliente). La masa del globo, incluyendo el sistema de calentamiento y la canastilla, era de 100 Kg y el volumen de aire contenido, cuando éste estaba inflado, de  $1.200 \text{ m}^3$ . El día de la huída la temperatura ambiente era de  $T_a = 288,16K$  ( $15^\circ\text{C}$ ) y el sistema de calentamiento le permitía calentar el aire del globo hasta  $333,16K$  ( $16pC$ ).

- a) Calcule la fuerza neta sobre el globo (sin pasajero ni carga), sabiendo que la densidad del aire a nivel de tierra cambia con la tem-

peratura según la expresión.

$$\delta(T) = \delta_0 \frac{T_a}{T}$$

- b) La masa del hombre era de 75 kg, ¿Pudo escapar con todos los lingotes de oro o tuvo que resignar alguno/s?
- c) Demuestre la validez de la expresión dada en el punto a) considerando al aire como un gas ideal.
- d) Suponiendo que:
  - d<sub>1</sub>) la presión atmosférica cambie con la altura  $h$  de acuerdo a la expresión
$$P(h) = P_0 (1 - \alpha h)$$
  - d<sub>2</sub>) la temperatura ambiente permanezca constante a todo nivel de vuelo.
  - d<sub>3</sub>) puede considerarse al aire como un gas ideal.Calcule la altura hasta la que se elevó el globo.
- e) Cuando estaba a mitad de camino, sobre el canal de la Mancha, ocurrió un desperfecto en el sistema de calentamiento que produjo una disminución de 5 K en la temperatura del aire del globo. ¿A qué altura descendería?, ¿Debió hacer algo el funcionario para mantenerse en el aire?

## Datos

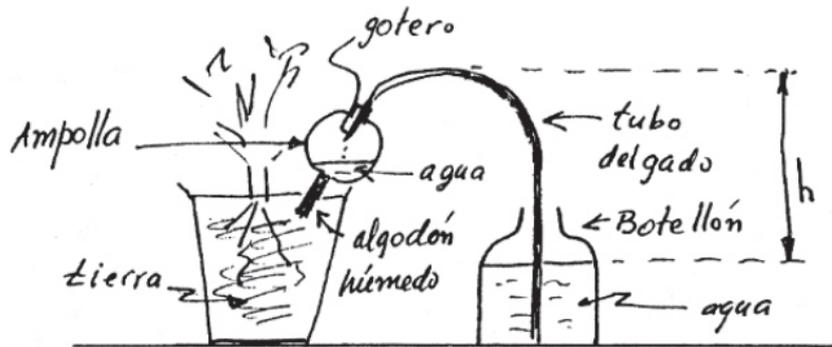
- $\delta_0 = 1,2256 \text{ Kg/m}^3$  (densidad del aire a  $15^\circ \text{ C}$  y a nivel de tierra)
- $R = 8,314 \text{ Joule/(mol K)}$
- masa de un mol de aire =  $2,7453 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$ .
- $\alpha = 7,24 \cdot 10^{-5} \text{ l/m}$
- $P_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ atm}$
- $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

## Un regador nocturno para las vacaciones

Cuando se sale de vacaciones y no queda ninguna persona en la casa, uno de los problemas que se plantea es mantener regadas las plantas con cierta cantidad de agua diaria. Existen muchos recursos para evitar que se sequen las plantas en sus macetas por falta de riego. Uno de ellos utiliza un aparatito (regador nocturno) (ver figura), que aprovecha la variación de temperatura entre la noche y el día. El agua que ingresa desde el botellón a la ampolla, se difunde a través del algodón húmedo hacia la tierra de la maceta.

El regador se instala durante el día de tal manera que la presión en la ampolla sea la presión atmosférica.

En el extremo superior del algodón húmedo se forma un menisco de agua que, por tensión superficial, evita el ingreso de aire a la ampolla.



Suponga que el volumen de la ampolla es lo suficientemente grande como para poder desprestigiar las variaciones de volumen de la masa gaseosa debido a las variaciones de la cantidad de agua dentro de

la ampolla, o por el ascenso o descenso de la columna de agua en el tubo delgado. Además, para simplificar los cálculos, suponga que durante el día la temperatura se mantiene constante e igual a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , durante seis horas de la noche baja a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  y que la presión atmosférica permanece constante. Bajo estas condiciones calcule:

- a) La diferencia de altura  $h$  máxima para que el regador efectivamente riegue la planta durante seis horas nocturnas.

Suponga que el gotero en el extremo del tubo delgado, que está en el interior de la ampolla, se ha preparado para suministrar, en promedio, una gota de  $2\text{mm}$  de diámetro cada  $2\text{s}$ .

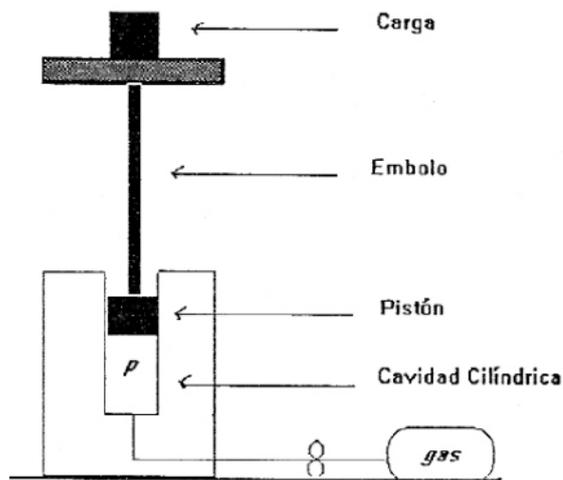
- b) Calcule la cantidad mínima de agua que deberá contener el bote-

Ilón si queremos asegurar un riego diario durante treinta días.

### Datos

- Presión de vapor de agua saturado a 10 °C es igual a 9,16 mmHg; idem, a 25 °C es igual a 23,55 mmHg.
- La presión atmosférica es equivalente a 760 mmHg ó a 10,33 m de una columna de agua.

### Elevador neumático



En un bloque de acero se ha perforado un hueco cilíndrico dentro del cual puede desplazarse un pistón macizo, de plomo. La cavidad cilíndrica, sellada por el pistón, puede llenarse con un gas a presión controlada (ver figura). A través de un émbolo el pistón puede desplazar verticalmente una carga. La masa total del sistema, constituido por el pistón, el émbolo y la carga, es de 1000 Kg.

a) En el caso en que no exista rozamiento

miento entre el pistón y la pared del cilindro, determine la presión  $p$  del gas necesaria para mantener la carga en reposo (suponga que todo el sistema se encuentra a la presión externa de una atmósfera).

Por acción de la temperatura los cuerpos sólidos experimentan una dilatación por la cual las magnitudes lineales cambian según la ley:

$$L(t) = L_0 (1 + \lambda t)$$

donde:

- $L$  representa cualquier dimensión lineal del sólido.
- $L_0$  es el valor de dicha dimensión a  $0\text{ }^\circ\text{C}$ .
- $t$  es la temperatura expresada en grados centígrados.
- $\lambda$  es conocido como el coeficiente de dilatación lineal del metal.

A la temperatura de  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , el radio del cilindro y del pistón son iguales al valor  $R = 5\text{ cm}$ , y la altura del pistón  $h = 10\text{ cm}$ .

La temperatura de trabajo a la cual se encuentra el sistema es de  $21\text{ }^\circ\text{C}$ .

- b) Calcule, a la temperatura de trabajo ( $t = 21\text{ }^\circ\text{C}$ ), el radio y el volumen del pistón de plomo, si este último se hallase fuera del cilindro. Calcule también el radio de la cavidad cilíndrica dentro del bloque de acero a dicha temperatura.
- c) Calcule las dimensiones del pistón (radio y altura) dentro el cilindro, cuando todo el sistema está a la temperatura de trabajo. Para ello

suponga que la deformación elástica del bloque de acero, bajo la presión del pistón, es despreciable, y que la deformación elástica del pistón es a volumen constante.

- d) Calcule la presión  $P$  que ejerce el cilindro sobre el pistón a la temperatura de trabajo. Tenga en cuenta que a una dada temperatura, dicha presión está relacionada con la deformación sufrida por el radio del pistón,  $\Delta R$ , según:

$$P = Y \frac{\Delta R}{R}$$

donde:

- $Y$  se conoce como módulo de Young del material, y
  - $R$  es el radio del pistón no deformado.
- e) Calcule el máximo valor posible para la fuerza de rozamiento estática entre el pistón y el cilindro, a la temperatura de trabajo.
- f) Teniendo en cuenta el roce entre el pistón y el cilindro determine el rango de valores para la presión del gas, dentro del cual la carga se mantiene en reposo a la temperatura de trabajo.
- g) Suponga ahora que la presión del gas es la máxima presión que permite mantener la carga en reposo. En esas condiciones se sella

perfectamente la cavidad del gas quedando encerrado un volumen igual a 1 litro. Manteniendo todo el sistema a la temperatura de trabajo constante, ¿cuánto puede desplazarse el émbolo hacia arriba, de manera tal que al liberarlo la carga quede en reposo? Considere que el gas se comporta como un gas ideal.

### Tabla de valores que pueden resultar útiles

Coeficiente de dilatación	acero	$\lambda_{ac} = 1,4 \times 10^{-5} (\text{°C})^{-1}$
	plomo	$\lambda_{pb} = 2,9 \times 10^{-5} (\text{°C})^{-1}$
Módulo de Young	acero	$Y_{ac} = 2,16 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
	plomo	$Y_{pb} = 1,47 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
Coeficiente de rozamiento del plomo sobre el acero	estático	$\mu_e = 0.95$
	dinámico	$\mu_d = 0.85$
Aceleración de la gravedad	$g = 9,8 \text{ m/s}^2$	
Presión atmosférica	$P_a = 1,033 \text{ kg/cm}^2 = 1033 \text{ Hpa}$	

### Un termómetro novedoso

Considere un tubo vertical abierto por ambos extremos y con secciones diferentes arriba y abajo como se muestra en la figura. En su interior se encuentran dos émbolos de masas  $M = 0,35 \text{ kg}$  y  $m = 0,15 \text{ kg}$  respectivamente,

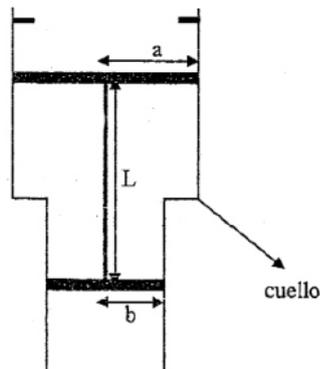
unidos por una barra rígida de peso y volumen despreciable y longitud  $L$ . En el espacio comprendido entre los émbolos hay  $0,1$  moles de un gas ideal. El radio del émbolo de mayor área es  $a = 13,47 \text{ cm}$  y el del émbolo de menor área es  $b = 12,47 \text{ cm}$ . Considere efectos de rozamiento despreciables. La presión atmosférica es  $P_0$ .

- a) Demuestre que la presión del gas correspondiente al sistema en equilibrio a una temperatura  $T$  es:

$$P_G = P_0 + \frac{(M + m)g}{\Delta S}$$

donde  $\Delta S$  es la diferencia entre áreas de los émbolos.

- b) Encuentre una expresión que relacione la variación de temperatura con la variación de volumen ocupado por el gas.
- c) Cuánto cambiará la posición de los émbolos si la temperatura varía en  $1^\circ \text{C}$ ?
- d) Cuánto tiene que valer  $L$ , para que la división correspondiente al  $0^\circ \text{C}$  corresponda a una posición de equilibrio del émbolo mayor ubicado en el cuello del dispositivo?



e) Con estas condiciones hasta qué temperatura podrá ser utilizado el termómetro?

### Datos útiles

- $R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol K})$
- $PO = 1,013 \times 10^5 \text{ N}/\text{m}^2$
- $g = 9,8 \text{ m}/\text{s}^2$

### Un trabajo en el aire bajo el agua

Una campana de buceo es utilizada por un equipo de trabajo para descender hasta una cierta profundidad en un lago o bien en el mar y realizar diversas tareas ayudados con herramientas en un ambiente libre de agua.

Un modelo sencillo de dicha campana lo constituye un cilindro de altura  $D$  cerrado en su parte superior y abierto en su parte inferior. Dentro de dicho cilindro (la campana) se ubican los trabajadores, junto con sus herramientas y materiales, sobre un piso tipo rejilla que está encima de la marca de seguridad ubicada a la distancia  $a$  de la parte superior (ver figura).

Suponga que se hace descender la campana para reparar la avería de un submarino, que se encuentra a una profundidad  $H$  en el mar. Se sabe que la temperatura disminuye con la profundidad  $h$  de acuerdo con

$$t(h) = t_0 - k h ,$$

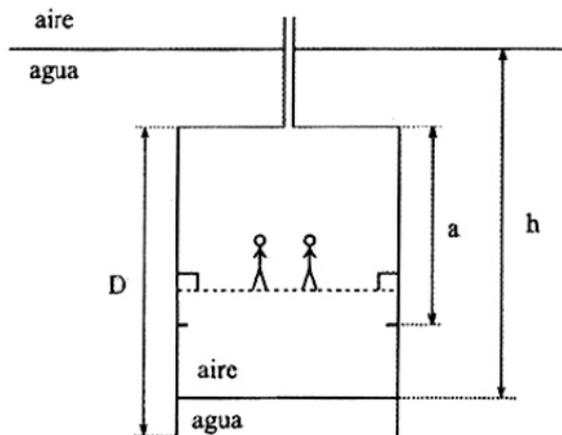
donde  $t$  y  $t_0$  se expresan en  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_0$  es la temperatura del aire sobre la superficie del agua;  $k$  es una constante.

Suponga que el aire en el interior de la campana se comporta como un gas ideal y que éste alcanza, rápidamente, en cada posición de la campana, la temperatura del agua que corresponde a la profundidad del nivel de agua en el interior de la campana. La campana es perfectamente rígida y su cambio de volumen con la temperatura es despreciable.

Preguntas:

- ¿A qué profundidad  $h_s$  el agua alcanza la marca de seguridad en la campana cuando ésta es sumergida?
- Si  $H > h_s$ ,  
¿qué porcentaje de aire, respecto del aire inicial contenido en la campana, se debe agregar para que el nivel de agua en el interior de la campana no sobrepase la marca de seguridad?

Realice primero sus cálculos sin asignarles valores numéricos a los diferentes



parámetros y variables, y luego reemplace los mismos por los siguientes datos numéricos para dar su respuesta numérica.

### Datos numéricos

- La presión atmosférica al nivel del mar es  $p_0 = 1.033 \times 10^5$  pascales;
- $a = 2.0$  m;
- $k = 0.5$  °C/m;
- $t_0 = 20$  °C;
- la densidad del agua es  $\rho = 1.0$  g/cm<sup>3</sup>;
- la aceleración de la gravedad se puede suponer como  $g = 10.0$  m/s<sup>2</sup>;
- la altura de la campana es  $D = 4.0$  m;
- $H = 20.0$  m.

Los enunciados de la sección Problemas formaron parte de las pruebas teóricas tomadas en distintas Instancias Nacionales de la Olimpiada Argentina de Física:

- McGyver, 1991.
- Con un inflador, 1992.
- Una huida riesgosa, 1993.
- Un regador nocturno para las vacaciones, 1994.

- Elevador neumático, 1996.
- Un termómetro novedoso, 2004.
- Un trabajo en el aire bajo el agua, 2005.

## BIBLIOGRAFÍA SUGERIDA

- A. Maiztegui, J. Sábato, *Introducción a la Física*, Editorial Kapeluz.
- R. Serway, *Física*, Tomo 1 y 2, Editorial Mc Graw Hill.
- R. Resnick, D. Halliday, K. Krane, *Física*, Volumen 1, 4ta. edición, Editorial CECSA.
- Sears, Zemansky, Young & Freedman, *Física*, 12da. edición, Editorial Addison-Wesley (Pearson Educación).

La Olimpíada Argentina de Física (OAF) promueve la participación de docentes y estudiantes en una actividad científica extraescolar, que si bien tiene aspectos competitivos, no persigue como fin la competencia. Se entiende que la OAF es una tarea extraescolar en el sentido de que se propone desde afuera de la escuela, pero su preparación y desarrollo debe servir como un elemento más en las actividades en el aula de Física.

Una característica principal de la Olimpíada de Física es su descentralización: en distintas regiones del país, escuelas y docentes participan en la organización con total independencia y sin competir entre las regiones, cada una dentro de sus posibilidades y en su propio nivel. Se parte desde cada establecimiento educativo individualmente (directivos, profesores, alumnos), para luego compartir experiencias con otros colegios en competencias más abarcativas, hasta llegar a la instancia nacional.

Otra característica muy importante, es la naturaleza misma de la Física que hace imprescindible que las pruebas tengan una parte de lápiz y papel y también una parte experimental, en la que el proceso de medición es central.



Olimpíada Argentina de Física  
Facultad de Matemática, Astronomía y Física - Universidad Nacional de Córdoba  
Medina Allende s/n - Ciudad Universitaria - 5000 - Córdoba - Argentina  
Tel.: 0351-5353701 (int. 41361) - Correo electrónico: [oaf@famaf.unc.edu.ar](mailto:oaf@famaf.unc.edu.ar)