Olimpíada Argentina de Física

Pruebas Preparatorias
Segunda Prueba:
Termodinámica, Electricidad y Magnetismo
Parte Teórica

Nombre: ....

D.N.I.: ....

Escuela: ....

- Antes de comenzar a resolver la prueba lea cuidadosamente TODO el enunciado de la misma.

- Escriba su nombre y su número de D.N.I. en el sitio indicado. No escriba su nombre en ningún otro sitio de la prueba.

- No escriba respuestas en las hojas del enunciado pues no serán consideradas.

- Escriba en un solo lado de las hojas.

<u>Problema 1</u>

El Primer Principio de la Termodinámica postula que la energía se conserva; es decir, en cualquier proceso termodinámico, la energía mecánica, eléctrica, magnética, o de cualquier otra naturaleza, se convierte en energía interna del sistema o en calor, siendo este último energía que fluye de un cuerpo a otro.

Teniendo ese principio en cuenta, considere el siguiente problema.

Una cantimplora de aluminio adiabática, cuya masa es de 500 g, contiene 750 g de agua y 100 g de hielo; ese sistema, está en *equilibrio térmico*.
Se deja caer la cantimplora desde un globo aerostático, que se encuentra a cierta altura por encima de la superficie terrestre. Después de que la cantimplora impacta contra la tierra, la temperatura del sistema resultante es de 25°C, encontrándose el mismo en *equilibrio térmico*. Suponga que el rozamiento del aire es despreciable.

a) Si durante el impacto no se transfiere energía al suelo, ¿cuál es la velocidad de la cantimplora justo antes de golpear la tierra?

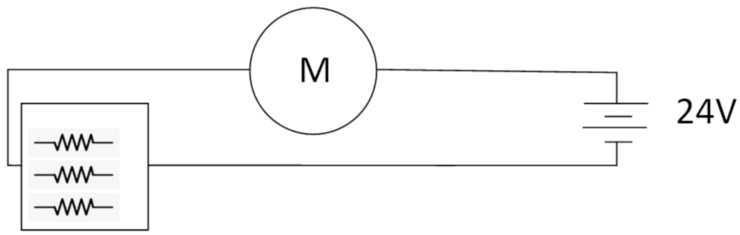
b) Si la velocidad inicial de la cantimplora es igual a 0: calcule a qué altura se encuentra el globo, en el momento en que se lanza la cantimplora.

Datos:

Calor específico del aluminio: 0,21 cal/g °C
Calor específico del agua: 1 cal/g °C
Calor latente de fusión del hielo: 79,7 cal/g
El equivalente mecánico del calor es: 4,186 J = 1 cal.

Problema 2

Un motor eléctrico de corriente continua de 24 V, alcanza su velocidad máxima (1450 revoluciones por minuto -RPM-), cuando circula por él una corriente de 36 A.
Considere que hay una relación lineal entre el número de RPM y la corriente que circula por el motor.
Se desea controlar la velocidad del motor con un conjunto de resistencias, no más de tres, colocadas en paralelo; los valores de dichas resistencias se encuentran en un rango de 0,5 Ω a 1Ω. En el circuito puede usar llaves que permitan que la corriente circule por las distintas resistencias.



a) Proponga circuitos adecuados para hacer funcionar el motor a la mitad de su velocidad máxima y a un tercio de esa velocidad.

b) Determine qué potencia se disipa en cada una de las resistencias, cuando el eje del motor gira a un tercio de su máxima velocidad.

c) ¿Cuál es el máximo torque que puede proveer este motor?

Problema 3

Una campana de buzo de forma cilíndrica, con una altura de 2,50 m y un diámetro de 1 m, está cerrada en la parte superior y abierta en la parte inferior.
La campana se baja desde la superficie del océano (donde el aire está a una presión de 1 atm y a una temperatura de 20°C) al agua de mar. La campana desciende hasta una profundidad, medida desde el fondo de la campana, de 82,3 m. A esa profundidad, la temperatura del agua es de 4°C y la campana está en *equilibrio térmico* con el agua. Suponga al aire como un gas ideal.

a) Determine el número de moles de aire dentro de la campana.

b) A la profundidad alcanzada: ¿cuánto subirá el nivel del agua dentro de la campana?

c) Calcule la presión mínima necesaria del aire, dentro de la campana, para sacar el agua que entró.

Datos:

Densidad del agua de mar $\rho = 1{,}025\ g\ cm^{-3}$

$1\ atm = 1{,}01325 \times 10^{5} Pa$

Problema Teórico 1

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)		
b)		

Problema Teórico 2

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)		
b)		
c)		

Problema Teórico 3

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)		
b)		
c)		

Olimpíada Argentina de Física

Pruebas Preparatorias
Segunda Prueba:
Termodinámica, Electricidad y Magnetismo

Nombre: ....

D.N.I.: ....

Escuela: ....

- Antes de comenzar a resolver la prueba lea cuidadosamente TODO el enunciado de la misma.

- Escriba su nombre y su número de D.N.I. en el sitio indicado. No escriba su nombre en ningún otro sitio de la prueba.

- No escriba respuestas en las hojas del enunciado pues no serán consideradas.

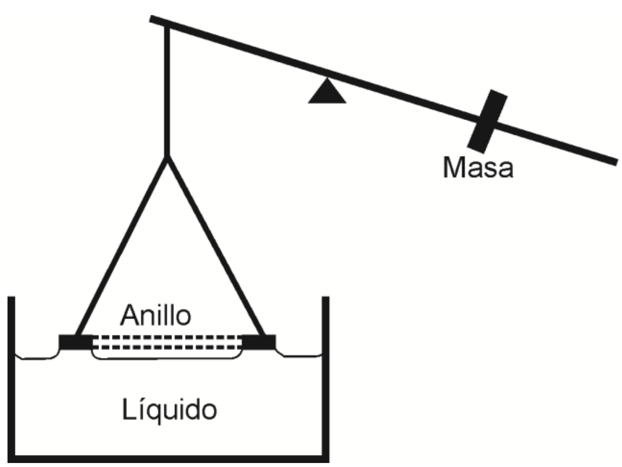
- Escriba en un solo lado de las hojas.

Tensión superficial

Las fuerzas cohesivas entre las moléculas de un líquido son las responsables del fenómeno conocido como tensión superficial.
En una interface líquido-gas, las moléculas del líquido que están justo en la superficie sienten fuerzas hacia los lados (en direcciones tangentes a la interface) y hacia el seno del líquido, pero no hacia afuera del mismo. El resultado, es que las moléculas que se encuentran en la superficie son atraídas hacia el interior de éste.

Para determinar el coeficiente de tensión superficial se puede utilizar el Tensímetro de Lecomte du Noüy. Este tensímetro, que se esquematiza en la figura, consta de un anillo suspendido de una balanza. Al sumergir el anillo en un líquido, se puede medir la fuerza ΔF necesaria que hay que ejercer, sobre el anillo, justo en el momento en el que la lámina de líquido se va a romper.
La tensión superficial del líquido (γ) se determina a partir del radio R del anillo y del valor de la fuerza ΔF mediante,

$$\gamma = \frac{\Delta F}{2(2\pi R)}$$



Elementos disponibles

- Recipiente
- Alambre, hilo, cable
- Palito de helado
- Regla
- Pinza, tijera
- Plastilina
- Agua
- Detergente
- Balanza de uso común

Actividades

a) Construya un tensímetro con los elementos disponibles.

b) Mida la tensión superficial del agua y de una mezcla de agua con detergente.

Problema Experimental

Hoja de respuestas.

Inciso		Puntaje
a)		
b)		

Problema Teórico 1

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)	$v_i = 444{,}4\ \mathrm{m\ s^{-1}}$	7 ptos.
b)	$h = \frac{1}{2} g t_i^2 = 10055{,}2\ \mathrm{m}$	3 ptos.

Problema Teórico 2

Hoja de Respuesta

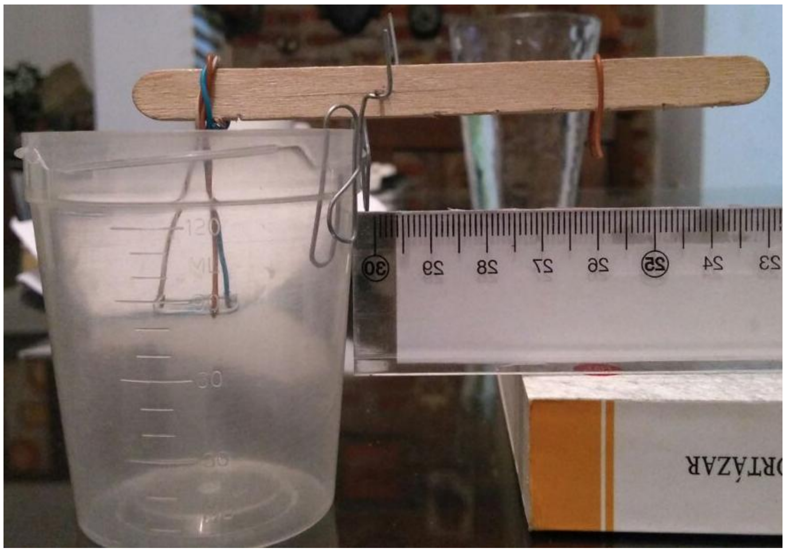
Inciso		Puntaje
a)	No es posible construir un circuito que cumpla con los requerimientos	5 ptos.
b)	Si fuera posible construir un circuito, la potencia disipada sería $P = 288\,W$	3 ptos.
c)	$\tau_{max} = 5{,}7 Nm$	2 ptos.

Problema Teórico 3

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)	$n = 81{,}63\ mol$	2 ptos.
b)	El nivel del agua dentro de la campana sube a una altura de $2{,}24\ m$ respecto del fondo de la misma.	5 ptos.
c)	$P_2 = P_0 + g\rho H = 9{,}44900\ \times 10^5 Pa$	3 ptos.

Problema Experimental
Hoja de respuestas.

Inciso		Puntaje
a)		8 ptos.
b)	(Ver solución)	12 ptos. *

***** Los 12 ptos. corresponden a:

- Medición de la tensión superficial del agua: 6 ptos.
- Medición de la tensión superficial del agua con detergente: 6 ptos.

Para cada medición, los puntos se distribuirán teniendo en cuenta:

- números de mediciones realizadas (repeticiones): máximo 3 ptos. (0,6 ptos. por medición)
- propagación de errores: 2 ptos.
- uso correcto de unidades: 1 pto.

SOLUCIÓN AL PROBLEMA TEÓRICO N° 1

a)

De acuerdo al Primer Principio de la Termodinámica, toda la energía mecánica se transformará en calor, el cual será entregado al sistema constituido por la cantimplora, el agua y el hielo.

Justo antes del impacto de la cantimplora con el suelo, la energía mecánica del sistema es solo energía cinética

$$E_k = \frac{1}{2}\left(m_{Al} + m_{agua} + m_{hielo}\right)v_i^2$$

Como el rozamiento con el aire es depreciable (no hay pérdida de energía por la fricción con el aire), toda la energía cinética de la cantimplora antes del impacto es absorbida por el sistema en forma de calor (Q),

$$E_k = Q$$

Inicialmente el recipiente de aluminio, el hielo y el agua estaban en equilibrio térmico, por lo tanto la temperatura inicial del sistema es 0°C, y la temperatura final del sistema es 25°C

$$Q = m_{Al}C_{Al}\Delta T + m_{agua}C_{agua}\Delta T + m_{hielo}\lambda_{hielo} + m_{hielo}C_{agua}\Delta T$$

Donde $\Delta T = 25°C - 0°C$

Luego

$$v_i = \sqrt[2]{\frac{2\left[\left(m_{Al}C_{Al} + m_{agua}C_{agua} + m_{hielo}C_{agua}\right)\Delta T + m_{hielo}\lambda_{hielo}\right]}{m_{Al} + m_{agua} + m_{hielo}}}$$

$$v_i = 444{,}4\ m\ s^{-1}$$

b)

Planteando un movimiento unidimensional con el eje y del sistema de coordenadas vertical y apuntando hacia abajo,

$$a = g$$

Considerando al instante inicial como el momento en que se suelta la cantimplora y que la velocidad inicial es cero

$$v = gt$$

Tomando $g = 9{,}8\ m\, s^{-2}$, el tiempo al cual la cantimplora llega al suelo es

$$t_i = \frac{v_i}{g} = 45{,}3\ \mathrm{s}$$

Tomando la altura, a la cual se suelta la cantimplora, como origen del sistema de coordenadas

$$y = \frac{1}{2} g t^2$$

Luego la altura del globo h es

$$h = \frac{1}{2} g t_i^2 = 10055{,}2\ \mathrm{m}$$

SOLUCIÓN AL PROBLEMA TEÓRICO N° 2

a)

Según el enunciado, hay una proporcionalidad entre la corriente que circula por el bobinado del motor, y el número de revoluciones por minuto del mismo.

Por ello, para que el motor gire a la mitad su velocidad máxima, debe circular una corriente

$$i_{1/2} = \frac{36\ A}{2} = 18A$$

Usando la ley de Ohm,

$$V = i\,R$$

La resistencia necesaria para que circule la corriente $i_{1/2}$ es

$$R_{1/2} = \frac{V}{i_{1/2}} = \frac{24V}{18A} = 1{,}33\Omega$$

Para que el motor gire a un tercio de su velocidad máxima, debe circular una corriente,

$$i_{1/3} = \frac{36\ A}{3} = 12A$$

Y la resistencia es

$$R_{1/3} = 2\Omega$$

Con el rango de resistencias dado y, sólo realizando conexiones en paralelo, es imposible lograr estos valores de resistencias.

La resistencia equivalente de una conexión de tres resistencias en paralelo, es:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Tomando los casos extremos $R_1 = R_2 = R_3 = 0{,}5\Omega$ y $R_1 = R_2 = R_3 = 1\Omega$, los valores de resistencia equivalente son $R_{eq1} = 0{,}166\Omega$ y $R_{eq2} = 0{,}333\Omega$, respectivamente.

Dado que todas las combinaciones posibles conducen a valores de resistencias intermedio entre los valores calculados R_{eq1} y R_{eq2}, no es posible construir un circuito con tres resistencias que cumpla con los requerimientos.

Usando solo dos resistencias en paralelo se encuentran los valores extremos $\mathrm{R_{eq3}} = 0{,}25\Omega$ y $\mathrm{R_{eq4}} = 0{,}5\Omega$, y tampoco es posible construir un circuito que cumpla con los requerimientos.

b)

La potencia disipada en un resistencia conectada a una diferencia de potencial V y por la cual circula una corriente i es,

$$P = Vi = \frac{V^2}{R}$$

Cuando el motor gira a una velocidad igual a la mitad de su velocidad máxima, la resistencia necesaria en el circuito es 2Ω.

Luego,

$$P = \frac{(24V)^2}{2\Omega} = 288\,W$$

c)

El torque (τ) está dado por la potencia que entrega el motor dividido la velocidad del mismo,

$$\tau = \frac{P}{v}$$

El máximo torque estará dado por la máxima potencia que puede entregar el motor

$$P_{max} = 24\,V\;36\,A = 864\,W$$

Y por su máxima velocidad $v_{max} = 1450\,rpm\,\frac{2\pi}{60s} = 151{,}8\,s^{-1}$

Luego,

$$\tau_{max} = \frac{P_{max}}{v_{max}} = 5{,}7Nm$$

SOLUCIÓN AL PROBLEMA TEÓRICO N° 3

a)

Tomando al aire como gas ideal,

$$P_0V_0 = nRT_0$$

donde $V_0 = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 h$ con $D = 1\,m$, $h = 2{,}5\,m$

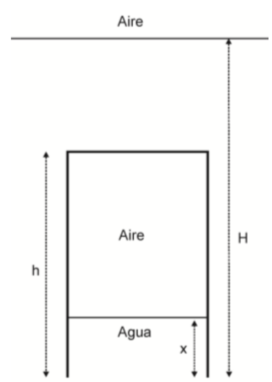
Luego,

$$n = \frac{P_0\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 h}{RT_0}$$

con $P_0 = 1\,atm = \ 1{,}01325 \times 10^5 Pa$, $T_0 = 20°C = 293.15\,K$ y $R = 8{,}314472\ \frac{J}{mol\,K}$

$$n = 81{,}63\,mol$$

b)



Con la campana sumergida, el número de moles n se mantiene constante y se cumple que

$$P_1V_1 = nRT_1$$

donde ahora el volumen de aire es $V_1 = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 (h - x)$.

Como la campana está en equilibrio térmico con el agua, $T_1 = 4°C = 277.15\,K$

De la ecuación de la hidrostática, la presión P_1 está dada por

$$P_1 = P_0 + g\rho(H - x)$$

donde $H = 82{,}3\ m$, $\rho = 1{,}025\ g\ cm^{-3} = 1025\ kg\ m^{-3}$ es la densidad del agua de mar y $g = 10\ m\ s^{-1}$ es la aceleración de la gravedad.

$$[P_0 + g\rho(H - x)]\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2(h - x) = nRT_1$$

Dado que $n = \frac{P_0\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 h}{RT_0}$ es constante,

$$[P_0 + g\rho(H - x)]\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2(h - x) = \frac{P_0\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 h}{RT_0}RT_1$$

$$[P_0 + g\rho(H - x)](h - x) = P_0\, h\frac{T_1}{T_0}$$

Luego

$$g\rho x^2 - [P_0 + g\rho(h + H)]x + (P_0 + g\rho H)h = P_0\, h\frac{T_1}{T_0}$$

$$x^2 - \left[\frac{P_0}{g\rho} + h + H\right]x + \left(\frac{P_0}{g\rho} + H\right)h - \frac{P_0}{g\rho}h\frac{T_1}{T_0} = 0$$

$$x^2 - 94{,}69x + 207.10 = 0$$

Resolviendo la ecuación cuadrática, las soluciones posibles son

$$x_1 = 92{,}45\ m$$

$$x_2 = 2{,}24\ m$$

La solución x_1 no tiene sentido dado que es más grande que la altura h de la campana. Luego, el nivel del agua dentro de la campana sube a una altura de $2{,}24\ m$ respecto del fondo de la misma.

c)

La presión mínima será la presión a una profundidad igual a $82{,}3\ m$. Luego

$$P_2 = P_0 + g\rho H = 9{,}44900\ \times 10^5 Pa$$

SOLUCIÓN AL PROBLEMA EXPERIMENTAL

1) En la figura 1 se muestra el tensímetro construido.

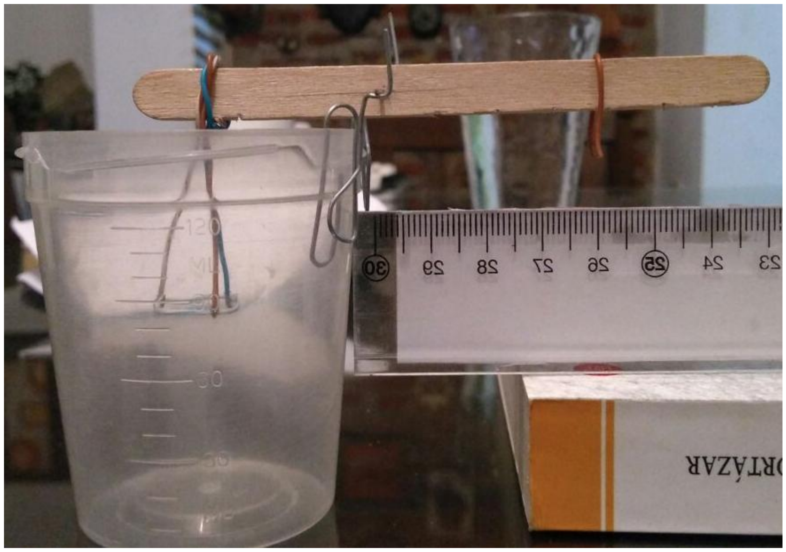


Figura 1.

2)

Para las mediciones se utilizaron jinetillos de masa $m = (0{,}10 \pm 0{,}01)\ g$

Para determinar la masa de los jinetillos, se midió la masa de 10 jinetillos (m_{10}) en la balanza

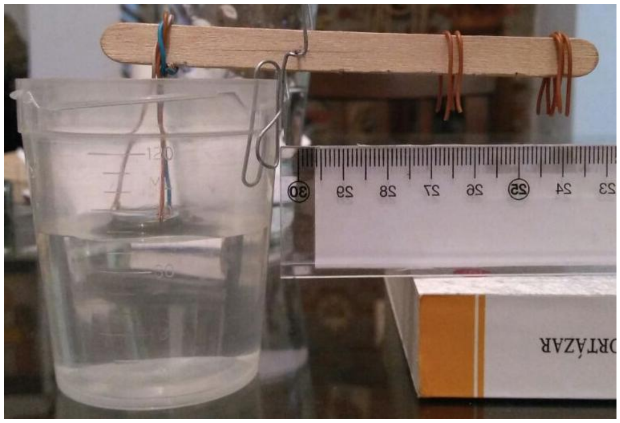
$$m_{10} = (1{,}0 \pm 0{,}1)\ g$$

La longitud del eje de rotación a la posición del aro es $l_0 = (3{,}1 \pm 0{,}2)cm$

El diámetro del aro utilizado es $d = (1{,}4 \pm 0{,}2)cm$

Para las mediciones, se busco que el brazo de la balanza estuviera horizontal. Para ello, se le agrego un jinetillo (ver figura 1) en la posición $l_b = (3{,}9 \pm 0{,}1)cm$.

Luego se le agrego líquido hasta cubrir el aro. Se posicionaron jinetillos en el brazo de la balanza hasta que el aro saliera del líquido.



Para el ***agua*** se obtuvieron las siguientes mediciones,

#	$(l_1 \pm 0{,}1)cm$	$(l_2 \pm 0{,}1)cm$	$(l_3 \pm 0{,}1)cm$	$(l_4 \pm 0{,}1)cm$	$(l_5 \pm 0{,}1)cm$	$(M \pm 300)\,dina\,cm$
1	4.5	4.5	5.7	5.8	6	2600
2	3.2	3.2	6	6	6	2400
3	4.3	4.3	6	6	6	2600
4	4.3	4.3	5.9	6	6.2	2600
5	3.4	4	5.8	5.9	6	2500
6	3.5	3.8	5.8	5.9	6	2500

Para calcular el momento M de los jinetillos se utilizó $M = gm\sum l_i$ con $g = (980 \pm 1)\ cm\,s^{-2}$. El error de M se calculó usando

$$\frac{\Delta M}{M} = \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta D}{D} \text{ con } D = \left(\sum l_i \pm \sum \Delta l_i\right)$$

El jinetillo en la posición l_b agrega un momento $M_b = (380 \pm 50)\ Dina\,cm$ a la balanza, que tiene que ser restado al momento calculado en la tabla.

Luego

$(M \pm 300)\,dina\,cm$	$(M - M_b \pm 400)\,dina\,cm$	$(\Delta F \pm 200)\,dina$	$(\gamma \pm 30)\,dina\,cm^{-1}$
2600	2200	700	80
2400	2000	600	70
2600	2200	700	80
2600	2200	700	80
2500	2100	700	80
2500	2100	700	80

Para determinar ΔF se utilizó $\Delta F = \frac{M - M_b}{l_0}$

Luego $\gamma = (80 \pm 30)\ dina\ cm^{-1} = (8 \pm 3) \times 10^{-2}\ N\ m^{-1}$

Para el ***detergente*** se realizó un procedimiento similar encontrando,

$$M = (1500 \pm 200)\ dina\ cm$$

$$\Delta F = (400 \pm 100)\ dina$$

$$\gamma = (50 \pm 20) dina\ cm^{-1} = (5 \pm 2) \times 10^{-2}\ N\ m^{-1}$$