Olimpíada Argentina de Física

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

Nombre: ....

DNI: ....

Escuela: ....

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

- Escriba su nombre y su número de DNI 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.

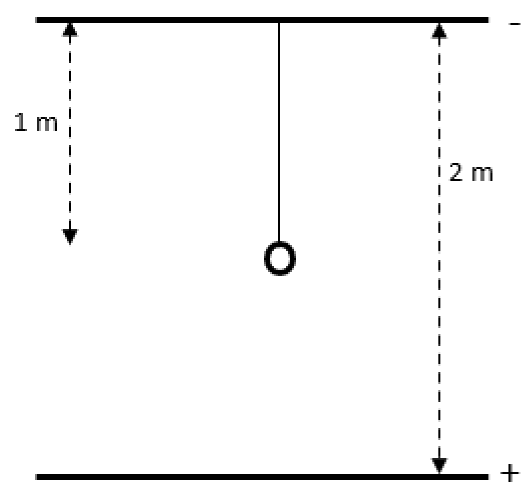
Problema 1

Del techo de una habitación de 2 m de altura se ata un hilo de 1 m de longitud. Del otro extremo del hilo se suspende una pelotita de ping-pong, tal como se muestra en la figura. Dentro de la habitación hay un campo eléctrico de 3000 V/m generado por dos placas cargadas, estando la placa positiva adherida al piso y la negativa al techo.
En un determinado instante de tiempo, se corta el hilo y la pelotita cae. Sabiendo que inicialmente la pelotita estaba descargada, su masa es de 2,8 g, su radio es de 2 cm y que si se la deja caer desde una altura de 30 cm rebota hasta una altura de 23 cm, calcule:

a) La aceleración, velocidad y posición en función del tiempo de la pelotita mientras cae.
b) El trabajo que hace el campo eléctrico durante la caída.

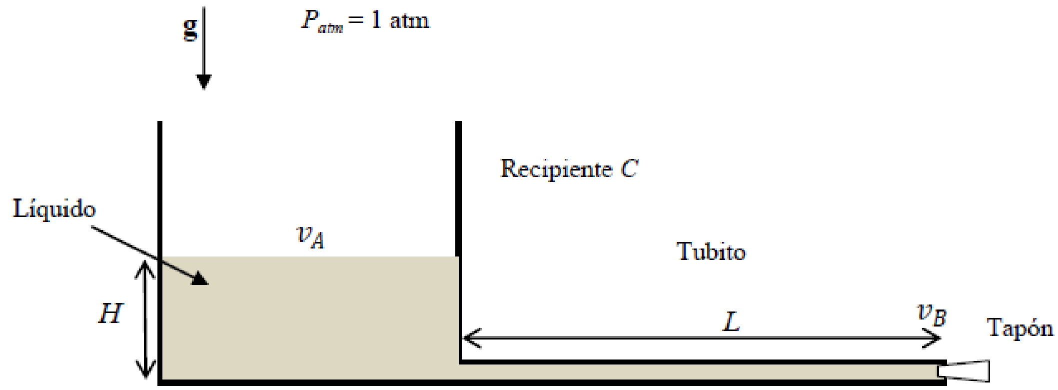
Cuando la pelotita toca la placa inferior (positiva) adquiere una carga de $5\ 10^{-6}$ C.

c) La aceleración, velocidad y posición de la pelotita luego que rebota en el piso.
d) La máxima altura que alcanza y el tiempo que demora en alcanzarla.
e) El trabajo total realizado por el campo eléctrico sobre la pelotita.
f) El trabajo total realizado por la fuerza peso sobre la pelotita.



Nota: suponga que la aceleración de la gravedad es igual a 10 m/s^2

Problema 2



Considere el dispositivo de la figura. El mismo consiste de un recipiente *C* que tiene una sección transversal *A*. En su parte superior está abierto y en la parte inferior de su pared lateral tiene instalado un tubito circular delgado de sección transversal *a* y longitud *L* con un tapón en un extremo.
Suponga que en el recipiente hay un fluido ideal de densidad $\rho = 1\ g\ cm^{-3}$. Todo el sistema está a 1atm y a una temperatura ambiente T_0.

Suponga que en t=0, con el nivel de líquido H_0=10 cm y en reposo $v_A(0) = 0$, se saca el tapón y el líquido comienza a salir por el tubo. Se sabe que la sección es $A=20\ cm^2$ y que la sección del tubito es $a= 0.08\ cm^2$, por lo que el líquido en el tanque se mueve **"suavemente"**.

a) Considerando la ecuación de Bernoulli, plantee una relación entre la velocidad a la que sale el fluido por el tubito $v_B(t)$, el nivel de líquido en el recipiente H(t) y la velocidad con la que baja el nivel de líquido en el recipiente $v_A(t)$.

b) Considerando la conservación de la masa y los caudales, escriba una relación entre la velocidad de salida del líquido por el tubito $v_B(t)$ y la velocidad a la que desciende el nivel $v_A(t)$ en el recipiente.

c) Encuentre una relación entre el nivel H(t) de líquido al tiempo t y la velocidad con la que está descendiendo $v_A(t)$ al mismo tiempo t.

d) Escriba una expresión para el cambio de nivel ($\Delta H_A(t)$) que se produce en un intervalo de tiempo Δt usando $v_A(t)$.

e) Con las expresiones del ítem c) y del ítem d) escriba una expresión para $\Delta H_A(t_1)$ en términos de $H_A(t_0)$ y de $\Delta t= t_1 - t_0 = 1s$ (recuerde que el nivel disminuye).

f) Usando el resultado del ítem anterior y haciendo un esquema iterativo determine el H(t) para los diez primeros segundos. Escriba los resultados de t y H(t) en una tabla.

Problema 3

Un calorímetro adiabático tiene en su interior una resistencia $R = 5\,\Omega$ conectada a una fuente de corriente continua como se muestra en la figura 1. El calorímetro posee además un termómetro y un agitador.

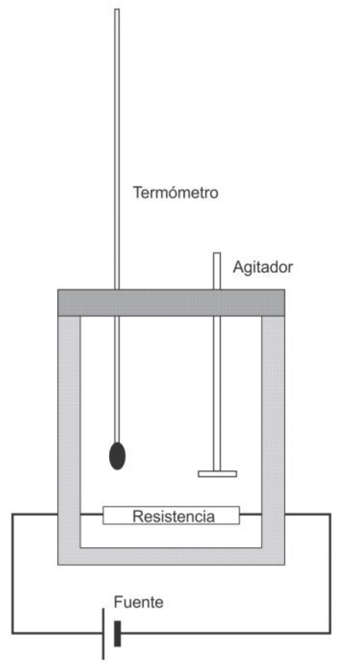


Figura 1: Calorímetro.

a) Con la fuente apagada, se coloca en el calorímetro una masa de agua $m_1 = 500\,g$ a temperatura ambiente $T_{amb} = 20°C$. Luego se agrega una masa de agua $m_2 = 500\,g$ a $T_2 = 45°C$. Luego de un tiempo, se observa que el sistema alcanza una temperatura de equilibrio $T_e = 31{,}9°C$. Determine el equivalente en agua del calorímetro (π).

b1) Con la fuente apagada y el calorímetro a temperatura ambiente $T_{amb} = 20°C$, se coloca en él una masa de agua $m_a = 500\,g$ a $T_a = 40°C$. Determine la temperatura del sistema cuando este alcanza el equilibrio.

b2) Al sistema anterior se le agrega una masa de hielo $m_h = 300\,g$ a una temperatura $T_h = -20°C$. Determine el estado final del sistema.

b3) Se enciende la fuente con un voltaje de $10V$ por 25 minutos. Determine el nuevo estado final del sistema.

b4) Sabiendo que la potencia máxima que es capaz de entregar la fuente es de 60W, determine el tiempo mínimo necesario para que el sistema alcance una temperatura de $80°C$.

Constantes

Calor específico del agua $c_a = 1\,cal\,g^{-1}\,°C^{-1}$

Calor específico del hielo $c_h = 0{,}5\,cal\,g^{-1}\,°C^{-1}$

Calor latente de fusión $\lambda_l = 80\,cal\,g^{-1}$

Equivalencia Joule-Calorías $1\,cal = 4.184\,J$

Problema Teórico 1

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)		
b)		
c)		
d)		
e)		
f)		

Problema Teórico 2

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)		
b)		
c)		
d)		
e)		
f)		

Problema Teórico 3

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)	$\pi =$	
b1)	$T_f =$	
b2)		
b3)		
b4)	$\Delta t_{min} =$	

Olimpíada Argentina de Física

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

Nombre: ....

DNI: ....

Escuela: ....

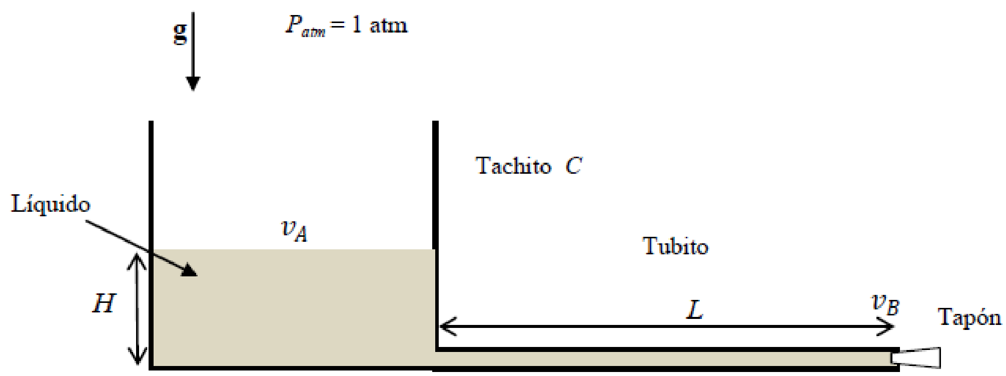
- Antes de comenzar a resolver la prueba lea cuidadosamente TODO el enunciado de la misma.
- Escriba su nombre y su número de DNI en el sitio indicado. No escriba su nombre en ningún otro sitio de la prueba.
- No escriba respuestas en las hojas del enunciado pues no serán consideradas.
- Escriba en un solo lado de las hojas.

Líquidos y tachitos

<u>Primer desafío</u>

Objetivo
Aplicar el principio de Torricelli (fluido ideal) para describir la descarga de un recipiente.

El principio de Torricelli establece que en un sistema como el de la figura, la velocidad con la que sale un fluido ideal (sin viscosidad) por el tubito está dada por: $v_B = \sqrt{2\,g\,H}$



Considerando la relación entre la sección del tachito y la del tubito, el nivel de líquido en el recipiente descenderá (cuando se saque el tapón) a medida que pase el tiempo, de la forma:

$$\sqrt{H(t)} = \sqrt{H_0} - \alpha\,t \qquad (1)$$

Con $\alpha = \sqrt{\frac{g}{2\left(\frac{A}{a}-1\right)}}$

Donde A es la sección transversal del tachito y a la sección transversal del tubito, g es la aceleración de la gravedad (9.79 m s^{-2}), H_0 el nivel de líquido inicial (en $t_0 = 0$) y t el tiempo transcurrido.

Dispositivo
Construya un dispositivo similar al de la figura y utilícelo para verificar el comportamiento dado en la ecuación (1). Se sugiere usar:

- tubito de lapicera tipo bic. **Mida su longitud L. Mida su diámetro interno y calcule a**
- tachito de yogurt, botellita de gaseosa, o algún otro recipiente de tamaño similar y sección aproximadamente uniforme. **Mida su diámetro interno y calcule A**
- recipiente en donde caiga el líquido que sale del tubito.
- plastilina o cera de vela (derretida) para sellar la unión tubito – tachito.
- regla pequeña o palito graduado.
- cronómetro.
- agua

Mediciones

- Cargue el tachito con agua.

- Permita que salga agua por el tubito.
- Mida el nivel de agua en el tachito en función del tiempo, al menos para 8 valores de tiempo. Se sugiere hacer las mediciones cada vez que el nivel en el tachito haya variado en 5mm.
- Confeccione una tabla con los resultados en la que esté incluida una columna correspondiente a $\sqrt{H}$.
- Grafique los resultados y ajuste una recta considerando a $\sqrt{H}$ como ordenada y a t como abscisa. Escriba la ecuación de la recta.
- Asociando la recta del ajuste con la ecuación (1), compare el valor de la pendiente experimental con el valor teórico.
- En todo el desarrollo del procedimiento aclare los criterios que utilizó en el tratamiento de las incertezas.

<u>Segundo desafío</u>

La ley de Poiseuille se utiliza para describir flujos en los cuales la viscosidad del fluido es relevante. Si se considera un sistema como el de la Figura, un fluido viscoso saldrá del tachito a través del tubito siguiendo la siguiente ley:

$$H = H_0 \; e^{-\beta t} \qquad (2)$$

$$ln\left(\frac{H}{H_0}\right) = -\beta t \qquad (3)$$

Con $\beta = \frac{a}{A} \; \frac{r^2}{8L} \; \frac{g}{\nu}$

Donde A es la sección del tachito y a la sección del tubito, r es el radio interno del tubito, g es la aceleración de la gravedad, L es el largo del tubito, ν es la viscosidad cinemática del fluido, H_0 el nivel de líquido inicial (en $t_0 = 0$) y t el tiempo transcurrido.

Nota: en la ecuación (2) se ha escrito la función exponencial, e es la base de los logaritmos naturales $ln(x)$.

Objetivo

Usando el dispositivo construido antes, pero con aceite comestible: verificar la ecuación (3) y determinar la viscosidad cinemática ν del aceite empleado.

Mediciones

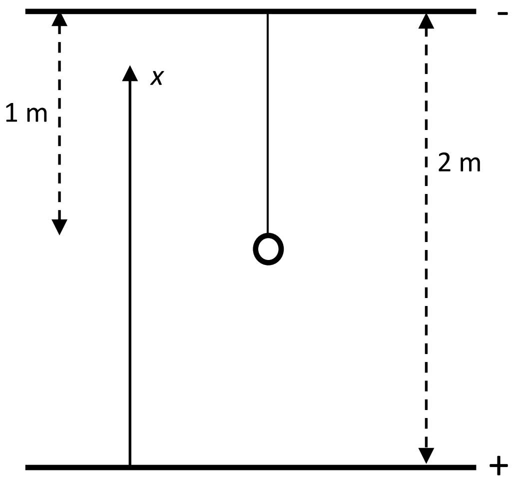
- Cargue el tachito con aceite.
- Permita que salga aceite por el tubito.
- Mida el nivel de aceite en el tachito en función del tiempo, obtenga al menos 4 pares de valores.
- Confeccione una tabla con los resultados en la que esté incluida una columna correspondiente a $ln\left(\frac{H}{H_0}\right)$.
- Grafique los resultados y ajuste una recta considerando a $ln\left(\frac{H}{H_0}\right)$ como ordenada y a t como abscisa. Escriba la ecuación de la recta.
- Asociando la recta del ajuste con la ecuación (3), determine la viscosidad cinemática ν del aceite empleado.
- En todo el desarrollo del procedimiento aclare los criterios que utilizó en el tratamiento de las incertezas.

Hoja de respuestas Problema Teórico 1

		Puntaje
a	$a(t) = -g$ $v(t) = -g\ t$ $x(t) = -\frac{1}{2}\ g\ t^2 + 0{,}98\ m$	2
b	$W_{E1} = 0\ J$	1
c	$a(t') = -g + \frac{q\ E}{m}$ $v(t') = \left(-g + \frac{q\ E}{m}\right)\ t' + 3{,}359\ \frac{m}{s}$ $x(t') = \frac{1}{2}\left(-g + \frac{q\ E}{m}\right)\ t'^2 + 3{,}359\ \frac{m}{s}\ t' + 0{,}02\ m$	3
d	$h_m = 1{,}2353\ m$	1
e	$W_E = 0{,}0182\ J$	1,5
f	$W_P = -0{,}0072\ J$	1,5

Solución Problema Teórico 1

Del techo de una habitación de 2 m de altura se ata un hilo de 1 m de longitud. Del otro extremo de hilo se suspende una pelotita de ping-pong. como se muestra en la figura. Dentro de la habitación hay un campo eléctrico de 3000 V/m generado por dos placas cargadas, estando la placa positiva adherida al piso y la negativa al techo. En un determinado instante de tiempo se corta el hilo y la pelotita cae. Sabiendo que inicialmente la pelotita estaba descargada, su masa es de 2,8 g, su radio es de 2 cm y que si se la deja caer desde una altura de 30 cm rebota hasta una altura de 23 cm, calcule:



a) La aceleración, velocidad y posición en función del tiempo de la pelotita mientras cae.
(2 puntos)

Describiremos el movimiento del centro de masa de la pelotita y utilizaremos el sistema de coordenadas mostrado en la figura. En la caída, al no estar cargada la pelotita, la aceleración es la de la gravedad, su velocidad inicial es cero y la posición inicial es 0,98 m. Por lo tanto, el movimiento se corresponde a una caída libre.

$$a(t) = -g$$
$$v(t) = -g\,t$$
$$x(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + x_0$$

Donde $x_0 = 0{,}98$ *m.*

b) El trabajo que hace el campo eléctrico durante la caída.
(1 punto)

Como en la caída la pelotita no está cargada no existe ninguna fuerza debida al campo eléctrico aplicada sobre ella, por lo tanto, el trabajo del campo eléctrico en la caída de la pelotita es cero.

$$W_{E1} = 0\ J$$

Cuando la pelotita toca la placa inferior (positiva) adquiere una carga de $5\ 10^{-6}$ C.

c) La aceleración, velocidad y posición de la pelotita luego que rebota en el piso. (3 puntos)

Ahora, al estar cargada la pelotita el campo eléctrico ejerce una fuerza que estará dirigida hacia arriba. Entonces la fuerza total aplicada sobre la pelotita es:

$$F(t) = -mg + q\,E$$

y la aceleración de la pelotita es

$$a(t') = -g + \frac{q\,E}{m}$$

El movimiento de la pelotita, después de rebotar en el piso, será con una aceleración constante (MRUV). Para poder escribir cómo será la velocidad en función del tiempo debemos conocer la velocidad que tiene la pelotita inmediatamente después de rebotar. Sabemos que si se deja caer la pelotita desde una altura de 30 cm esta rebota hasta una altura de 23 cm. Entonces el coeficiente de restitución es:

$$e = \frac{23\,cm}{30\,cm} = 0{,}766667$$

Teniendo en cuenta que cuando la pelotita toca el piso su centro de masa está en la posición $x(t_{f1}) = 0{,}02\ m$, el tiempo que demora en llegar es:

$$t_{f1} = \sqrt{\frac{2\,(0{,}98\,cm - 0{,}02\,cm)^2}{10\ \frac{m}{s^2}}} = 0{,}438\ s$$

Y la velocidad con la que impactará en el piso es

$$v_{f1} = v(t_{f1}) = 4{,}382\ \frac{m}{s}$$

Entonces la velocidad con la que rebota en el piso es

$$v_{i2} = e\ v_{f1} = 3{,}359\ \frac{m}{s}$$

Entonces la velocidad y posición en función del tiempo son:

$$v(t') = \left(-g + \frac{q\,E}{m}\right) t' + v_{i2}$$
$$x(t') = \frac{1}{2}\left(-g + \frac{q\,E}{m}\right) t'^2 + v_{i2}\,t' + 0{,}02\,m$$

Donde *t'* es el tiempo transcurrido desde el rebote en el piso, la relación entre *t'* y *t* (tiempo desde que comenzó a caer la pelotita) es *t' = t – 0,438 s.*

d) La máxima altura que alcanza y el tiempo que demora en alcanzarla. (1 punto)

Cuando la pelotita alcanza la máxima altura su velocidad es cero. Entonces

$$\left(-g + \frac{q\,E}{m}\right)\, t'_{f2} + \; v_{i2} = 0$$

despejando t'_{f2} obtenemos

$$t'_{f2} \; = -\frac{v_{i2}}{\left(-g + \frac{q\,E}{m}\right)} = 0{,}7236\; s$$

Entonces la máxima altura que alcanza el centro de masa de la pelotita es

$$x\left(t'_{f2}\right) = \; \frac{1}{2}\left(-g + \frac{q\,E}{m}\right)\, {t'_{f2}}^{2} + \; v_{i2}\; t'_{f2} + 0{,}02\; m = 1{,}2353\; m$$

e) El trabajo total realizado por el campo eléctrico sobre la pelotita. (1,5 puntos)

Vimos que el trabajo del campo eléctrico sobre la pelotita en la caída es $W_{E1} = 0\ J$. En el trayecto en que la pelotita se mueve hacia arriba, como la fuerza eléctrica es paralela a la dirección de desplazamiento, el trabajo del campo eléctrico será

$$W_{E2} = \; q\; E\; \left[x\left(t'_{f2}\right) - \; 0{,}02\; m\right)\right] = 0{,}0182\; J$$

Lo cual es igual al trabajo total realizado por el campo eléctrico.

f) El trabajo total realizado por la fuerza peso sobre la pelotita. (1,5 puntos)

El trabajo realizado por la fuerza peso durante la caída de la pelotita es

$$W_{P1} = \; m\; g\; (0{,}98\; m - 0{,}02\; m) = 0{,}0269\; J$$

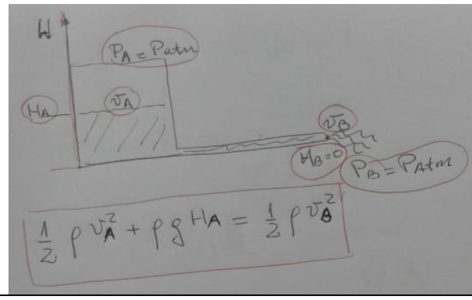
Pues la dirección de la fuerza peso es paralela a la dirección del desplazamiento. En el recorrido hacia arriba, la fuerza peso tiene sentido contrario a la dirección de desplazamiento, el trabajo de la fuerza peso es:

$$W_{P2} = \; -m\; g\; \left[x\left(t'_{f2}\right) - \; 0{,}02\; m\right] = -0{,}0340\; J$$

Entonces el trabajo total de la fuerza peso es:

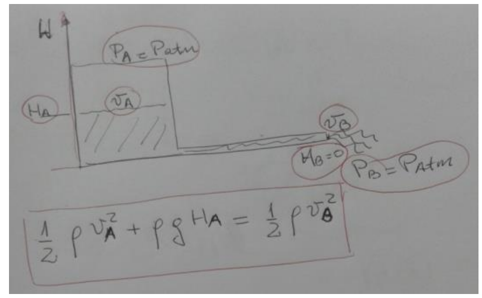
$$W_{P} = \; W_{P1} + \; W_{P2} \; = -0{,}0072\; J$$

Hoja de Respuesta Problema Teórico 2

		Puntaje
a		2
b	$A\, v_A = a\, v_B$	2
c	$H_A(t) = \frac{1}{2\,g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right](v_A(t))^2$	2
d	$\Delta H_A(t+\Delta t) = H_A(t+\Delta t) - H_A(t) = \ v_A(t)\,\Delta t$	1
e	ΔH =H(1)- H(0). $\Delta t = 1\ s$ $\Delta H_A(1) = H_A(1) - H_A(0) = \frac{1}{2\,g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right]\left[\left(v_A(0)\right)^2 - v_0\right]$ $\Delta H_A(1) = H_A(1) - H_A(0) = \frac{1}{2\,g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right]\left[\left(v_A(0)\right) + (v_0)\right]\left[\left(v_A(1)\right) - (v_0)\right]$ $\Delta H_A(1) \cong \frac{1}{2\,g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right]\left[2\left(v_A(0)\right)\right]\left[\Delta v_A(0)\right]$	2
f	$t = 0$ $\quad H(0) = H_0$ $\quad v_0 = 0$ $\quad \rightarrow \quad v_A(0) = \sqrt{\frac{H(0)}{\left[\frac{1}{2\,g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right]\right]}} \quad \rightarrow$ $\Delta v_A(0) =\ v_A(0) - 0$ $t = 1$ $\quad H(1) = H_0 - \frac{1}{2\,g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right]\left[2\left(v_A(0)\right)\right]\left[\Delta v_A(0)\right] \quad \rightarrow \quad v_A(1) = \sqrt{\frac{H(1)}{\left[\frac{1}{2\,g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right]\right]}} \quad \rightarrow$ $\Delta v_A(1) =\ v_A(1) - v_A(0)$ $t = 2$ $\quad H(2) = H_1 - \frac{1}{2\,g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right]\left[2\left(v_A(1)\right)\right]\left[\Delta v_A(1)\right] \quad \rightarrow \quad v_A(2) = \sqrt{\frac{H(2)}{\left[\frac{1}{2\,g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right]\right]}} \quad \rightarrow$ $\Delta v_A(2) =\ v_A(2) - v_A(1)$ $\mathrm{t} = 3$ $\quad \mathrm{H}(3) = \mathrm{H}_2 - \frac{1}{2\,\mathrm{g}}\left[\left(\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{a}}\right)^2 - 1\right]\left[2\left(\mathrm{v}_\mathrm{A}(2)\right)\right]\left[\Delta \mathrm{v}_\mathrm{A}(2)\right] \quad \rightarrow \quad v_A(3) = \sqrt{\frac{H(3)}{\left[\frac{1}{2\,g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right]\right]}} \quad \rightarrow$ $\Delta v_A(3) =\ v_A(3) - v_A(2)$	1

Solución Problema Teórico 2

a) Ecuación de Bernoulli



$$\frac{1}{2}\rho\, v_A^2 + \ P_A + \rho\ g\ H_A = \frac{1}{2}\rho\, v_B^2 + \ P_B + \rho\ g\ H_B$$

b)

$$A\ v_A = a\ v_B$$

c)

$$H_A(t) = \frac{1}{2\ g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right](v_A(t))^2$$

d)

$$\Delta H_A(t+\Delta t) = H_A(t+\Delta t) - H_A(t) = \ \ v_A(t)\ \Delta t$$

e)

$$\Delta H_A(t_1) = -\frac{\sqrt{H_A(t_0)}}{\sqrt{\frac{1}{2\ g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right]}}\ \Delta t$$

f) Escriba los resultados de t y H(t) en una tabla. Cambio de notación: $H_A(t) = H(t)$

$t = 0$ $\qquad H(0) = H_0$

$t = 1$ $\qquad H(1) = H_0\ - \frac{\sqrt{H_0}}{\sqrt{\frac{1}{2\ g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right]}}\ \ \Delta t = H_1$

$t = 2$ $\qquad H(2) = H_1 - \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{\frac{1}{2\ g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right]}}\ \ \Delta t = \mathrm{H}_2$

$\mathrm{t} = 3$ $\qquad \mathrm{H}(3) = \mathrm{H}_2 - -\frac{\sqrt{\mathrm{H}_2}}{\sqrt{\frac{1}{2\ g}\left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right]}}\ \ \Delta t = \mathrm{H}_3$

…
…
…

Hoja de Respuesta Problema Teórico 3

		Puntaje
a	$\pi = 50{,}42g$	1.5 ptos
b1	$T_f = 38{,}17\ °C$	1 pto
b2	El estado final del sistema es una mezcla de $74{,}88\ g$ de hielo y $725{,}12\ g$ de agua a una temperatura de $0°C$.	3 ptos
b3	El estado final del sistema es una masa de agua de $800g$ a una temperatura de $1{,}39°C$.	3 ptos
b4	$\Delta t_{min} = 4661.89\ s = 77{,}70\ minutos$	1.5 ptos

Solución Problema Teórico 3

Dado que el calorímetro es adiabático, se conserva la energía y solo hay intercambio de calor entre las masas de agua y el calorímetro.

a.

$$(m_1 + \pi)c_a(T_e - T_{amb}) + m_2 c_a(T_e - T_2) = 0$$

$$\pi = \frac{m_1(T_e - T_{amb}) + m_2(T_e - T_2)}{(T_{amb} - T_e)} = 50{,}42g$$

b1.

$$\pi c_a\left(T_f - T_{amb}\right) + m_a c_a\left(T_f - T_a\right) = 0$$

$$T_f = \frac{\pi T_{amb} + m_a T_a}{(\pi + m_a)} = 38{,}17\ °C$$

b2.

Supongo que el estado final del sistema es agua a una temperatura $T_f > 0°C$, luego

$$(m_a + \pi)c_a\left(T_f - T_e\right) + m_h c_h(0°C - T_h) + m_h\lambda_l + m_h c_a\left(T_f - 0°C\right) = 0$$

$$T_f = \frac{(m_a + \pi)c_a T_e + m_h c_h T_h - m_h\lambda_l}{(m_a + \pi + m_h)c_a} = -7{,}04°C$$

Este resultado es absurdo ya que la temperatura $T_f > 0°C$.

Supongo que una masa de hielo $M_h < m_h$se derrite y la temperatura final del sistema es $0°C$

$$(m_a + \pi)c_a(0°C - T_e) + m_h c_h(0°C - T_h) + M_h\lambda_l = 0$$

$$M_h = \frac{(m_a + \pi)c_a T_e + m_h c_h T_h}{\lambda_l} = 225{,}12\ g$$

Luego, el estado final del sistema es una mezcla de $74{,}88\ g$ de hielo y $725{,}12\ g$ de agua a una temperatura de $0°C$.

b3.

Toda la energía entregada por la fuente es disipada por la resistencia en forma de calor y absorbida por el sistema agua+hielo+calorímetro.

El calor disipado por la resistencia es $Q = \frac{V^2}{R}\Delta t = 30\ kJ = 7170{,}17\ cal$.

Supongo que el estado final del sistema es agua a una temperatura $T_f > 0°C$, luego

$$Q = (m_a + \pi + m_h)c_a\left(T_f - 0°C\right) + (m_h - M_h)\lambda_l$$

$$T_f = \frac{Q - (m_h - M_h)\lambda_l}{(m_a + \pi + m_h)c_a} = 1{,}39°C$$

El estado final del sistema es una masa de agua de $800g$ a una temperatura de $1{,}39°C$.

b4.

La potencia máxima $P_{max} = 60\ W = 14{,}34\ cal\ s^{-1}$. Luego, el tiempo mínimo Δt_{min} para que el sistema alcance una temperatura de $80°C$ es tal que

$$P_{max}\Delta t_{min} = (m_a + \pi + m_h)c_a(80°C - 1{,}39°C)$$

$$\Delta t_{min} = \frac{(m_a + \pi + m_h)}{P_{max}} c_a(80°C - 1{,}39°C) = 4661.89\ s = 77{,}70\ minutos$$

Hoja de Respuesta Experimental

		Puntaje
a	Dispositivo	5
b	Mediciones agua	4
c	Gráficos datos agua	3
d	Mediciones aceite	4
e	Gráficos datos aceite	3
f	Comentarios , observaciones , comparaciones	1

Solución Prueba Preparatoria Experimental

Líquidos y tachitos- Primer y Segundo desafío

Dispositivo

Se uso un tubito de lapicera, vasitos de yogurt, soportes varios, un palito de helado con marcas cada 0.5cm y el cronómetro del celular.
Datos importantes:

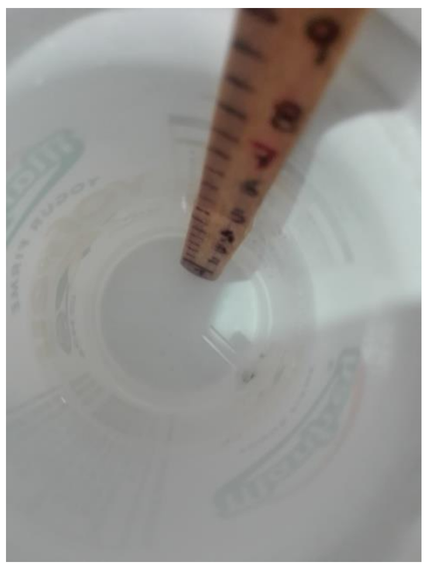
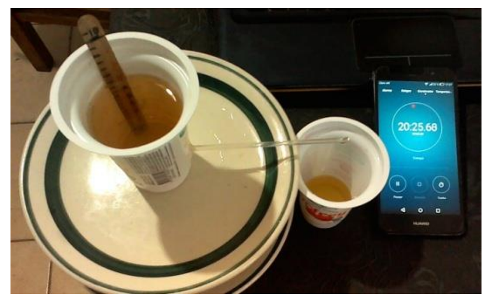
- ✓ tubito de lapicera tipo bic

largo $L = (12{,}0 \pm 0{,}1)\ cm$
diámetro interno $d = 2\,r = (1{,}5 \pm 0{,}3)\ mm$
sección transversal $a = (0{,}018 \pm 0{,}007)\ cm^2$

- ✓ tachito de yogurt

diámetro interno (promedio) $d_t = 2\,r_t = (4{,}5 \pm 0{,}2)\ cm$
sección (promedio) $A = (16 \pm 1)\ cm^2$

Nota: ***las mediciones se realizaron a una temperatura ambiente de aproximadamente 20ºC.***

Mediciones con agua

Las mediciones realizadas con agua se presentan en las tablas siguientes. En las mismas se han agregado dos columnas correspondientes a los valores de $\sqrt{H}$ (raíz cuadrada del nivel de líquido) y $\ln\left(\frac{H}{H_0}\right)$ (logaritmo natural del cociente entre el nivel de líquido a un dado tiempo y el nivel del líquido inicial).

Tabla 1

Nivel 1 $(H \pm 0{,}2)\ cm$	Tiempo 1 $(t \pm 1)\ s$	$(\sqrt{H} \pm 0{,}03)\ \sqrt{cm}$	$\left(\ln\left(\frac{H}{H_0}\right) \pm 0{,}07\right)$
7.5	0	2.74	0
6.5	29	2.55	-0.143
6.0	43	2.45	-0.223
5.5	55	2.35	-0.310
5.0	72	2.24	-0.405
4.5	88	2.12	-0.511
4.0	107	2.00	-0.629
3.5	135	1.87	-0.762
3.0	163	1.73	-0.916

Tabla 2

Nivel 2 $(H \pm 0{,}2)\ cm$	Tiempo 2 $(t \pm 1)\ s$	$(\sqrt{H} \pm 0{,}03)\ \sqrt{cm}$	$\left(\ln\left(\frac{H}{H_0}\right) \pm 0{,}07\right)$
8.0	0	2.83	0
7.5	10	2.74	-0.065
6.5	38	2.55	-0.208
6.0	52	2.45	-0.288
5.5	67	2.35	-0.375
5.0	87	2.24	-0.470
4.5	107	2.12	-0.575
4.0	138	2.00	-0.693
3.5	172	1.87	-0.827

Tabla 3

Nivel 3 $(H \pm 0{,}2)\ cm$	Tiempo 3 $(t \pm 1)\ s$	$(\sqrt{H} \pm 0{,}03)\ \sqrt{cm}$	$\left(\ln\left(\frac{H}{H_0}\right) \pm 0{,}07\right)$
8.0	0	2.83	0
7.5	16	2.74	-0.065
7.0	30	2.65	-0.134
6.5	39	2.55	-0.208
6.0	52	2.45	-0.288
5.5	66	2.35	-0.375
5.0	87	2.24	-0.470
4.5	107	2.12	-0.575
4.0	134	2.00	-0.693
3.5	178	1.87	-0.827

Tabla 4

Nivel 4 $(H \pm 0{,}2)\ cm$	Tiempo 4 $(t \pm 1)\ s$	$(\sqrt{H} \pm 0{,}03)\ \sqrt{cm}$	$\left(\ln\left(\frac{H}{H_0}\right) \pm 0{,}07\right)$
8.0	0	2.83	0
7.5	11	2.74	-0.065
7.0	23	2.65	-0.134
6.5	33	2.55	-0.208
6.0	46	2.45	-0.288
5.5	60	2.35	-0.375
5.0	78	2.24	-0.470
4.5	92	2.12	-0.575
4.0	114	2.00	-0.693
3.5	122	1.87	-0.827
3.0	166	1.73	-0.981

Tabla 5

Nivel 5 $(H \pm 0{,}2)\ cm$	Tiempo 5 $(t \pm 1)\ s$	$(\sqrt{H} \pm 0{,}03)\ \sqrt{cm}$	$\left(\ln\left(\frac{H}{H_0}\right) \pm 0{,}07\right)$
8.5	0	2.92	0
8.0	18	2.83	-0.061
7.5	29	2.74	-0.125
7.0	43	2.65	-0.194
6.5	53	2.55	-0.268
6.0	63	2.45	-0.348
5.5	77	2.35	-0.435
5.0	103	2.24	-0.531
4.5	130	2.12	-0.636

Tabla 6

Nivel 6 $(H \pm 0{,}2)\ cm$	Tiempo 6 $(t \pm 1)\ s$	$(\sqrt{H} \pm 0{,}03)\ \sqrt{cm}$	$\left(\ln\left(\frac{H}{H_0}\right) \pm 0{,}07\right)$
9.0	0	3.0	0
8.5	16	2.92	-0.057
8.0	36	2.83	-0.118
7.5	47	2.74	-0.182
7.0	59	2.65	-0.251
6.5	74	2.55	-0.325
6.0	88	2.45	-0.405
5.5	105	2.35	-0.492
5.0	121	2.24	-0.588
4.5	140	2.12	-0.693

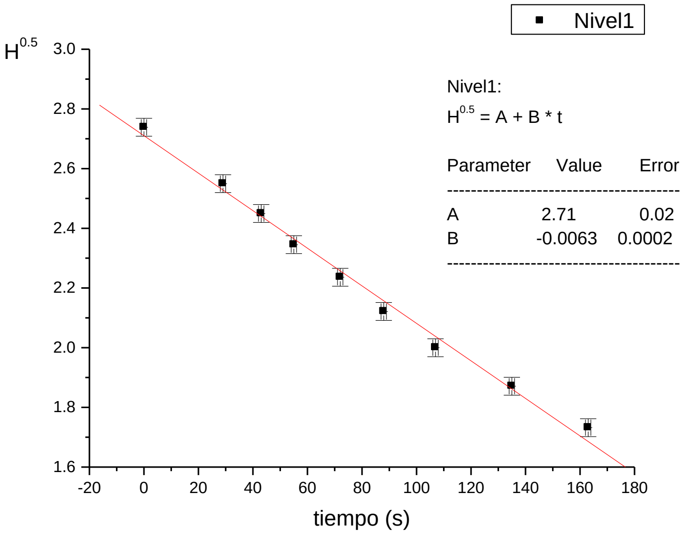
Gráficos de los resultados con agua

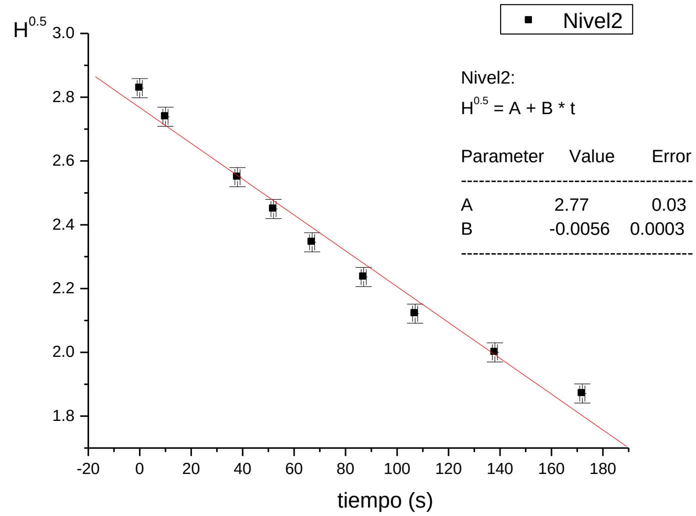
A continuación se presentan los gráficos: $\sqrt{H(t)}$ vs t y $ln\left(\frac{H}{H_0}\right)$ vs t con los correspondientes ajustes lineales:

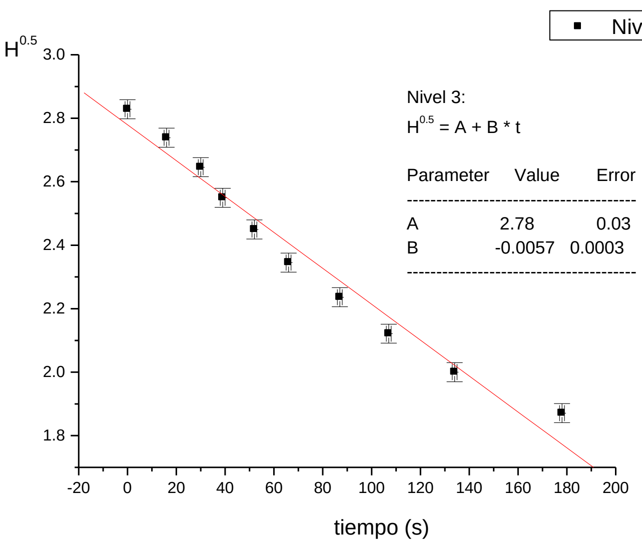
$$\sqrt{H(t)} = \alpha_0 + \alpha\, t$$

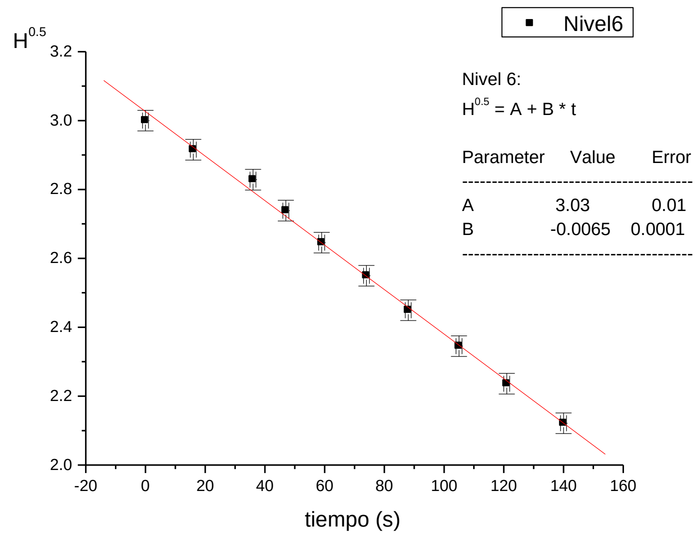
$$ln\left(\frac{H}{H_0}\right) = \beta t$$

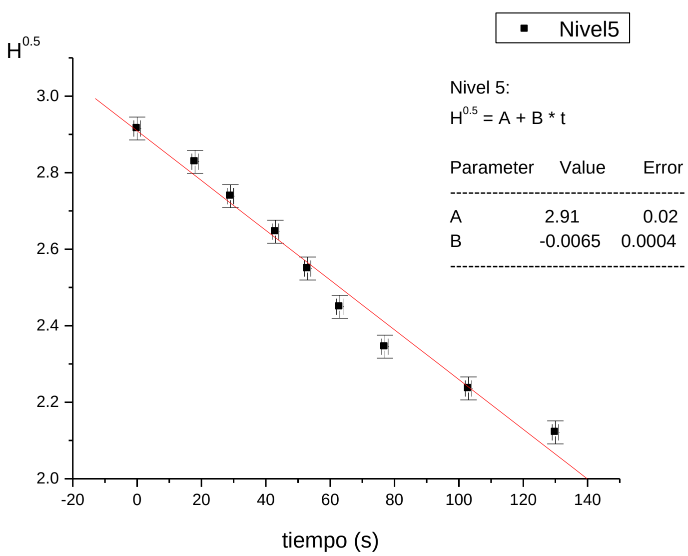
También se presentan los valores de los coeficientes de los ajustes. Los primeros seis gráficos corresponden al tratamiento de fluido ideal y los siguientes seis gráficos al tratamiento de fluido real.

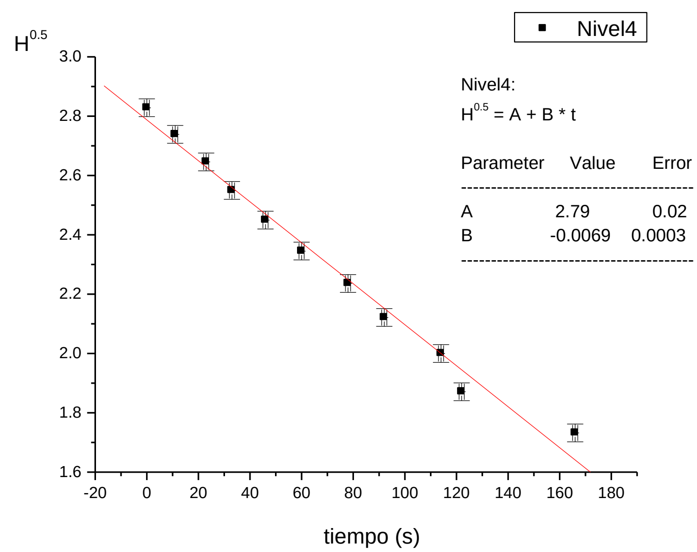

Nivel1
H^0.5
Nivel1:
H^0.5 = A + B * t
Parameter Value Error
A 2.71 0.02
B -0.0063 0.0002
tiempo (s)

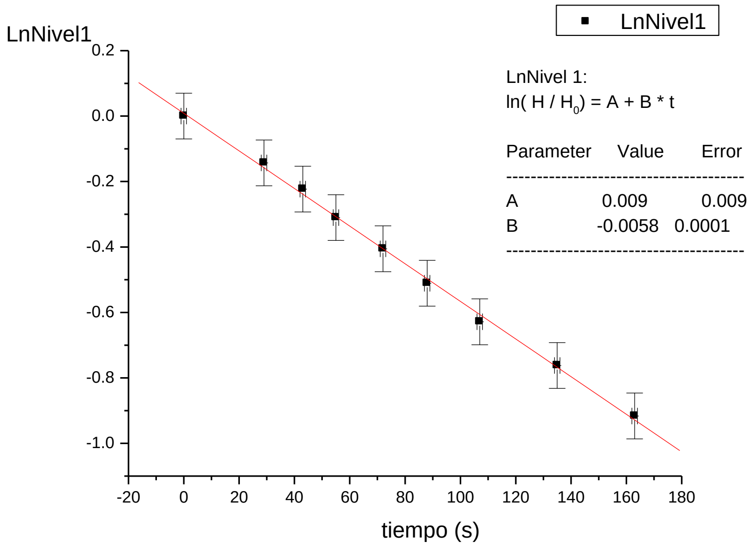

Nivel2
H^0.5
Nivel2:
H^0.5 = A + B * t
Parameter Value Error
A 2.77 0.03
B -0.0056 0.0003
tiempo (s)

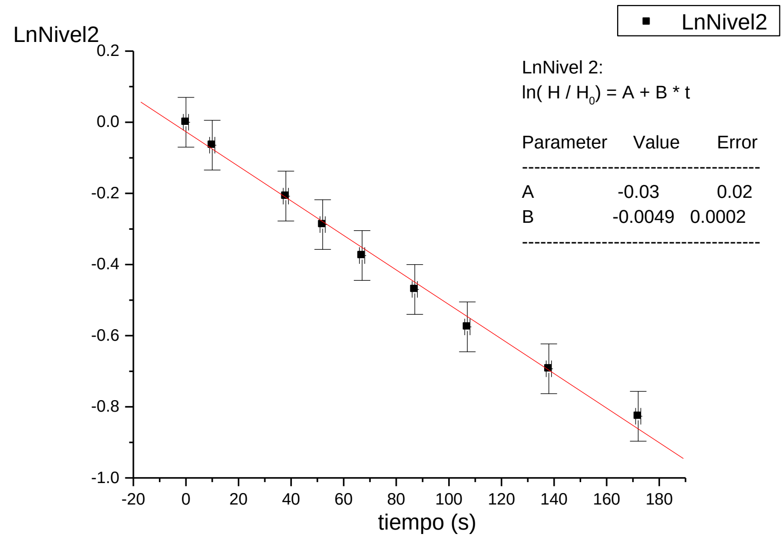

Nivel3
H^0.5
Nivel 3:
H^0.5 = A + B * t
Parameter Value Error
A 2.78 0.03
B -0.0057 0.0003
tiempo (s)

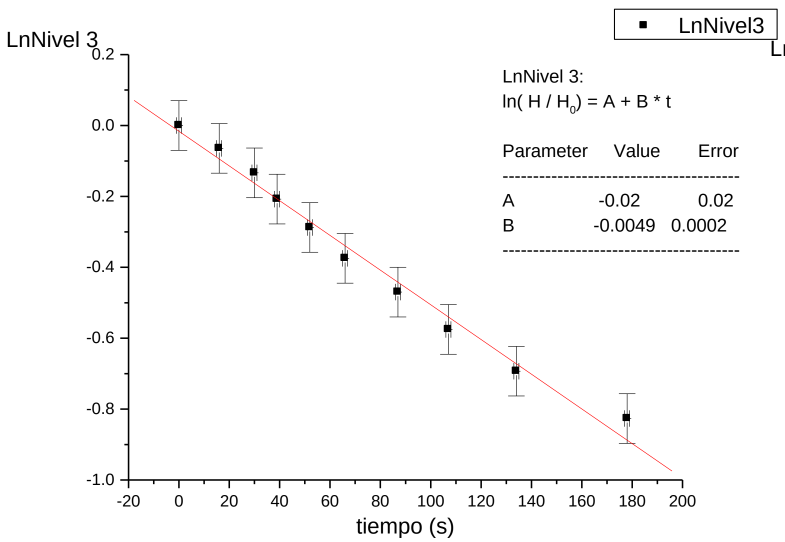

Nivel6
H^0.5
Nivel 6:
H^0.5 = A + B * t
Parameter Value Error
A 3.03 0.01
B -0.0065 0.0001
tiempo (s)

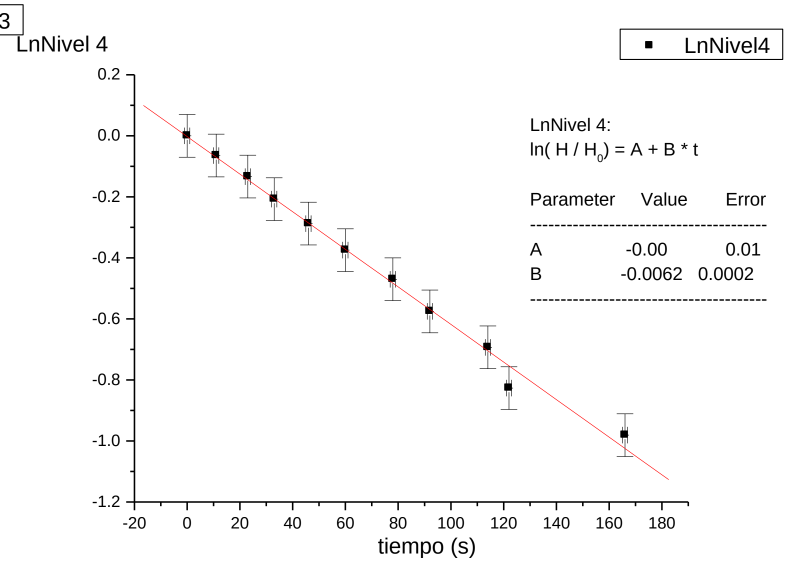

Nivel5
H^0.5
Nivel 5:
H^0.5 = A + B * t
Parameter Value Error
A 2.91 0.02
B -0.0065 0.0004
tiempo (s)

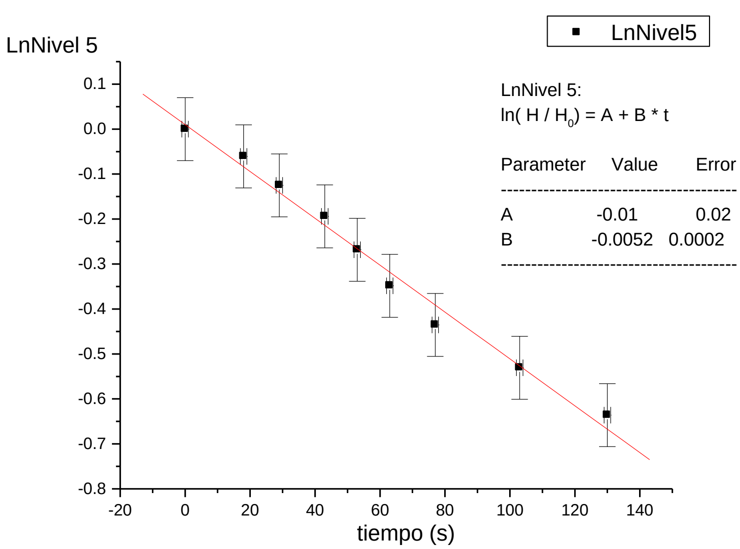

Nivel4
H^0.5
Nivel4:
H^0.5 = A + B * t
Parameter Value Error
A 2.79 0.02
B -0.0069 0.0003
tiempo (s)

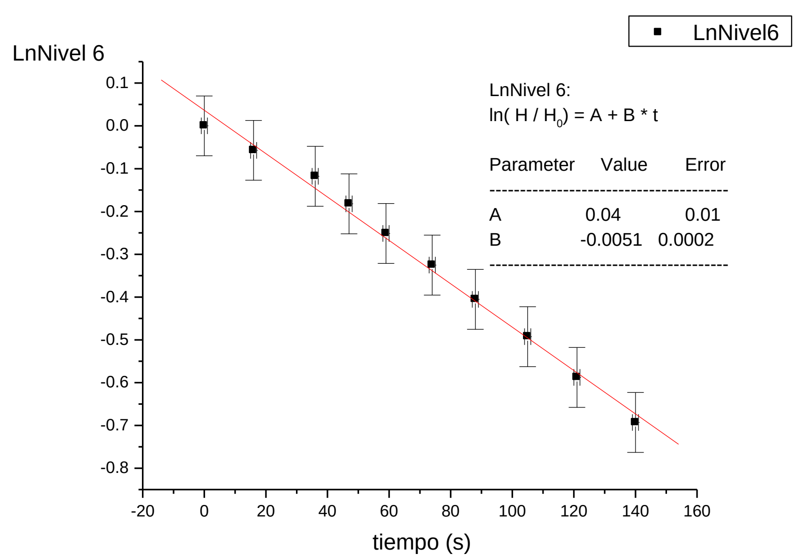

LnNivel1
LnNivel 1:
ln(H / H0) = A + B * t
Parameter Value Error
A 0.009 0.009
B -0.0058 0.0001
tiempo (s)


LnNivel2
LnNivel 2:
ln(H / H0) = A + B * t
Parameter Value Error
A -0.03 0.02
B -0.0049 0.0002
tiempo (s)


LnNivel 3
LnNivel3
LnNivel 3:
ln(H / H0) = A + B * t
Parameter Value Error
A -0.02 0.02
B -0.0049 0.0002
tiempo (s)


LnNivel 4
LnNivel4
LnNivel 4:
ln(H / H0) = A + B * t
Parameter Value Error
A -0.00 0.01
B -0.0062 0.0002
tiempo (s)


LnNivel 5
LnNivel5
LnNivel 5:
ln(H / H0) = A + B * t
Parameter Value Error
A -0.01 0.02
B -0.0052 0.0002
tiempo (s)


LnNivel 6
LnNivel6
LnNivel 6:
ln(H / H0) = A + B * t
Parameter Value Error
A 0.04 0.01
B -0.0051 0.0002
tiempo (s)

Análisis de los resultados de las mediciones con agua

Utilizando la expresión teórica de la pendiente (ecuación 1, $\alpha = \sqrt{\frac{g}{2\left(\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right)}}$) vemos que se puede obtener un valor para el cociente $j = \frac{A}{a}$ con el objeto de evaluar los resultados.
Así,

$$j = \frac{A}{a} = \sqrt{\frac{g}{2\alpha^2} + 1} \qquad \text{y} \qquad \Delta j \approx \left(\sqrt{\frac{g}{2\alpha_-^2} + 1} - \sqrt{\frac{g}{2\alpha_+^2} + 1}\right)$$

Si para el módulo de α usamos un valor representativo de los encontrados, digamos $\alpha = 0.006$ y para calcular Δj usamos los valores $\alpha_+ = 0.0069$ (máximo) y $\alpha_- = 0.0056$ (mínimo) encontrados. Tenemos:

$$j = (3.7 \pm 0.8)10^3$$

Este valor es mucho mayor que el correspondiente a nuestro dispositivo: $\frac{A}{a} = \frac{16}{0.018}$

Esto podría estar indicando que no se están cumpliendo las hipótesis para poder usar la ecuación 1. No es necesario realizar el análisis del otro coeficiente.

Para evaluar si la viscosidad del agua juega un papel importante en el experimento, usamos los ajustes correspondientes a la ecuación 3, a pendiente en este caso tendría la forma teórica: $\beta = \frac{a}{A} \frac{r^2}{8\,L} \frac{g}{\nu}$. Para evaluar nuestros resultados vamos a calcular el valor de la viscosidad cinemática del agua a partir de nuestros resultados. Notemos que en este caso podemos considerar que la ordenada al origen en los ajustes es cero, lo cual está en acuerdo con la ecuación 3.

Usamos como valor representativo del módulo de la pendiente β , al promedio de los valores encontrados y le asignamos como incerteza, el valor de la desviación estándar.
Así tenemos:

$$\beta = (0{,}0054 \pm 0{,}0005)s^{-1}$$

Con este valor, y usando la expresión teórica, calculamos la viscosidad cinemática:

$$\nu = \frac{a}{A} \frac{r^2}{8\,L} \frac{g}{\beta}$$

Para determinar la incerteza hacemos propagación de errores:

$$\frac{\Delta \nu}{\nu} = \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta A}{A} + 2\frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta \beta}{\beta}$$

Finalmente encontramos:

$$\nu = (0.012 \pm 0.001)\ cm^2 s^{-1}$$

Este valor es indistinguible con el valor correspondiente al del agua a una temperatura aproximada de 18ºC.

Conclusión de los resultados con agua

Hicimos un dispositivo que nos permitió determinar la viscosidad del agua, pero no fue útil para cumplir con el objetivo propuesto: ***Aplicar el principio de Torricelli (fluido ideal)***.

Tenemos que cambiar nuestro dispositivo de tal forma que la viscosidad del agua no juegue un rol importante. Para esto podríamos optar por:

- usar un tubito de mayor sección.
- Usar un tubito de menor longitud.

Se deja esta inquietud a los Alumnos y Docentes a Cargo.

Mediciones con aceite

Con el mismo dispositivo se realizaron mediciones usando aceite. Los resultados se presentan en las tablas siguientes. En las mismas se han agregado la columna correspondiente a los valores de $\ln\left(\frac{H}{H_0}\right)$ (logaritmo natural del cociente entre el nivel de líquido a un dado tiempo y el nivel del líquido inicial).

Tabla 7

Nivel 7 $(H \pm 0{,}2)\ cm$	Tiempo 7 $(t \pm 300)\ s$	$\left(\ln\left(\frac{H}{H_0}\right) \pm 0{,}07\right)$
7.5	0	0
7.0	720	-0.069
6.5	1400	-0.143
4.5	5200	-0.511
4.3	5800	-0.568
4	6200	-0.629

Tabla 8

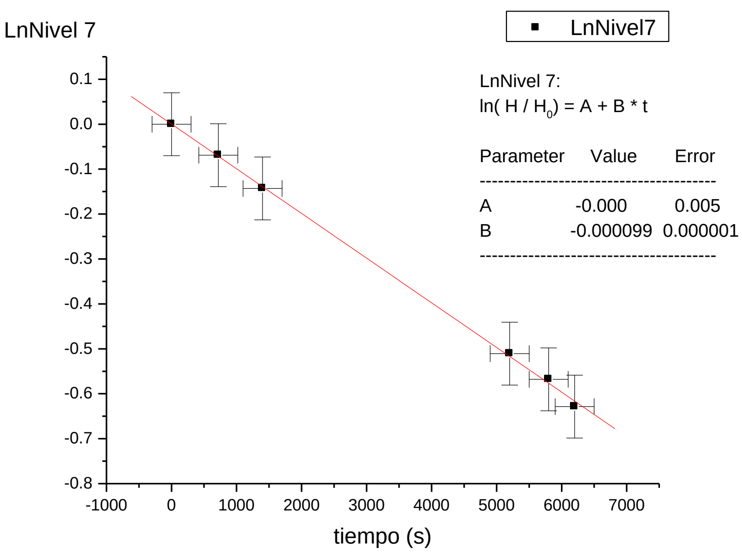
Nivel 8 $(H \pm 0{,}2)\ cm$	Tiempo 8 $(t \pm 300)\ s$	$\left(\ln\left(\frac{H}{H_0}\right) \pm 0{,}07\right)$
8.5	0	0
8.0	900	-0.061
7.5	1500	-0.125
7.0	2500	-0.194
6.5	3000	-0.268
6.0	3800	-0.348
5.5	4700	-0.435
5.0	5600	-0.531
4.7	6400	-0.593

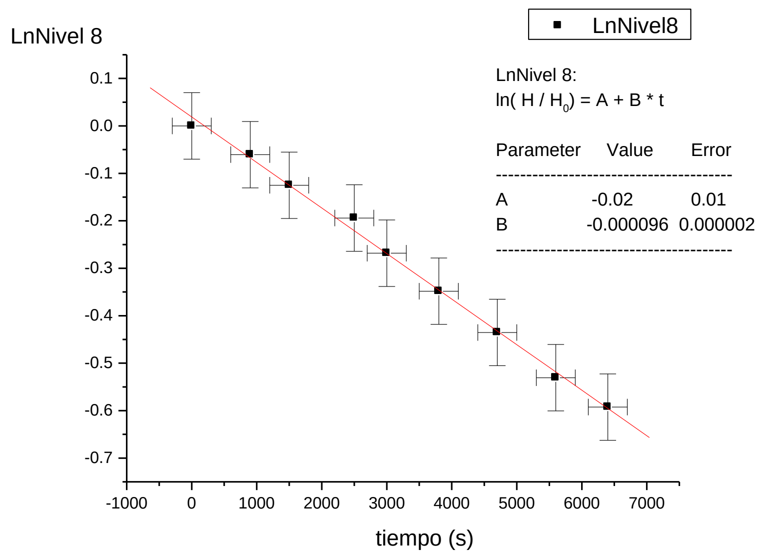
Gráficos de los resultados con aceite

A continuación se presentan los gráficos: $ln\left(\frac{H}{H_0}\right)$ vs t con los correspondientes ajustes lineales:

$$ln\left(\frac{H}{H_0}\right) = \beta t$$

También se presentan los valores de los coeficientes de los ajustes.





Análisis de los resultados de las mediciones con agua

Utilizando la expresión teórica de la pendiente (ecuación 3, $\beta = \frac{a}{A}\ \frac{r^2}{8\,L}\ \frac{g}{\nu}$)
Vamos a determinar la viscosidad del aceite.

Notemos que podemos considerar que la ordenada al origen en los ajustes es cero, lo cual está en acuerdo con la ecuación 3.

Usamos como valor representativo del módulo de la pendiente β , al promedio de los valores encontrados y le asignamos como incerteza, el valor de la desviación estándar.
Así tenemos:

$$\beta = (0{,}000098 \pm\ 0{,}000002)s^{-1}$$

Con este valor, y usando la expresión teórica, calculamos la viscosidad cinemática:

$$\nu = \frac{a}{A}\ \frac{r^2}{8\,L}\ \frac{g}{\beta}$$

Para determinar la incerteza hacemos propagación de errores:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta A}{A} + 2\,\frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta\beta}{\beta}$$

Y encontramos:

$$\nu = (0.66 \pm\ 0.01)\ cm^2 s^{-1}$$

Comentarios de los resultados con agua

Hemos encontrado en internet un valor para la viscosidad cinemática para el aceite de girasol (similar al que usamos en las mediciones) de $28\ mm^2 s^{-1}$ para una temperatura de 40ºC. Mientras que a los 100ºC la viscosidad cinemática es de $7.30\ mm^2 s^{-1}$. O sea disminuye con la temperatura y si estimamos el coeficiente γ por:

$$\gamma = \frac{28 - 7.30}{40 - 100} mm^2 s^{-1}\ ºC^{-1} = -\,0.345\ mm^2 s^{-1}\ ºC^{-1}$$

Podemos tratar de estimar con estos valores la viscosidad esperada a la temperatura en la que realizamos los experimentos… por supuesto que esto es solamente una estimación muy gruesa ya que estamos extrapolando … nos salimos del rango de los valores que estamos usando para aproximar… pero con eso en mente, escribimos la viscosidad esperada ν_e como:

$$\nu_e = \ \nu_{40} + \ \gamma\ (t - 40)$$

$$\nu_e = (28\ -\ 0.345\ (20 - 40))\ mm^2 s^{-1}$$

$$\nu_e = 34.9\ mm^2 s^{-1}$$

Este valor todavía está un poco lejos del que hemos obtenido a partir de nuestras mediciones… pero nos deja tranquilos con el valor determinado.

Conclusión de los resultados con aceite

Hicimos un dispositivo que nos permitió determinar la viscosidad del aceite. Nuestro resultado es del orden de los valores que se encontraron en internet.