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

Una esfera de hierro de 890 g tiene un diámetro de 6 cm y es 0.05 mm más grande que el diámetro de un agujero que se encuentra en una placa de cobre de 89 g. Ambas masas están a una temperatura de 30 ºC.

Si el sistema esfera-placa se introduce en un recipiente adiabático con 280 g de agua a 60 º C

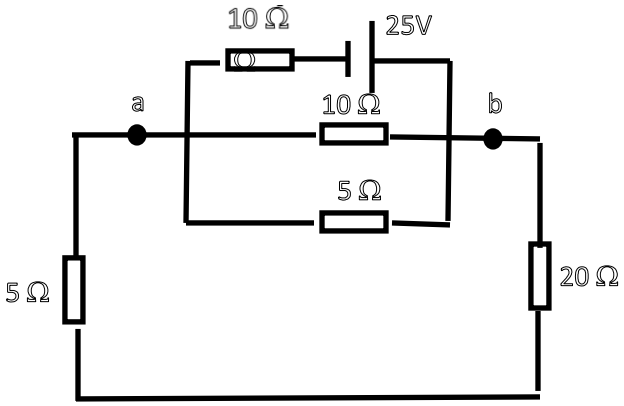
a) ¿Cuál es la temperatura final de equilibrio?
b) ¿Pasará la esfera a través del agujero cuando el sistema llegue al equilibrio?
c) ¿Qué temperatura final de equilibrio se requiere para que la esfera pase por el agujero?

Datos útiles:
Coeficiente de dilatación del cobre: $\alpha_{cu} = 1.7\ 10^{-5}\ ºC^{-1}$
Coeficiente de dilatación del hiero: $\alpha_{fe} = 1.2\ 10^{-5}\ ºC^{-1}$
Calor específico del cobre: $c_{cu} = 390$ J/(kg K)
Calor específico del hierro: $c_{fe} = 450$ J/(kg K)
Calor específico del agua: $c_{agua} = 4180$ J/(kg K)

Problema 2

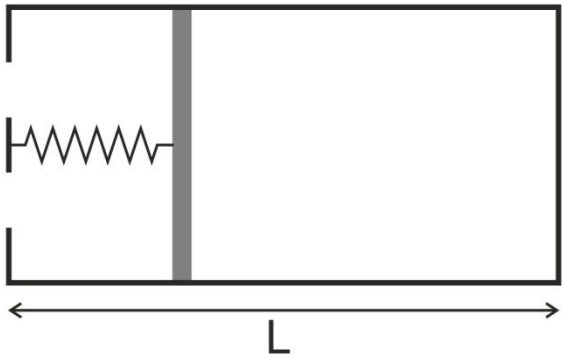
Considere el circuito de la figura y encuentre:

a) La corriente que entrega la fuente.
b) La diferencia de potencial entre los puntos a y b.
c) La corriente que circula por la resistencia de 20 Ω



Problema 3

Considere el sistema de la figura que consiste de una cámara dividida en dos partes por medio de un pistón de masa despreciable. La cámara de la derecha contiene *5* moles de un gas ideal monoatómico a *348 ºC*. La longitud de la cámara es $L = 1m$ y su sección transversal es $A = 0{,}25\ m^2$. La cámara de la izquierda se encuentra abierta y posee un resorte (sujeto únicamente a la pared) de longitud natural $L_o = 0.5\ m$ y constante $k = 10000\ kg/s^2$. No existe fricción entre el pistón y la cámara.



a) Encuentre la posición de equilibrio inicial del pistón.

Si ahora el extremo derecho de la cámara se pone en contacto con una fuente a temperatura T_1

b) ¿Cuál tiene que ser esta temperatura, para que en el estado de equilibrio el resorte tenga su longitud natural?

Posteriormente un agente externo comprime aún más el gas cuasiestáticamente hasta alcanzar una presión igual a la presión de equilibrio del inciso a) (Pa), siguiendo la recta:

$$P = \alpha V + 2.10^5 Pa$$

c) Calcule la variación de energía interna del gas en este proceso.

Finalmente se expande cuasiestáticamente el gas desde la posición de equilibrio del inciso b) hasta el volumen de equilibrio del inciso a) (Va) a presión constante.

d) Determine el calor intercambiado en este último proceso, indicando explícitamente si es absorbido o entregado.

e) Grafique el ciclo descripto en los pasos b-d.

Datos útiles: Presión atmosférica $P_o = 1{,}013\ 10^5 Pa$
Constante de los gases $R = 8{,}31\ J/(mol\ K)$

Problema Teórico 1

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)		
b)		
c)		

Problema Teórico 2

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)		
b)		
c)		

Problema Teórico 3

Hoja de Respuesta

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

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.

Determinación de la densidad del aire

Cuando un cuerpo cae en un fluido, el mismo sufre una fuerza de fricción F_D que se opone al movimiento y que depende de la velocidad del cuerpo. Si el cuerpo cae por acción de la gravedad, esta fuerza puede igualar al peso del cuerpo, y éste alcanza una velocidad constante (hemos despreciado a la fuerza debido al empuje) denominada *velocidad terminal.* Esta situación se puede describir mediante la siguiente ecuación:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_a A v^2 = Mg \qquad (1)$$

donde ρ_a es la densidad del aire, A y M son el área que el cuerpo le ofrece al fluido (sección máxima del cuerpo transversal al movimiento) y su masa, respectivamente, C_D el coeficiente de arrastre, v es la velocidad terminal y g la aceleración de la gravedad.

Objetivo: Determinar la densidad del aire (ρ_a)

Elementos:

- Hojas de papel A4 de gramaje conocido.
- Cronómetro
- Regla
- Transportador
- Compás
- Cinta adhesiva
- Tijera
- Cinta métrica (uso común)

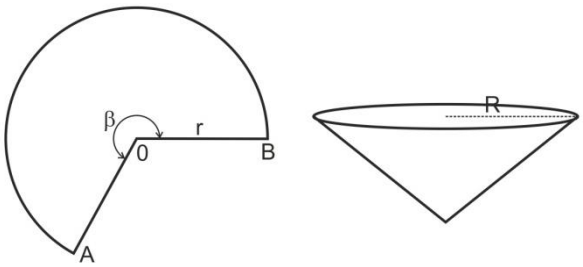
Procedimiento

Armado de los conos de papel:

En una hoja de papel de gramaje conocido, dibuje un círculo de radio $r = 10\,cm$. Sobre este círculo, dibuje un ángulo β como se muestra en el panel izquierdo de la figura.

Corte el dibujo realizado y pegue con cinta adhesiva los segmentos OA con OB para formar un cono como el mostrado en el panel derecho de la figura. Ponga atención al unir los extremos para que no queden espacios abiertos.

Arme **dos conos** para cada uno de los siguientes ángulos, $\beta = 330°, 300°, 270°\ y\ 240°$.



Mediciones:
Coloque los conos de igual β uno dentro del otro, ubicándolos de manera tal que las uniones estén contrapuestas. Deje caer los conos desde la altura máxima que alcance su brazo y mida el tiempo t_β que tardan los conos en caer desde la altura de sus ojos hasta el piso. Trate de dejar caer el cono siempre de la misma altura y mantenga la cabeza lo más derecha posible.
Repita esta medición al menos 10 veces para cada par de conos.
Determine la altura h de sus ojos utilizando la cinta métrica de uso común.

Análisis teórico
La masa de cada cono puede determinarse a partir del gramaje de las hojas (ρ_p, densidad superficial) y del área que se usó para formar el cono (A_p),

$$m = \rho_p A_p = \rho_p \beta \frac{r^2}{2}$$

donde β es el ángulo expresado en radianes.

El área que el cuerpo le ofrece al fluido (aire) es

$$A = \pi R^2$$

Como se puede ver en las figuras, se cumple:

$$2\pi R = \beta r$$

Luego,

$$A = \frac{r^2}{4\pi}\beta^2$$

De la ecuación (1), podemos escribir

$$C_D v^2 = 2\frac{g}{\rho_a}\frac{M}{A} = 2\frac{g}{\rho_a}\frac{2m}{A} = 4\frac{g}{\rho_a}\frac{2\pi\rho_p}{\beta}$$

Para las condiciones de medición $C_D = \frac{B}{v}$ donde $B = 1\frac{m}{s}$ y $v = \frac{h}{\overline{t_\beta}}$

Reescribiendo,

$$\overline{t_\beta} = \frac{\rho_a h B}{8\pi g \rho_p}\beta \qquad (2)$$

A partir de las mediciones realizadas, confeccione un gráfico de $\overline{t_\beta}$ en función de β y ajuste los puntos graficados con una recta. Determine la pendiente y la ordenada de la recta de ajuste.
A partir de los resultados anteriores y utilizando la ecuación (2), determine la densidad del aire ρ_a.

Considere $g = 10\ \frac{m}{s^2}$.

Problema Teórico 1

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)	$T_f = 51,28\ ^oC$	4
b)	$D_{fe} = 6,001532cm \qquad D_{cu} = 5,9971cm$ Como $D_{fe} > D_{cu}$, la esfera no pasa por el agujero	3
c)	$T_f = 197.14^o\ C$	3

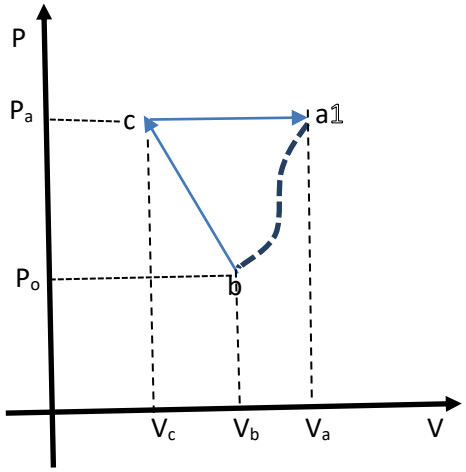
Problema Teórico 2

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)	$I = 1,93\ A$	5
b)	$V_{ab} = 5,68\ V$	2,5
c)	$I_{25} = 0,226\ A$	2,5

Problema Teórico 3

Hoja de Respuesta

Inciso		Puntaje
a)	*x = 0.115 m*	2
b)	$T_b = 304,75\ K$	2
c)	$\Delta U = -516.05 J$	2
d)	$\Delta Q = 33726,135 J$ que son absorbidos por el gas	2
e)	 La línea punteada representa un proceso en el cual no están definidos los estados de equilibrios termodinámicos, y las líneas continuas representan procesos cuasiestacionarios.	2

Solución

Problema Teórico 1.

a) Sea

M_{fe}= 0.890 Kg M_{cu}= 0.089 Kg M_a= 0.280 Kg

Planteando la ecuación de conservación de energía resulta que:

$$M_{fe}c_{fe}\left(T_f-30\right)+M_{cu}c_{cu}\left(T_f-30\right)+M_ac_a\left(T_f-60\right)=0$$

Despejando T_f de esta ecuación resulta:

$$T_f=\frac{\left(M_{fe}c_{fe}+M_{cu}c_{cu}\right)30+M_ac_a60}{M_{fe}c_{fe}+M_{cu}c_{cu}+M_ac_a}$$

$$T_f=\frac{\left(0.890\left(450\right)+0.089\left(390\right)\right)30+0.280\left(4180\right)60}{0.890\left(450\right)+0.089\left(390\right)+0.280\left(4180\right)}$$

$$T_f=51,28\ ^oC$$

b) Para responder este ítem se tiene que calcular cuánto dilató la esfera de hierro y cuanto dilató el agujero de cobre al pasar de 30 a 51,28 ºC:

$$D_{fe}=D_{ofe}\left(1+\alpha_{fe}\left(T_f-30\right)\right)=6\left(1+1,2.10^{-5}\left(51,28-30\right)\right)=6,001532cm$$

$$D_{cu}=D_{ocu}\left(1+\alpha_{cu}\left(T_f-30\right)\right)=5.995\left(1+1,7.10^{-5}\left(51,28-30\right)\right)=5,9971cm$$

Claramente el diámetro de la esfera de hierro es más grande que el diámetro del agujero de cobre ($D_{fe}>D_{cu}$). Por lo la esfera no pasa por el agujero.

c) Para que la esfera pase por el agujero se debe cumplir que $D_{fe}>D_{cu}$ a una misma temperatura:

$$D_{fe}=D_{ofe}\left(1+\alpha_{fe}\left(T_f-30\right)\right)=D_{ocu}\left(1+\alpha_{cu}\left(T_f-30\right)\right)=D_{cu}$$

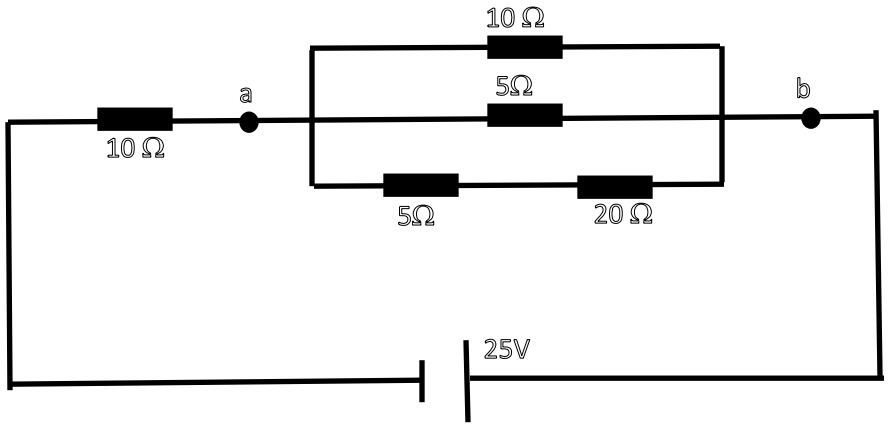
$$\left(T_f-30\right)=\frac{D_{ofe}-D_{ocu}}{D_{ocu}\alpha_{cu}-D_{ofe}\alpha_{fe}}=167.14^o\ C$$

Por lo tanto:

$$T_f=197.14^o\ C$$

Problema Teórico 2.

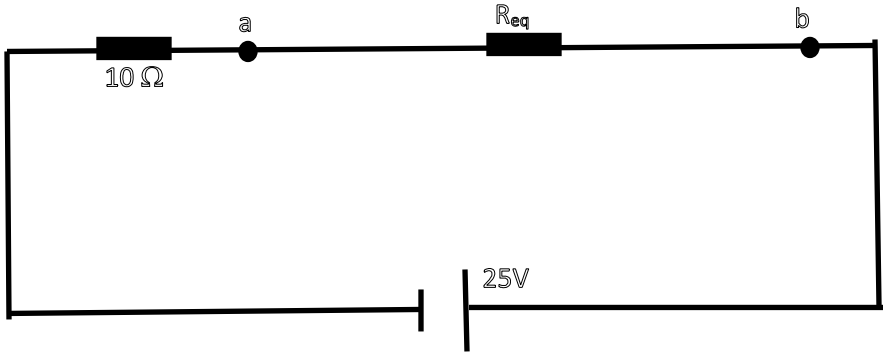
a) El circuito puede dibujarse de la siguiente manera:



Por ley de Ohm:

$$V = IR$$

El circuito anterior puede reemplazarse por:



Donde:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{25} = \frac{17}{50} \Rightarrow R_{eq} = \frac{50}{17}$$

Luego:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{25}{10 + \frac{50}{17}} = \frac{425}{220} = 1{,}93A$$

b)

$$V_{ab} = IR_{eq} = 1,93\frac{50}{17} = 5,68\,V$$

c) Sabemos por Kirchoff que:

$$I = I_{10} + I_5 + I_{25} = \frac{V_{ab}}{10} + \frac{V_{ab}}{5} + I_{25}$$

$$I_{25} = I - \frac{V_{ab}}{10} - \frac{V_{ab}}{5} = 1,93 - 0,568 - 1,136 = 0,226\ A$$

Problema Teórico 3.

a) Para que el pistón se encuentre en equilibrio la presión ejercida sobre el pistón del lado derecho debe ser igual a la del lado izquierdo. Del lado izquierdo tenemos la presión atmosférica más la presión debida a la fuerza que ejerce el resorte. Del lado derecho tenemos la presión del gas. Es decir:

$$P_o + \frac{k\left(L_o - x\right)}{A} = \frac{NRT}{A\left(L - x\right)} \qquad (1)$$

donde T es la temperatura expresada en Kelvin.

Re-escribiendo esta igualdad se obtiene una ecuación de segundo grado para x:

$$\left(P_o AL + kLL_o - NRT\right) - x\left(P_o A + k\left(L + L_o\right)\right) + kx^2 = 0$$

$$4485{,}16 - 40325x + 10000x^2 = 0$$

De aquí resulta:

$x = 3.917\ m$ o $x = 0.115m$

De estos resultados el que tiene sentido físico es:

$$x = 0.115\ m$$

b) Si $x = L_o$, la ecuación (1) se reduce a:

$$P_o = \frac{NRT_b}{A\left(L - L_o\right)}$$

De donde se despeja T_b:

$$T_b = \frac{P_o A\left(L - L_o\right)}{NR} = 304{,}75\ K$$

c) La energía interna de un gas ideal está dada por :

$$U = \frac{3}{2}NRT$$

Por lo tanto la variación de energía estará dada por:

$$\Delta U = \frac{3}{2}NR\left(T_c - T_b\right)$$

donde T_b es la temperatura del inciso anterior y T_c la correspondiente al estado final después de comprimir el gas siguiendo la recta

$$P = \alpha V + 2.10^5 Pa \qquad (2)$$

hasta alcanzar una presión igual a la del inciso a

Primero necesitamos encontrar α. Como partimos de presión atmosférica y un volumen del gas $V_b = L_o A = 0.5\ (0.25) = 0.125\ m^3$, resulta:

$$P_o = \alpha V_b + 2.10^5 Pa$$

$$1{,}013\ 10^5 = 0.125\alpha + 2.10^5$$

$$\alpha = -789600\ Pa/m^3$$

Por otro lado la presión en el estado inicial (inciso a) era:

$$P_a = \frac{NRT}{A(L-x)} = \frac{5(8{,}31)621{,}15}{0.25(1-0.115)} = 116649{,}86 Pa$$

Reemplazando en (2) el valor de α y de P_a obtenemos $V_c = 0.1056\ m^3$

Finalmente:

$$T_c = \frac{P_a V_c}{NR} = 296{,}47\ K$$

Por lo tanto:

$$\Delta U = \frac{3}{2} NR(T_c - T_b) = \frac{3}{2} 5(8.31)(296.47 - 304.75) = -516.05 J$$

d) Dado que es un proceso a presión constante, se puede escribir que $\Delta Q = N c_p (T_a - T_c)$ donde $c_p = \frac{5}{2} n$ ya que el gas es monoatómico.

Si no, dada la segunda ley de la termodinámica:

$$\Delta U = \Delta Q + W$$

Por lo tanto:

$$\Delta Q = \Delta U - W = \Delta U + P\Delta V$$

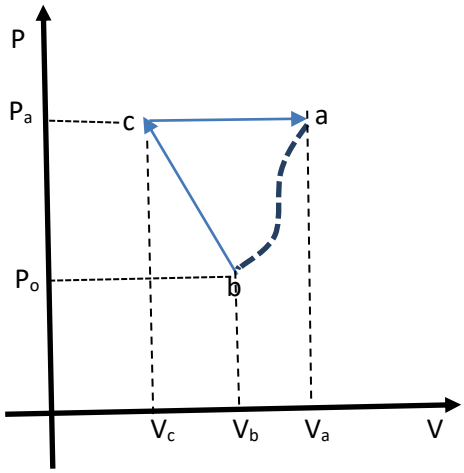
$$\Delta Q = \frac{3}{2} NR(T_a - T_c) + P_c (V_a - V_c) = \frac{3}{2} NR(T_a - T_c) + NR(T_a - T_c)$$

$$\Delta Q = \frac{5}{2} NR(T_a - T_c) = \frac{5}{2} NR(621.15 - 296.47)$$

$$\Delta Q = 33726{,}135 J$$

Que son absorbidos por el gas

e)



Prueba Experimental - Solución

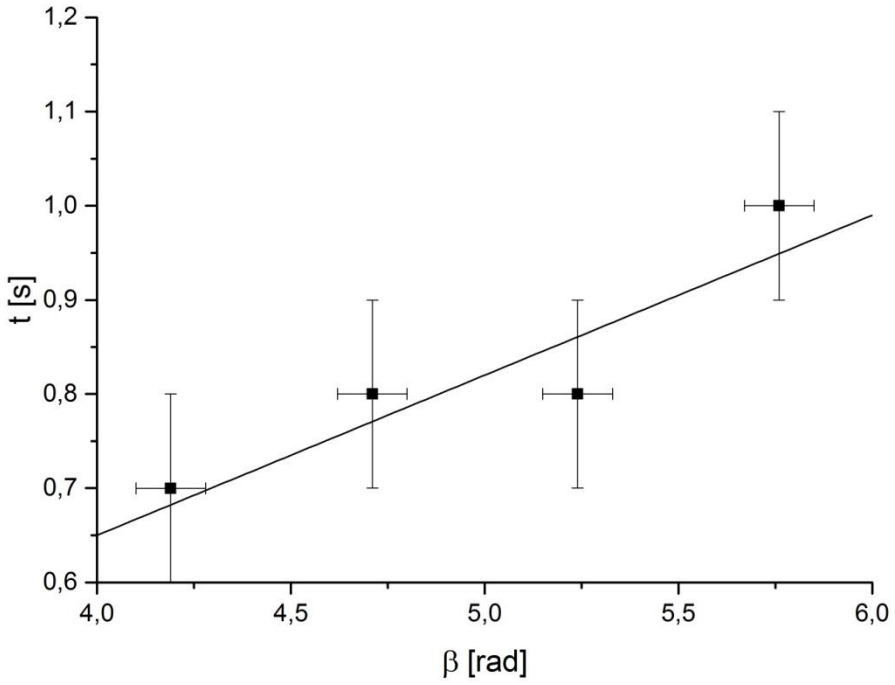
El tiempo se midió para una altura $h = (1{,}70 \pm 0{,}05)m$ (Medición de la altura: 1 pto)

(Mediciones: 10 ptos)

#	$\beta[º] \pm 5º$	$\beta\,[rad] \pm 0.09rad$	$t[s] \pm 0{,}1s$	$\bar{t}[s] \pm 0{,}1s$
1	240	4,19	0,8	0,7
2			0,7	
3			0,8	
4			0,7	
5			0,7	
6			0,7	
7			0,6	
8			0,8	
9			0,7	
10			0,7	
1	270	4,71	0,8	0,8
2			0,8	
3			0,8	
4			0,8	
5			0,8	
6			0,8	
7			0,8	
8			0,9	
9			0,8	
10			0,8	
1	300	5,24	0,8	0,8
2			0,8	
3			0,8	
4			0,8	
5			0,8	
6			0,8	
7			0,8	
8			0,9	
9			0,8	
10			0,8	
1	330	5,76	0,8	1,0
2			1,0	
3			1,0	
4			1,0	
5			0,9	
6			0,9	
7			1,0	

8			1,0	
9			0,9	
10			1,0	

(Gráfico: 5 ptos)



(Ajuste: 2 ptos)

Del ajuste $t = c + b\,\beta$ se obtiene

$c = (0\ \pm 0{,}3)s$

$b = (0{,}17\ \pm 0{,}05)s$

(Valor de ρ_a: 2 ptos)

De la ecuación (2) se obtiene,

$$\rho_a = b\frac{8\pi g \rho_p B}{h}$$

$$\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a} = \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta\rho_p}{\rho_p} + \frac{\Delta h}{h}$$

$$\rho_a = (2{,}0 \pm 0{,}8)\ kg\ m^{-3}$$