



Manual de prácticas de laboratorio de Termodinámica y fluidos

Gabriela G. Maya Aranda
Rogelio Mendoza Pérez

Universidad Autónoma de la Ciudad de México

MANUAL DE PRÁCTICAS
DE LABORATORIO DE
TERMODINÁMICA Y FLUIDOS

GABRIELA G. MAYA ARANDA

ROGELIO MENDOZA PÉREZ

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Esther Orozco Orozco

RECTORA

Minerva Camacho Nuez

COORDINADORA ACADÉMICA

Jesús Eduardo Fandiño Armas

COORDINADOR DEL COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Manual de prácticas de laboratorio de Termodinámica y fluidos

Gabriela G. Maya Aranda
Rogelio Mendoza Pérez

© *Manual de prácticas de laboratorio de Termodinámica y fluidos*,
primera edición, 2012

© Gabriela G. Maya Aranda y Rogelio Mendoza Pérez

D.R. Universidad Autónoma de la Ciudad de México
Av. División del Norte 906, Col. Narvarte Poniente,
Delegación Benito Juárez, C.P. 03020, México, D.F.

ISBN

Academia de Física, Academia de Matemáticas, Colegio de Ciencia y Tecnología, Ciclo Básico,
Colección Materiales Educativos de la Coordinación Académica, UACM.

- Materiales Educativos:

www.freewebs.com/matsedusuacm, materiales.educativos@uacm.edu.mx

- Responsable de la edición: Ana Beatriz Alonso Osorio

anabe.alonso@gmail.com

- Diseño de la portada: Miguel Ángel López Bernal

- Compilación de interiores: Adriana Rivera Hernández

- Imágenes del texto tomadas de www.wikipedia.org, con objetivos didácticos sin fines de lucro

Material educativo universitario de distribución gratuita para estudiantes de la UACM.

Prohibida su venta

Hecho e impreso en México / *Printed in Mexico*

La Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, en su Exposición de motivos, establece:

“7. Contribuir al desarrollo cultural, profesional y personal de los estudiantes:

(...) El empeño de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México deberá ser que todos los estudiantes que a ella ingresen concluyan con éxito sus estudios. Para ello deberá construir los sistemas y servicios que éstos necesiten para alcanzar este propósito de acuerdo con su condición de vida y preparación previa. (...)”¹

De igual manera, en su Título I, Capítulo II, Artículo 6, Fracción IV, dice:

“Concebida como una institución de servicio, la Universidad brindará a los estudiantes los apoyos académicos necesarios para que tengan éxito en sus estudios. (...)”²

Atendiendo a este mandato, los profesores - investigadores de la UACM preparan materiales educativos como herramienta de aprendizaje para los estudiantes de los cursos correspondientes, respondiendo así al principio de nuestra casa de estudios de proporcionarles los soportes necesarios para su avance a lo largo de la licenciatura.

Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

¹ *Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México*, publicada en la *Gaceta Oficial del Distrito Federal* el 5 de enero de 2005, reproducida en el Taller de Impresión de la UACM, p. 14.

² *Ídem.*, p. 18.

Introducción

El presente busca ser un material de apoyo para los estudiantes que están cursando la materia de *Termodinámica y fluidos*, que se imparte en el tercer semestre del Ciclo Básico del Colegio de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Para la formación del futuro egresado en ingeniería es fundamental aprender la teoría de las diversas áreas de la física mediante las correspondientes prácticas de laboratorio, ya que de esta manera es posible observar directamente causa y efecto de muchos de los fenómenos que se le presentarán como casos prácticos en el medio profesional.

El aprendizaje experimental, y una adecuada operación de los fundamentos matemáticos, permitirán al estudiante llegar a la solución de problemas cotidianos de la ingeniería con mayor facilidad. Dado que el curso de Termodinámica y fluidos representa la aplicación inmediata de los conceptos estudiados en asignaturas previas es deseable que, para este momento, se hayan adquirido ya los conocimientos de Mecánica I y II, así como sólidas bases de álgebra, trigonometría, geometría analítica y cálculo diferencial e integral.

En el caso de este curso, las prácticas tienen la finalidad de que los estudiantes conozcan directamente los fenómenos básicos relacionados con las diferentes manifestaciones de los fluidos, el calor y la termodinámica. El contenido de este *Manual de prácticas de Termodinámica y fluidos* está distribuido de forma tal que lleva una coherencia con el temario del curso, y consiste en:

PRÁCTICA 1: MEDICIÓN DE DENSIDAD (SÓLIDOS Y LÍQUIDOS), donde se manejarán las definiciones de: *densidad* (ρ), *volumen específico* (v_e), *peso específico* (w_e) y *densidad relativa* (ρ_r), también llamada *gravedad específica*. A su vez, se hará uso de ciertas cantidades estadísticas: *valor promedio* (ρ_m), *desviación media* ($\delta\rho$) y *error porcentual* (ε).

PRÁCTICA 2: PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES, en la que se comprobará que un objeto sumergido total o parcialmente en un fluido experimenta una fuerza hacia arriba (*fuerza de flotación*) de igual magnitud al peso del fluido desplazado por el objeto.

PRÁCTICA 3: PRESIÓN ATMOSFÉRICA E HIDROSTÁTICA Y PRINCIPIO DE PASCAL, que permitirá diferenciar los conceptos de *presión atmosférica* y *presión hidrostática*, así como apreciar que la presión aplicada a un fluido encerrado se transmite en todas direcciones de forma íntegra a cada punto del fluido y a las paredes del recipiente que lo contiene.

PRÁCTICA 4: LEY DE BOYLE, en la cual se demostrará que la presión de un gas en un recipiente cerrado es inversamente proporcional al volumen del recipiente cuando la temperatura es constante, que es un caso particular de la *ley de los gases ideales*.

PRÁCTICA 5: EQUILIBRIO TÉRMICO, misma que comprobará que, cuando dos objetos con diferentes temperaturas se ponen en contacto, se produce entre ellos una transferencia de energía en forma de calor, fenómeno que continúa hasta que las temperaturas de ambos sistemas se igualan y alcanzan el llamado *equilibrio térmico*.

PRÁCTICA 6: DILATACIÓN TÉRMICA EN METALES, donde se determinarán experimentalmente la *dilatación* y el *coeficiente de dilatación lineal* de distintos metales cuando su temperatura aumenta.

PRÁCTICA 7: EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR, la cual evidenciará que tanto el calor como el trabajo se pueden concebir como una forma equivalente de transferencia de energía para así, retomando este concepto de conservación de la energía, poder calcular la *capacidad calorífica* de ciertos metales.

PRÁCTICA 8: LEYES DE LA TERMODINÁMICA, en la que se corroborará la ley cero de la termodinámica, que es una consecuencia del equilibrio térmico; también se validarán tanto la primera como la segunda *leyes de la termodinámica* y se podrá calcular la capacidad térmica específica de ciertos metales.

Este sencillo material para el laboratorio de Termodinámica y fluidos es resultado de un largo proceso: horas de enseñanza teórica y práctica de los autores, impartiendo la materia a estudiantes de la UACM que han estado alejados por muchos años de la ciencia y la tecnología, arduos debates con amigos expertos en estos temas y tiempo de lectura por parte de los revisores técnicos del texto. A todos los involucrados agradecemos sus atinadas observaciones para poder terminar este material que, estamos conscientes, aún presenta carencias que deberán corregirse conforme las propias condiciones experimentales del laboratorio lo permitan.

Particularmente queremos agradecer la revisión técnica del Dr. José Joaquín Lizardi del Ángel, así como las facilidades en el uso del laboratorio y el equipo al Ing. Carlos Bustamante Valenti. Agradecemos también los comentarios y el apoyo durante todo el proceso de edición a la Lic. Ana Beatriz Alonso Osorio. Un especial agradecimiento a nuestra compañera, la Mtra. Adriana Rivera Hernández, por su dedicada labor en la compilación de todo el contenido de este manual.

Nada humano me es ajeno

Gabriela G. Maya Aranda
Rogelio Mendoza Pérez
San Lorenzo Tezonco, D.F.
Mayo de 2009

Contenido

Práctica 1:

Medición de densidad (sólidos y líquidos)	3
---	---

Práctica 2:

Principio de Arquímedes	10
-------------------------------	----

Práctica 3:

Presión atmosférica e hidrostática y principio de Pascal	14
--	----

Práctica 4:

Ley de Boyle	17
--------------------	----

Práctica 5:

Equilibrio térmico	19
--------------------------	----

Práctica 6:

Dilatación térmica en metales	21
-------------------------------------	----

Práctica 7:

Equivalente mecánico del calor	23
--------------------------------------	----

Práctica 8:

Leyes de la termodinámica	25
---------------------------------	----

Práctica 1

Medición de densidad (sólidos y líquidos)

Introducción

La *densidad* es una propiedad física de las sustancias de gran importancia en el análisis de situaciones de estática y dinámica de fluidos. De allí la importancia de contar con métodos y equipos o instrumentos que permitan determinar de forma rápida y precisa la densidad de un fluido. Esta propiedad depende de la temperatura al momento de efectuar su medición.

La densidad (ρ) de una sustancia homogénea está definida como el cociente de su masa por unidad de volumen, cuya unidad de medida en el SI es kg/m^3 .

El *volumen específico* (v_e) es el espacio o volumen que ocupa una unidad de masa de una sustancia y puede medirse en m^3/kg .

De las definiciones anteriores se deducen las siguientes relaciones:

$$v_e = \frac{V}{m}, \quad \rho = \frac{m}{V}, \quad \rho = \frac{1}{v_e} \quad (1.1)$$

Existen otras propiedades importantes asociadas con la densidad, entre las cuales pueden señalarse:

El *peso específico* (w_e) es el peso de una unidad de volumen de sustancia y se expresa en N/m^3 . Por lo tanto:

$$w_e = \frac{W}{V} \quad \therefore \quad w_e = \frac{m \cdot g}{V} \quad \therefore \quad w_e = \rho \cdot g \quad (1.2)$$

La *densidad relativa* (ρ_r) de una sustancia, también llamada *gravedad específica*, es la relación entre su densidad y la densidad del agua a una determinada temperatura, por lo general, 4°C . Por lo tanto, puede escribirse:

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_{\text{AGUA A } 4^\circ\text{C}}} \quad \rho_{\text{AGUA A } 4^\circ\text{C}} \approx 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (1.3)$$

En el caso de sustancias no homogéneas, lo que obtenemos al dividir la masa entre su volumen es la *densidad promedio*. En esta práctica se determina la densidad (ρ) de un líquido y sólidos homogéneos, y se calcula la desviación media ($\delta\rho$) obtenida con los instrumentos empleados y el error porcentual (ϵ).

El *error relativo porcentual* (ϵ) de una medición es el cociente de la desviación media entre el valor promedio de las mediciones multiplicado por 100, o sea $\epsilon = (\delta\rho/\rho) \times 100$. El *error relativo porcentual promedio* ($\bar{\epsilon}$) del conjunto de mediciones es el promedio de los errores relativos de las mediciones realizadas.

Método 1

Objetivo

- Determinar la densidad de un líquido y sólidos homogéneos midiendo su masa y su volumen.

Material

1. Balanza
2. Probeta de 100 ml
3. Pipeta de 10 ml
4. Agua
5. Pedazos de madera, aluminio, canicas u otro sólido de forma regular
6. Vernier

Procedimiento experimental

(a) Determinación de la densidad del agua:

1. Calibrar la balanza, mediante el tornillo contrapeso que posee el aparato.
2. Medir la masa de la probeta procurando que esté limpia y seca.
3. Verter agua en la probeta hasta que alcance aproximadamente los 60 ml. Procure que no quede líquido en las paredes externas e internas de la probeta para no alterar la medición de volumen y masa.
4. Una vez determinado el volumen, mida la masa de la probeta con el agua en la balanza.
5. Sin vaciar la probeta agregue agua hasta una marca aproximada de 70 ml, ayudándose de la pipeta. Una vez que determinó tal volumen y que limpió el líquido de las paredes del recipiente, mida su masa.
6. Volver a repetir la operación anterior para cada uno de los volúmenes aproximados siguientes: 80, 90 y 100 mililitros; ver figura 1.1. (Nota: El estudiante puede tomar los volúmenes indicados o algunos cercanos a esos valores anotando el valor indicado por la graduación de la probeta.)

(b) Determinación de la densidad para un sólido regular.

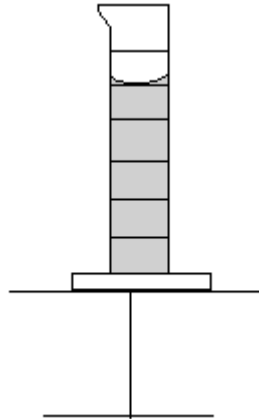


Figura 1.1: Medición de la densidad de un líquido

1. Seleccione 3 muestras de un mismo material, ya sea madera, aluminio u otro, procurando que todas sean de una misma sustancia y que tengan una forma geométrica regular.
2. Con el vernier mida a cada una sus dimensiones y calcule su volumen.
3. Mida ahora su masa correspondiente.
4. En el caso de haber usado piezas metálicas u otro material que no flote en el agua, determine el volumen de cada pieza sumergiendo cada una en agua y determinando el volumen desplazado de agua por cada pieza.

Resultados y conclusiones

(a) Para la densidad del agua:

1. Con las masas de la sustancia, los volúmenes correspondientes y la expresión para la densidad, calcule la densidad del agua.
2. Obtendrá 5 valores de densidad para el agua, correspondientes a las 5 mediciones, anótelos en la tabla 1.1.
3. Calcule:
 - El valor promedio de la densidad del agua
 - La desviación media
 - El error relativo porcentual

$$\bar{\rho} = \quad \bar{\delta\rho} = \quad \bar{\epsilon} =$$

Medida	$V(\text{cm}^3)$	$m(\text{g})$	$\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$
1			
2			
3			
4			
5			

Tabla 1.1: Datos para determinar la densidad del agua

Reporte estos resultados para la densidad del agua. Además, repita el procedimiento para el alcohol:

$$\rho = \bar{\rho} \pm \bar{\delta}\rho$$

Escriba el valor promedio con las cifras significativas (cifras decimales) de acuerdo a la incertidumbre obtenida. Por ejemplo, si la densidad promedio del agua al hacer los cálculos resulta $1.0243 \text{ gr}/\text{cm}^3$ y la desviación media es $0.01 \text{ gr}/\text{cm}^3$, entonces debemos redondear el resultado como:

$$\rho = 1.02 \pm 0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$$

(b) Para el caso de la densidad de los sólidos homogéneos:

1. Con el volumen obtenido utilizando las dimensiones de cada pieza y la masa correspondiente, calcule la densidad de cada muestra, anote los valores en la tabla 1.2.
2. Con el volumen obtenido utilizando el volumen desplazado por el agua en cada caso, determine la densidad de cada muestra y anótelas en la tabla.
3. En virtud de que son 3 muestras, deberá hallar 3 valores de densidad.
4. Con los 3 valores de densidad obtenga:
 - El valor promedio de su densidad.
 - La desviación media.
 - El error relativo porcentual.

Medida	$V(\text{cm}^3)$	$m(\text{g})$	$\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$
1			
2			
3			

Tabla 1.2: Densidad de un sólido midiendo el volumen geométricamente

$$\bar{\rho} = \quad \bar{\delta\rho} = \quad \bar{\epsilon} =$$

5. Escriba sus comentarios y conclusiones de este método de la práctica.

Método 2

Aunque hay formas muy sencillas que pueden permitir conocer la densidad de un fluido, contando escasamente con un recipiente graduado que permita hacer mediciones de volumen y una balanza (Método 1), existen equipos y dispositivos a través de los cuales puede hallarse la densidad de una forma más directa y precisa. Entre ellos pueden nombrarse la balanza Westphal y los densímetros o hidrómetros. Los densímetros o hidrómetros son tubos de vidrios con una plomada interna y con una escala graduada, los cuales se sumergen en el líquido de densidad desconocida. Dependiendo de la densidad del líquido, el densímetro requerirá sumergirse más o menos en el fluido para equilibrarse, pudiéndose leer en el nivel del líquido el valor de la densidad relativa; ver figura 1.2.

Objetivo

- Medir la densidad relativa (ρ_r) de algunos líquidos mediante la balanza Westphal y/o los densímetros o hidrómetros.

Material

1. Densímetro o hidrómetro
2. Tres líquidos diferentes

Procedimiento experimental

El densímetro tiene una escala graduada, por lo que es necesario conocer el rango y la apreciación del mismo. Como los valores de densidad relativa fueron hallados con la balanza (Método 1), ya se tiene idea de los valores y puede seleccionarse el densímetro con el rango apropiado para cada sustancia. Dado que estos instrumentos son de vidrio, es muy importante inclinar el recipiente donde está la muestra unos 45° al momento de introducir el densímetro, para evitar que éste se golpee con el fondo del recipiente y pueda romperse.

1. Una vez que el densímetro se estabilice dentro del líquido, cuidando que no se apoye en las paredes, proceda a leer en su escala el valor de la densidad relativa.



Figura 1.2: Densímetros o hidrómetros

2. Anote los valores registrados para 3 líquidos diferentes (agua, alcohol y uno de elección) en la tabla 1.3.

Líquido	agua	alcohol	
Densidad relativa (ρ_r)			
Densidad (kg/m^3)			
Volumen específico (m^3/kg)			
Peso específico (N/m^3)			

Tabla 1.3: Densidad relativa registrada en el densímetro

3. Con los valores de la ρ_r obtenidos por el hidrómetro:
- Determine la densidad (kg/m^3), el volumen específico (m^3/kg) y el peso específico (N/m^3) de los líquidos utilizando las expresiones (1.1), (1.2) y (1.3).
 - Obtenga información de la literatura sobre los valores de la densidad relativa de los líquidos usados en esta práctica y compare los valores obtenidos y reportados.
 - Investigue sobre la dependencia de la densidad de los líquidos con la temperatura.

Resultados y conclusiones

Escriba sus comentarios y conclusiones de la práctica.

Práctica 2

Principio de Arquímedes

Introducción

El principio de Arquímedes enuncia que un objeto sumergido en un fluido experimenta una fuerza de flotación igual al peso del fluido desplazado.

- Si el objeto flota en el fluido, entonces se encuentra en equilibrio y el peso del objeto debe igualar a la fuerza de flotación:

$$m_c g = m_{fl} g \Rightarrow \rho_c V_c g = \rho_{fl} V_{fl} g \quad (2.1)$$

donde: fl denota al fluido desplazado y c al cuerpo u objeto. Ver figura 2.1.

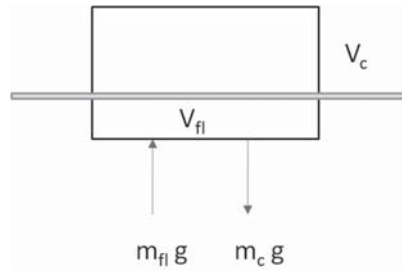


Figura 2.1: Objeto en equilibrio dentro de un fluido

Si llamamos x a la fracción del volumen del objeto que se hunde (igual al volumen del fluido desalojado) respecto al volumen total del objeto, entonces:

$$x = \frac{V_{fl}}{V_c} = \frac{\rho_c}{\rho_{fl}}, \quad 0 \leq x \leq 1, \text{ por lo que } \rho_c \leq \rho_{fl} \quad (2.2)$$

También podemos conocer la masa del objeto sin necesidad de pesarlo; simplemente se obtiene el producto de la densidad del líquido por el volumen desplazado.

$$m_c = \rho_{fl} V_{fl} \quad (2.3)$$

- Si el objeto se hunde, entonces el peso del objeto es mayor al peso del líquido desplazado, y como los volúmenes de ambos son iguales, entonces:

$$m_c g > m_{fl} g \Rightarrow \rho_c V_c g > \rho_{fl} V_{fl} g = \rho_{fl} V_c g$$

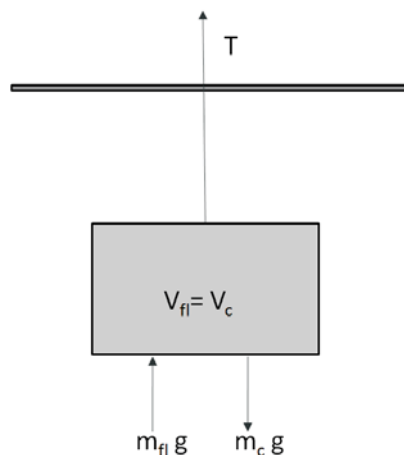


Figura 2.2: Objeto sumergido en el fluido

y

$$\rho_c > \rho_{fl}$$

Si ayudamos a sostener el peso del objeto mediante una cuerda con tensión T , entonces el objeto se encuentra en equilibrio dentro del fluido y éste representa el peso aparente del cuerpo. (Esta es la razón por la que un objeto sumergido en el agua es menos pesado de cargar que fuera de ella.) Ver figura 2.2.

$$T = (m_c - m_{fl}) g$$

Objetivos

- Analizar el comportamiento de las fuerzas que ejercen los líquidos sobre algunos sólidos de forma experimental.
- Comprobar experimentalmente el principio de Arquímedes.
- Determinar la diferencia entre los pesos y las fuerzas de empuje que ejercen los líquidos sobre los cuerpos sólidos sumergidos y en el aire.
- Determinar el peso específico (w_e) y la densidad relativa (ρ_r) de algunos cuerpos sólidos por medio del principio de Arquímedes (por medición directa del volumen y por volumen desplazado en un recipiente).

Material

1. Probeta y/o vaso de precipitados
2. Báscula o balanza
3. Agua
4. Alcohol
5. Dinamómetro
6. Plastilina
7. Objetos de diferente densidad (madera, vela, acrílico, tuercas, etc.)

Procedimiento experimental

Experimento 1

- Haga uso de los valores de las densidades del agua y el alcohol reportados en la Práctica 1, recordando que la incertidumbre está dada por la mitad de la mínima escala.
- Elija objetos que floten en ambos líquidos, es decir, con densidades menores a las del agua y el alcohol, y mida sus masas con la báscula.
- Vacíe agua en la probeta hasta un volumen en el que puedan flotar bien sus objetos e introduzca éstos uno por uno. Mida el cambio en el volumen del agua en la probeta (volumen del líquido desplazado) y regístrelo.
- Repita el procedimiento con el resto de sus objetos. Cambie el agua por el alcohol y repita el experimento.
- Haga un cuadro con los siguientes datos: m_c , ΔV_{agua} , ρ_{agua} , ΔV_{agua} , $\Delta V_{\text{alcohol}}$ y ρ_{alcohol} , $\Delta V_{\text{alcohol}}$, sin olvidar sus incertidumbres. ¿Qué observa? Explique.

Experimento 2

- Tome objetos con densidad mayor a la del agua y que se puedan colgar de un dinamómetro.
- Cuelgue un objeto del dinamómetro y anote su medida (no se olvide de calibrar el dinamómetro).
- Con el objeto aún colgado del dinamómetro, sumérjalo completamente en la probeta (es importante que NO repose en el fondo). Mida tanto la nueva lectura del dinamómetro como el volumen de agua desplazada.

- Haga un cuadro con: la lectura del dinamómetro en el aire, la lectura del dinamómetro en el agua, la diferencia de éstas, el volumen de agua desplazada, y el peso del agua desplazada ($\rho_{\text{agua}}V_{\text{agua}}g$); tabla 2.1. ¿Qué puede concluir?

m_c	ΔV_{agua}	$\rho_{\text{agua}}\Delta V_{\text{agua}}$	$\Delta V_{\text{alcohol}}$	$\rho_{\text{alcohol}}\Delta V_{\text{alcohol}}$

Tabla 2.1: Valores registrados por el dinamómetro

Experimento 3

- Eche una bola de plastilina en un vaso de precipitados con agua. ¿Se hunde? ¿Por qué?
- Ahora haga figuras con la plastilina. ¿Se siguen hundiendo? ¿Importa la forma?
- Finalmente dé forma de “barquito” a la plastilina. ¿Se hunde? ¿Por qué? Explique por qué los barcos no se hunden.

Resultados y conclusiones

Escriba sus comentarios y conclusiones de la práctica.

Práctica 3

Presión atmosférica e hidrostática y principio de Pascal

Introducción

Desde el punto de vista científico, la *presión* es la *fuerza por unidad de área*. En términos bastantes simples, esto significa que cuando una fuerza de un kilogramo actúa en un área de un centímetro cuadrado, la presión es de un kilogramo por centímetro cuadrado (1 kg/cm^2). Se ha calculado que una columna de aire con un área de 1 cm^2 y que se extiende desde el suelo hasta el límite superior de su atmósfera ejerce una presión de 1.033 kg y se denomina *presión atmosférica*. A altitudes mayores que el nivel del mar la presión atmosférica disminuye.

- Ley fundamental de la hidrostática:

La diferencia de presión entre dos puntos de un fluido en reposo, es igual a su peso específico ($w_e = \rho g$) multiplicado por la diferencia de altura (h) entre los puntos considerados.

Si los puntos considerados se encuentran colocados de tal manera que uno de ellos esté sobre la superficie del líquido (ver figura 3.1), entonces:

$$P - P_o = \rho gh \quad (3.1)$$

Si despreciamos la presión atmosférica P_o , por ser muy pequeña comparada con la presión del líquido, tendríamos:

$$P = \rho gh \quad (3.2)$$

expresión matemática que nos indica que la presión en el seno de un líquido es igual al producto de su peso específico por la profundidad del punto (h).

- El principio de Pascal:

La presión aplicada a un fluido encerrado en un recipiente se transmite en todas direcciones, sin disminución, a cada punto del fluido y a las paredes del recipiente que lo contiene.

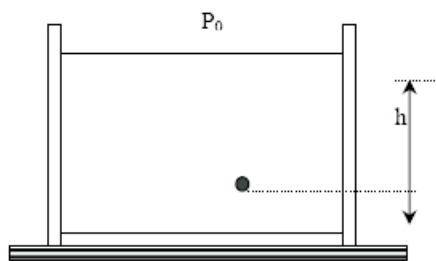


Figura 3.1: Diferencia de presión entre dos puntos

Objetivo

Demostrar la influencia que ejerce la presión atmosférica sobre los cuerpos y comprender el concepto de presión hidrostática y el principio de Pascal.

Material

1. Lata de aluminio vacía
2. Soporte universal con aro
3. Tela de alambre con centro de asbesto
4. Mechero de Bunsen o lámpara de alcohol
5. Par de guantes de asbesto
6. Vaso de precipitados de 1000 ml
7. Vaso de precipitados de 250 ml
8. Vernier o regla de medición
9. Agua
10. Jeringa de Pascal
11. Vasos comunicantes

Procedimiento experimental

Experimento 1. Presión atmosférica

1. Mida los diámetros de la lata de aluminio y de los vasos de precipitados, además de la altura del recipiente.
2. Vierta 50 ml de agua en la lata de aluminio.
3. Vierta 800 ml de agua en el vaso de precipitados de 1000 ml.
4. Caliente el agua hasta el punto de ebullición.
5. Tome la lata e introdúzcala en el vaso de precipitados de 1000 ml.
6. Observe el colapso del recipiente.

Experimento 2. Presión hidrostática

1. Vierta agua en cualquiera de los vasos, hasta que suba el nivel a un poco más de la mitad de su altura, tal como se muestra en la figura 3.2.

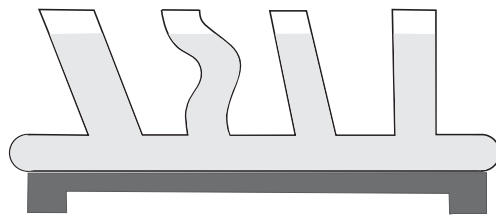


Figura 3.2: Presión hidrostática observada en vasos comunicantes

2. Diga cómo son los niveles del agua dentro de cada uno de los tubos, explicando el por qué ocurre este fenómeno.

Experimento 3. Principio de Pascal

1. Llene de agua la jeringa de Pascal y presione el émbolo, vea la figura 3.3.
2. ¿Qué pasa con el agua que hay dentro de la jeringa de Pascal, al presionar el émbolo?
3. ¿Cómo actúa la presión del agua dentro del recipiente?
4. ¿Qué se puede concluir de este experimento?

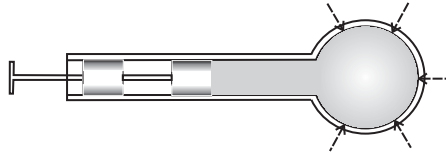


Figura 3.3: Presión hidrostática en jeringa de Pascal

Resultados y conclusiones

Escriba sus comentarios y conclusiones de la práctica.

Práctica 4

Ley de Boyle

Introducción

La ley de Boyle establece que la presión de un gas en un recipiente cerrado es inversamente proporcional al volumen del recipiente, cuando la temperatura es constante. El volumen es inversamente proporcional a la presión. Por ejemplo, si la presión aumenta, el volumen disminuye o si la presión disminuye, el volumen aumenta. De la ley de los gases ideales tenemos:

$$P = \frac{nRT}{V} \quad (4.1)$$

La presión que ejerce un cuerpo de peso w sobre un área A es:

$$P_w = \frac{w}{A} = \frac{mg}{A} \quad (4.2)$$

Objetivo

Hallar la relación entre la presión y el volumen de un gas ideal. Hallar la presión atmosférica.

Material

1. Jeringa
2. Plastilina
3. Pesas
4. Vernier

Procedimiento experimental

El experimento consiste en medir el volumen del aire encerrado en la jeringa para diferentes valores de la presión debido a las pesas, vea la figura 4.1.

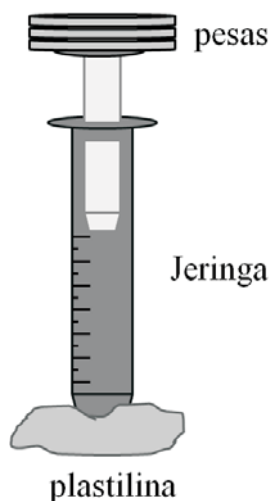


Figura 4.1: Montaje del equipo para medir el volumen del aire

1. Saque el émbolo de la jeringa hasta que quede en la marca del volumen máximo.
2. Clave el extremo donde debería ir la aguja en una bola grande de plastilina, para sellar la entrada de aire y para fijar la jeringa.
3. Coloque una pesa de 5 N (500 g) y mida el volumen en la jeringa. Continúe agregando pesos y midiendo los respectivos volúmenes.
4. Haga una tabla y una gráfica de la presión debida a las pesos vs. el volumen, con sus respectivas incertidumbres.
5. Para hallar el área del émbolo, mida su diámetro con un vernier (hay que sacar un poco el émbolo pues el diámetro es algo menor cerca de la base superior), o mida con una regla la altura entre dos marcas de la jeringa y divida la diferencia de los volúmenes marcados entre la altura medida.
6. Mida la temperatura del cuarto.

Resultados y conclusiones

¿Qué forma tiene la curva que graficó?

De sus cursos anteriores de laboratorio sabe que, como $P \propto 1/V$, debe graficar P vs. $1/V$ para obtener una recta, por lo que:

- Haga una tabla y una gráfica de P vs. $1/V$ con sus respectivas incertidumbres.

- Halle el valor de la pendiente y de la ordenada al origen de la recta obtenida. ¿Cuáles son sus significados físicos?
- A partir del inciso anterior, halle la presión atmosférica y, con el valor de la temperatura ambiente, halle el número de moles dentro de la jeringa.

Escriba sus comentarios y conclusiones de la práctica.

Práctica 5

Equilibrio térmico

Introducción

Cuando se ponen en contacto dos sistemas a diferente temperatura, se produce entre ellos una transferencia de energía en forma de calor. Este proceso continúa hasta que las temperaturas de ambos sistemas se igualan. En este momento se dice que se ha alcanzado el *equilibrio térmico*. La temperatura final de ese equilibrio térmico se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Q = m \cdot c \cdot (T_f - T_i) \quad (5.1)$$

Para comprobar su validez, tendrá que conseguirse que diversas parejas de sistemas alcancen el equilibrio térmico y medir con un termómetro la temperatura de equilibrio; si coincide con la obtenida mediante la ecuación de forma teórica, se habrá conseguido el objetivo.

Objetivo

- Utilizar el equilibrio térmico para comprobar la validez de las ecuaciones que relacionan calor y temperatura.

Material

1. Mechero de Bunsen
2. Agua
3. Rejilla soporte
4. Termómetro
5. Vasos de precipitado
6. Balanza

Procedimiento experimental

- Mida dos cantidades iguales de agua (puede usar la balanza o medir el volumen). Deje una de ellas a la temperatura ambiente y caliente la otra a una determinada temperatura.
- Retire del fuego, mida y anote la temperatura de ambas (que serán sus respectivas T_i y $T_{i'}$). A continuación, mezcle las dos cantidades de agua, agite levemente y mida la temperatura final, T_f .
- Repita el experimento otra vez, a otra temperatura y con otras masas de agua.
- Haga los cálculos teóricos según los siguientes procedimientos:

$$Q_{\text{ganado}} = -Q_{\text{cedido}}$$

$$m \cdot c \cdot (T_f - T_i) = -m' \cdot c \cdot (T_f - T_{i'})$$

Como las masas son iguales y el calor específico (c) es el mismo, tenemos:

$$T_f - T_i = -(T_f - T_{i'})$$

$$T_f = \frac{(T_{i'} - T_i)}{2}$$

Resultados y conclusiones

1. Complete el siguiente cuadro:

Experimento	T_i	$T_{i'}$	T_f experimental	T_f teórica
1				
2				

Compruebe que los valores obtenidos teóricamente coincidan con los valores obtenidos en el experimento.

2. ¿Cómo podríamos obtener mejores resultados en el experimento? ¿El calor absorbido por el vidrio tiene alguna influencia en la precisión de nuestros resultados?

Escriba sus comentarios y conclusiones de la práctica.

Práctica 6

Dilatación térmica en metales

Introducción

La mayoría de los estudiantes han observado las juntas de dilatación entre las losas de cemento en una construcción o entre las vigas de acero de un puente. En esta práctica determinaremos con precisión la dilatación de tres metales con la temperatura.

Objetivo

Medir experimentalmente el coeficiente de dilatación lineal en el caso de tres metales: cobre, acero y aluminio.

Material

1. Generador de vapor
2. Recipiente con agua
3. Base de 70 cm con un medidor de dilatación (o gauge) y un termistor
4. Tres tubos de metal (acero, aluminio y cobre)
5. Espuma aislante para evitar pérdidas de calor en la conexión del termistor
6. Tubo flexible
7. Polímetro
8. Embudo

Procedimiento experimental

- Realice el montaje del experimento que se muestra en la figura 6.1.
- Ajuste el marco externo del gauge para que indique el valor cero.

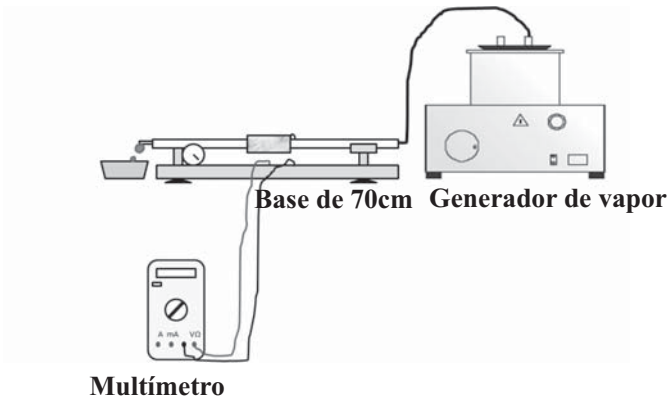


Figura 6.1: Montaje del equipo para medir la dilatación térmica

- Mida la longitud del tubo de metal L y su temperatura mediante la resistencia del termistor en el estado inicial (ayudarse de la tabla de conversión de resistencias a temperaturas), es decir, a temperatura ambiente (R_{ta}, T_{ta}).
- Haga pasar el vapor de agua por el tubo.
- Con la ayuda del termistor, anote la temperatura a la que se estabiliza el tubo (R_{tf}, T_{tf}).
- Anote la dilatación del tubo medida con el gauge (DL).
- Repita el procedimiento anterior para los otros dos tubos.

Resultados y conclusiones

Datos experimentales							
Metal	$L(\text{mm})$	$R_{ta} (\Omega)$	$\Delta L(\text{mm})$	$R_{tf} (\Omega)$	$T_{ta} (^\circ\text{C})$	$T_{tf} (^\circ\text{C})$	$\Delta T (^\circ\text{C})$
Cobre							
Acero							
Aluminio							

El coeficiente de dilatación lineal está dado por la expresión:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T$$

Escriba sus comentarios y conclusiones de la práctica.

Práctica 7

Equivalente mecánico del calor

Introducción

El *equivalente mecánico del calor* se refiere a la equivalencia entre el calor generado debido a la fricción, y el trabajo realizado por la fuerza de fricción. El trabajo mecánico es igual a la fuerza de fricción F_f por la distancia en la que está actuando. Esta distancia es igual al perímetro del cilindro de radio r , por el número de vueltas que se le da al cilindro:

$$W = 2\pi rnF \quad (7.1)$$

Como al darle vuelta a la manivela el peso M_g queda en su sitio, entonces las fuerzas deben estar en equilibrio:

$$F_f = M_g - F_D \quad (7.2)$$

donde F_D es la fuerza que marca el dinamómetro (esto es porque la fuerza de fricción es la diferencia entre las tensiones de los extremos de la cinta: una tensión se compensa con el peso y la otra con la fuerza con que jala el dinamómetro). F_D es pequeña respecto a M_g . Por su parte, $\Delta Q = cm\Delta T$, siendo c la capacidad calorífica del cilindro y m su masa. Igualando W y ΔQ se pueden encontrar las capacidades caloríficas del latón y el aluminio:

$$cm\Delta T = 2\pi rn(M_g - F_D) \rightarrow c = \frac{2\pi rn(M_g - F_D)}{m\Delta T} \quad (7.3)$$

Objetivo

Apreciar el equivalente mecánico del calor ante el aumento de la temperatura de un material al realizar un trabajo mecánico. A partir de esto, hallar la capacidad calorífica del aluminio y el latón.

Material

1. Dos dinamómetros: uno de 10 N y uno de 100 N
2. Dos cilindros de latón con masas 1.28 kg y 0.64 kg, y uno de aluminio con masa 0.39 kg
3. Dos masas: una de 1 kg y otra de 5 kg

4. Soporte
5. Base con manivela para acoplar el cilindro y el soporte
6. Sujetadores, pinzas
7. Termómetro
8. Pasta conductora

Procedimiento experimental

- Monte el equipo como se muestra en la figura 7.1.

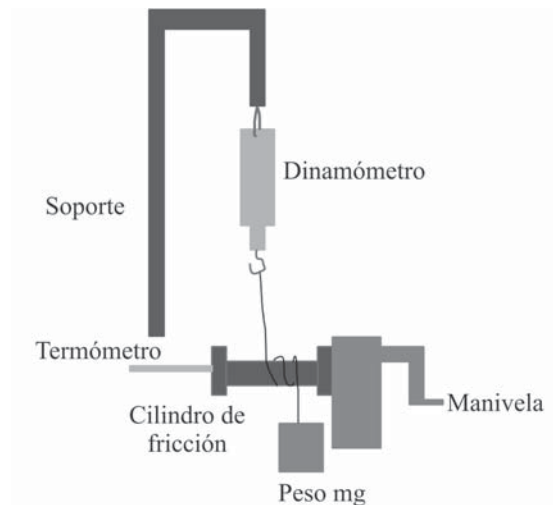


Figura 7.1: Montaje del equipo para apreciar el equivalente mecánico del calor

- Para los cilindros de latón se usan la masa de 5 kg y el dinamómetro de 100 N, mientras que para el de aluminio, se usa la masa de 1 kg y el dinamómetro de 10 N.
- Ajuste el cilindro y el soporte a la base con manivela, la cual debe estar bien fija en una esquina de la mesa.
- Del soporte haga colgar el dinamómetro, y del dinamómetro cuelgue una masa mediante una cinta.
- El cilindro se recubre con la pasta conductora y se rodea con la cinta dando dos vueltas y media.

- El termómetro se introduce en el orificio del cilindro, al que previamente se le unta la pomada conductora para que el termómetro registre rápidamente el cambio de temperatura del cilindro, y para evitar su ruptura.
- El termómetro se sostiene con unas pinzas y se debe procurar que quede bien alineado.
- El experimento consiste en darle vuelta a la manivela un número n de veces, por decir $n = 200$, y registrar el cambio ΔT de temperatura del cilindro.

Resultados y conclusiones

Escriba sus comentarios y conclusiones de la práctica.

Práctica 8

Leyes de la termodinámica

Introducción

Las *leyes de la termodinámica* son tres: la ley cero, la primera y la segunda. Esta curiosa nomenclatura se debe a que los científicos se dieron cuenta tardíamente de la necesidad de postular lo que hoy se conoce como la *ley cero*: si un sistema está en equilibrio con otros dos, estos últimos, a su vez, también están en equilibrio. Cuando los sistemas pueden intercambiar calor, la ley cero postula que la temperatura es una variable de estado, y que la condición para que dos sistemas estén en equilibrio térmico es que se hallen a igual temperatura. O dicho de otra forma, dos cuerpos que se encuentran en equilibrio térmico con un tercero están en equilibrio entre sí.

La primera ley de la termodinámica establece el *principio de conservación de la energía*. También se conoce como *ley del equivalente mecánico del calor*, que establece que cuando un cuerpo móvil se lleva al reposo, la energía que desaparece es directamente proporcional a la cantidad de calor producida.

La segunda ley de la termodinámica establece el sentido en que pueden tener lugar las transferencias de calor entre los cuerpos. La segunda ley de la termodinámica se puede enunciar de muchas formas, todas equivalentes: existe un límite para la eficiencia de cualquier máquina térmica; el calor no puede fluir espontáneamente de un sistema frío a otro caliente; la entropía, que mide el desorden dentro del sistema, es una variable de estado y nunca disminuye en un sistema aislado. La *capacidad térmica específica* se define como la cantidad de calor necesaria (Q) para aumentar una unidad de temperatura ($^{\circ}$) de una sustancia dada.

En esta práctica buscaremos verificar el cumplimiento de la ley cero de la termodinámica, determinar la capacidad térmica específica del níquel (Ni) y verificar la validez de la segunda ley de la termodinámica en el flujo de calor.

Objetivos

A través de este experimento:

- Se comprobará de forma experimental la ley cero de la termodinámica.
- Se obtendrá la capacidad térmica específica del níquel (Ni) y la incertidumbre.
- Se corroborará la validez de la segunda ley de la termodinámica a través de la observación de los flujos de energía.
- Se obtendrá la exactitud del valor experimental de la capacidad térmica específica del níquel comparándolo con el valor real.

Material

1. Calorímetro (vaso Dewar)
2. Dos vasos de precipitado de 1000 ml
3. Balanza de 0 a 610 g
4. Parrilla eléctrica
5. Agua
6. Metal
7. Termómetro de -20 a 150 °C
8. Paño de franela

Procedimiento experimental

- Medir la masa del metal y su temperatura.
- Medir una masa de 80 g de agua y elevar su temperatura a 40 °C.
- Vaciar el agua al vaso Dewar y medir su temperatura inicial, luego vaciar el metal al vaso; agitar durante un minuto para homogeneizar la temperatura.
- Medir la temperatura un minuto después de haber introducido el metal.
- Determinar la capacidad térmica específica del metal por medio de la primera ley de la termodinámica.
- Repetir al menos dos veces el experimento.
- Obtener la incertidumbre de la capacidad térmica específica del metal comparándola con el valor promedio experimental y el valor real de ésta.

Resultados y conclusiones

m agua [kg]	m metal [kg]	C_e agua [J/K]	T_i agua [K]	T_i metal [K]	T_{eq} [K]	C_e metal [J/K]

Escriba sus comentarios y conclusiones de la práctica.

Manual de prácticas de laboratorio de Termodinámica y fluidos
de Gabriela G. Maya Aranda y Rogelio Mendoza Pérez,
se terminó de imprimir en el mes de marzo del 2012,
en los talleres de impresión de la
Universidad Autónoma de la Ciudad de México,
San Lorenzo 290, Col. del Valle, Del. Benito Juárez, C.P. 03100,
con un tiraje de 500 ejemplares.



UACM
Universidad Autónoma
de la Ciudad de México
Nada humano me es ajeno