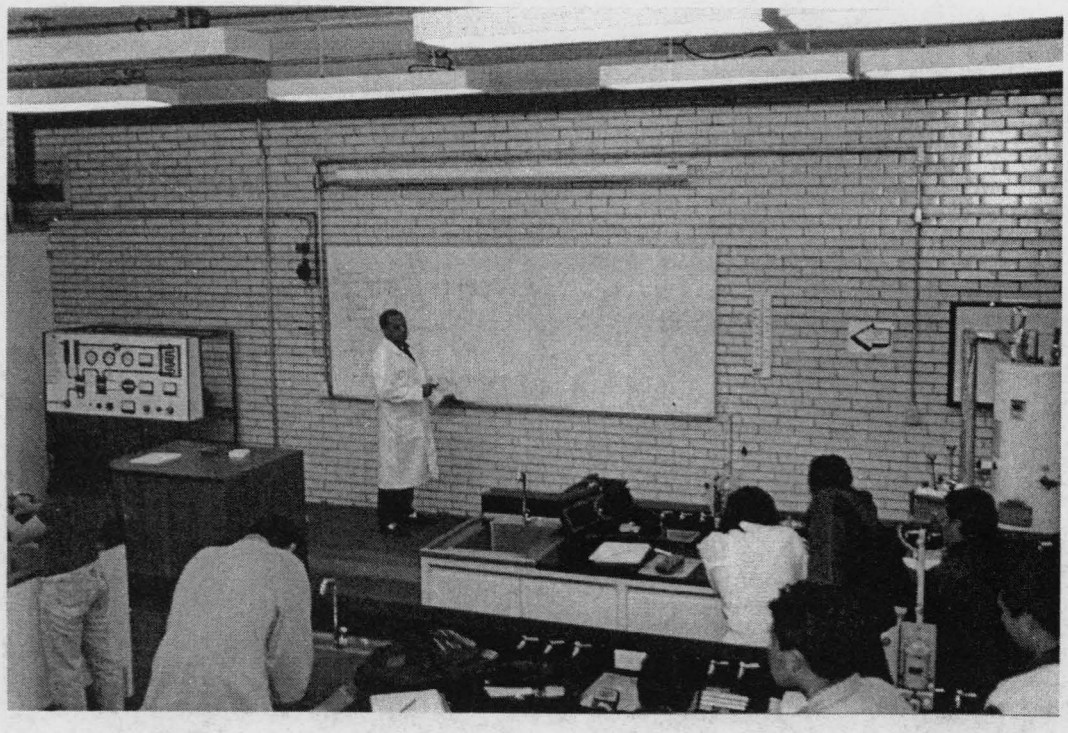
Manual de Prácticas del Laboratorio de Termodinámica

José Enrique Larios Canale
Agustín Hernández Quintero
Genaro Muñoz Hernández

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA



MANUAL DE PRÁCTICAS.

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS

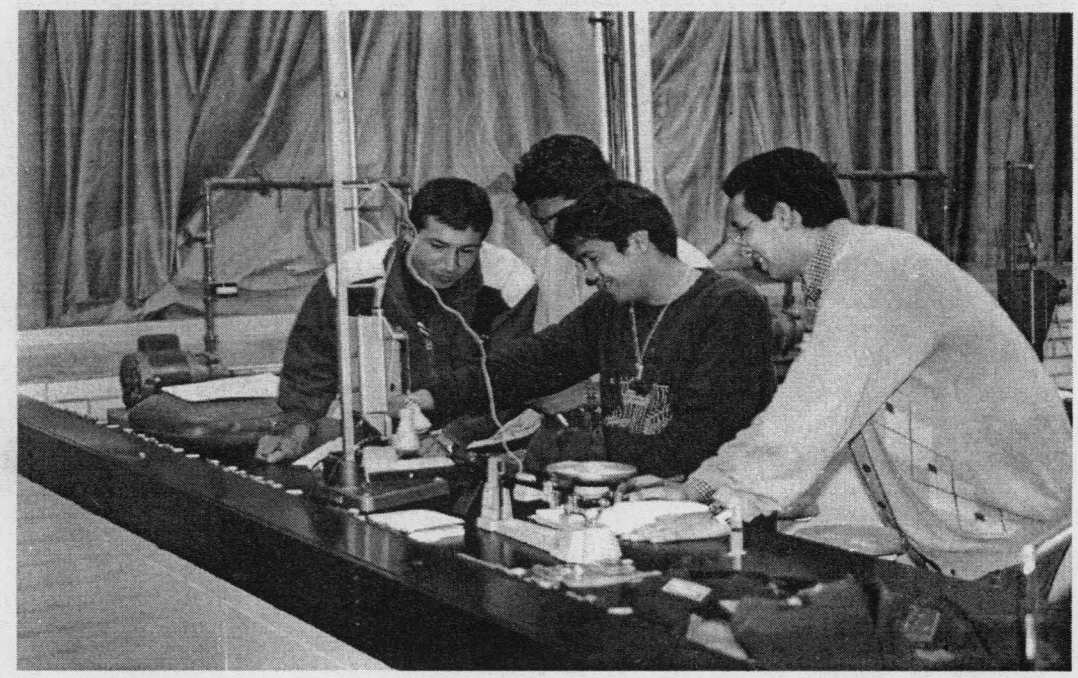
DEPARTAMENTO DE FÍSICA GENERAL Y QUÍMICA

JOSÉ ENRIQUE LARIOS CANALE
AGUSTÍN HERNÁNDEZ QUINTERO
GENARO MUÑOZ HERNÁNDEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA



MANUAL DE PRÁCTICAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA GENERAL Y QUÍMICA

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÓLOGO

La elaboración de este "Manual de Prácticas del Laboratorio de Termodinámica" se realizó bajo la coordinación de los ingenieros Agustín Hernández Quintero y Genaro Muñoz Hernández, quienes además de establecer la temática a desarrollar, efectuaron las observaciones y correcciones que permitieron contar con la versión definitiva. A ellos mi agradecimiento por su trabajo, comprensión y apoyo que recibí en la realización de este Manual.

En cuanto a los contenidos del Manual, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones: a) se observó que los experimentos propuestos respondan al contenido del programa vigente de la asignatura de Termodinámica, tanto en extensión como en profundidad con la cual se tratan los conceptos, axiomas, principios y leyes básicos de la Termodinámica; b) en el desarrollo de los experimentos se sigue una metodología experimental, apoyada en el método científico aplicado al estudio de fenómenos físicos, en donde se establece el(los) objetivo(s) que debe alcanzar el alumno sobre el fenómeno termodinámico en estudio, que generalmente es la determinación de una propiedad termodinámica o la comprobación de un principio o ley de la termodinámica.

El diseño de los experimentos, al fundamentarse en el Método Científico Experimental, observa una secuencia de actividades que se propone en la guía para cada práctica, iniciando con la observación de un fenómeno termodinámico y el establecimiento de hipótesis sobre su comportamiento, hasta llegar a plantear el modelo matemático que permita alcanzar los objetivos de la Práctica. El formato de reporte propuesto pretende desarrollar en el alumno las actitudes y habilidades para alcanzar por si mismo los objetivos solicitados, con la guía del instructor.

Se sugiere que el reporte se resuelva durante la sesión de trabajo en el Laboratorio por los integrantes de cada equipo o mesa, es decir, que los alumnos contesten las preguntas que se plantean, llenen las tablas correspondientes, hagan las gráficas que se les solicita y presenten la memoria de cálculos en la guía de cada práctica durante el desarrollo de la misma, de manera que al finalizar la sesión de trabajo en el Laboratorio, entreguen al instructor su reporte para ser evaluado. La Coordinación de Termodinámica y la Jefatura del Laboratorio establecerán la mejor manera de utilizar el presente material,

De las prácticas propuestas en este Manual se pueden realizar en el orden que desee el profesor, en forma independiente, según las necesidades del curso de teoría, pero se recomienda que la práctica "GASTO MÁSICO" y la de "POTENCIA DE LA BOMBA" al igual que las de "COEFICIENTE TÉRMICO DE REFRIGERACIÓN" y la "CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR" se realicen en el orden en que se enuncian, una a continuación de la otra, dado que los resultados obtenidos en una se requieren para el desarrollo de la práctica siguiente.

Las críticas que permitan mejorar este Manual o las observaciones de los errores, que por omisión, se encuentren en esta primera versión del mismo, serán recibidas con agradecimiento por los autores.

J. Enrique Larios C.

CONTENIDO

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

MANUAL DE PRÁCTICAS

Grupo:____ Mesa No. ____ Semestre:_____ Nombre de los alumnos: _____

_____

_____

Nombre del Profesor de Laboratorio _____

CALIFICACIONES

No.	Calif. (Núm)	Calificación (Con letra)	Fecha (DD/MM/AA)	Firma del Profesor
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				

Promedio de calificaciones de Prácticas: _____

Calificación Final del Laboratorio de Termodinámica: _____

Firma del Profesor _____

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 1

"PRESIÓN, DENSIDAD Y PESO ESPECÍFICO"

TEMA: CONCEPTOS FUNDAMENTALES

I. OBJETIVOS

I.1) ESTABLECER EL MODELO MATEMÁTICO QUE RELACIONA LA PRESIÓN CON LA DENSIDAD, GRAVEDAD Y PROFUNDIDAD (GRADIENTE DE PRESIÓN) EN LÍQUIDOS ESTÁTICOS.
I.2) OBTENER EL VALOR MEDIO DE LA DENSIDAD DEL AGUA Y DEL MERCURIO, ASÍ COMO SUS RESPECTIVAS INCERTIDUMBRES.

II. EQUIPO NECESARIO

II.1) Para el profesor:
a) 3 vasos de precipitados de 400 (ml)
b) 1 (l) de agua
c) 1 (l) de alcohol
d) 1.4 (kg) de mercurio
e) 1 manómetro diferencial en su base de madera con petróleo como sustancia manométrica.
f) 40 (cm) de tubo látex
g) 1 campana de vidrio de 50 (mm) de diámetro

II.2) Para cada mesa de trabajo:
a) 1 balanza de 2,610.0 (g) con pesas de 145 (g) y 295 (g)
b) 1 vaso de precipitado de 100 (ml)
c) 1 vaso de precipitado de 400 (ml)

III. ANTECEDENTES

PROPIEDADES TERMODINÁMICAS MACROSCÓPICAS
Es toda característica o atributo que se puede evaluar cuantitativamente, y que posee un sistema estando relacionada con la energía de dicho sistema como son la masa, el volumen, la temperatura, la presión el volumen específico, etc. Desde el punto de vista matemático, dichas propiedades son funciones puntuales y no de trayectoria. Es cualquier característica o atributo del sistema que puede valuarse cuantitativamente, ya sea en forma directa o indirecta, por ejemplo: volumen, masa, temperatura, presión, etc.. Las propiedades dependen exclusivamente del "estado" o condición física del sistema, siendo independientes de la trayectoria por la cual se haya alcanzado dicha condición, por ello se debe decir que las propiedades son "funciones de punto".
Las propiedades termodinámicas son todas aquellas que ayudan en alguna manera a evaluar las transferencias de energía a un sistema o de este con sus alrededores, así como los cambios de energía que se den dentro del mismo sistema o entre varios sistemas.

PROPIEDADES INTENSIVAS Y EXTENSIVAS

Las propiedades termodinámicas se pueden clasificar en intensivas y extensivas. Son propiedades intensivas todas aquellas que no varían con la masa, por ejemplo: presión, temperatura, densidad, etc. Se conocen como propiedades extensivas las que sí se modifican con la masa, esta variación es siempre directamente proporcional con el cambio de masa, por ejemplo: masa, volumen, peso, etc. Resulta conveniente recordar las definiciones y significados de algunas propiedades termodinámicas que se emplearán en la presente práctica:

MASA (M)

De acuerdo con la Segunda Ley de Newton, un cuerpo sometido a la acción de un sistema de fuerzas sufrirá una aceleración proporcional a la resultante del sistema de fuerzas y a una propiedad del cuerpo llamada masa. Se dice también que la inercia es la resistencia de los cuerpos a cambiar su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme. Por consiguiente, puede definirse la masa de un cuerpo como la medida de su inercia o como la fuerza por unidad de aceleración. Sin embargo, en Termodinámica resulta de utilidad pensar en la masa como la cantidad de materia de un cuerpo; este concepto se justifica desde el punto de vista de la Mecánica Clásica, que considera que la masa de las partículas no varía con su velocidad y que la masa total de un sistema formado por partículas es igual a la suma de las masas de las partículas individuales. Así, puesto que la materia está constituida básicamente por tres tipos de partículas que son: electrones, protones y neutrones (las protones y neutrones tienen masas iguales): la masa de cada átomo será la suma de las masas de los electrones, protones y neutrones que lo integran. La masa de cada molécula será la suma de las masas de los átomos que la componen y la masa total del cuerpo será la suma de las masas de las moléculas que la forman. Entonces, la masa del cuerpo depende de la cantidad de materia que la integra. La unidad básica de masa en el S.I. es el kilogramo y el patrón aceptado se conserva en Sevres, Francia.

FUERZA Y PESO (F y Fg)

Fuerza es la magnitud que aplicada sobre un cuerpo o sistema modifica su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, de acuerdo con la Segunda Ley de Newton:.$F = Kma$. Si $K = 1$ $F = ma$. Se denomina peso de un cuerpo a la fuerza con que la Tierra atrae a dicho cuerpo hacia su centro; en este MANUAL lo representaremos con el símbolo Fg y, por consiguiente: $Fg = mg$, en donde "g" es el valor de la aceleración de la gravedad en el punto en donde es pesado el cuerpo. La unidad de fuerza y peso en el S.I. es el Newton (N).

PESO ESPECÍFICO (γ)

Es el peso por la unidad de volumen (N/m^3).

VOLUMEN ESPECÍFICO (v)

Es el volumen de una unidad de masa, en este MANUAL se usará el símbolo "v" para representarlo. Para una porción de materia homogénea, es decir, en la que el volumen específico es el mismo para cualquier parte que se tome de dicha porción: $v = dV/dM$, en donde V:es el volumen total del cuerpo en (m^3) y M es la masa total del cuerpo en (kg). Si el cuerpo no se considera homogéneo entonces en cada punto del mismo: su volumen específico es variable. Las unidades del volumen específico en el S.I. son (m^3/kg).

DENSIDAD (ρ)

Es el recíproco del volumen específico, es decir, es la masa por unidad de volumen y se define como $\rho = dM/dV$, para un cuerpo homogéneo. Las unidades del volumen específico en el S.I son (kg/m^3).

DENSIDAD RELATIVA (δ)

En el caso de los líquidos y sólidos, la densidad relativa es la relación de la densidad de cualquier sustancia entre la densidad del agua pura que se considera de 1000 kg/m^3. Si se trata de gases, es la razón de la densidad de la sustancia en estudio respecto a la densidad del aire. En ambos casos, la densidad relativa es adimensional. Para líquidos y sólidos $\delta_{sust} := \rho_{sust}/\rho_{agua}$, para gases: $\delta_{gas} = \rho_{gas}/\rho_{aire}$

PRESIÓN (P)

Desde el punto de vista físico, la presión es la fuerza con la cual actúan las moléculas de un fluido sobre una superficie, en donde esta fuerza únicamente se manifiesta en la dirección perpendicular a la superficie, por lo cual sólo se toma la magnitud de la fuerza, de manera que $P = F/A$ (N/m^2). Se define que se ejerce una presión de un Pascal (Pa) si la magnitud de la fuerza que ejerce el fluido es de un Newton y actúa sobre una superficie de un metro cuadrado; $1Pa = 1N/1m^2$.

CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) En la repetición de un experimento se obtiene un conjunto de valores de una variable física. Explique cómo se obtiene el mejor valor y su incertidumbre.

_____

_____

_____

III.2) Explique el concepto de incertidumbre, a partir de la desviación estándar de un conjunto de valores medidos.

_____

_____

_____

III.3) Investigue en tablas de propiedades termodinámicas los valores de las densidades del agua y del mercurio, indicando a que presión y temperatura se establecen estas propiedades.

_____

_____

_____

III.4) Explique los conceptos de exactitud y precisión.

_____

_____

_____

III.5) Haga el desarrollo matemático de la expresión del gradiente de presiones en fluidos estáticos. Explique qué significa cada término.

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El profesor realiza los experimentos correspondientes al OBJETIVO I.1), y los alumnos toman nota, de acuerdo a lo solicitado en las siguientes preguntas.

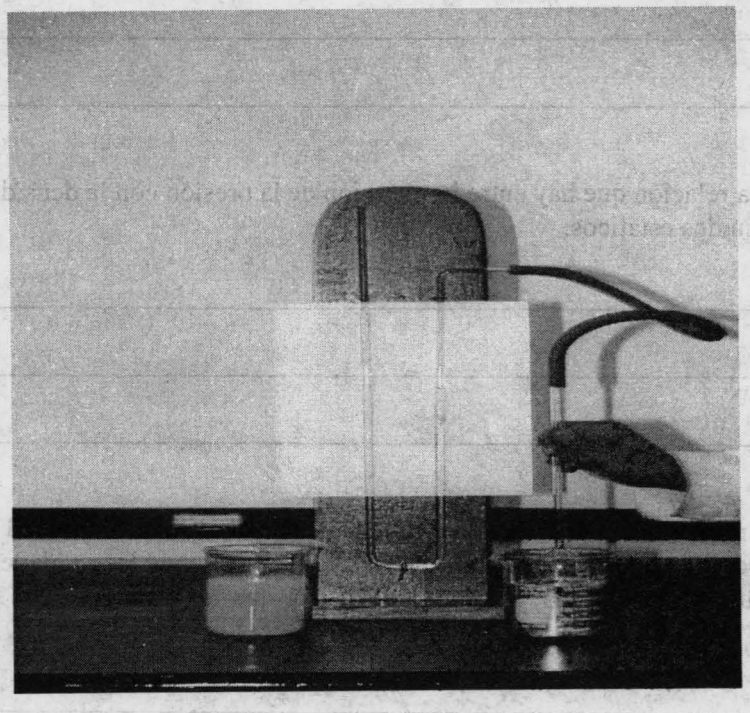


Fig. IV.1

IV.l) Observe el manómetro en "U" que está conectado a la campana de vidrio que se muestra en la Fig. IV.I y como el profesor coloca el equipo del Laboratorio de la misma manera. Conforme la campana se sumerge en el agua. ¿Cómo varía la presión al variar la profundidad?

_____

_____

_____

IV.2) Al efectuar el profesor el experimento de sumergir la campana de vidrio en el mercurio y en el alcohol. ¿Qué relación puede generalizarse de la variación de la presión al variar la profundidad en líquidos estáticos?

_____

_____

_____

IV.3) Al sumergir la campana de vidrio a una misma profundidad en el agua, mercurio, y alcohol. ¿Qué relación encuentra entre la presión y la densidad de estos líquidos?

_____

_____

_____

IV.4) Generalice la relación que hay entre la variación de la presión con la densidad y la profundidad en líquidos estáticos.

_____

_____

_____

IV.5) Escriba la proporción de la presión con la densidad y la profundidad e introduzca una constante de proporcionalidad K para plantear la igualdad. Obtenga las unidades de K y diga qué variable física actúa sobre el agua, alcohol y mercurio, que tenga las mismas unidades que esta constante.

_____

_____

_____

IV.6) Haga un dibujo que represente el experimento efectuado por el profesor.

IV.7) A partir del concepto de densidad y empleando el equipo y material proporcionado por el laboratorista, explique la técnica que manejará para determinar las densidades del agua y del mercurio.

IV.8) Efectúe nueve veces el procedimiento que describió en el inciso anterior para el agua y el mercurio y llene la tabla siguiente:

	MERCURIO			AGUA		
No.	TARA (kg)	MASA (kg)	VOL. (m^3)	TARA (kg)	MASA (kg)	VOL(m^3)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

IV.9) Con base en los datos de la tabla anterior obtenga los valores medios de la masa y el volumen, así como sus respectivas incertidumbres.

V.10) Empleando los datos obtenidos en el inciso anterior, calcule las densidades de agua y el mercurio, así como sus respectivas incertidumbres.

V. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

VI. APLICACIONES

Investigue las aplicaciones de los conceptos desarrollados en la práctica, en las siguientes industrias:

VI.1) Petroquímica

VI.2) Construcción

VI.3) Transformación

VII. BIBLIOGRAFÍA

Indique los libros consultados para la preparación de la práctica y la elaboración del reporte.

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 2

"PRESIONES: ATMOSFÉRICA, ABSOLUTA Y RELATIVA"

TEMA: CONCEPTOS FUNDAMENTALES

I. OBJETIVOS

I.1) DETERMINAR EL VALOR MEDIO DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA EN LA CIUDAD DE MÉXICO, ASÍ COMO SU INCERTIDUMBRE.

I.2) APLICAR LOS CONCEPTOS DE PRESIONES: ATMOSFÉRICA, ABSOLUTA Y RELATIVA PARA CALCULAR LA PRESIÓN DEL AIRE ENCERRADO EN UN SISTEMA CILINDRO-ÉMBOLO.

II. EQUIPO NECESARIO

II.1) Una jeringa de 50 (ml) de vidrio
II.2) Una jeringa de plástico de 3 (ml)
II.3) Un tubo cerrado por un lado de 0.5 (cm) de diámetro y 0.75 (cm) de largo
II.4) Una cápsula de porcelana
II.5) Un flexómetro
II.6) 0.65 (kg) de mercurio
II.7) Un soporte Universal
II.8) Una pinza de punta de vinilo
II.9) Dos pinzas de termómetro
II.10) 0.5 (m) de tubo látex de 0.5 (cm) de diámetro
II.11) Un soporte de madera para pesas
II.12) Un gancho y juego de pesas
II.13) Un manómetro en "U" de vidrio
II.14) Un vaso de precipitado de 100 (ml)

II. ANTECEDENTES

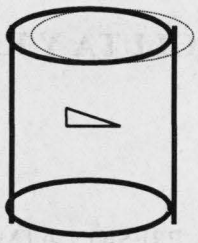
PRESIÓN. EL GRADIENTE DE PRESIÓN. MANOMETRÍA

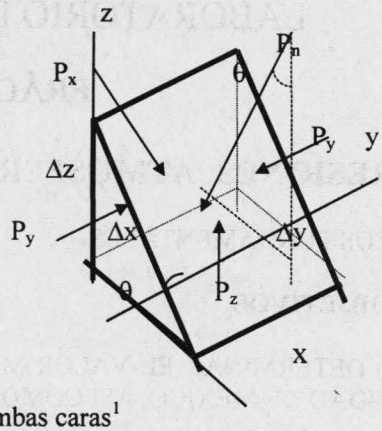
La presión (P) en fluidos estáticos o en reposo es objeto de estudio en la mecánica de fluidos, específicamente en el tema que se denomina Estática de Fluidos. Desde el punto de vista físico la presión se define como la fuerza normal ejercida por el fluido sobre la unidad de área, lo cual se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$P = F/A$$

En donde F es la magnitud de la fuerza perpendicular del fluido que actúa sobre una superficie A con la cual está en contacto. La presión es de un Pascal si la fuerza es de un Newton y la superficie es de un metro cuadrado.

$$P = \frac{F}{A}$$





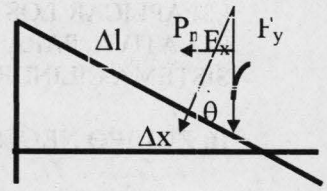
Por la simetría de la figura P_y es la misma en ambas caras[1]

$\Sigma F_y = 0$

por suposición de equilibrio

$\Sigma F_x = 0;$ $\Sigma F_z = 0$

peso = $\rho\, g\, \Delta x\, \Delta y\, \Delta z / 2$



$$\Sigma F_x = P_x\, \Delta y\, \Delta z - P_n\, \Delta y\, \Delta l \operatorname{sen}\theta = 0 \qquad (1)^2$$

F_x

$$\Sigma F_z = P_z\, \Delta x\, \Delta y - P_n\, \Delta y\, \Delta l \cos\theta - \rho\, g\, \Delta x\, \Delta y\, \Delta z / 2 = 0 \qquad (2)$$

Δz mg F_z Δx

$\Delta x = \Delta l \cos\theta$; $\Delta z = \Delta l \operatorname{sen}\theta$

de (1) $P_x = P_n$

de (2) $P_z - P_n - \rho\, g\, \Delta z / 2 = 0$

si $\Delta z \to 0$ $\lim_{\Delta z \to 0} P_z = P_n = P_x$

entonces

1. Dentro de un fluido en reposo, a iguales alturas iguales de presión; no varía la presión a lo largo de una línea horizontal

   $\Sigma F_y = 0;$ $P_y = P_y$

2. En un fluido en reposo, la presión en un punto es independiente a la orientación

   $P_z = P_n = P_x = P_y$

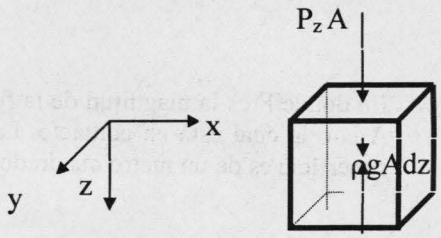
3. Hay variaciones de presión en la dirección vertical en un fluido en reposo y es proporcional a la densidad, gravedad y altura

4.

peso = $g\, \rho\, (A\, h)$; $P = \text{peso} / A = \rho\, g\, h$

$\Sigma F_z = 0 = -(P_z + dP_z)\, A + \rho\, g\, A\, dz + P_z\, A$

$dP_z = \rho\, g\, dz$ z



[1] sino tenderá a moverse hacia algún lado

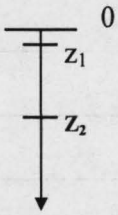
[2] si fuera un cubo, ΣF_x por simetría, no tiene caso analizar

o

$dP_z = -\rho\, g\, dz$ z $(P_z+dP_z)A$

Si se integra desde la superficie z_1, donde la presión es P_1, hasta una profundidad z_2, donde $P_z = P_2$, y ρ es constante

$$\int_{P_1}^{P_2} dP_z = \int_{z=0}^{z} \rho\, g\, dz \quad \Rightarrow \quad P_2 - P_1 = \rho\, g\, z \;\therefore\; \Delta P = \rho\, g\, z$$



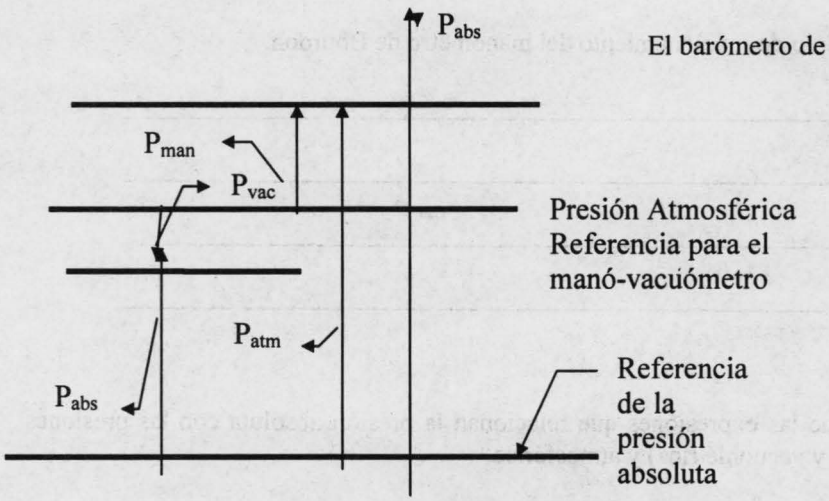
La presión aumenta con la profundidad; disminuye con la altura.

Presión absoluta, P_{abs} Se mide con respecto a un vacío absoluto, o sea, a una presión igual a cero.

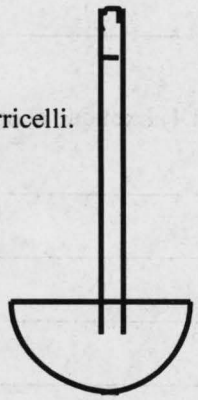
Presión manométrica, P_{man} (+) Es la diferencia entre la presión absoluta y la que ejerce la atmósfera en una localidad dada. $P_{man} = P_{abs} - P_{atm}$

Presión vacuométrica, P_{vac} (vacío, -) Cuando la presión manométrica es negativa, se le llama vacío, esto es, la presión atmosférica es mayor que la P_{abs} $P_{vac} = P_{atm} - P_{abs}$

Presión barométrica, P_{bar} Es igual a la presión atmosférica, P_{atm}.



El barómetro de Torricelli.



CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) Explique qué es la presión atmosférica.

_____

_____

_____

_____

_____

III.2) Describa brevemente el experimento de Torricelli, con el cual encontró como medir la presión atmosférica.

III.3) Investigue cuál es la presión atmosférica en la Ciudad de México y escriba su valor en (cm) de Hg y en Pascal.

III.4) Explique el principio de funcionamiento del manómetro de Bourdon.

III.5) Escriba y explique las expresiones que relacionan la presión absoluta con las presiones relativas (manométrica y vacuométrica) y atmosférica.

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV.l) En la figura IV.1 se muestra el material que le proporciona el Laboratorio, para elaborar un barómetro como el ideado por Torricelli.

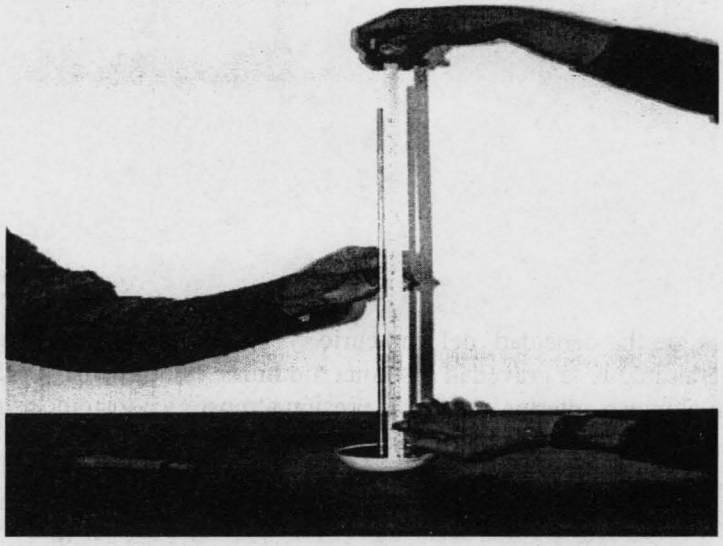


Fig. IV.1

IV.2) Explique la técnica o camino que empleará para determinar la presión atmosférica en el Laboratorio.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

IV.3) Efectúe nueve mediciones de la presión atmosférica y obtenga su valor medio y su incertidumbre. Realice nueve veces el experimento de Torricelli y llene la tabla siguiente:

N_0.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h (m)									

IV.4) Obtenga el valor medio y la incertidumbre de la altura barométrica h, con base en los datos de la Tabla anterior.

IV.5) Con los valores de la densidad del mercurio y su incertidumbre obtenidos en la PRÁCTICA 1, considerando que la gravedad y su incertidumbre es de (9.78 ± 0.05) m/s^2 y con los datos solicitados en el inciso anterior, calcule la presión atmosférica y su incertidumbre..

IV.6) Armado el dispositivo de la jeringa, con el manómetro, el soporte Universal y las pesas, tenga cuidado de no tomar con las manos el cilindro de la jeringa.

IV.7) Coloque la pesa de 235 gramos sobre la base de madera, y efectúe el cálculo de la presión absoluta del aire encerrado en el sistema cilindro-émbolo Haga el dibujo correspondiente.

IV.8) Invierta la jeringa del dispositivo armado y cuelgue el gancho con las pesas indicadas por el maestro. Calcule la presión absoluta del aire encerrado en el sistema cilindro-émbolo. Haga el dibujo correspondiente.

V. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

_____

_____

_____

_____

_____

_____

VI. APLICACIONES

Investigue las aplicaciones de los conceptos desarrollados en la práctica, en las siguientes industrias.

VI.1) Petroquímicas

_____

_____

_____

VI.2) Instalaciones en Plantas Termoeléctricas e Hidroeléctricas.

_____

_____

_____

VI.3) Diseño de tanques a presión.

_____

_____

_____

VII. BIBLIOGRAFÍA

Indique los libros consultados para la preparación de la práctica y la elaboración del reporte.

_____

_____

_____

_____

_____

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 3

"CALIBRACIÓN DE UN TERMÓMETRO"

TEMA: LEY CERO DE LA TERMODINÁMICA

I. OBJETIVO:

I.1) DEMOSTRAR LA LEY CERO DE LA TERMODINÁMICA

II. EQUIPO NECESARIO

II. 1) Termómetro de Mercurio de –20° a 150 (°C)
II. 2) Termómetro Bimetálico de 0° a 150 (°C)
II. 3) Termómetro Digital –30° a 130 (°C), con empleo de escala –30° a 200° C
II. 4) Parrilla Eléctrica con plancha y agitador magnético de 698 (W) con perillas de regularización.
II. 5) Vaso de precipitados de 600 (ml).
II. 6) Soporte Universal
II. 7) Pinzas de sujeción para termómetro (2)
II. 8) 400 (g). de hielo
II. 9) Cronómetro de precisión

III. ANTECEDENTES

ENERGÍA.
La definición de energía, desde el punto de vista de la mecánica, establece que la energía es la capacidad que tiene un sistema de efectuar un trabajo o elevar un cuerpo, sin embargo, podemos ampliar este concepto diciendo que la energía es la capacidad latente o aparente de producir cambios en la naturaleza, por ejemplo, la energía potencial gravitatoria es energía latente que al liberarse cambia de posición al sistema y produce cambios en el medio ambiente, o bien, la energía de traslación de un cuerpo es energía aparente que está llevando a cabo cambios en el propio sistema y su medio ambiente. Podemos establecer dos tipos de energía en trasferencia que es la que depende de la trayectoria, es decir, de cómo se efectúe el proceso y la energía como propiedad del sistema, que depende únicamente del estado inicial y del estado final del sistema. La energía se cuantifica en Joule (J) cuya expresión dimensional está dada por $M\,L^2\,T^{-2}$

ENERGÍA EN TRASNFERENCIA.
Es la energía que se trasmite entre un sistema y su medio ambiente a través de la frontera que los delimita debido a un potencial térmico (calor) o bien a un potencial mecánico (trabajo).

CALOR (Q).
El calor es la energía que se transfiere a nivel microscópico entre un sistema y su medio ambiente debido a que entre ellos hay una diferencia del nivel de energía molecular, lo cual produce un potencial de energía molecular que se manifiesta como una acción electromagnética entre ambos, en donde el que tiene mayor nivel de energía molecular le transfiere energía electromagnética al de menor nivel de energía molecular, para llegar al equilibrio térmico. A esta acción de transferencia de energía se le denomina calor y es debido a que entre el sistema y

su medio ambiente hay una diferencia del nivel energético evaluado a través de su energía interna y que macroscópicamente detectamos como una diferencia de temperaturas, en donde la diferencia del potencial térmico produce una transmisión de energía en la dirección del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura. Para fines de estudio se establecen tres mecanismos de transferencia de calor: conducción; convención, y radiación.

TRABAJO (W).

El trabajo es energía macroscópica que se transfiere entre un sistema y su medio ambiente debido a un potencial mecánico, es decir, a la acción de una fuerza **F** entre el sistema y su medio ambiente que produce un desplazamiento **s**. Se dice que el trabajo es energía macroscópica por ser observable por el hombre. La evaluación del trabajo, en su forma mas general, está dada por la integral curvilínea del producto interno de los vectores fuerza y diferencial de desplazamiento: $W = \int \mathbf{F} \bullet d\mathbf{s}$.

ENERGÍA COMO PROPIEDAD DEL SISTEMA.

A diferencia del calor y el trabajo que dependen de la trayectoria o de cómo se efectúa el proceso, la energía como propiedad del sistema únicamente depende del estado inicial y final del sistema, sin importar como se efectuó el cambio de estado. Se dice que es energía como propiedad del sistema ya que depende del nivel energético que este posee y que se establece en función de sus propiedades termodinámicas, para los fines del curso de Termodinámica se consideran tres formas de energía como propiedad del sistema: energía cinética; energía potencial, y energía interna.

ENERGÍA CINÉTICA (EC).

Es la energía que posee un sistema debido a su movimiento de traslación con respecto a un sistema de referencia y a la masa que posee éste. La evaluación de la variación de la energía cinética está dada por la expresión $\Delta EC_{12} = 1/2M(\mathbf{V}^2{}_2 - \mathbf{V}^2{}_1)$, en donde M es la masa y $\mathbf{V}_2$ y $\mathbf{V}_1$ son las velocidades final e inicial, respectivamente.

ENERGÍA POTENCIAL (EP).

Es la energía que posee un sistema debido a su posición con respecto a un sistema de referencia dentro del campo gravitacional y a la masa que posee este sistema. La evaluación de la variación de la energía potencial está dada por $\Delta EP_{12} = Mg(y_2 - y_1)$, en donde M es la masa, g la aceleración de la gravedad local y y_2 y y_1 son las alturas final e inicial, respectivamente.

ENERGÍA INTERNA (U).

A la suma de todas las formas de energía que a nivel molecular tiene un sistema se le denomina macroscópicamente como energía interna. Estas formas de energía a nivel molecular es la suma de la energía de enlace, energía de vibración, energía de translación para los gases, de spin del electrón, de rotación de la molécula dependiendo del grado de libertad para los gases, etc. Para una sustancia simple la definición de la energía interna se hace a partir del postulado de estado, por lo cual únicamente se requieren dos propiedades termodinámicas independientes. En el caso de los líquidos la variación de la energía interna se establece a partir de $\Delta U_{12} = Mc(T_2 - T_1)$ en donde M es la masa, c es la capacidad térmica específica y T_2 y T_1 son las temperaturas final e inicial, respectivamente.

CAPACIDAD TÉRMICA ESPECÍFICA (c).

La capacidad térmica específica de un líquido establece la cantidad de energía que se le tiene que transferir en joules, entrando o saliendo, para que a cada unidad de masa, cada kilogramo, se varíe su temperatura en una unidad, un grado Kelvin, hacia arriba o hacia abajo. La expresión para evaluar esta propiedad esta dada por $c = Q/M\text{-}\Delta T$ (J/kg-K), en donde Q es el calot transferido, M es la masa y ΔT la variación de temperatura.

PRINCIPIO DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA.
La energía no se crea ni se destruye sólo se transforma. Es la base para establecer la Primera Ley de la Termodinámica cuyo modelo matemático expresa que la energía que se le transfiere a un sistema como calor y/o trabajo produce cambios en la energía como propiedad del sistema ya sea variación de energía cinética y/o potencial y/o interna, cuya expresión estad dada por:

$$ {}_1Q_2 + {}_1W_2 = \Delta EC_{12} + \Delta EP_{12} + \Delta U_{12}. $$

CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) Enuncie la Ley Cero de la Termodinámica

III.2) Explique el concepto de temperatura empírica

III.3) De acuerdo a la Ley Cero de la Termodinámica, explique el principio de funcionamiento del termómetro de gas a Volumen Constante y la escala de temperatura empírica absoluta.

III.4) Describa el principio de funcionamiento de un termómetro de bulbo de mercurio. Indique las características técnicas de este tipo de termómetro.

III.5) Describe el principio de funcionamiento de un termómetro bimetálico. Indique las características técnicas de este tipo de termómetro.

III.6) Describa el principio de funcionamiento de un termómetro digital. Indique las características técnicas de este tipo de termómetro.

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV.1) Con base en el equipo que le fue proporcionado en el Laboratorio, y que se muestra en la figura, proponga un procedimiento que permita corroborar la Ley Cero de la Termodinámica.

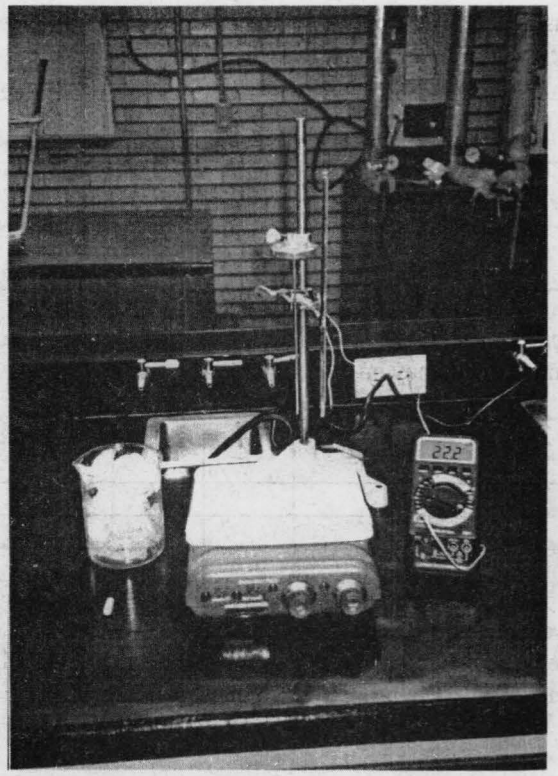


Fig. IV. 1

IV.2) Explique las consideraciones técnicas que tienen que ser observadas en el proceso de transferencia de calor a la sustancia de trabajo que se emplea como transmisora de la energía.

_____

_____

_____

_____

_____

IV.3) Arme el equipo y a continuación haga la figura correspondiente, indicando los termómetros digital, bimetálico y de mercurio.

IV.4) Indique que consideraciones tiene que tomar en cuenta con respecto al tiempo de respuesta de cada uno de los termómetros

_____

_____

_____

_____

IV.5) En la tabla siguiente vacíe los valores de temperatura de cada uno de los termómetros, considerando el desfasamiento que hay en el tiempo de respuesta.

Lectura / Termómetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Digital										
Bimetálico										
Mercurio										

IV.6) Elabore la curva de calibración del termómetro bimetálico, considerando que el termómetro patrón es el digital obteniendo la mejor recta mediante el método de mínimos cuadrados. Indique la sensibilidad del termómetro bimetálico y su error de exactitud.

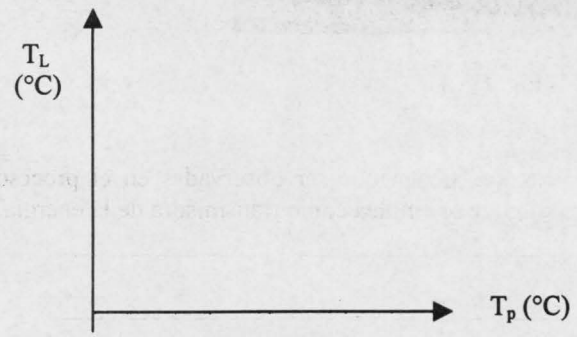


Fig. IV.3 Curva de calibración del termómetro bimetálico.

IV.7) Elabore la curva de calibración del termómetro de mercurio comparando los resultados obtenidos en los incisos IV.5) y IV.6), diga cual de los dos termómetros tienen las mejores características estáticas en cuanto a su error de exactitud y de precisión, en el rango de Temperaturas medio.

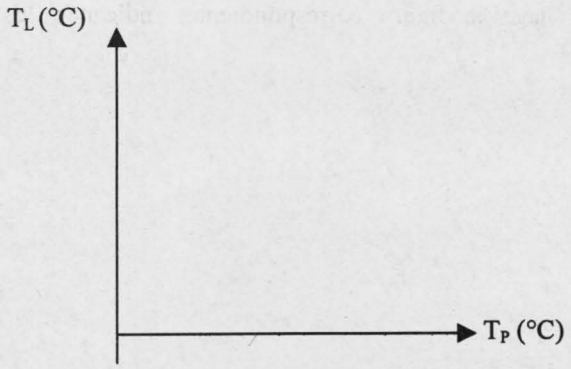


Fig. IV. 4 Curva de calibración del termómetro de mercurio.

V. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

_____

_____

_____

_____

VI. APLICACIONES

Investigue las aplicaciones de los conceptos desarrollados en la práctica, en los siguientes casos:

VI. l) Para la industria Petroquímica.

_____

_____

_____

VI.2) En el Sector Salud.

_____

_____

_____

_____

VI.3 En la Industria Textil.

_____

_____

_____

_____

VII. BIBLIOGRAFÍA

Indique la bibliografía consultada en la preparación de la práctica y en la elaboración del reporte.

_____

_____

_____

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 4

"CAPACIDAD TÉRMICA ESPECÍFICA DE LOS METALES"

TEMA: PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS Y PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

I. OBJETIVO:

I.1) DETERMINAR LA CAPACIDAD TÉRMICA ESPECÍFICA DE UN METAL Y SU INCERTIDUMBRE.

II. EQUIPO NECESARIO

II.1) Un calorímetro de vacío
II.2). Una resistencia de inmersión de 250.0 (W)
II.3) Una balanza de 2,610.0 (g), con juego de pesas
II.4) Un termómetro de 20 - 110 (^{0}C)
II.5) Un Watt-horímetro o un multímetro
II.6) Un vaso de precipitados de 400 (ml)
II. 7) Tres cilindros de muestra de metal
II. 8) Vernier de 19 (cm)
II. 9) Pinzas
II. 10) Gancho para muestras
II. 11) Baño María

III. ANTECEDENTES

ENERGÍA.
La definición de energía, desde el punto de vista de la mecánica, establece que la energía es la capacidad que tiene un sistema de efectuar un trabajo o elevar un cuerpo, sin embargo, podemos ampliar este concepto diciendo que la energía es la capacidad latente o aparente de producir cambios en la naturaleza, por ejemplo, la energía potencial gravitatoria es energía latente que al liberarse cambia de posición al sistema y produce cambios en el medio ambiente, o bien, la energía de traslación de un cuerpo es energía aparente que está llevando a cabo cambios en el propio sistema y su medio ambiente. Podemos establecer dos tipos de energía en trasferencia que es la que depende de la trayectoria, es decir, de cómo se efectúe el proceso y la energía como propiedad del sistema, que depende únicamente del estado inicial y del estado final del sistema. La energía se cuantifica en Joule (J) cuya expresión dimensional está dada por $M\,L^2\,T^{-2}$

ENERGÍA EN TRASNFERENCIA.
Es la energía que se trasmite entre un sistema y su medio ambiente a través de la frontera que los delimita debido a un potencial térmico (calor) o bien a un potencial mecánico (trabajo).

CALOR (Q).
El calor es la energía que se transfiere a nivel microscópico entre un sistema y su medio ambiente debido a que entre ellos hay una diferencia del nivel de energía molecular, lo cual produce un potencial de energía molecular que se manifiesta como una acción electromagnética entre ambos, en donde el que tiene mayor nivel de energía molecular le transfiere energía

electromagnética al de menor nivel de energía molecular, para llegar al equilibrio térmico. A esta acción de transferencia de energía se le denomina calor y es debido a que entre el sistema y su medio ambiente hay una diferencia del nivel energético evaluado a través de su energía interna y que macroscópicamente detectamos como una diferencia de temperaturas, en donde la diferencia del potencial térmico produce una transmisión de energía en la dirección del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura. Para fines de estudio se establecen tres mecanismos de transferencia de calor: conducción; convención, y radiación.

TRABAJO (W).

El trabajo es energía macroscópica que se transfiere entre un sistema y su medio ambiente debido a un potencial mecánico, es decir, a la acción de una fuerza **F** entre el sistema y su medio ambiente que produce un desplazamiento **s**. Se dice que el trabajo es energía macroscópica por ser observable por el hombre. La evaluación del trabajo, en su forma mas general, está dada por la integral curvilínea del producto interno de los vectores fuerza y diferencial de desplazamiento: $W = \int \mathbf{F} \bullet ds$.

ENERGÍA COMO PROPIEDAD DEL SISTEMA.

A diferencia del calor y el trabajo que dependen de la trayectoria o de cómo se efectúa el proceso, la energía como propiedad del sistema únicamente depende del estado inicial y final del sistema, sin importar como se efectuó el cambio de estado. Se dice que es energía como propiedad del sistema ya que depende del nivel energético que este posee y que se establece en función de sus propiedades termodinámicas, para los fines del curso de Termodinámica se consideran tres formas de energía como propiedad del sistema: energía cinética; energía potencial, y energía interna.

ENERGÍA CINÉTICA (EC).

Es la energía que posee un sistema debido a su movimiento de traslación con respecto a un sistema de referencia y a la masa que posee éste. La evaluación de la variación de la energía cinética está dada por la expresión $\Delta EC_{12} = 1/2M(\mathbf{V}^2{}_2 - \mathbf{V}^2{}_1)$, en donde M es la masa y $\mathbf{V}_2$ y $\mathbf{V}_1$ son las velocidades final e inicial, respectivamente.

ENERGÍA POTENCIAL (EP).

Es la energía que posee un sistema debido a su posición con respecto a un sistema de referencia dentro del campo gravitacional y a la masa que posee este sistema. La evaluación de la variación de la energía potencial está dada por $\Delta EP_{12} = Mg(y_2 - y_1)$, en donde M es la masa, g la aceleración de la gravedad local y y_2 y y_1 son las alturas final e inicial, respectivamente.

ENERGÍA INTERNA (U).

A la suma de todas las formas de energía que a nivel molecular tiene un sistema se le denomina macroscópicamente como energía interna. Estas formas de energía a nivel molecular es la suma de la energía de enlace, energía de vibración, energía de translación para los gases, de spin del electrón, de rotación de la molécula dependiendo del grado de libertad para los gases, etc. Para una sustancia simple la definición de la energía interna se hace a partir del postulado de estado, por lo cual únicamente se requieren dos propiedades termodinámicas independientes. En el caso de los líquidos la variación de la energía interna se establece a partir de $\Delta U_{12} = Mc(T_2 - T_1)$ en donde M es la masa, c es la capacidad térmica específica y T_2 y T_1 son las temperaturas final e inicial, respectivamente.

CAPACIDAD TÉRMICA ESPECÍFICA (c).

La capacidad térmica específica de un líquido establece la cantidad de energía que se le tiene que transferir en joules, entrando o saliendo, para que a cada unidad de masa, cada kilogramo, se varíe su temperatura en una unidad, un grado Kelvin, hacia arriba o hacia abajo. La expresión para evaluar esta propiedad esta dada por $c = Q/M\text{-}\Delta T$ (J/kg-K), en donde Q es el calot transferido, M es la masa y ΔT la variación de temperatura.

PRINCIPIO DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA.

La energía no se crea ni se destruye sólo se transforma. Es la base para establecer la Primera Ley de la Termodinámica cuyo modelo matemático expresa que la energía que se le transfiere a un sistema como calor y/o trabajo produce cambios en la energía como propiedad del sistema ya sea variación de energía cinética y/o potencial y/o interna, cuya expresión estad dada por:

$$ {}_1Q_2 + {}_1W_2 = \Delta EC_{12} + \Delta EP_{12} + \Delta U_{12} $$

CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) Defina el concepto de energía.

III.2) Defina el concepto de calor.

III.3) Explique cómo es el mecanismo de transferencia de calor, desde el punto de vista macroscópico y microscópico.

III.4) Explique los mecanismos de transmisión de calor por conducción, convección y radiación

III.5) De acuerdo al postulado de estado y para una sustancia simple compresible, la energía interna es una función de dos propiedades intrínsecamente independientes, por ejemplo u = u(T,v), a partir de la diferenciación de esta función, obtenga la expresión que le permita evaluar la variación de la energía interna específica.

III.6) Aplique a la ecuación obtenida en el punto anterior las consideraciones pertinentes para el caso particular de sólidos y líquidos, a fin de obtener la expresión matemática que le permita evaluar su energía interna.

III.7) Defina el concepto de capacidad térmica específica, indicando sus unidades.

III.8) A partir del Principio de la Conservación de la Energía, sistema termodinámico cerrado y estableciendo la convención de que energía que entra es positiva y la que sale del sistema es negativa, desarrolle el modelo matemático de la Primera Ley de la Termodinámica para sistemas cerrados. Haga un esquema que represente al sistema termodinámico.

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV.1) Introduzca en el baño maría 300 (g).de agua así como las tres muestras de metal y el termómetro como se muestra en la figura IV. 1.

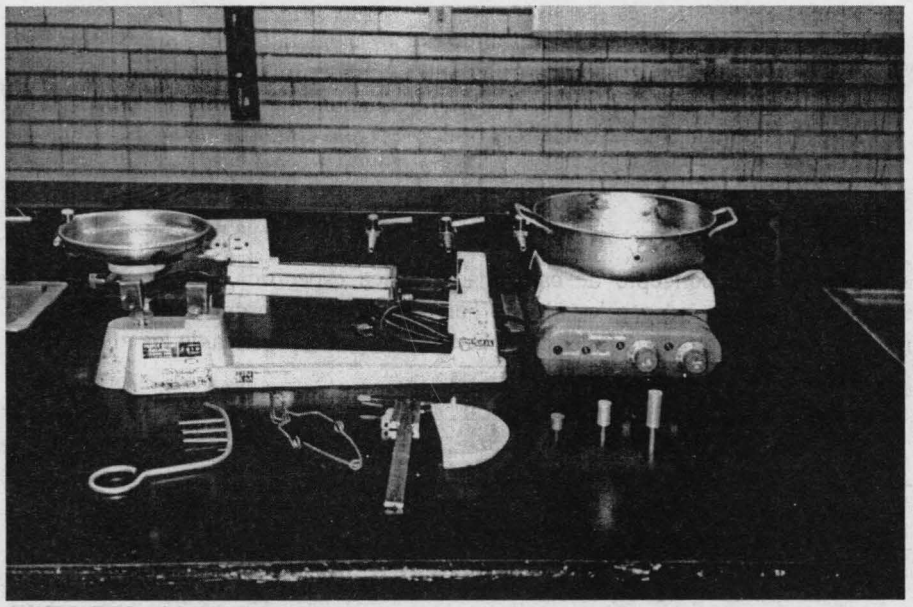


Fig. IV. 1

IV.2) Introduzca en el calorímetro de vació 300 (g) de agua, la resistencia de inmersión y el termómetro. Ya sea con el watt-horímetro o con el multímetro y un cronómetro se conecta la resistencia de inmersión para determinar el consumo de energía eléctrica, una vez que se

conecte dicha resistencia. Dibuje una figura esquemática que represente al sistema termodinámico en estudio, señalando con una línea punteada en rojo la frontera del sistema.

IV.3) Como se observa, al sistema sólo se le transfiere energía en forma de calor con la resistencia eléctrica. Aplique la Primera Ley de la Termodinámica para sistemas cerrados, haciendo las consideraciones correspondientes y los desarrollos matemáticos que le permitan calcular la capacidad térmica específica de las muestras de metal que se introducen en el calorímetro de vacío.

IV.4) Con base en el concepto de capacidad térmica específica, de lo expuesto en incisos anteriores y del equipo proporcionado por el Laboratorio, describa el desarrollo o técnica experimental que seguirá para obtener la capacidad térmica específica de las muestras de metal.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

IV.5) Enliste todas aquellas precauciones que debe tomar en cuenta durante el experimento, a fin de minimizar los errores aleatorios y sistemáticos.

IV.6) Realice nueve veces el experimento en cuestión, llenando la siguiente tabla (si cuenta con el Watt-horímetro suministre calor al sistema en una cantidad equivalente a 10 vueltas del disco, si es un multímetro suministre calor al agua durante 30 segundos).

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tara (kg)									
T+M (kg)									
Agua (kg)									
T_1 (^{0}C)									
T_2 (^{0}C)									
Q (J)									

IV.7) Empleando los resultados de la tabla anterior, obtenga la capacidad térmica específica del metal y su incertidumbre.

IV.8) Investigue en tablas de propiedades termodinámicas, el valor de la capacidad térmica específica de las muestras de metal, indicando bajo que condiciones de presión y temperatura se determinó, y obtenga el porcentaje de error de exactitud del valor obtenido experimentalmente.

V. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

VI. APLICACIONES

Investigue las aplicaciones de los conceptos desarrollados en la práctica, en los siguientes casos:

VI.1) En los procesos de transferencia de calor en la industria metalúrgica.

_____

_____

_____

_____

_____

VI.2) En plantas termoeléctricas.

VI.3 En el sistema de enfriamiento de los motores de combustión interna.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Indique la bibliografía consultada en la preparación de la práctica y en la elaboración del reporte.

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 5

"CAPACIDAD TÉRMICA ESPECÍFICA"

TEMA: PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS Y PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

I. OBJETIVO:

I.1) DETERMINAR LA CAPACIDAD TÉRMICA ESPECÍFICA DEL AGUA Y SU INCERTIDUMBRE.

II. EQUIPO NECESARIO

II.1) Un calorímetro de vacío
II.2). Una resistencia de inmersión de 250.0 (W)
II.3) Una balanza de 2,610.0 (g), con juego de pesas
II.4) Un termómetro de 20 - 110 (^{0}C)
II.5) Un Watt-horímetro o un multímetro
II.6) Un vaso de precipitados de 400 (ml)

III. ANTECEDENTES

ENERGÍA.
La definición de energía, desde el punto de vista de la mecánica, establece que la energía es la capacidad que tiene un sistema de efectuar un trabajo o elevar un cuerpo, sin embargo, podemos ampliar este concepto diciendo que la energía es la capacidad latente o aparente de producir cambios en la naturaleza, por ejemplo, la energía potencial gravitatoria es energía latente que al liberarse cambia de posición al sistema y produce cambios en el medio ambiente, o bien, la energía de traslación de un cuerpo es energía aparente que está llevando a cabo cambios en el propio sistema y su medio ambiente. Podemos establecer dos tipos de energía en trasferencia que es la que depende de la trayectoria, es decir, de cómo se efectúe el proceso y la energía como propiedad del sistema, que depende únicamente del estado inicial y del estado final del sistema. La energía se cuantifica en Joule (J) cuya expresión dimensional está dada por $M\,L^2\,T^{-2}$

ENERGÍA EN TRASNFERENCIA.
Es la energía que se trasmite entre un sistema y su medio ambiente a través de la frontera que los delimita debido a un potencial térmico (calor) o bien a un potencial mecánico (trabajo).

CALOR (Q).
El calor es la energía que se transfiere a nivel microscópico entre un sistema y su medio ambiente debido a que entre ellos hay una diferencia del nivel de energía molecular, lo cual produce un potencial de energía molecular que se manifiesta como una acción electromagnética entre ambos, en donde el que tiene mayor nivel de energía molecular le transfiere energía electromagnética al de menor nivel de energía molecular, para llegar al equilibrio térmico. A esta acción de transferencia de energía se le denomina calor y es debido a que entre el sistema y su medio ambiente hay una

diferencia del nivel energético evaluado a través de su energía interna y que macroscópicamente detectamos como una diferencia de temperaturas, en donde la diferencia del potencial térmico produce una transmisión de energía en la dirección del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura. Para fines de estudio se establecen tres mecanismos de transferencia de calor: conducción; convención, y radiación.

TRABAJO (W).

El trabajo es energía macroscópica que se transfiere entre un sistema y su medio ambiente debido a un potencial mecánico, es decir, a la acción de una fuerza **F** entre el sistema y su medio ambiente que produce un desplazamiento **s**. Se dice que el trabajo es energía macroscópica por ser observable por el hombre. La evaluación del trabajo, en su forma mas general, está dada por la integral curvilínea del producto interno de los vectores fuerza y diferencial de desplazamiento: $W = \int \mathbf{F} \bullet d\mathbf{s}$.

ENERGÍA COMO PROPIEDAD DEL SISTEMA.

A diferencia del calor y el trabajo que dependen de la trayectoria o de cómo se efectúa el proceso, la energía como propiedad del sistema únicamente depende del estado inicial y final del sistema, sin importar como se efectuó el cambio de estado. Se dice que es energía como propiedad del sistema ya que depende del nivel energético que este posee y que se establece en función de sus propiedades termodinámicas, para los fines del curso de Termodinámica se consideran tres formas de energía como propiedad del sistema: energía cinética; energía potencial, y energía interna.

ENERGÍA CINÉTICA (EC).

Es la energía que posee un sistema debido a su movimiento de traslación con respecto a un sistema de referencia y a la masa que posee éste. La evaluación de la variación de la energía cinética está dada por la expresión $\Delta EC_{12} = 1/2M(\mathbf{V}^2{}_2 - \mathbf{V}^2{}_1)$, en donde M es la masa y $\mathbf{V}_2$ y $\mathbf{V}_1$ son las velocidades final e inicial, respectivamente.

ENERGÍA POTENCIAL (EP).

Es la energía que posee un sistema debido a su posición con respecto a un sistema de referencia dentro del campo gravitacional y a la masa que posee este sistema. La evaluación de la variación de la energía potencial está dada por $\Delta EP_{12} = Mg(y_2 - y_1)$, en donde M es la masa, g la aceleración de la gravedad local y $\mathbf{y}_2$ y y_1 son las alturas final e inicial, respectivamente.

ENERGÍA INTERNA (U).

A la suma de todas las formas de energía que a nivel molecular tiene un sistema se le denomina macroscópicamente como energía interna. Estas formas de energía a nivel molecular es la suma de la energía de enlace, energía de vibración, energía de translación para los gases, de spin del electrón, de rotación de la molécula dependiendo del grado de libertad para los gases, etc. Para una sustancia simple la definición de la energía interna se hace a partir del postulado de estado, por lo cual únicamente se requieren dos propiedades termodinámicas independientes. En el caso de los líquidos la variación de la energía interna se establece a partir de $\Delta U_{12} = Mc(T_2 - T_1)$ en donde M es la masa, c es la capacidad térmica específica y T_2 y T_1 son las temperaturas final e inicial, respectivamente.

CAPACIDAD TÉRMICA ESPECÍFICA (c).

La capacidad térmica específica de un líquido establece la cantidad de energía que se le tiene que transferir en joules, entrando o saliendo, para que a cada unidad de masa, cada kilogramo, se varíe su temperatura en una unidad, un grado Kelvin, hacia arriba o hacia abajo. La expresión para

evaluar esta propiedad esta dada por $c = Q/M\text{-}\Delta T$ (J/kg-K), en donde Q es el calot transferido, M es la masa y ΔT la variación de temperatura.

PRINCIPIO DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA.

La energía no se crea ni se destruye sólo se transforma. Es la base para establecer la Primera Ley de la Termodinámica cuyo modelo matemático expresa que la energía que se le transfiere a un sistema como calor y/o trabajo produce cambios en la energía como propiedad del sistema ya sea variación de energía cinética y/o potencial y/o interna, cuya expresión estad dada por:

$$_1Q_2 + {}_1W_2 = \Delta EC_{12} + \Delta EP_{12} + \Delta U_{12}.$$

CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) Defina el concepto de energía.

III.2) Defina el concepto de calor.

III.3) Explique cómo es el mecanismo de transferencia de calor, desde el punto de vista macroscópico y microscópico.

III.4) Explique los mecanismos de transmisión de calor por conducción, convección y radiación

III.5) De acuerdo al postulado de estado y para una sustancia simple compresible, la energía interna es una función de dos propiedades intrínsecamente independientes, por ejemplo u = u(T,v), a partir de la diferenciación de esta función, obtenga la expresión que le permita evaluar la variación de la energía interna específica.

III.6) Aplique a la ecuación obtenida en el punto anterior las consideraciones pertinentes para el caso particular de sólidos y líquidos, a fin de obtener la expresión matemática que le permita evaluar su energía interna.

III.7) Defina el concepto de capacidad térmica específica, indicando sus unidades.

III.8) A partir del Principio de la Conservación de la Energía, sistema termodinámico cerrado y estableciendo la convención de que energía que entra es positiva y la que sale del sistema es negativa, desarrolle el modelo matemático de la Primera Ley de la Termodinámica para sistemas cerrados. Haga un esquema que represente al sistema termodinámico.

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV.1) Introduzca en el calorímetro 300 (g) de agua, la resistencia de inmersión y el termómetro, como se muestra en la Fig. IV.1.

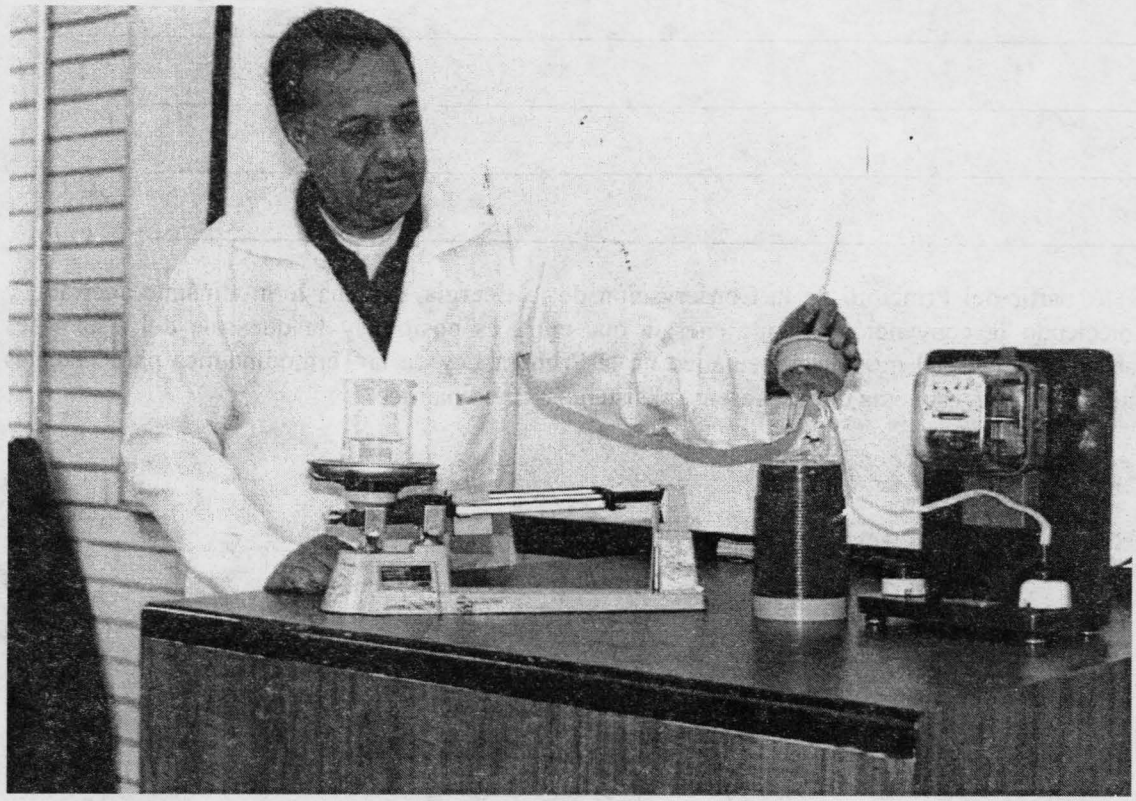


Fig. IV.1

IV.2) Dibuje una figura que represente al sistema termodinámico en estudio, señalándola con una línea punteada en rojo las fronteras del sistema así como las interacciones energéticas.

IV.3) Como se observa, al sistema sólo se le transfiere energía en forma de calor con la resistencia eléctrica. Aplique la Primera Ley de la Termodinámica para sistemas cerrados, haciendo las consideraciones correspondientes y los desarrollos matemáticos que le permitan calcular la capacidad térmica específica del agua.

IV.4) Con base en el concepto de capacidad térmica específica, de lo expuesto en incisos anteriores y del equipo proporcionado por el Laboratorio, describa el desarrollo o técnica experimental que seguirá para obtener la capacidad térmica específica del agua.

IV.5) Enliste todas aquellas precauciones que debe tomar en cuenta durante el experimento, a fin de minimizar los errores aleatorios y sistemáticos.

IV.6) Realice nueve veces el experimento en cuestión, llenando la siguiente tabla (si cuenta con el Watt-horímetro suminístrese calor al agua en una cantidad equivalente a 10 vueltas del disco, si es un multímetro suministre calor al agua durante 30 segundos).

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tara (kg)									
T+A (kg)									
Agua (kg)									
T_1 (^{0}C)									
T_2 (^{0}C)									
Q (J)									

IV.7) Empleando los resultados de la tabla anterior, obtenga la capacidad térmica específica del agua y su incertidumbre.

IV.8) Investigue en tablas de propiedades termodinámicas, el valor de la capacidad térmica específica del agua, indicando bajo que condiciones de presión y temperatura se determinó, y obtenga el porcentaje de error de exactitud del valor obtenido experimentalmente.

V. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

VI. APLICACIONES

Investigue las aplicaciones de los conceptos desarrollados en la práctica, en los siguientes casos:

VI.l) En los procesos de transferencia de calor en la industria metalúrgica.

_____

_____

_____

_____

_____

VI.2) En plantas termoeléctricas.

_____

_____

_____

_____

_____

VI.3 En el sistema de enfriamiento de los motores de combustión interna.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Indique la bibliografía consultada en la preparación de la práctica y en la elaboración del reporte.

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 6

"ENTALPÍA DE VAPORIZACIÓN DEL AGUA"

TEMA: PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS

I. OBJETIVO

I.1) DETERMINAR LA ENTALPÍA DE VAPORIZACIÓN DEL AGUA (h_{fg}) A LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y SU CORRESPONDIENTE INCERTIDUMBRE.

II. EQUIPO NECESARIO

II.1) Un calorímetro de vacío
II.2) Una resistencia de inmersión de 250.0 (W)
II.3) Una balanza de 2,610.0 (g) con juego de pesas
II.4) Un termómetro de -20.0 a 110.0 (^{0}C)
II.5) Un Watt-horímetro o un multímetro
II.6) Un vaso de precipitado de 100.0 (ml)
II.7) Un cronómetro

III. ANTECEDENTES

POSTULADO DE ESTADO

¿Cuántas propiedades son necesarias para determinar el estado termodinámico de una sustancia pura? ¿Cuántas propiedades serán independientes? El postulado de estado responde a estas preguntas y da la base para poder establecer las ecuaciones de estado de algunas sustancias. El postulado de estado es un axioma empírico que establece que: "el número de propiedades termodinámicas intensivas e independientes que definen el estado termodinámico de una sustancia pura, es igual al número de formas relevantes de realizar trabajo potencialmente reversible más uno".

Por lo tanto, para establecer el estado termodinámico de cualquier sustancia simple se requieren dos propiedades intensivas e independientes, todas las demás propiedades serán función de estas dos. Así, por ejemplo, para una sustancia simple compresible, conociendo su temperatura (T) y su presión (P), su estado queda completamente determinado. Si se requiere conocer su volumen específico (v) se sabe que éste será una función de T y P, y se tiene que conocer dicha función, la cual será de la forma :v = v (T, P). Si las propiedades que se varían independientemente son P y v, entonces T es una función T = T (v, P), o bien, si se conocen T y v se requiere conocer su energía interna específica (u), ésta será en función de T y v dada por u = u (T, v). A estas ecuaciones se les conoce como *ecuaciones de estado*.

ENTALPÍA

La entalpía es una propiedad termodinámica que se define como: H = U + PV, en donde H es la entalpía total. Si se divide entre la masa se define la entalpía específica (por unidad de masa) h = H/M, o sea h = u + Pv. Las unidades de la entalpía son las mismas que las de la energía, y esto se

demuestra fácilmente haciendo un análisis dimensional de la ecuación que la define; $[H] = [M L^2 T^{-2}] + [M L^{-1} T^{-2} L^3] = [M L^2 T^{-2}]$. Aplicando estas dimensiones a las unidades del SI.$[H] = [kg\text{-}m^2\text{-}s^{-2}] = [Joule]$. Las unidades para la entalpía específica son $[h] = [m^2\text{-}s^{-2}]$.
La entalpía es una propiedad termodinámica que está en función de otras propiedades termodinámicas, la energía interna y al producto de la presión y el volumen, esto se hizo para simplificar cálculos debido a la frecuencia con que estas propiedades se presentan con esta forma matemática en los análisis termodinámicos. Es por ello que la entalpía no surge como una necesidad de definir una propiedad física, si no por una necesidad de simplificar cálculos matemáticos, por lo cual, cualquier función de propiedades termodinámicas es otra propiedad termodinámica. Por tanto, su interpretación física dependerá del fenómeno en estudio.

ENTALPÍA DE VAPORIZACIÓN
En general, se define a la entalpía de transformación (h_{ab}) como la cantidad de energía que se debe suministrar a una sustancia por unidad de masa, para que cambie de una fase "a" a una fase ·b·, esto es: $h_{ab} = h_a - h_b$, en donde: "a" y "b" representan dos estados de saturación de fases distintas correspondientes a la misma temperatura, por ejemplo, de líquido saturado "f" a vapor saturado "g" que recibe el nombre de "entalpía de vaporización (h_{fg})", en donde, $h_{fg} = h_g - h_f$, es decir, que es la energía que se debe suministrar para que cambie de fase de líquido saturado a la fase de vapor saturado y es igual a la diferencia de la entalpía como vapor saturado a la entalpía como líquido saturado. Si el proceso es a la inversa, de vapor a líquido saturado, se le considera con signo negativo.

CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) Escriba la ecuación que define al concepto de entalpía explicando cada uno de sus términos.

_____

_____

_____

_____

III.2) Diga cuál es la utilidad del concepto de entalpía en la Termodinámica.

_____

_____

_____

III.3) Explique el significado físico de la entalpía de vaporización del agua h_{fg}.

_____

_____

_____

_____

III.4) Explique porqué la entalpía de vaporización del agua y de cualquier sustancia depende de la presión a la cual se realiza el cambio de fase.

III.5) Explique por qué la temperatura permanece constante en un cambio de fase.

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV.l) Disponga el equipo como se muestra por el profesor.

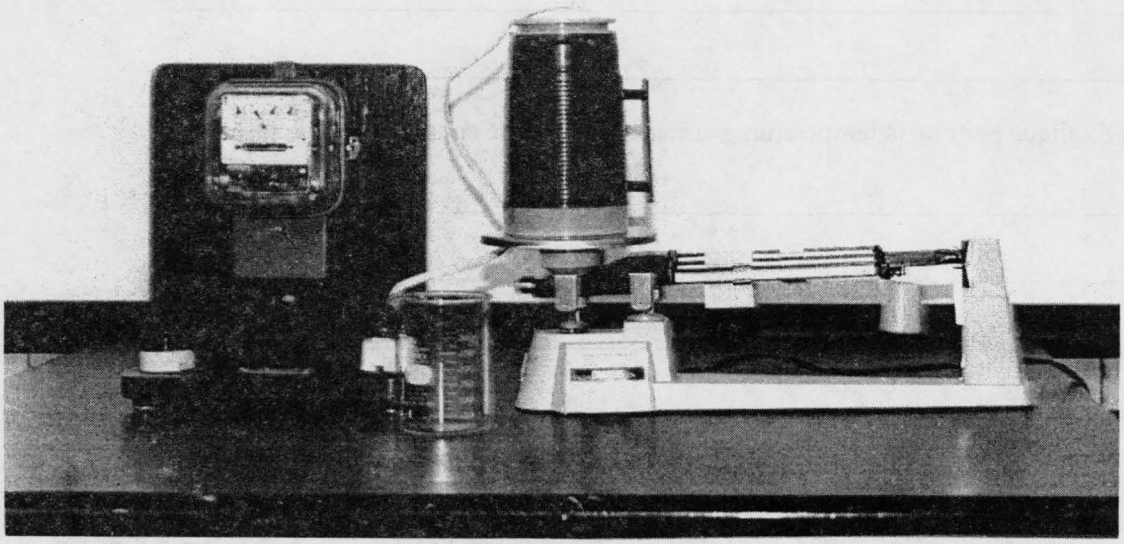


Fig. IV.1

IV.2) Señale sobre la figura del inciso IV.l) la frontera del sistema termodinámico que le permita determinar la entalpía de vaporización del agua y a continuación haga un dibujo que represente al sistema y las interacciones energéticas que atraviesan la frontera del sistema.

IV.3) Aplique la Primera Ley de la Termodinámica para sistemas cerrados, al sistema que delimitó en el inciso anterior, a fin de plantear una ecuación que permita evaluar la entalpía de vaporización del agua (h_{fg}).

IV.4) Con el equipo dispuesto como se solicita en el inciso anterior, suministre calor al agua, conectando la resistencia de inmersión. Observe el termómetro hasta que la temperatura del agua ya no aumente, esta es la temperatura de saturación del agua, correspondiente a la presión a la cual se realiza el experimento (presión atmosférica de la Ciudad de México), a partir de que la temperatura no aumenta, la energía suministrada con la resistencia eléctrica se utilizará para llevar a cabo el cambio de fase del agua.

IV.5) Una vez que la temperatura del agua no aumenta, y se le sigue suministrando calor con la resistencia eléctrica, equilibre la balanza. Cuente el número de vueltas que da el disco del Watthorímetro o bien contabilice con un cronómetro el tiempo que se llevó el evaporar los 20.0 (g) de agua, lo cual se observará cuando el fiel de la báscula indique nuevamente el cero. Calcule el calor suministrado en este proceso.

IV.6) Con base en el concepto de entalpía de vaporización, empleando el equipo proporcionado por el Laboratorio y tomando en cuenta lo expuesto en los incisos anteriores, detalle la técnica experimental que le permita evaluar la entalpía de evaporación del agua.

_____

_____

_____

_____

_____

IV.7) Explique las probables causas de errores sistemáticos que pudo haber cometido en la experimentación.

IV.8) Enumere las probables causas de errores aleatorios que pudo haber cometido en la experimentación.

IV.9) Realice nueve veces el experimento que detalló en el inciso IV.6 y vacíe sus datos en la siguiente tabla:

NO. EVENTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Qsum. (J)									
Mevap (kg)									

IV.l0) Con los datos de esta tabla obtenga el valor medio de la entalpía de vaporización del agua y su incertidumbre.

IV.11) Considerando que la presión barométrica en la Ciudad de México es de 584 (mm) de Hg, busque en tablas de vapor de agua el valor de h_{fg} y tómelo como verdadero. Calcule el error de exactitud del valor de h_{fg} obtenido experimentalmente en el inciso anterior.

V. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

_____

_____

_____

_____

_____

_____

VI. APLICACIONES

Investigue las aplicaciones de los conceptos desarrollados en la práctica, en los siguientes casos:

VI.l) En la elaboración de tablas y diagramas de propiedades termodinámicas.

VI.2) En los sistemas de aire acondicionado

VI.3) En plantas termoeléctricas.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Indique los libros consultados para la preparación de la práctica y la elaboración del reporte

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 7

"EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR"

TEMA: PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

I. OBJETIVO:

I.1) DEMOSTRAR EL EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR

II. EQUIPO NECESARIO

II.1) Aparato del Equivalente Mecánico del Calor
II.2) Un termómetro bimetálico de –30 (°C) a 1,300 (°C) +/- 1% de precisión
II.3) Jeringa de plástico de 5 (ml).
II.4) Agua
II.5) Un calorímetro de vacío
II.6) Una resistencia de inmersión de 250.0 (W)
II.7) Una balanza de 2,610.0 (g), con juego de pesas
II.8) Un termómetro de 20 – 110 (^{0}C)
II.9) Un Watt-horímetro o un multímetro
II.10) Un vaso de precipitado de 400 (ml)

III. ANTECEDENTES

EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR

El Principio de la Conservación de la Energía tiene una de sus principales bases en los experimentos que realizó Joule para demostrar que el calor y el trabajo son dos formas de energía, en transferencia y que son equivalentes entre sí. Actualmente con la estructura del Sistema Internacional de Unidades y Medidas su factor de equivalencia es igual a uno. Sin embargo, en un principio se generó un concepto erróneo del calor, considerando que era una sustancia que tenían los cuerpos y que se le llamaba calórico, concepto que después fue rectificado. En los tiempos de Joule el calor se cuantificaba en calorías y el trabajo en Newton-metro, por lo cual Joule desarrolló originalmente un aparato del cual se soltaban unas pesa que hacían girar un mecanismo de paletas sumergido en un recipiente con agua La energía potencial que las pesas pierden se transforma en energía mecánica, que gana la masa del agua y por el efecto de la fricción se incrementa su temperatura. Lo que pretendió demostrar Joule fuera que las dos cantidades de energía, la mecánica y la calorífica, eran iguales, lo cual obtuvo con un error máximo del 5%, debido a las limitaciones técnicas de su tiempo.

ENERGÍA EN TRASNFERENCIA.

Es la energía que se trasmite entre un sistema y su medio ambiente a través de la frontera que los delimita debido a un potencial térmico (calor) o bien a un potencial mecánico (trabajo).

CALOR (Q).
El calor es la energía que se transfiere a nivel microscópico entre un sistema y su medio ambiente debido a que entre ellos hay una diferencia del nivel de energía molecular, lo cual produce un potencial de energía molecular que se manifiesta como una acción electromagnética entre ambos, en donde el que tiene mayor nivel de energía molecular le transfiere energía electromagnética al de menor nivel de energía molecular, para llegar al equilibrio térmico. A esta acción de transferencia de energía se le denomina calor y es debido a que entre el sistema y su medio ambiente hay una diferencia del nivel energético evaluado a través de su energía interna y que macroscópicamente detectamos como una diferencia de temperaturas, en donde la diferencia del potencial térmico produce una transmisión de energía en la dirección del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura. Para fines de estudio se establecen tres mecanismos de transferencia de calor: conducción, convención, y radiación.

TRABAJO (W).
El trabajo es energía macroscópica que se transfiere entre un sistema y su medio ambiente debido a un potencial mecánico, es decir, a la acción de una fuerza **F** entre el sistema y su medio ambiente que produce un desplazamiento **s**. Se dice que el trabajo es energía macroscópica por ser observable por el hombre. La evaluación del trabajo, en su forma mas general, está dada por la integral curvilínea del producto interno de los vectores fuerza y diferencial de desplazamiento: $W = \int \mathbf{F} \bullet d\mathbf{s}$.

ENERGÍA INTERNA (U). A la suma de todas las formas de energía que a nivel molecular tiene un sistema se le denomina macroscópicamente como energía interna. Estas formas de energía a nivel molecular es la suma de la energía de enlace, energía de vibración, energía de translación para los gases, de spin del electrón, de rotación de la molécula dependiendo del grado de libertad para los gases, etc. Para una sustancia simple la definición de la energía interna se hace a partir del postulado de estado, por lo cual únicamente se requieren dos propiedades termodinámicas independientes. En el caso de los líquidos la variación de la energía interna se establece a partir de $\Delta U_{12} = Mc(T_2 - T_1)$, en donde M es la masa, c es la capacidad térmica específica y T_2 y T_1 son las temperaturas final e inicial, respectivamente.

CAPACIDAD TÉRMICA ESPECÍFICA (c).
La capacidad térmica específica de un líquido establece la cantidad de energía que se le tiene que transferir en joules, entrando o saliendo, para que a cada unidad de masa, cada kilogramo, varíe su temperatura en una unidad, un grado Kelvin, hacia arriba o hacia abajo. La expresión para evaluar esta propiedad esta dada por $c = Q/M\text{-}\Delta T$ (J/kg-K), en donde Q es el calot transferido, M es la masa y ΔT la variación de temperatura.

CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) Explique el concepto de calor como un fenómeno de transferencia de energía desde el punto de vista microscópico, y explique la definición de calor desde el punto de vista macroscópico.

_____

_____

_____

III.2) Defina el concepto de trabajo como un fenómeno de transferencia de energía, desde un punto de vista macroscópico.

III.3) Investigue cuáles fueron los dispositivos que empleó James P. Joule para establecer la equivalencia entre el calor y el trabajo, y en que consistió el experimento que realizó.

III.4) Escriba la ecuación que permita calcular el trabajo asociado a un torque o par mecánico que actúa sobre un eje o flecha y explique cada uno de sus términos.

III.5) Si se tiene un sistema cerrado que contiene un sólido y un líquido a los que se les transfiere energía en forma de calor, exprese la ecuación que relaciona esta transferencia de energía con la variación de energía interna y explique cada uno de los términos.

III.6) Investigue el calor específico del cobre y el agua a la temperatura de 20 (ºC).

_____

_____

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV.l) Recoja en el almacén el material y equipo que se le proporcionará para la realización de esta práctica, observe sus características. Escuche la explicación del profesor sobre los elementos que lo constituyen y su funcionamiento.

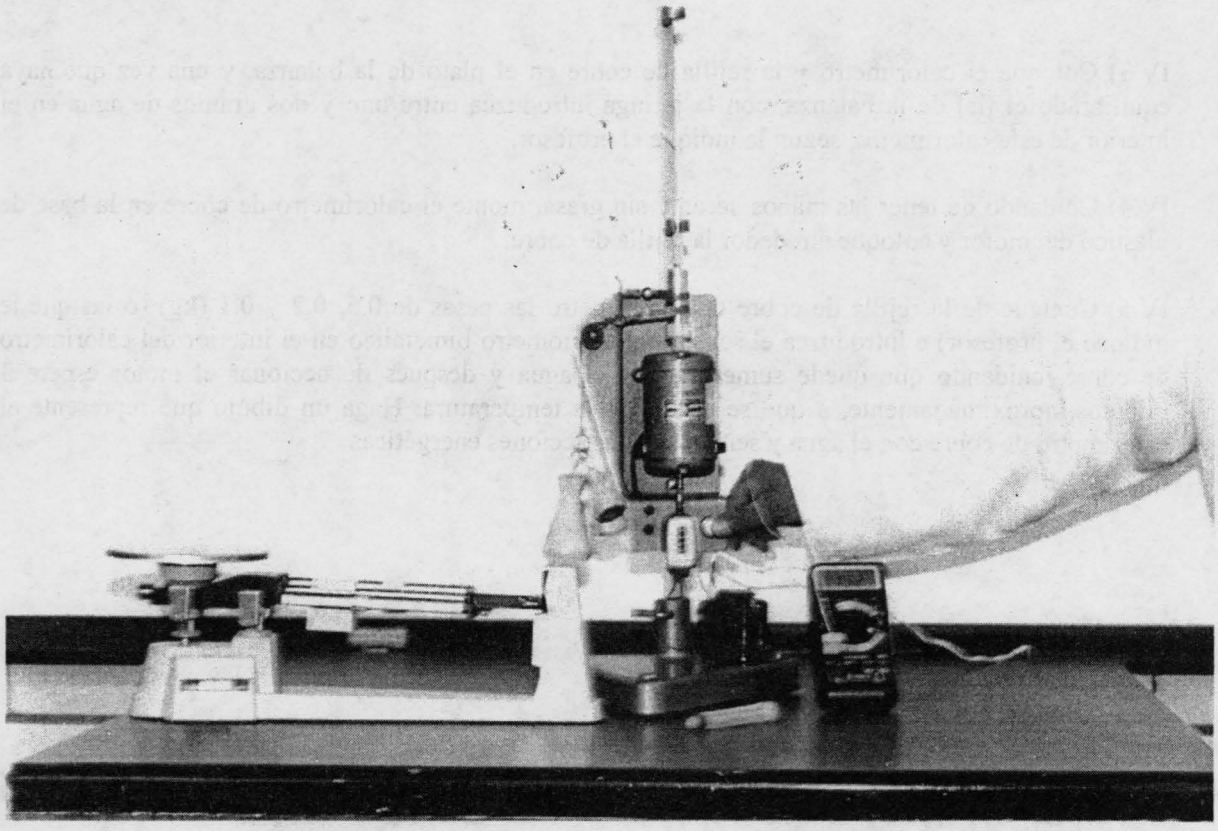


Fig. IV.1

IV.2) Con base en el experimento realizado por J.P. Joule, el equipo y el material que le fue proporcionado por el Laboratorio, proponga la metodología experimental que usted aplicará para demostrar que el calor y trabajo son energía en transferencia, que se manifiestan de manera diferente, pero equivalentes en su magnitud.

_____

_____

_____

_____

IV.3) Coloque el calorímetro y la rejilla de cobre en el plato de la balanza, y una vez que haya equilibrado el fiel de la balanza, con la jeringa introduzca entre uno y dos gramos de agua en el interior de este calorímetro, según le indique el profesor.

IV.4) Cuidando de tener las manos secas y sin grasa, monte el calorímetro de cobre en la base de plástico del motor y coloque alrededor la rejilla de cobre.

IV.5) Cuelgue de la rejilla de cobre del calorímetro las pesas de 0.5, 0.2 y 0.1 (kg) (o las que le indique el profesor) e introduzca el sensor del termómetro bimetálico en el interior del calorímetro de cobre, cuidando que quede sumergido en el agua y después de accionar el motor espere 3 minutos, aproximadamente, a que se estabilice la temperatura. Haga un dibujo que represente al calorímetro de cobre con el agua y señale las interacciones energéticas.

IV.6) Accione el botón del motor durante 600 vueltas o bien por 10 minutos, según le indique el profesor, y observe la temperatura máxima que indica el termómetro, permitiendo que lleguen al equilibrio térmico el calorímetro de cobre y el agua. En la tabla siguiente vacíe la información que se le solicita después de repetir el experimento seis veces.

RADIO (M)	PESO (N)	N_O. (REV.)	W (W)	M_{CU} (KG)	C_{CU} (J/KG-K)	M_{H2O} (KG)	C_{H2O} (J/KG-K)	T_2-T_1 (K)	Q (W)

IV.7) Calcule el valor medio del trabajo y del calor así como sus respectivas incertidumbres y compare los resultados promedio de ambas energías en transferencia, determinando el porcentaje de error entre el calor y el trabajo. Tome como valor verdadero el trabajo calculado.

IV.8) Indique cuales son los errores sistemáticos introducidos en el experimento.

IV.9) Indique cuáles son los errores aleatorios introducidos en el experimento.

V. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

VI. APLICACIONES DE LA PRÁCTICA

Investigue las aplicaciones de los conceptos desarrollados en la práctica.

VI.1) En el desarrollo del modelo matemático de la Primera Ley de la Termodinámica.

VI.2) En la cuantificación del calor perdido en los procesos mecánicos que implican a la fricción entre metales.

VI.3) En los balances de energía de sistemas termodinámicos con procesos cíclicos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Indique los libros consultados para la preparación de la práctica y la elaboración del reporte.

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 8

"CAMPANA DE SATURACIÓN DEL AGUA"

TEMA: PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS

I. OBJETIVO

I.1) OBTENER LA GRÁFICA DE LA CAMPANA DE SATURACIÓN DEL AGUA.

II. EQUIPO NECESARIO

II. 1) Bomba de vacío con vacuómetro y válvula de regulación
II. 2) Campana de vació con vacuómetro y válvula de regulación
II. 3) Dos vasos de precipitado de 300 ml.
II. 4) 100 (g). de agua
II. 5) 100 (g). de hielo
II. 6) Mechero de Bunsen
II. 7) Soporte Universal
II. 8) Aparato de alta presión
II. 9) Termómetro de mercurio de –20 (°C) a 150 (°C)
II. 10) Soporte Universal
II. 11) Aparato para obtener el punto crítico del agua

III. ANTECEDENTES

POSTULADO DE ESTADO

¿Cuántas propiedades son necesarias para determinar el estado termodinámico de una sustancia? ¿Cuántas propiedades serán independientes? El postulado de estado responde a estas preguntas y da la base para poder establecer las ecuaciones de estado de algunas sustancias. El postulado de estado es un axioma empírico que establece que:"el número de propiedades termodinámicas intensivas e independientes que definen el estado termodinámico de una sustancia, es igual al número de formas relevantes de realizar trabajo potencialmente reversible más uno".

Por lo tanto, para establecer el estado termodinámico de cualquier sustancia simple se requieren dos propiedades intensivas e independientes, todas las demás propiedades serán función de estas dos. Así, por ejemplo, para una sustancia simple compresible, conociendo su temperatura (T) y su presión (P), su estado queda completamente determinado. Si se requiere conocer su volumen específico (v) se sabe que éste será una función de T y P, y se tiene que conocer dicha función, la cual será de la forma :v = v (T, P). Si las propiedades que se varían independientemente son P y v, entonces T es una función T = T (v, P), o bien, si se conocen T y v se requiere conocer su energía interna específica (u), ésta será en función de T y v dada por u = u (T, v). A estas ecuaciones se les conoce como *ecuaciones de estado*.

ENTALPÍA

La entalpía es una propiedad termodinámica que se define como: H = U + PV, en donde H es la entalpía total. Si se divide entre la masa se define la entalpía específica (por unidad de masa) h = H/M, o sea h = u + Pv. Las unidades de la entalpía son las mismas que las de la energía, y esto se demuestra fácilmente haciendo un análisis dimensional de la ecuación que la define; $[H] = [M L^2 T^{-2}] + [M L^{-1} T^{-2} L^3] = [M L^2 T^{-2}]$. Aplicando estas dimensiones a las unidades del SI.$[H] = [kg\text{-}m^2\text{-}s^{-2}] = [Joule]$. Las unidades para la entalpía específica son $[h] = [m^2\text{-}s^{-2}]$.

La entalpía es una propiedad termodinámica que está en función de otras propiedades termodinámicas, la energía interna y al producto de la presión y el volumen, esto se hizo para simplificar cálculos debido a la frecuencia con que estas propiedades se presentan con esta forma matemática en los análisis termodinámicos. Es por ello que la entalpía no surge como una necesidad de definir una propiedad física, si no por una necesidad de simplificar cálculos matemáticos, por lo cual, cualquier función de propiedades termodinámicas es otra propiedad termodinámica. Por tanto, su interpretación física dependerá del fenómeno en estudio.

ENTALPÍA DE VAPORIZACIÓN

En general, se define a la entalpía de transformación (h_{ab}) como la cantidad de energía que se debe suministrar a una sustancia por unidad de masa, para que cambie de una fase "a" a una fase "b", esto es: $h_{ab} = h_a - h_b$, en donde: "a" y "b" representan dos estados de saturación de fases distintas correspondientes a la misma temperatura, por ejemplo, de líquido saturado "f" a vapor saturado "g" que recibe el nombre de "entalpía de vaporización (h_{fg})", en donde, $h_{fg} = h_g - h_f$, es decir, que es la energía que se debe suministrar para que cambie de fase de líquido saturado a la fase de vapor saturado y es igual a la diferencia de la entalpía como vapor saturado a la entalpía como líquido saturado. Si el proceso es a la inversa, de vapor a líquido saturado, se le considera con signo negativo.

CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) Enuncie el postulado de estado par una sustancia simple compresible.

_____

_____

_____

III.2) Explique para una sustancia pura que se encuentre en la interfase sólido-vapor o líquido-vapor, con base en el postulado de estado, cuales son las propiedades independientes y propiedades dependientes de entre la presión, temperatura, volumen específico, energía interna específica y entropía.

_____

_____

_____

_____

III.3) Explique cuál es el punto triple de una sustancia pura. Indique los valores de presión y temperatura del punto triple del agua.

III.4) Explique cuál es la línea de líquido y vapor saturado de una sustancia pura. Indique en que rango de presión y temperatura se tienen las líneas de líquido y vapor saturado del agua.

III.5) Diga cuáles son las características físicas del punto crítico de una sustancia pura. Indique la presión y temperatura del punto crítico del agua.

III.6) Con base en las tablas de vapor saturado de agua, compare los volúmenes específicos del líquido y de vapor saturado para las temperaturas que se indican en la siguiente tabla.

Temperatura °C / Estado	0.01°	50°	100°	150°	200°	250°	300°	350°	374.14°
(m^3/ Kg)									
(m^3/ Kg)									

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV.l) Disponga el equipo como se muestra por el profesor y ponga a funcionar la bomba de vacío, hasta que se observe que se empieza a formar agua líquida y vapor de agua, a partir del hielo, registrando la presión y la temperatura a la cual se alcanza este estado.

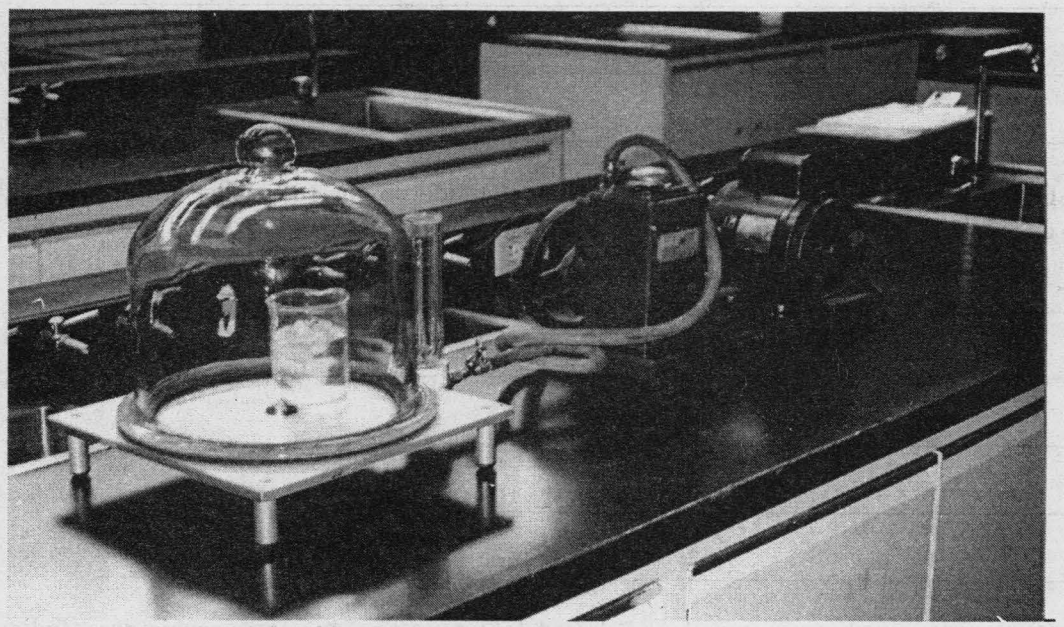


Fig. IV.1

IV.2) Con base en los datos de presión y temperatura obtenidos del estado hielo-agua-vapor del agua que se encuentran en el vaso de precipitados dentro de la campana de vacío compare con el valor obtenido en el punto III.3).

_____

_____

_____

_____

_____

V.3) Arme el aparato de alta presión como se muestra en la figura IV. 2.

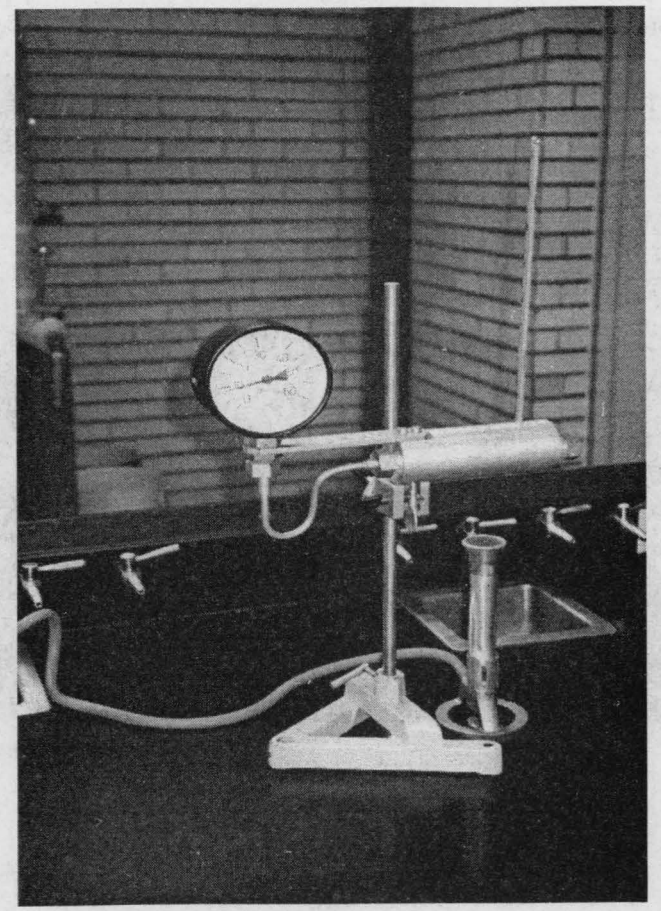


Fig. IV. 2

IV.4) Efectúe las mediciones de presión y temperatura para el cambio de fase del agua que se encuentra dentro del aparato de alta presión y llene la tabla siguiente.

P(bar)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
T(°C)										

IV.5) Compare los datos obtenidos en la tabla anterior con los de tablas de vapor de agua saturada, teniendo como referencia la temperatura de saturación.

_____

_____

_____

_____

IV.6) Arme el aparato para obtener el punto crítico del agua, como se indica en la figura IV.3, y conecte la resistencia eléctrica hasta que el agua cambie de fase de líquido a vapor, sin que haga una interfase, registrando la presión y la temperatura a la que se presenta este proceso.

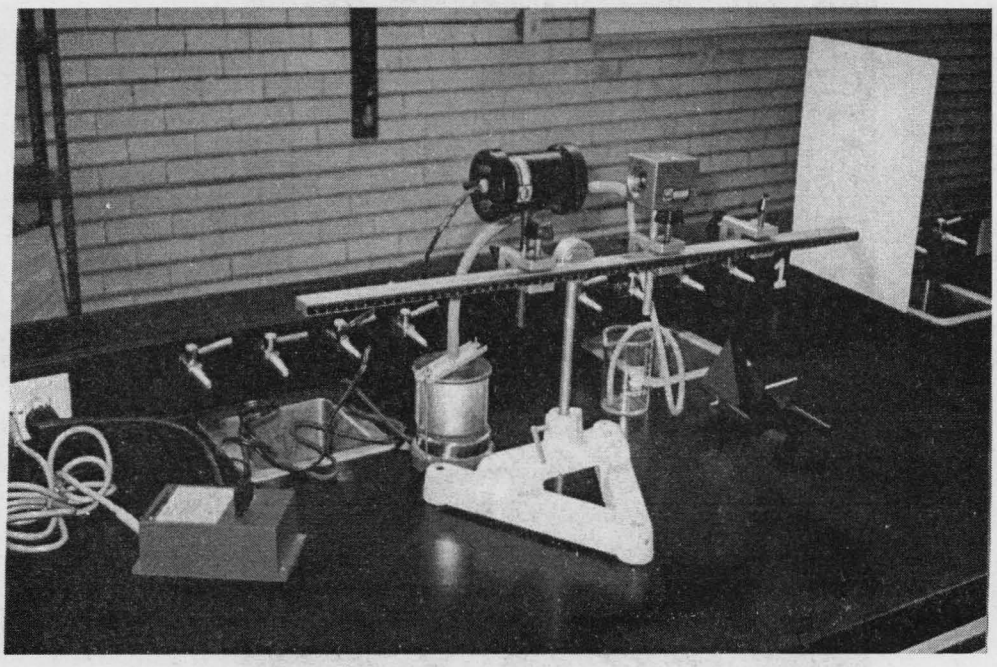
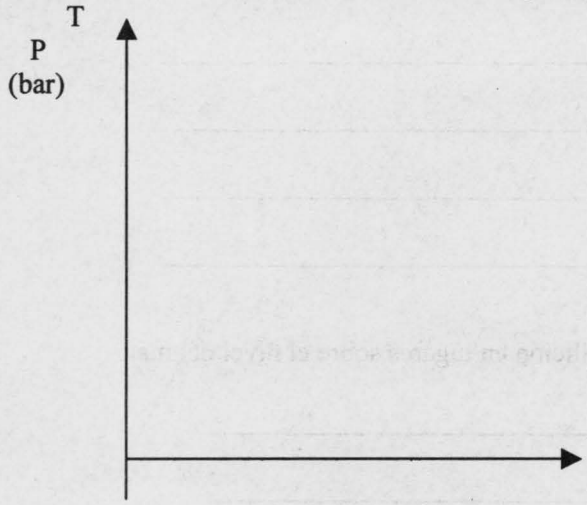
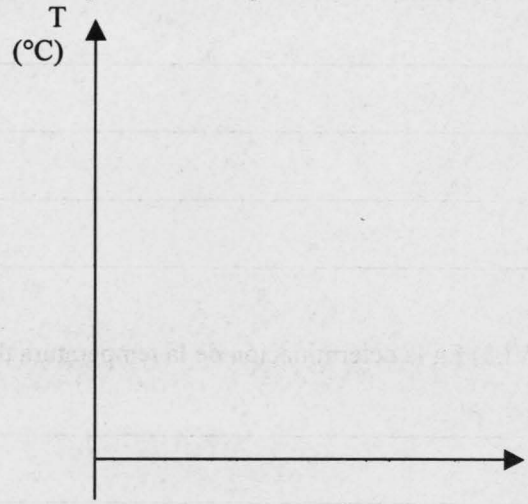


Fig. IV.3

IV.7) Obtenga los valores de presión y temperatura del agua con el aparato del punto crítico y compárelos con los respectivos de tablas que registro en el inciso III.5).

IV.8) Con los datos obtenidos experimentalmente de presión-temperatura-volumen del agua en los incisos IV. 2), IV. 4) y IV. 7), elabore el diagrama presión-temperatura del agua.





V. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

VI. APLICACIONES

Investigue las aplicaciones de los conceptos desarrollados en la práctica, en los siguientes casos:

VI. l) Elaboración de tablas de vapor de agua.

_____

_____

_____

VI.2) En las plantas termoeléctricas.

VI.3) En la determinación de la temperatura de ebullición en lugares sobre el nivel del mar.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Indique los libros consultados para la preparación de la práctica y la elaboración del reporte

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 9

LEY DE CHARLES

TEMA: GAS IDEAL

I. OBJETIVO:

I.1) COMPROBAR LA LEY DE CHARLES

II. EQUIPO NECESARIO

II.1) Termómetro de Gas a Presión Constante
II.2) Dos termómetros de bulbo de mercurio de -20 a 110 (^{0}C)
II.3) Un mechero de Bunzen
II.4) Una ampolleta sin graduar
II.5) Un soporte Universal
II.6) Dos pinzas para bureta
II.7) Una pinza de punta de vinilo

III. ANTECEDENTES

LEY DE CHARLES.
Para los gases ideales se define el proceso isobárico o a presión constante bajo la característica de un proceso casiestático, cuando se hace variar la temperatura y el volumen de manera que P = constante, $\mathcal{V}/T$ = constante, como se demostrará en esta práctica. En el siguiente balance de energía se consideran las capacidades térmicas específicas a presión y volumen constantes como invariantes con la temperatura. A partir de la Primera Ley de la Termodinámica para sistemas cerrados:

$$ {}_1Q_2 + {}_1W_2 = U_2 - U_1 $$

a continuación se evalúa cada uno de los términos

$$ {}_1W_2 = -\int_1^2 P\, d\mathcal{V} = -P(\mathcal{V}_2 - \mathcal{V}_1) $$

$$ U_2 - U_1 = {}_1Q_2 + (-P\mathcal{V}_2 + P\mathcal{V}_1) $$

$$ {}_1Q_2 = (U_2 + P\mathcal{V}_2) - (U_1 + P\mathcal{V}_1) = H_2 - H_1 $$

que es de esperarse $\quad {}_1Q_2 = m\, c_p\, (T_2 - T_1)$

y $\quad c_p = dh/dT$ (capacidad térmica específica a presión constante);

$$ dh = c_p\, dT $$

$$ H_2 - H_1 = m\, c_p\, (T_2 - T_1) $$

por otra parte $\quad dU = \delta Q + \delta W$ esto es:

$c_v = du/dT$ (capacidad térmica específica a volumen constante);

$$ du = c_v\, dT $$

$$ U_2 - U_1 = m\, c_v\, (T_2 - T_1) $$

$$ m\, c_v\, dT = m\, c_p\, dT - P\, d\mathcal{V} \qquad \text{.....(1)} $$

de la ecuación de estado, y tomando su diferencial

$$d(P\,\forall) = d\,(m\,R\,T)$$

$P\,d\forall + \forall\,dP = m\,R\,dT$ ..... (2)

como P = cte: $P\,d\forall = m\,R\,dT$ sustituyendo en la ec. (1):

$$m\,c_v\,dT = m\,c_p\,dT - m\,R\,dT$$

$\therefore\ R = c_p - c_v$ o $\bar{R} = \bar{c}_p - \bar{c}_v$

en donde R es la constante particular del gas y los términos testados indican que son por unidad de masa molar, conocidas como propiedades molares.

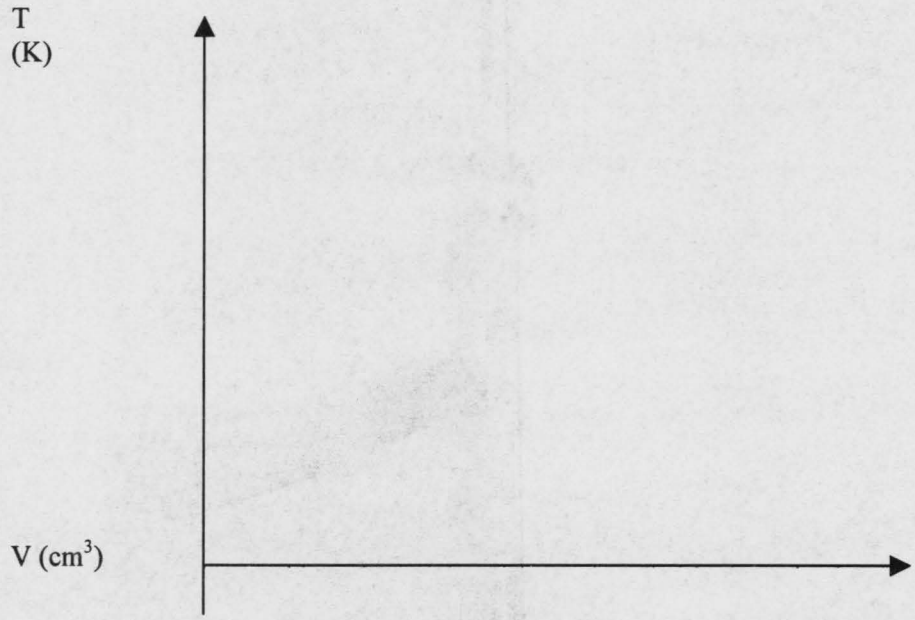
CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) Explique en qué consistieron los experimentos que realizó Charles.

III.2) Enuncie la Ley de Charles.

III.3) Describa que tipo de curva se representa con un proceso isobárico para un gas ideal, en un diagrama T-V, indicando las unidades de cada uno de los términos.



III.4) Desarrolle la expresión matemática del trabajo que se realiza con una sustancia simple comprensible en un proceso isobárico con un gas ideal.

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV,1) Arme el equipo como se lo indica el profesor, cuidando de colocar la ampolleta que contiene al termómetros dé gas y de mercurio a 15 cm, aproximadamente, arriba del mechero de Bunsen.

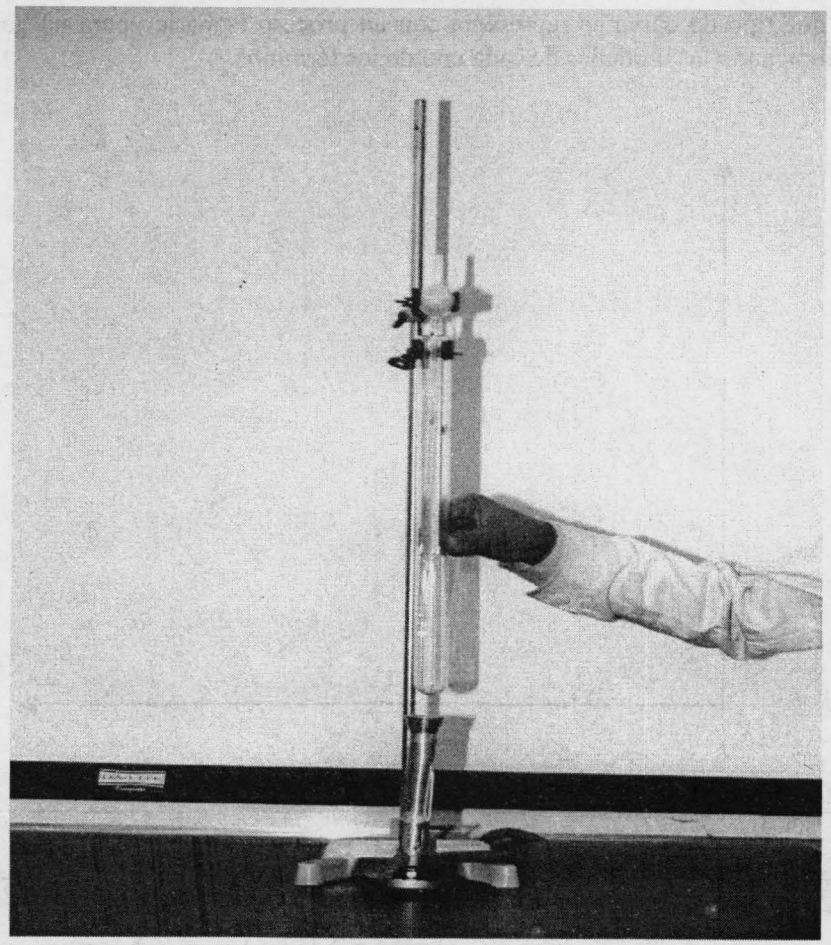


Fig. IV.1

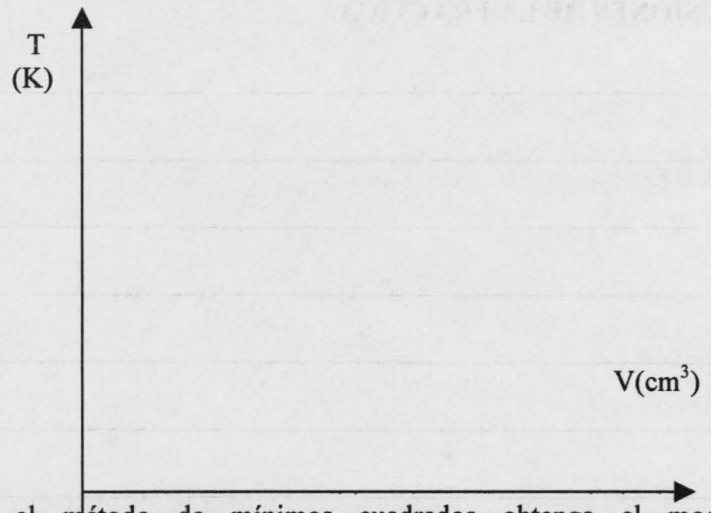
IV.2) Antes de encender el mechero de Bunsen, tome los datos iniciales, lea la temperatura que indican los termómetros de mercurio y el volumen encerrado en el termómetro de gas y anótelos en la tabla siguiente, en donde T_m es la temperatura media del agua: $T_m = (T_1 + T_2)/2$

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T_1 (^{0}C)									
T_2 (^{0}C)									
T_m (^{0}C)									
V (cm^3)									

IV.3) Encienda el mechero de Bunsen y con la válvula de paso de aire ajuste la ignición para que la flama sea de color azulado. Con la participación de los miembros de la mesa, aflojando las pinzas, bajen la ampolleta que contiene los termómetros de gas y de mercurio para que el extremo inferior de la ampolleta quede apenas en contacto con la parte superior de la flama del mechero.

IV.4) Cada incremento de temperatura de 10 ^{0}C del termómetro, aproximadamente, haga una lectura del volumen del aire, y tal como se indicó en el punto IV.1) anote los datos en la tabla anterior, hasta llegar a nueve lecturas.

IV.5) Con los datos de presión y volumen del aire anotados en la citada tabla, grafíquelo en diagrama Volumen contra Temperatura.



IV.6) Utilizando el método de mínimos cuadrados obtenga el modelo matemático de comportamiento de la temperatura y el volumen, cuando la presión permanece constante, para el aire confinado en el termómetro de gas a volumen constante, determinando el factor de correlación.

IV.7) Indique las unidades de la pendiente y la ordenada al origen, y compare su resultado con la Ley de Charles.

V. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

VI. APLICACIONES DE LA PRÁCTICA.

Investiga las aplicaciones de los conceptos desarrollados en la práctica, en los siguientes casos.

VI.1) Investigue qué proceso isobáricos forma parte de los ciclos termodinámicos ideales.

_____

_____

_____

_____

VI.2) Explique cómo llevaría a cabo un proceso isobárico con un sistema cilindro-émbolo que contiene aire al aplicársele una fuerza que comprime el aire.

_____

_____

_____

VI.3) Calcule el trabajo de expansión del aire y cuál es su cambio de energía interna en el proceso desarrollado en la práctica.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Indica los libros consultados en la preparación de la práctica y la elaboración del reporte.

_____

_____

_____

_____

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 10

LEY DE BOYLE-MARIOTTE

TEMA: GAS IDEAL

I. OBJETIVO:

I.1) COMPROBAR LA LEY DE BOYLE-MARIOTTE

II. EQUIPO NECESARIO

II.1) Un aparato de Clement Desormes
II.2) Termómetro de bulbo de mercurio

III. ANTECEDENTES

LEY DE BOYLE-MARIOTTE
Durante un proceso isotérmico con un gas ideal, el volumen varía inversamente proporcional con la presión". Es decir, cuando la temperatura permanece constante, al aumentar la presión disminuye el volumen y viceversa. En un proceso isotérmico, dos estados se relacionan mediante la expresión: $P_1 V_1 = P_2 V_2$ o bien $P_1 v_1 = P_2 v_2$. A partir de la Primera Ley de la Termodinámica para sistemas cerrados:

$$ {}_1Q_2 + {}_1W_2 = U_2 - U_1 $$

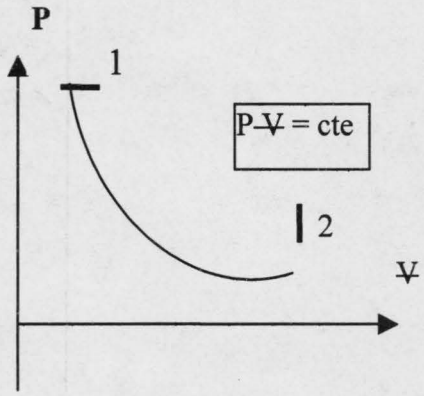
a continuación se evalúa cada uno de los términos

como $T = cte \Rightarrow \Delta U_{12} = 0 \Rightarrow {}_1Q_2 = -{}_1W_2$

$$ {}_1W_2 = -\int_1^2 P\, d\mathcal{V} = -\int_1^2 (c/\mathcal{V})\, d\mathcal{V} = -c \ln \mathcal{V} \Big|_1^2 $$

$$ {}_1W_2 = -P_1 \mathcal{V}_1 \ln (\mathcal{V}_2 / \mathcal{V}_1) = -P_2 \mathcal{V}_2 \ln (\mathcal{V}_2 / \mathcal{V}_1) $$

$$ {}_1Q_2 = -{}_1W_2 = P_1 \mathcal{V}_1 \ln (\mathcal{V}_2 / \mathcal{V}_1) = P_2 \mathcal{V}_2 \ln (\mathcal{V}_2 / \mathcal{V}_1) $$



CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) Explique en qué consistieron los experimentos que realizó Boyle.

_____

_____

_____

_____

III.2). Explique en qué consistieron los experimentos que realizó Mariotte

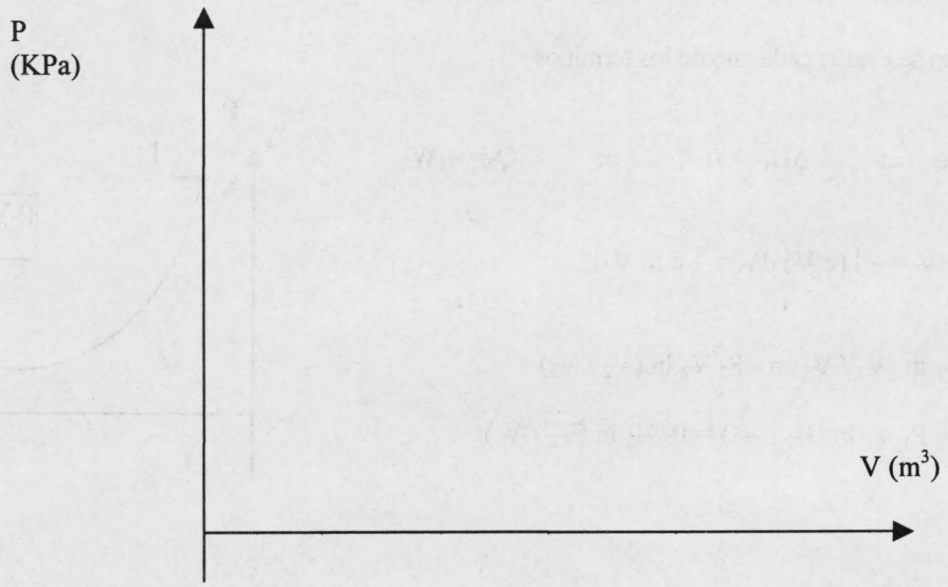
_____

_____

_____

_____

III.3) Describa que tipo de curva se representa con un proceso isotérmico para un gas ideal, en un diagrama P-V.



III.4) Desarrolle la expresión de trabajo que se realiza con una sustancia simple comprensible en un proceso isotérmico con un Gas Ideal.

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV,1) Nivele las columnas de mercurio de las ampolletas del aparato de Clement-Desormes.

IV.2) Desplace simultáneamente ambas ampolletas hasta que el 40 de la ampolleta graduada quede al nivel del 60 de la regleta de aluminio.

IV.3) Cierre la pinza que actúa sobre el tubo de látex, cuidando colocarla medio centímetro arriba de la boca de la ampolleta graduada, para no tronar el tubo de vidrio, como se indica en la Fig. IV.1).

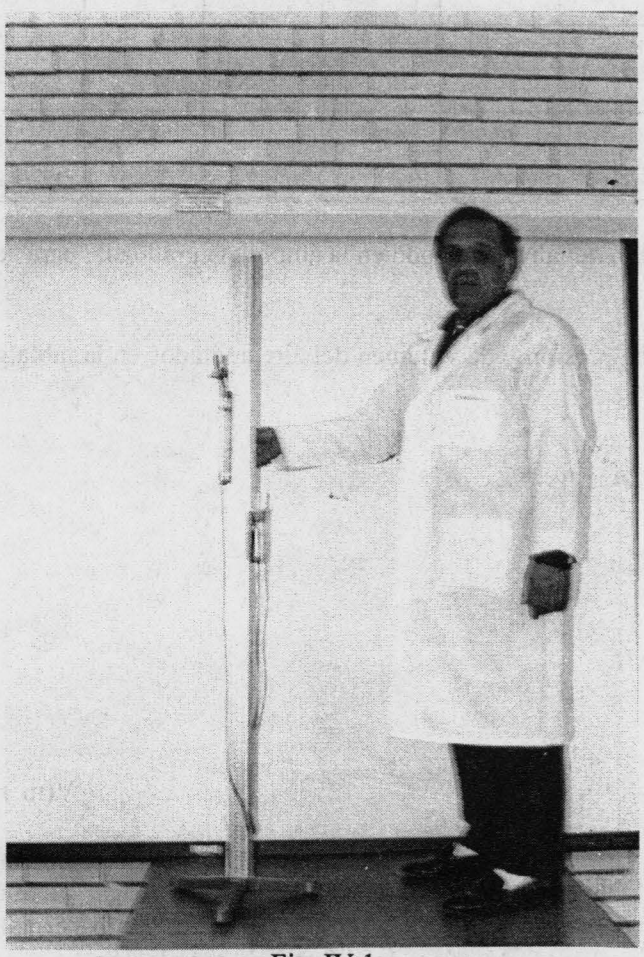


Fig. IV.1

IV.4) Lentamente desplace hacia abajo la ampolleta sin graduar, hasta que el mercurio llegue al nivel de 30 cm^3, en la ampolleta graduada. Observe que el mercurio de la ampolleta sin graduar no salga por el tubo abierto a la atmósfera. Espere de uno a dos minutos a que la temperatura del aire de la ampolleta graduada se equilibre con la temperatura ambiente.

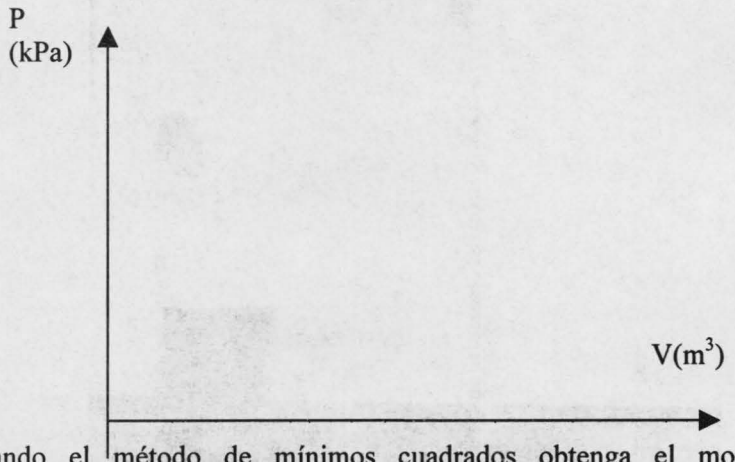
IV.5) Coloque los cursores de las ampolletas, graduada y sin graduar, al nivel del menisco de mercurio y vea la lectura en la regleta, asignándole h_1 para la lectura del mercurio en la ampolleta graduada y h_2 para la lectura del mercurio en la ampolleta sin graduar. Anote los datos en la tabla siguiente.

IV.6) Lentamente desplace hacia arriba la ampolleta sin graduar, hasta que el mercurio de la ampolleta graduada indique en volumen de 29 (cm^3). Cuide de colocar el cursor en la parte superior del menisco de mercurio. Repita este procedimiento hasta que el aire comprima a 15 (cm^3) y dejando de uno a dos minutos a que equilibre la temperatura anote los datos en la siguiente tabla del aire.

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h_1 (cm)									
h_2 (cm)									
Pair (Pa)									
V (m^3)									

IV.7).- Calcule la presión del aire confinado en la ampolleta graduada, para cada estado y anótelo en dicha tabla.

IV.8).- Con los datos de presión y de volumen del aire anotados en la tabla grafíquelo en diagrama volumen contra presión.



IV.9).- Utilizando el método de mínimos cuadrados obtenga el modelo matemático de comportamiento de la presión y el volumen, cuando la temperatura permanece constante, para el aire confinado en la ampolleta, determinando el factor de correlación.

IV.10).- Indique las unidades de la constante del producto PV y diga que tipo de curva es, compare su resultado con la Ley de Boyle-Mariotte.

V. CONCLUSIONES DE LÁ PRÁCTICA.

_____

_____

_____

_____

_____

VI. APLICACIONES DE LA PRÁCTICA.

Investigue las aplicaciones de los conceptos desarrollados en la práctica, en los siguientes casos.

VI.1) Investigue qué proceso isotérmico forma parte de los ciclos termodinámicos con gases ideales.

_____

_____

_____

_____

_____

VI.2) Explique cómo llevaría a cabo un proceso isotérmico con un sistema cilindro-émbolo que contiene aire, al aplicársele una fuerza que comprime el aire.

_____

_____

_____

_____

_____

VI.3) Indique cual es el cambio de energía interna del aire en el proceso descrito en el punto anterior.

_____

_____

_____

_____

_____

VII. BIBLIOGRAFÍA

Indica los libros consultados en la preparación de la práctica y la elaboración del reporte.

_____

_____

_____

_____

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 11

"CONSTANTE PARTICULAR DEL AIRE"

TEMA: GAS IDEAL

I . OBJETIVO:

I. 1) DETERMINAR LA CONSTANTE PARTICULAR DEL AIRE Y SU INCERTIDUMBRE.

II. EQUIPO NECESARIO

II.1) Un tanque de plástico de 500.0 (ml)
II.2) Una conexión "T" de 6.25 (mm)
II.3) Una válvula de aguja de 6.25 (mm)
II.4) Una báscula de 2,610.0 (g)
II.5) Línea de aire comprimido

III. ANTECEDENTES

SUSTANCIAS PURA, SIMPLE Y SIMPLE COMPRESIBLE

Una sustancia pura es aquella que tiene la misma composición química en todos sus estados y fases, conservando la misma estructura molecular, aunque sus propiedades físicas cambien en cada fase. Muchas veces conviene describir como pura a una sustancia que no cumple con el requisito mencionado, pero si lo cumple aunque sea en una sola fase, como es el caso del aire que se le usa como si fuera una sustancia pura, que existe como tal sólo en la fase gaseosa, esta idealización permite aplicar al aire los conceptos, principios y leyes de la física, aunque sólo sea en la fase gaseosa.

Si una sustancia presenta una forma relevante de realizar trabajo reversible, se hace una idealización de que la sustancia es simple. Cuando la única forma importante de realizar trabajo potencialmente reversible de una sustancia es mediante el cambio de su volumen, se dice que la sustancia es simple compresible.

Es conveniente hacer hincapié en que, en realidad, ninguna sustancia es simple, pero en termodinámica se resuelven muchos problemas satisfactoriamente al tratarlas como si fueran simples y compresibles.

POSTULADO DE ESTADO

¿Cuántas propiedades son necesarias para determinar el estado termodinámico de una sustancia? ¿Cuántas propiedades serán independientes? El postulado de estado responde a estas preguntas y da la base para poder establecer las ecuaciones de estado de algunas sustancias. El postulado de estado es un axioma empírico que establece que:"el número de propiedades termodinámicas intensivas e independientes que definen el estado termodinámico de una sustancia, es igual al número de formas relevantes de realizar trabajo potencialmente reversible más uno".

Por lo tanto, para establecer el estado termodinámico de cualquier sustancia simple se requieren dos propiedades intensivas e independientes, todas las demás propiedades serán función de estas dos. Así, por ejemplo, para una sustancia simple compresible, conociendo su temperatura (T) y su presión (P), su estado queda completamente determinado. Si se requiere conocer su volumen específico (v) se sabe que éste será una función de T y P, y se tiene que conocer dicha función, la cual será de la forma: $v = v(T, P)$. Si las propiedades que se varían independientemente son P y v, entonces T es una función $T = T(v, P)$, o bien, si se conocen T y v se requiere conocer su energía interna específica (u), ésta será en función de T y v dada por $u = u(T, v)$. A estas ecuaciones se les conoce como *ecuaciones de estado*.

GAS IDEAL

Cuando un gas se encuentra a bajas presiones y temperaturas altas o medias con respecto a su punto crítico, sus moléculas se encuentran tan separadas unas de otras que el comportamiento de cada una de ellas no se afecta por la influencia de las demás, es decir, por la acción de las fuerzas electromagnéticas que pudieran alterarla. Cuando un gas se encuentra en estas condiciones, la ecuación de estado que describe el comportamiento del gas se puede aproximar con la siguiente expresión: $Pv = RT$. Si el comportamiento de un gas responde a este modelo matemático, que se conoce como ecuación de estado P-v-T, se dice que el gas se comporta como "gas ideal" o "gas perfecto".

Es importante señalar que en esta ecuación la presión (P) y la temperatura (T) deben ser absolutas, (v) representa el volumen específico y (R) se conoce como la "constante particular" del gas. Las unidades de (R) en el S.I. son (J/kg-K). Se dice que un gas se comporta como ideal si cumple con las Leyes de Charles, Gay-Lussac, Boyle-Mariotte, Joule y Avogrado.

CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) Investigue el valor de la constante universal de los gases y escriba sus unidades en el SI.

_____

_____

III.2) Explique cómo se puede obtener la constante particular de un gas, a partir de la Constante Universal de los Gases y su masa molar.

_____

_____

III.3) Explique cómo se puede obtener la constante particular de un gas, a partir de las capacidades térmicas específicas a volumen y presión constantes.

_____

_____

III.4) Escriba la ecuación del Gas Ideal y explique cada uno de sus términos.

_____

_____

_____

_____

_____

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV.l) Con la presión atmosférica del aire en la Ciudad de México y con la temperatura ambiente determine la presión y temperatura reducidas del aire ambiente (investigue en tablas de propiedades termodinámicas la presión y temperatura críticas del aire).

_____

_____

IV.2) Para un gas en particular y empleando la ecuación general del estado gaseoso, despeje la constante particular del gas y diga cuáles variables se pueden medir directamente.

_____

_____

_____

_____

IV.3) Despeje nuevamente la constante particular del aire de la ecuación general del estado gaseoso y diga cuáles variables son cuantificables directamente.

IV.4) Dado que en las dos ecuaciones anteriores se tienen como incógnitas las masas de aire y la constante particular del aire, plantee un procedimiento que le permita tener una tercera ecuación que involucre las dos masas del aire encerrado en el tanque y así tener tres ecuaciones que le permita resolver las tres incógnitas.

IV.5) De las tres ecuaciones anteriores despeje R (constante particular del aire). Resuelva el sistema de ecuaciones simultáneas.

IV.6) Introduzca aire a presión en el dispositivo que para tal fin le proporcionó el Laboratorio, vea la Fig. IV.1, y efectúe la medición de la masa y la presión del aire.

Fig. IV.1

IV.7) Repita nueve veces el experimento y llene la siguiente tabla.

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
m (kg)									
P (Pa)									

IV.8.)Calcule la constante particular del aire y su incertidumbre utilizando los resultados de los incisos anteriores. Considere que el volumen del tanque es constante e igual a 500.0 (cm^3) y que la temperatura del aire también es constante e igual a la que indica el termómetro del Laboratorio.

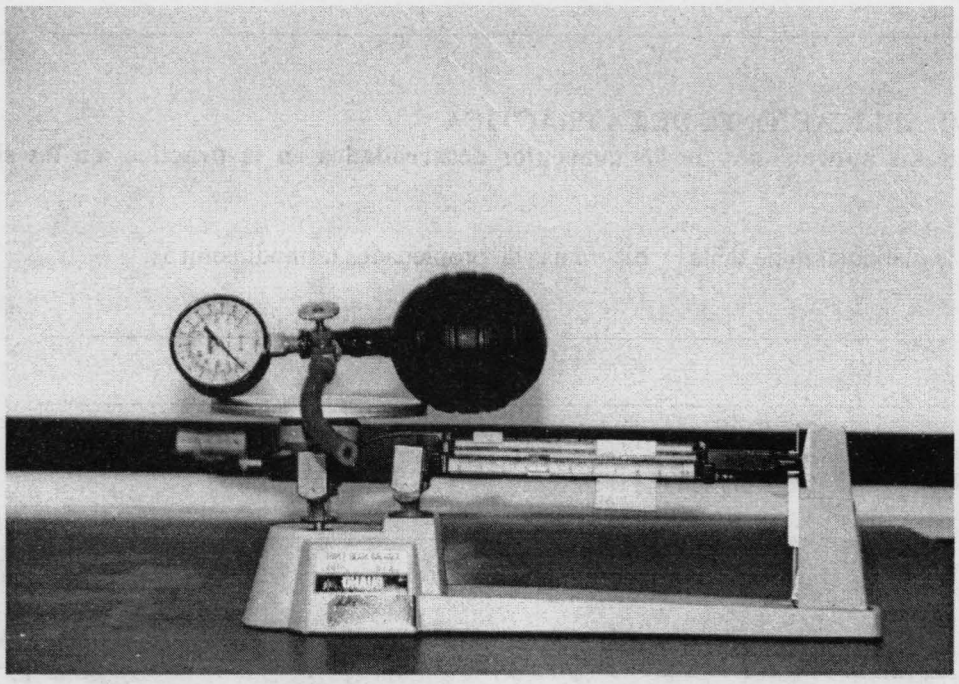


Fig. IV.2

IV.9) Investigue la constante particular del aire, en tablas de propiedades termodinámicas.

_____

IV.10) Calcule el porcentaje de error de exactitud de la constante particular del aire, utilizando los datos de los dos incisos anteriores y considerando como valor verdadero el obtenido en tablas.

V. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

_____

_____

_____

_____

_____

VI. APLICACIONES DE LA PRÁCTICA

Investigue las aplicaciones de los conceptos desarrollados en la práctica, en los siguientes casos:

VI.1) En la elaboración de tablas y diagramas de propiedades termodinámicas.

VI.2) En los sistemas de aire acondicionado.

VI.3) En el análisis del comportamiento de gases reales.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Indique los libros consultados para la preparación de la práctica y la elaboración del reporte.

_____

_____

_____

_____

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 12

"COEFICIENTE DE JOULE-THOMSON"

TEMA: PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS

I. OBJETIVO

I.1 DETERMINAR EL COEFICIENTE DE JOULE-THOMSON PARA EL VAPOR DE AGUA

II. EQUIPO NECESARIO

II. 1) Calentador de gas instrumentado con manómetro de Bourdon de 0 a 11 Kg_f/cm^2
II. 2) Sistema de tuberías y válvulas aislado térmicamente
II. 3) Manómetro de Bourdon de 0 a 7 (Kg_f/cm^2)
II. 4) Válvulas de paso
II. 5) Termómetro de mercurio de –20 (°C) a 50 (°C)
II. 6) Termómetro bimetálico 0 /°C) a 300 (°C)
II. 7) Cubeta de 30 (l).

III. ANTECEDENTES

POSTULADO DE ESTADO

¿Cuántas propiedades son necesarias para determinar el estado termodinámico de una sustancia? ¿Cuántas propiedades serán independientes? El postulado de estado responde a estas preguntas y da la base para poder establecer las ecuaciones de estado de algunas sustancias. El postulado de estado es un axioma empírico que establece que:"el número de propiedades termodinámicas intensivas e independientes que definen el estado termodinámico de una sustancia, es igual al número de formas relevantes de realizar trabajo potencialmente reversible más uno".

Por lo tanto, para establecer el estado termodinámico de cualquier sustancia simple se requieren dos propiedades intensivas e independientes, todas las demás propiedades serán función de estas dos. Así, por ejemplo, para una sustancia simple compresible, conociendo su temperatura (T) y su presión (P), su estado queda completamente determinado. Si se requiere conocer su volumen específico (v) se sabe que éste será una función de T y P, y se tiene que conocer dicha función, la cual será de la forma :v = v (T, P). Si las propiedades que se varían independientemente son P y v, entonces T es una función T = T (v, P), o bien, si se conocen T y v se requiere conocer su energía interna específica (u), ésta será en función de T y v dada por u = u (T, v). A estas ecuaciones se les conoce como *ecuaciones de estado*.

ENTALPÍA

La entalpía es una propiedad termodinámica que se define como: H = U + PV, en donde H es la entalpía total. Si se divide entre la masa se define la entalpía específica (por unidad de masa) h = H/M, o sea h = u + Pv. Las unidades de la entalpía son las mismas que las de la energía, y esto se demuestra fácilmente haciendo un análisis dimensional de la ecuación que la define; $[H] = [M L^2 T^-$

$^2] + [M\,L^{-1}\,T^{-2}\,L^3] = [M\,L^2\,T^{-2}]$. Aplicando estas dimensiones a las unidades del SI.[H] = [kg-m^2-s^{-2}] = [Joule]. Las unidades para la entalpía específica son [h] = [m^2-s^{-2}].

La entalpía es una propiedad termodinámica que está en función de otras propiedades termodinámicas, la energía interna y al producto de la presión y el volumen, esto se hizo para simplificar cálculos debido a la frecuencia con que estas propiedades se presentan con esta forma matemática en los análisis termodinámicos. Es por ello que la entalpía no surge como una necesidad de definir una propiedad física, si no por una necesidad de simplificar cálculos matemáticos, por lo cual, cualquier función de propiedades termodinámicas es otra propiedad termodinámica. Por tanto, su interpretación física dependerá del fenómeno en estudio.

ENTALPÍA DE VAPORIZACIÓN

En general, se define a la entalpía de transformación (h_{ab}) como la cantidad de energía que se debe suministrar a una sustancia por unidad de masa, para que cambie de una fase "a" a una fase ·b·, esto es: $h_{ab} = h_a - h_b$, en donde: "a" y "b" representan dos estados de saturación de fases distintas correspondientes a la misma temperatura, por ejemplo, de líquido saturado "f" a vapor saturado "g" que recibe el nombre de "entalpía de vaporización (h_{fg})", en donde, $h_{fg} = h_g - h_f$, es decir, que es la energía que se debe suministrar para que cambie de fase de líquido saturado a la fase de vapor saturado y es igual a la diferencia de la entalpía como vapor saturado a la entalpía como líquido saturado. Si el proceso es a la inversa, de vapor a líquido saturado, se le considera con signo negativo.

CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) Defina el concepto de entalpía y establezca su ecuación.

_____

_____

_____

_____

III.2) Defina el concepto de entalpía de transformación para los cambios de fase sólido-líquido; líquido-vapor, y sólido-vapor.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

III.3) Con base en la ecuación de continuidad y la Primera Ley de la Termodinámica efectúe el balance energético en un proceso de estrangulamiento, elaborando la figura correspondiente y señalando con una línea punteada en rojo el sistema termodinámico en estudio.

III.4) Defina el Coeficiente de Joule-Thomson y explique cada uno de los términos de la ecuación.

_____

_____

_____

_____

_____

III.5) Represente gráficamente en un diagrama temperatura-presión, indicando las líneas de entalpía constante y la curva de temperaturas máximas o de inversión para una sustancia real y para una sustancia que se comporta como gas ideal.

III.6) Explique la diferencia que se presenta en el comportamiento de las sustancias reales con las ideales con respecto al Coeficiente de Joule-Thomson a partir de las gráficas del inciso anterior así como de la ecuación.

_____

_____

_____

_____

_____

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV.l) A continuación se presenta el equipo y material que se empleará en la práctica, y coloque los termómetros como lo indique el profesor.

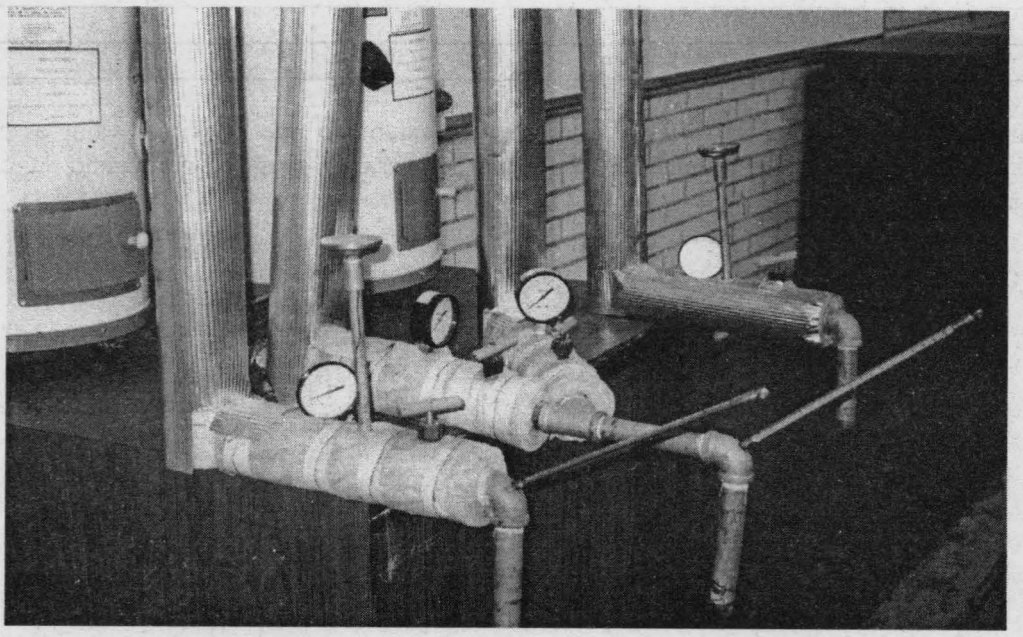


Fig. IV.1)

IV.2) Con base en el inciso III. 3) proponga una metodología experimental que le permita obtener el Coeficiente de Joule-Thomson para el vapor de agua, así como un diagrama temperatura-presión con líneas isoentálpicas.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

IV.3) Una vez que el calentador esté en las condiciones de operación, mediante la válvula de paso regule la presión y la temperatura, de acuerdo al rango mínimo y máximo del vapor de agua en el calentador, obteniendo cuando menos seis lecturas y llene la tabla siguiente:

Estado	1	2	3	4	5	6
P (bar)						
T (°C)						

IV.4) Con base en los datos de la tabla anterior y considerando que el primer valor es el de referencia para los otros cinco haga un diagrama temperatura-presión, graficando la curva isoentálpica correspondiente.

IV.5) De acuerdo a los datos obtenidos en el inciso anterior establezca, aproximadamente, el valor de la temperatura máxima o de inversión para este proceso de estrangulamiento.

_____

_____

_____

IV.6) Calcule de Coeficiente de Joule-Thomson para los cambios de estado referidos en el inciso IV. 3) y explique el porque de su variación, y en su caso el cambio de signo. Llene la tabla siguiente:

Proceso	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6
μ_{JT}					

Tabla IV. 2

V. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

VI. APLICACIONES

Investigue las aplicaciones de los conceptos desarrollados en la práctica, en los siguientes casos:

VI. l) En la industria de la refrigeración.

VI.2) En la elaboración de tablas de propiedades termodinámicas.

VI.3) En las plantas termoeléctricas.

_____

_____

_____

_____

VII. BIBLIOGRAFÍA

Indique los libros consultados para la preparación de la práctica y la elaboración del reporte

_____

_____

_____

_____

_____

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRACTICA N0. 13

"GASTO MÁSICO"

TEMAS: ECUACIÓN DE CONTINUIDAD Y PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

I. OBJETIVO:

I.1) CALCULAR EL GASTO MÁSICO DEL AGUA Y SU INCERTIDUMBRE EN EL SISTEMA HIDRÁULICO PROPUESTO.

II. EQUIPO NECESARIO

II.1) Gabinete hidráulico de pruebas
II.2) Una bomba de 1/4 de H;P;
II.3) Dos manómetros de Bourdón
II.4) Manguera de hule
II.5) Tanque de recirculación de agua

III. ANTECEDENTES

EL PRINCIPIO DE LA CONSERVACIÓN DE LA MASA

La masa no se crea ni se destruye, sólo se conserva, dice el enunciado del Principio de la Conservación de la Masa, ¿Cambia la masa si se le transfiere energía al sistema? Si esto sucede, la definición de sistema cerrado como una cantidad fija de masa ya no es válida cuando cambia la energía del sistema.

Sabemos de la Teoría de la Relatividad que la masa y la energía están relacionadas con la ecuación $E = m\,c^2$. La masa de un sistema cambia cuando cambia su energía.

Calculamos la magnitud de este cambio de masa para un problema típico, y determinamos cuando tiene significación este cambio de masa.

Consideremos como sistema un recipiente rígido que contenga 454 (g) de una mezcla estequiométrica de un hidrocarburo (gasolina) y aire, después de que se efectúa la combustión será necesario transmitir 315 (kcal) de calor del sistema, a fin de retornarlo a la temperatura inicial. De la 1ª Ley de la Termodinámica para sistemas cerrados:

$$ {}_1Q_2 + {}_1W_2 = U_2 - U_1 $$

si ${}_1W_2 = 0$ entonces ${}_1Q_2 = -315$ kcal

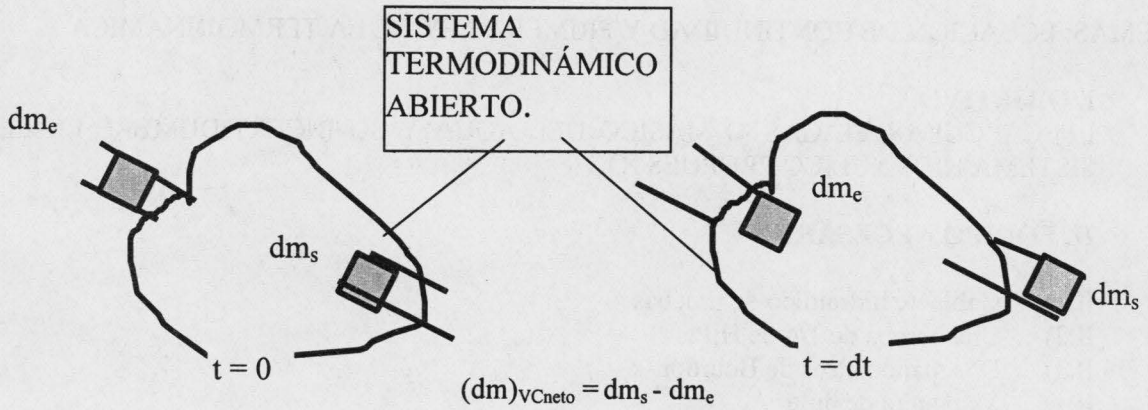
$E = m\,c^2$ $\quad$ 315 (kcal) = m (kg) (2.998 10^8 (m/s))^2 despejando "m"

$$ m = \frac{(315\times10^3)\,(\text{cal})\times(4.1868)\,(\text{J/cal})}{(2.998\times10^8\,(\text{m/s}))^2} = 1.467\times10^{-11}\,(\text{kg}) = 1.467\times10^{-8}\,(\text{g}) $$

Un cambio de masa de esta magnitud no se detecta ni con la balanza química más precisa. Por lo tanto, en Ingeniería usamos los principios de la Conservación de la Masa y de la Energía como leyes independientes, como lo asume la Física Clásica, no introducimos errores apreciables, y puede usarse la definición en la que un sistema tiene su masa fija aún si se le transfiere energía al sistema.

La transformación de masa en energía sólo se aplica en la ingeniería nuclear, en los procesos de fusión y fisión.

A continuación se desarrolla el modelo matemático del Principio de la Conservación de la Masa que se conoce como Ecuación de la Continuidad para Sistemas Abiertos.



$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{VC} = \frac{dm_s}{dt} - \frac{dm_e}{dt} \Rightarrow (\dot{m})_{VC} = \dot{m}_s - \dot{m}_e$$

$$dm = \rho\, d\forall = \rho\, A\, ds$$

$$\frac{dm}{dt} = \rho\, A \frac{ds}{dt} = \rho\, A\, \mathbf{V}$$

$$\dot{m} = cte = \rho\, \mathbf{V}\, A \quad \Rightarrow \quad (\rho\, \mathbf{V}\, A)_1 = (\rho\, \mathbf{V}\, A)_2$$

GASTO MÁSICO es la cantidad de masa que pasa a través de una sección transversal por unidad de tiempo

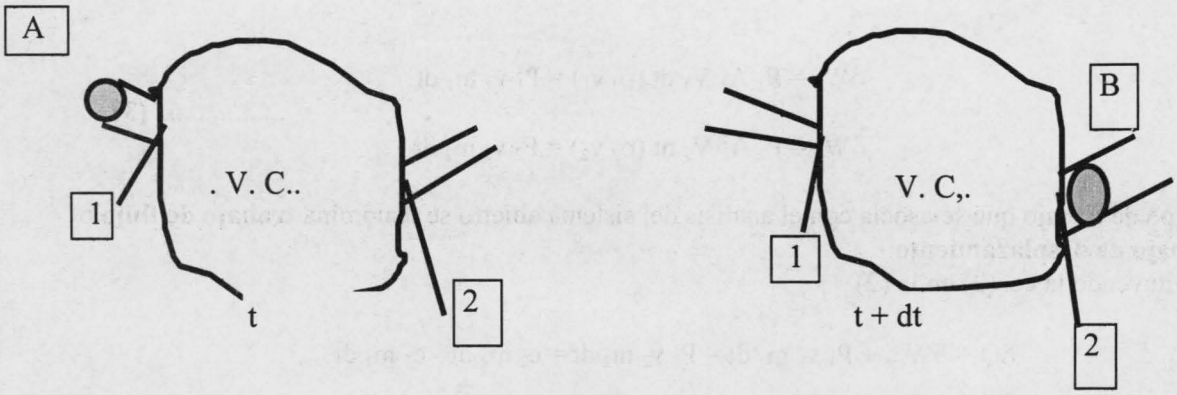
$$\dot{m} = m/t \qquad (kg/s)$$

GASTO VOLUMÉTRICO (G) es el volumen que pasa a través de una sección transversal de área A por unidad de tiempo, o bien, la velocidad **V** con la que la masa del fluido atraviesa la sección transversal A.

$$G = \forall / t = \mathbf{V}\, A \qquad (m^3/s)$$

LA PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA PARA SISTEMAS ABIERTOS (RÉGIMEN PERMANENTE O ESTACIONARIO)

Como los flujos másicos son constantes en un proceso estable, la rapidez de convección de energía asociada con la masa que cruza cada frontera abierta también es constante. En vista de ello, la rapidez de las interacciones de trabajo y de calor también permanecen constantes en un proceso de estado permanente (estable)



Para este sistema abierto se analiza la masa del sistema que fluye a través del sistema, cuyo balance de energía está dado por:

$$\delta Q + \delta W = dE_{MC} \quad \text{.....(1)}$$

La energía asociada con la masa del sistema en el tiempo *t* es:

$$E_{MC,t} = E_A + E_{VC,t}$$

de modo semejante, a un tiempo t + dt:

$$E_{MC,t+dt} = E_{VC,t+dt} + E_B$$

Pero $E_{VC,t} = E_{VC,t+dt}$ (permanente)

entonces, el cambio de energía en la la masa del sistema durante el periodo dt es:

$$dE_{MC} = E_{MC,t+dt} - E_{MC,t} = E_B - E_A$$

$$E_A = e_1\, m_A = e_1\, \rho_1\, A_1\, V_1\, dt; \qquad E_B = e_2\, m_B = e_2\, \rho_2\, A_2\, V_2\, dt$$

En donde e_2 y e_1 son las energías específicas asociadas a los flujos de masa de salida y de entrada, respectivamente.

$$\therefore \quad dE_{MC} = e_2\, \rho_2\, A_2\, V_2\, dt - e_1\, \rho_1\, A_1\, V_1\, dt$$

$$= e_2\, \dot{m}_2\, dt - e_1\, \dot{m}_1\, dt$$

sustituyéndola en la ec. (1)

$$\delta Q + \delta W = e_2\, \dot{m}_2\, dt - e_1\, \dot{m}_1\, dt \quad \text{..... (2)}$$

e: {u, ec, ep} que es las emergías interna, cinética y potencial específicas asociadas a los flujos de masa de entrada y salida.

δW corresponde a los siguientes términos:

a) **trabajo de flujo**: trabajo que requiere para mover la masa hacia adentro o hacia afuera del sistema abierto.

b) **trabajo de eje** δW_{eje}: movimiento tangencial del esfuerzo cortante del fluido en una paleta o álabe montado sobre un eje rotatorio (turbina, compresor, bomba, ventilador, etc.)

δW_1: el trabajo que se requiere para empujar la masa en la región *A* dentro del volumen del sistema abierto 1. $F_1 = P_1 A_1$ a una distancia = $V_1\, dt$, esto es

$$\delta W_1 = P_1\, A_1\, V_1\, dt$$

δW_2: el trabajo que hace el fluido dentro del sistema abierto a medida que desplaza el fluido a la región B;

$$\delta W_2 = P_2\, A_2\, V_2\, dt$$

puesto que $\dot{m} = \rho A\, V$, se tiene:

$$\delta W_1 = P_1\, A_1\, V_1\, dt\, (\rho_1\, v_1) = P_1\, v_1\, \dot{m}_1\, dt$$

$$\delta W_2 = P_2\, A_2\, V_2\, dt\, (\rho_2\, v_2) = P_2\, v_2\, \dot{m}_2\, dt \qquad \text{..... (3)}$$

El tipo de trabajo que se asocia con el análisis del sistema abierto se denomina **trabajo de flujo** o **trabajo de desplazamiento**.
Sustituyendo la ec. (3) en la (2)

$$\delta Q + \delta W_{eje} + P_1\, v_1\, \dot{m}_1\, dt - P_2\, v_2\, \dot{m}_2\, dt = e_2\, \dot{m}_2\, dt - e_1\, \dot{m}_1\, dt$$

$$\delta Q + \delta W_{eje} = (e_2 + P_2\, v_2)\, \dot{m}_2\, dt - (e_1 + P_1\, v_1)\, \dot{m}_1\, dt$$

definiendo las rapideces de trabajo y de transferencia de calor:

$$\dot{W}_{eje} = \frac{\delta W_{eje}}{dt}\ ; \qquad \dot{Q} = \frac{dQ}{dt}$$

$$\dot{Q} + \dot{W}_{eje} = (e_2 + P_2\, v_2)\, \dot{m}_2 - (e_1 + P_1\, v_1)\, \dot{m}_1$$

$$\dot{Q} + \dot{W}_{eje} = (V_2/2 + g\, z_2 + u_2 + P_2\, v_2)\, \dot{m}_2 - (V_1/2 + g\, z_1 + u_1 + P_1\, v_1)\, \dot{m}_1$$

$$\dot{Q} + \dot{W}_{eje} = (V_2/2 + g\, z_2 + h_2)\, \dot{m}_2 - (V_1/2 + g\, z_1 + h_1)\, \dot{m}_1$$

si existe varias entradas o salidas:

$$\dot{Q} + \dot{W}_{eje} = \Sigma\, (e_2 + P_2\, v_2)\, \dot{m}_2 - \Sigma\, (e_1 + P_1\, v_1)\, \dot{m}_1$$

si $\Sigma\, \dot{m}_{ent} = \Sigma\, \dot{m}_{sal}$, o sea, régimen permanente

$$\dot{Q} + \dot{W}_{eje} = \Sigma\, (e + P\, v)\, \dot{m}_{sal} - \Sigma\, (e + P\, v)\, \dot{m}_{ent}$$

$$\delta Q + \delta W_{eje} = (e + P\, v)_2\, dm_2 - (e + P\, v)_1\, dm_1$$

Si se divide entre la masa

$$q + w_{eje} = (e + P\, v)_2 - (e + P\, v)_1 \text{ ya que } e = u + V^2/2 + g\, z$$

$$q + w_{eje} = (u + V^2/2 + g\, z + P\, v)_2 - (u + V^2/2 + g\, z + P\, v)_1$$

$$= [(h_2 - h_1) + ½\, (V_2^2 - V_1^2) + g\, (z_2 - z_1)]$$

$$\dot{Q} + \dot{W}_{eje} = \dot{m}\,[(h_2 - h_1) + \tfrac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + g\,(z_2 - z_1)]$$

ECUACIÓN DE BERNOULLI.

De la ecuación anterior, al aplicarse a sistemas hidráulicos, se hacen las siguientes consideraciones:

1) régimen estacionario, m = cte
2) $u_1 = u_2$, T es constante
3) Q = 0, no existe transferencia de calor
4) $W_{eje} = 0$ no hay trabajo de flecha
5) $v_1 = v_2$, el flujo es incompresible

$$\boxed{0}\ \cancel{\dot{Q} + \dot{W}_{eje}} = \dot{m}\,[(u_2 - u_1) + \boxed{0}\ \cancel{(P_2 v_2 - P_1 v_1)} + \tfrac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + g\,(z_2 - z_1)]$$

$$0 = [(P_2 - P_1)\,v + \tfrac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + g\,(z_2 - z_1)]$$

$$P_1 v + \tfrac{1}{2} V_1^2 + g\,z_1 = P_2 v + \tfrac{1}{2} V_2^2 + g\,z_2 \qquad [J/kg]$$

$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho\,V_1^2 + \rho\,g\,z_1 = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho\,V_2^2 + \rho\,g\,z_2 \qquad [Pa]$$

$$P_1 v / g + V_1^2 / (2g) + z_1 = P_2 v / g + V_2^2 / (2g) + z_2 \qquad [m]$$

CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema que considere pertinentes)

III.1) Enuncie el Principio de la Conservación de la Masa.

_____

_____

III.2) Explique en qué consisten las condiciones de flujo estable o flujo permanente que se aplican a la Ecuación de la Continuidad desarrollada para sistemas termodinámicos abiertos.

_____

_____

_____

III.3) Explique en qué consisten las condiciones de estado estable o régimen unidireccional que se aplican a la Primera Ley de la Termodinámica, para sistemas abiertos.

_____

_____

III.4) Escriba el modelo matemático de la Primera Ley de la Termodinámica para condiciones de flujo y estado estables y explique su significado físico.

III.5) Investigue qué es un Venturí.

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV.l) Analice en la siguiente figura del sistema hidráulico propuesto, que se empleará para el balance energético de esta práctica.

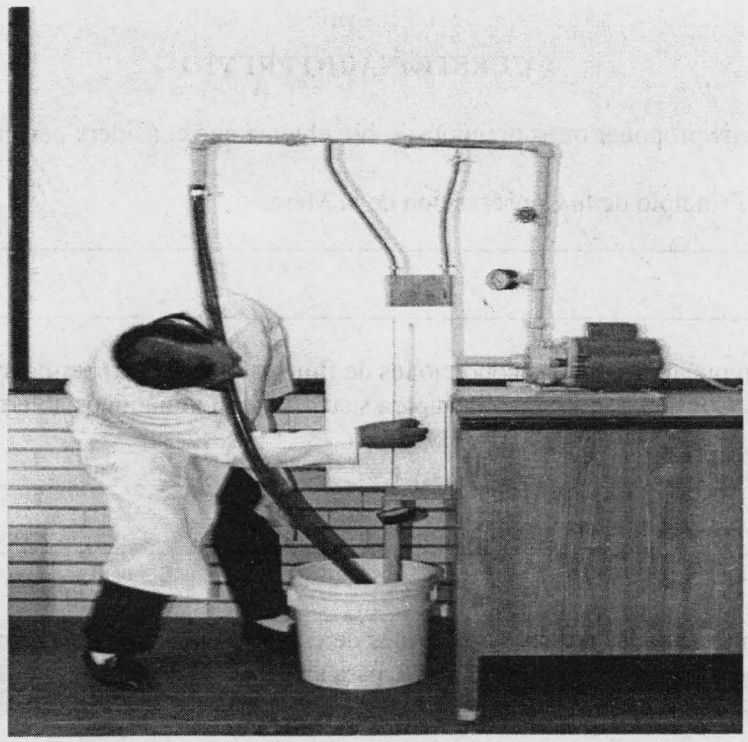


Fig. IV.1

IV.2) Diga qué parte del sistema hidráulico empleará para determinar el gasto másico de la bomba, explicando su respuesta.

_____

_____

_____

IV.3) Haga un dibujo del tramo de tubería con reducción de diámetro que se muestra en la Fig. IV.2, señalando con una línea punteada en rojo, la frontera del sistema termodinámico abierto que empleará.

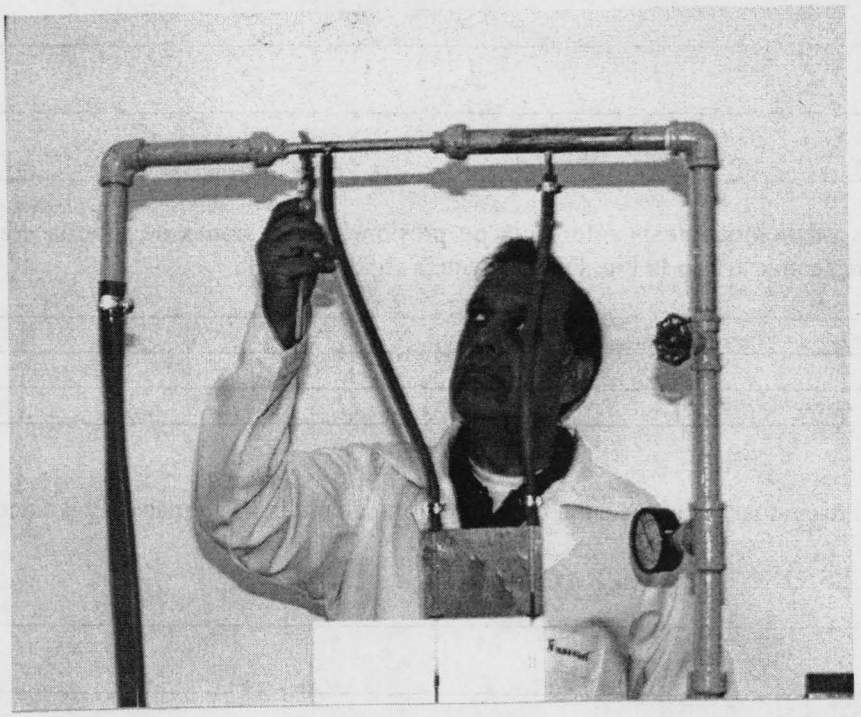


Fig. IV.2

IV.4) Aplique la Ecuación de la Continuidad y la Primera Ley de la Termodinámica al sistema que señaló en el inciso anterior y obtenga la expresión matemática que permitirá calcular el flujo de masa por unidad de tiempo.

IV.5) Enuncie la técnica experimental o metodología que seguirá para obtener el gasto másico del sistema hidráulico propuesto.

IV.6) Efectúe seis mediciones de la diferencia de presiones en el tramo de tubería con reducción de diámetro que se muestra en la Fig. IV.2, y llene la siguiente tabla.

No.	1	2	3	4	5	6
h_2-h_1 (m)						
P_2-P_1 (Pa)						

IV.7) Con base en los datos obtenidos en la tabla anterior, calcule el gasto másico y su incertidumbre..

V. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

VI. APLICACIONES

Investigue las aplicaciones de los conceptos desarrollados en:

VI.1) La industria Petrolera.

VI.2) Sistemas de riego.

_____

_____

_____

_____

VI.3) Sistemas de agua potable, drenaje y alcantarillado.

_____

_____

_____

_____

VII. BIBLIOGRAFÍA
Indique los libros consultados en la preparación de la práctica y la elaboración del reporte.

_____

_____

_____

_____

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 14

"POTENCIA DE LA BOMBA"

TEMA: ECUACIÓN DE LA CONTINUIDAD Y PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

I. OBJETIVO:
I.1 CALCULAR LA POTENCIA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA Y SU INCERTIDUMBRE CORRESPONDIENTE, DEL. SISTEMA HIDRÁULICO PROPUESTO POR EL LABORATORIO.

II. EQUIPO NECESARIO

II.1) Gabinete de pruebas hidráulico
II.2) Una bomba de 1/4 de H.P.
II.3) Dos manómetros de Bourdon
II.4) Manguera de hule
II.5) Tanque de recirculación de agua

III. ANTECEDENTES

EL PRINCIPIO DE LA CONSERVACIÓN DE LA MASA
La masa no se crea ni se destruye, sólo se conserva, dice el enunciado del Principio de la Conservación de la Masa, ¿Cambia la masa si se le transfiere energía al sistema? Si esto sucede, la definición de sistema cerrado como una cantidad fija de masa ya no es válida cuando cambia la energía del sistema.
Sabemos de la Teoría de la Relatividad que la masa y la energía están relacionadas con la ecuación $E = m\,c^2$. La masa de un sistema cambia cuando cambia su energía.
Calculamos la magnitud de este cambio de masa para un problema típico, y determinamos cuando tiene significación este cambio de masa.
Consideremos como sistema un recipiente rígido que contenga 454 (g) de una mezcla estequiométrica de un hidrocarburo (gasolina) y aire, después de que se efectúa la combustión será necesario transmitir 315 (kcal) de calor del sistema, a fin de retornarlo a la temperatura inicial. De la 1ª Ley de la Termodinámica para sistemas cerrados:

$$\mathbf{{}_1Q_2 + {}_1W_2 = U_2 - U_1}$$

si ${}_1W_2 = 0$ entonces ${}_1Q_2 = -315$ kcal

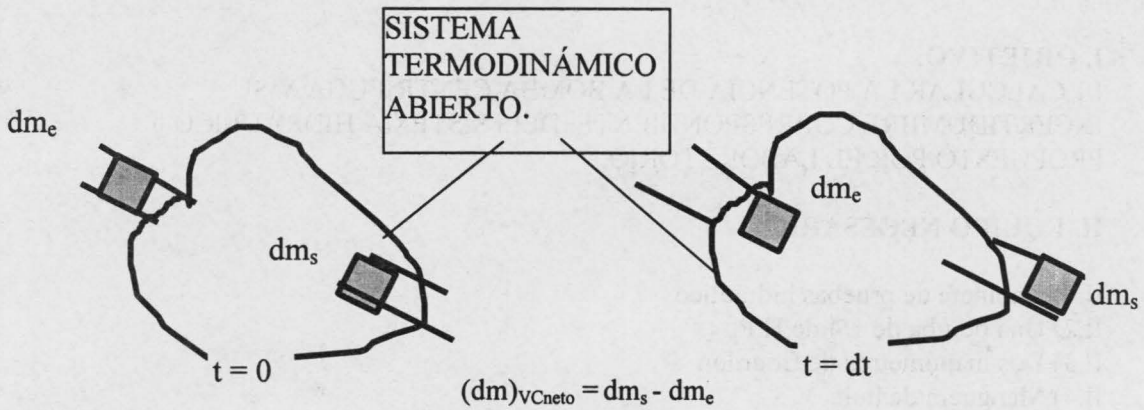
$E = m\,c^2$ $\quad$ 315 (kcal) = m (kg) $(2.998\ 10^8\,(m/s))^2$ despejando "m"

$$m = \frac{(315\times10^3)\,(cal)\times(4.1868)\,(J/cal)}{(2.998\times10^8\,(m/s))^2} = 1.467\times10^{-11}\,(kg) = 1.467\times10^{-8}\,(g)$$

Un cambio de masa de esta magnitud no se detecta ni con la balanza química más precisa. Por lo tanto, en Ingeniería usamos los principios de la Conservación de la Masa y de la Energía como

leyes independientes, como lo asume la Física Clásica, no introducimos errores apreciables, y puede usarse la definición en la que un sistema tiene su masa fija aún si se le transfiere energía al sistema. La transformación de masa en energía sólo se aplica en la ingeniería nuclear, en los procesos de fusión y fisión.

A continuación se desarrolla el modelo matemático del Principio de la Conservación de la Masa que se conoce como Ecuación de la Continuidad para Sistemas Abiertos.



$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{VC} = \frac{dm_s}{dt} - \frac{dm_e}{dt} \Rightarrow (\dot{m})_{VC} = \dot{m}_s - \dot{m}_e$$

$$dm = \rho\, d\mathcal{V} = \rho\, A\, ds$$

$$\frac{dm}{dt} = \rho\, A \frac{ds}{dt} = \rho\, A\, \mathbf{V}$$

$$\dot{m} = cte = \rho\, \mathbf{V}\, A \quad \Rightarrow \quad (\rho\, \mathbf{V}\, A)_1 = (\rho\, \mathbf{V}\, A)_2$$

GASTO MÁSICO es la cantidad de masa que pasa a través de una sección transversal por unidad de tiempo

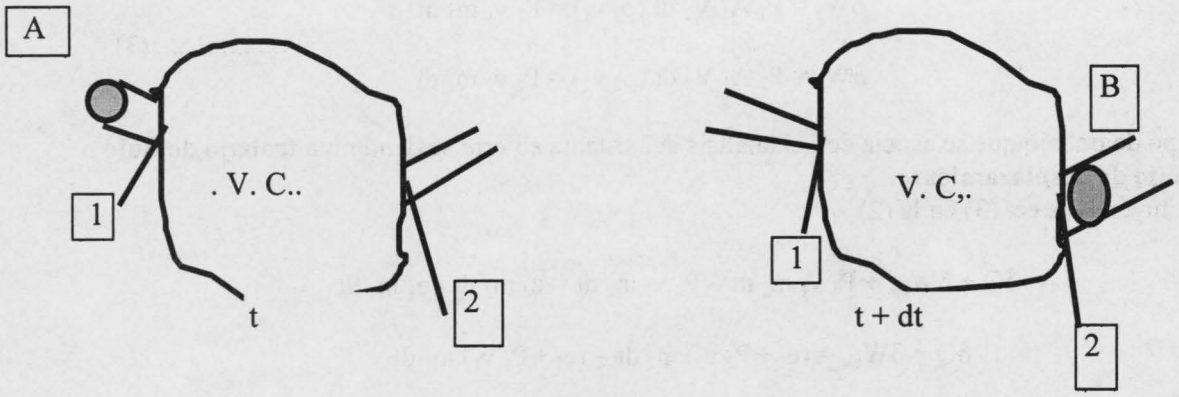
$$\dot{m} = m/t \qquad (kg/s)$$

GASTO VOLUMÉTRICO (G) es el volumen que pasa a través de una sección transversal de área A por unidad de tiempo, o bien, la velocidad **V** con la que la masa del fluido atraviesa la sección transversal A.

$$G = \mathcal{V} / t = \mathbf{V}\, A \qquad (m^3/s)$$

LA PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA PARA SISTEMAS ABIERTOS (RÉGIMEN PERMANENTE O ESTACIONARIO)

Como los flujos másicos son constantes en un proceso estable, la rapidez de convección de energía asociada con la masa que cruza cada frontera abierta también es constante. En vista de ello, la rapidez de las interacciones de trabajo y de calor también permanecen constantes en un proceso de estado permanente (estable)



Para este sistema abierto se analiza la masa del sistema que fluye a través del sistema, cuyo balance de energía está dado por:

$$\delta Q + \delta W = dE_{MC} \quad \text{.....(1)}$$

La energía asociada con la masa del sistema en el tiempo *t* es:

$$E_{MC,t} = E_A + E_{VC,t}$$

de modo semejante, a un tiempo t + dt:

$$E_{MC,t+dt} = E_{VC,t+dt} + E_B$$

Pero $E_{VC,t} = E_{VC,t+dt}$ (permanente)

entonces, el cambio de energía en la la masa del sistema durante el periodo dt es:

$$dE_{MC} = E_{MC,t+dt} - E_{MC,t} = E_B - E_A$$

$$E_A = e_1\, m_A = e_1\, \rho_1\, A_1\, V_1\, dt; \qquad E_B = e_2\, m_B = e_2\, \rho_2\, A_2\, V_2\, dt$$

En donde e_2 y e_1 son las energías específicas asociadas a los flujos de masa de salida y de entrada, respectivamente.

$$\therefore \qquad dE_{MC} = e_2\, \rho_2\, A_2\, V_2\, dt - e_1\, \rho_1\, A_1\, V_1\, dt$$

$$= e_2\, \dot{m}_2\, dt - e_1\, \dot{m}_1\, dt$$

sustituyéndola en la ec. (1)

$$\delta Q + \delta W = e_2\, \dot{m}_2\, dt - e_1\, \dot{m}_1\, dt \quad \text{..... (2)}$$

e: {u, ec, ep} que es las emergías interna, cinética y potencial específicas asociadas a los flujos de masa de entrada y salida.

δW corresponde a los siguientes términos:

a) **trabajo de flujo**: trabajo que requiere para mover la masa hacia adentro o hacia afuera del sistema abierto.

b) **trabajo de eje** δW_{eje}: movimiento tangencial del esfuerzo cortante del fluido en una paleta o álabe montado sobre un eje rotatorio (turbina, compresor, bomba, ventilador, etc.)

δW_1: el trabajo que se requiere para empujar la masa en la región *A* dentro del volumen del sistema abierto 1. $F_1 = P_1 A_1$ a una distancia = $V_1\, dt$, esto es

$$\delta W_1 = P_1\, A_1\, V_1\, dt$$

δW_2: el trabajo que hace el fluido dentro del sistema abierto a medida que desplaza el fluido a la región B;

$$\delta W_2 = P_2\, A_2\, V_2\, dt$$

puesto que $\dot{m} = \rho A\, V$, se tiene:

$$\delta W_1 = P_1\, A_1\, V_1\, dt\, (\rho_1\, v_1) = P_1\, v_1\, \dot{m}_1\, dt$$

$$\delta W_2 = P_2\, A_2\, V_2\, dt\, (\rho_2\, v_2) = P_2\, v_2\, \dot{m}_2\, dt \qquad \text{..... (3)}$$

El tipo de trabajo que se asocia con el análisis del sistema abierto se denomina **trabajo de flujo** o **trabajo de desplazamiento**.
Sustituyendo la ec. (3) en la (2)

$$\delta Q + \delta W_{eje} + P_1\, v_1\, \dot{m}_1\, dt - P_2\, v_2\, \dot{m}_2\, dt = e_2\, \dot{m}_2\, dt - e_1\, \dot{m}_1\, dt$$

$$\delta Q + \delta W_{eje} = (e_2 + P_2\, v_2)\, \dot{m}_2\, dt - (e_1 + P_1\, v_1)\, \dot{m}_1\, dt$$

definiendo las rapideces de trabajo y de transferencia de calor:

$$\dot{W}_{eje} = \frac{\delta W_{eje}}{dt}\ ; \qquad \dot{Q} = \frac{dQ}{dt}$$

$$\dot{Q} + \dot{W}_{eje} = (e_2 + P_2\, v_2)\, \dot{m}_2 - (e_1 + P_1\, v_1)\, \dot{m}_1$$

$$\dot{Q} + \dot{W}_{eje} = (V_2/2 + g\, z_2 + u_2 + P_2\, v_2)\, \dot{m}_2 - (V_1/2 + g\, z_1 + u_1 + P_1\, v_1)\, \dot{m}_1$$

$$\dot{Q} + \dot{W}_{eje} = (V_2/2 + g\, z_2 + h_2)\, \dot{m}_2 - (V_1/2 + g\, z_1 + h_1)\, \dot{m}_1$$

si existe varias entradas o salidas:

$$\dot{Q} + \dot{W}_{eje} = \Sigma\, (e_2 + P_2\, v_2)\, \dot{m}_2 - \Sigma\, (e_1 + P_1\, v_1)\, \dot{m}_1$$

si $\Sigma\, \dot{m}_{ent} = \Sigma\, \dot{m}_{sal}$, o sea, régimen permanente

$$\dot{Q} + \dot{W}_{eje} = \Sigma\, (e + P\, v)\, \dot{m}_{sal} - \Sigma\, (e + P\, v)\, \dot{m}_{ent}$$

$$\delta Q + \delta W_{eje} = (e + P\, v)_2\, dm_2 - (e + P\, v)_1\, dm_1$$

Si se divide entre la masa

$$q + w_{eje} = (e + P\, v)_2 - (e + P\, v)_1 \text{ ya que } e = u + V^2/2 + g\, z$$

$$q + w_{eje} = (u + V^2/2 + g\, z + P\, v)_2 - (u + V^2/2 + g\, z + P\, v)_1$$

$$= [(h_2 - h_1) + ½\, (V_2^2 - V_1^2) + g\, (z_2 - z_1)]$$

$$\dot{Q} + \dot{W}_{eje} = \dot{m}\,[(h_2 - h_1) + \tfrac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + g\,(z_2 - z_1)]$$

ECUACIÓN DE BERNOULLI.

De la ecuación anterior, al aplicarse a sistemas hidráulicos, se hacen las siguientes consideraciones:

1) régimen estacionario, m = cte
2) $u_1 = u_2$, T es constante
3) Q = 0, no existe transferencia de calor
4) $W_{eje} = 0$ no hay trabajo de flecha
5) $v_1 = v_2$, el flujo es incompresible

$$\boxed{0}\ \cancel{\dot{Q} + \dot{W}_{eje}} = \dot{m}\,[(u_2 - u_1) + \boxed{0}\ \cancel{(P_2\, v_2 - P_1\, v_1)} + \tfrac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + g\,(z_2 - z_1)]$$

$$0 = [(P_2 - P_1)\, v + \tfrac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + g\,(z_2 - z_1)]$$

$$P_1\, v + \tfrac{1}{2} V_1^2 + g\, z_1 = P_2\, v + \tfrac{1}{2} V_2^2 + g\, z_2 \qquad [J/kg]$$

$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho\, V_1^2 + \rho\, g\, z_1 = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho\, V_2^2 + \rho\, g\, z_2 \qquad [Pa]$$

$$P_1\, v / g + V_1^2 / (2g) + z_1 = P_2\, v / g + V_2^2 /(2g) + z_2 \qquad [m]$$

CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) Diga cuáles son las características técnicas más importantes de una bomba centrífuga.

_____

_____

_____

_____

_____

III.2) Explique en qué consiste el cebado de una bomba.

_____

_____

_____

III.3) Escriba el modelo matemático de la Primera Ley de la Termodinámica, para condiciones de flujo y estado estables, indicando qué términos se eliminan cuando se aplica a una bomba centrífuga, justifique en cada término.

III.4) Por qué se puede considerar que en la bomba centrífuga el agua circula en condiciones de flujo y estado estables.

III.5) Explique en qué se transforma la energía mecánica que se aplica al impulsor de la bomba, cuando el agua circula por ella.

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV.l) En la Fig. IV.1) se muestra la bomba con tramos de tubería de succión y descarga y sus respectivos manómetros. Haga un esquema del sistema y delimite la frontera del sistema termodinámico abierto, que incluye el impulsor de la bomba y los tramos de tubería, hasta los manómetros de descarga y succión.

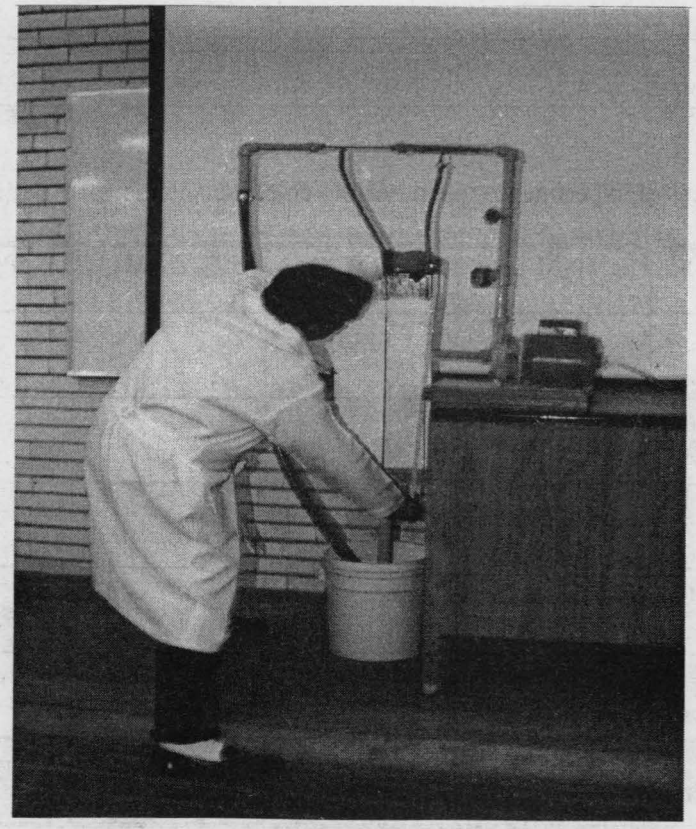


Fig.IV.1

IV.2) Aplique la Primera Ley de la Termodinámica para sistemas abiertos, en condiciones de flujo y estado estables, al sistema termodinámico de la Fig. IV.1 para calcular la potencia de la bomba centrífuga.

IV.3) Abra la válvula del sistema hidráulico a la misma apertura que en la práctica del GASTO MÁSICO, de manera que el flujo de masa sea el mismo, o bien, establezca nuevamente los parámetros para calcular nuevamente el GASTO MÁSICO con el que va operar la bomba. Haga el desarrollo matemático que le permita evaluar las velocidades en las fronteras del sistema termodinámico, es decir, la velocidad del agua en el manómetro de vacío y en el manómetro de descarga.

IV.4) Describa brevemente la metodología experimental que seguirá para cuantificar los parámetros involucrados en la ecuación de la Primera Ley de la Termodinámica y una vez determinados, calcular la potencia de la bomba.

_____

_____

IV.5) Repita seis veces el experimento que describió en el inciso anterior y llene la siguiente tabla.

NO.	M (KG/S)	V_2 (M/S)	V_1(M/S)	Z_2-Z_1 (M)	P_2 (PA)	P_1 (PA)
1						
2						
3						
4						
5						
6						

IV.6) Con los valores obtenidos en la tabla anterior, calcule la potencia de la bomba centrífuga, así como su incertidumbre.

IV.7) En la placa dé datos de la bomba busque la potencia nominal de la bomba y con la potencia calculada en el inciso anterior, calcule con qué eficiencia eléctrica y mecánica operó la bomba.

V. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

VI. APLICACIONES

VI.1) Una bomba centrífuga es empleada para distribuir el agua de una cisterna en un edificio que tiene 30 metros de altura. La presión en la parte más alta del edificio debe ser de 1.3 bar y la presión atmosférica local es de 0.9 bar. El flujo másico de agua que requiere el edificio es de 10 (kg/s). La relación de diámetros de descarga y succión es de 0.75 y la velocidad máxima permisible en la descarga es de 1.5 (m/s).

Calcule:

a) La potencia de la bomba en (watts).

b) Los diámetros de las tuberías de succión y descarga en (cm).

VII. BIBLIOGRAFÍA

Indique los libros consultados en la preparación de la práctica y la elaboración del reporte.

_____

_____

_____

_____

_____

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 15

"COEFICIENTE TÉRMICO DE REFRIGERACIÓN "

TEMA: SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

I. OBJETIVO:

I. 1) DETERMINAR LOS COEFICIENTES TÉRMICOS MÁXIMO Y REAL DEL REFRIGERADOR.

II. EQUIPO NECESARIO

II.1) Una, unidad de refrigeración instrumentada
II.2) Un watt-horímetro o un multímetro
II.3) Dos termómetros de -.20.0 a ll0.0 (^{0}C)
II.4) Un vaso de precipitados de 400.0 (ml)
II.5) Una balanza de 2,610.0 (g)

III. ANTECEDENTES

REFRIGERADOR

Es un aparato o dispositivo que opera con un ciclo que requiere trabajo para transmitir calor de un cuerpo de baja temperatura a un cuerpo de alta temperatura. El ciclo con estas características también está definido por el enunciado de Clausius que establece la imposibilidad de transmitir calor directamente de un cuerpo de baja temperatura a un cuerpo de alta temperatura sin que se le suministre trabajo; por supuesto que esto puede realizarse con un refrigerador o una bomba de calor. El ciclo de refrigeración por compresión de vapor se muestra en la siguiente figura. La sustancia de trabajo es un refrigerante que opera a través de un ciclo termodinámico. El calor se transmite al refrigerante en el evaporador, donde la presión y la temperatura son bajas. El trabajo (W) se realiza sobre el refrigerante en el compresor, y el calor se transmite al medio ambiente (Q_A) en el condensador, donde la temperatura y la presión son altas. El descenso de presión tiene lugar a medida que el refrigerante fluye a través de la válvula de estrangulamiento o del tubo capilar.

El "rendimiento" de un refrigerador se expresa en término del coeficiente de realización o de operación β o β_R. Un refrigerador tiene por objetivo extraer calor de la fuente de baja temperatura, es decir, el que absorbe el evaporador (Q_B), por ejemplo, la energía solicitada, el calor transmitido del espacio refrigerado y la energía que cuesta es el trabajo W, así,

$$\beta_r = \frac{Q_B}{W} = \frac{Q_B}{Q_A - Q_B} = \frac{1}{Q_A/Q_B - 1} = \frac{\text{energía solicitada}}{\text{energía que cuesta}} > 1$$

puesto que $W = Q_A - Q_B$

$$\beta_r = \frac{Q_A - W}{W} = \frac{Q_A}{W} - 1 \quad \Rightarrow \quad Q_A = (\beta_r + 1)\, W$$

en una máquina refrigeradora el calor rechazado a una temperatura alta es $(\beta_r + 1)$ veces el trabajo empleado.

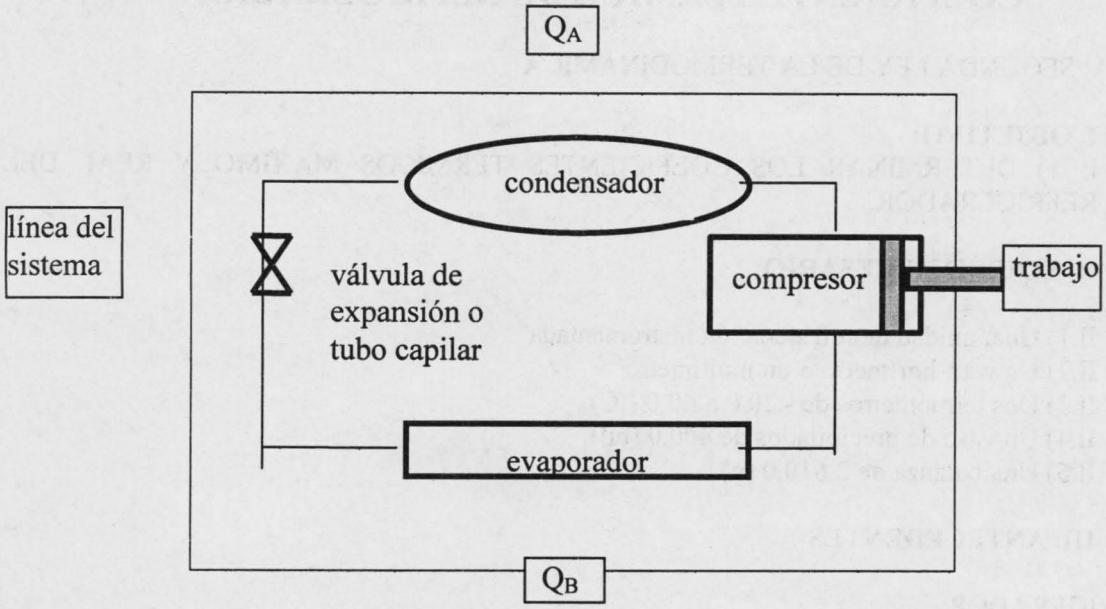


Fig. III.1

CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) Explique el concepto de coeficiente térmico de refrigeración.

III.2) Explique qué es un proceso reversible.

III.3) Enuncie la Segunda Ley de la Termodinámica.

III.4) Enliste los procesos del Ciclo de Carnot.

III.5) Explique por qué el Ciclo de Carnot es el ciclo más eficiente de todos los ciclos termodinámicos.

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV.l) Explique cada uno de los procesos que se efectúan en un Ciclo de Carnot cuando opera como refrigerador.

IV.2) Grafique los procesos de un refrigerador que opera con un Ciclo de Carnot, en el diagrama presión-volumen (P-v), indicando las energías transferidas como calor y trabajo en cada proceso.

IV.3) Grafique los procesos de un refrigerador que opera con un Ciclo de Carnot, en el diagrama entropía contra temperatura (s-T), indicando las energías transferidas como calor y trabajo en cada proceso.

IV.4) Efectué el balance de energía de cada proceso de ciclo de Carnot que le permita evaluar el calor absorbido de la fuente de baja temperatura y el trabajo neto suministrado en el refrigerador de Carnot.

IV.5) Aplique el concepto de coeficiente térmico de refrigeración "β", que relaciona el calor absorbido de la fuente y el trabajo neto suministrado al refrigerador de Carnot empleando las ecuaciones del inciso anterior y haga los desarrollos necesarios que le permitan expresar "β" en función de las temperaturas de los procesos isotérmicos.

IV.6) El valor de "β" obtenido es el máximo que puede tener un refrigerador, ya que opera con un Ciclo de Carnot. En la unidad de refrigeración propuesta por el Laboratorio, la temperatura de alta corresponde a la temperatura en el condensador (T_{cond}) y la temperatura de baja a la temperatura en el evaporador (T_{evap}).

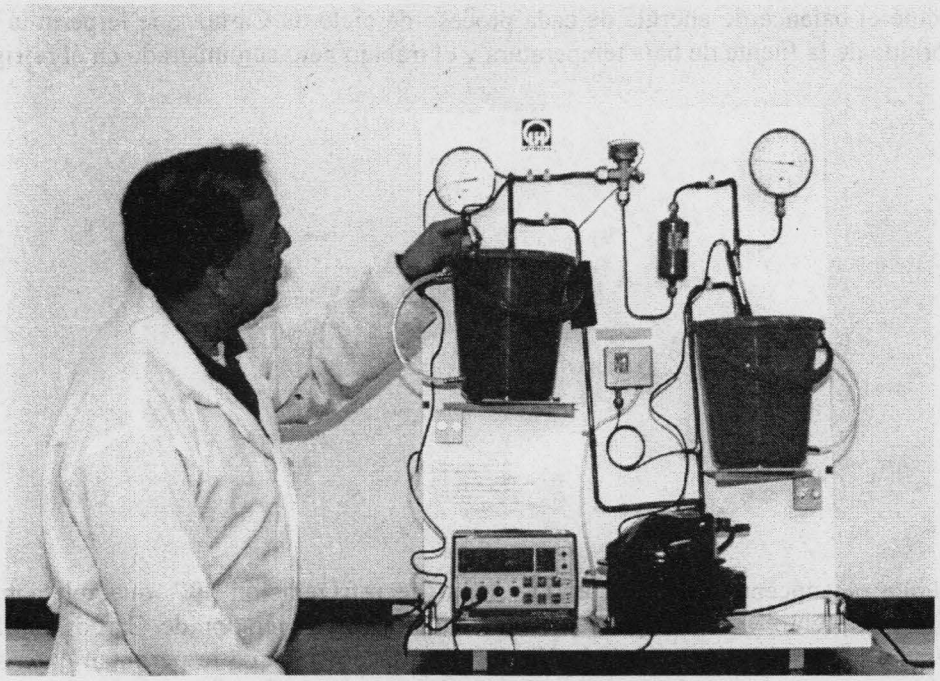


Fig. IV.1

IV.7) Haga funcionar el refrigerador hasta que opere en condiciones de flujo y estado estables, lo cual se observará cuando las presiones y temperatura se estabilicen.

VI.8) Introduzca agua en las cubetas del evaporador y de condensador de la unidad de refrigeración, hasta que lo cubra en el nivel indicado, cuantificando la masa de agua introducida y su temperatura inicial.

IV.9) Deje funcionando el refrigerador hasta que opere en condiciones de flujo y estado estables, lo cual se observará cuando las presiones y temperaturas se estabilicen.

IV.10) Llene la siguiente tabla con los datos obtenidos en el inciso anterior.

$T_{evap.}$ (K)	$T_{cond.}$ (K)	m_{H2O} (Kg)	C_{H2O} (J/Kg-K)	AT_{H2O} (K)	t (s)	$W_{sum.}$ (J)

IV.11) Calcule el coeficiente térmico máximo teórico "$\beta_{máx.}$" que puede tener el refrigerador, empleando las temperaturas del evaporador y del condensador de la tabla anterior en la ecuación obtenida en el inciso IV.4).

IV.12) Calcule el coeficiente térmico real "β_{real}" del refrigerador, relacionando el calor absorbido por el evaporador del agua entre el trabajo suministrado al refrigerador.

V. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

VI. APLICACIONES

VI.l) Explique la utilidad de cuantificar los dos coeficientes térmicos máximo y real de un refrigerador, en el diseño del mismo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Indique los libros consultados para la preparación de la práctica y en la elaboración del reporte.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

PRÁCTICA No. 16

"CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR"

TEMA: CICLOS TERMODINÁMICOS

I, OBJETIVO:

I. 1) DETERMINAR LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL FREÓN-12, EMPLEADO EN LA UNIDAD DE REFRIGERACI6N PROPUESTO POR EL LABORATORIO.

II. EQUIPO NECESARIO

II.1) Una unidad de refrigeración instrumentada

III. ANTECEDENTES

CICLO DE REFRIGERACIÓN

Aunque el ciclo de Carnot inverso es un punto de referencia para comparar todos los ciclos reales, no es práctico en la refrigeración. Sin embargo, sería deseable que se pudieran aproximar los procesos de suministro y disipación de calor a temperatura constante para alcanzar el mayor valor posible del coeficiente de rendimiento. Es decir, se logra en gran medida al operar una máquina frigorífica con un ciclo de compresión de vapor. En la figura de ciclo de refrigeración, se muestra el esquema del equipo para tal ciclo junto con diagrama T-s y P-h del ciclo ideal

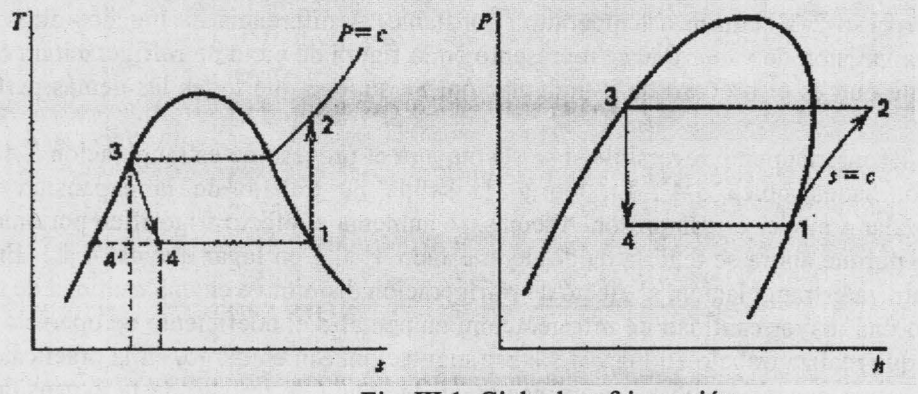


Fig. III.1. Ciclo de refrigeración

Q_A

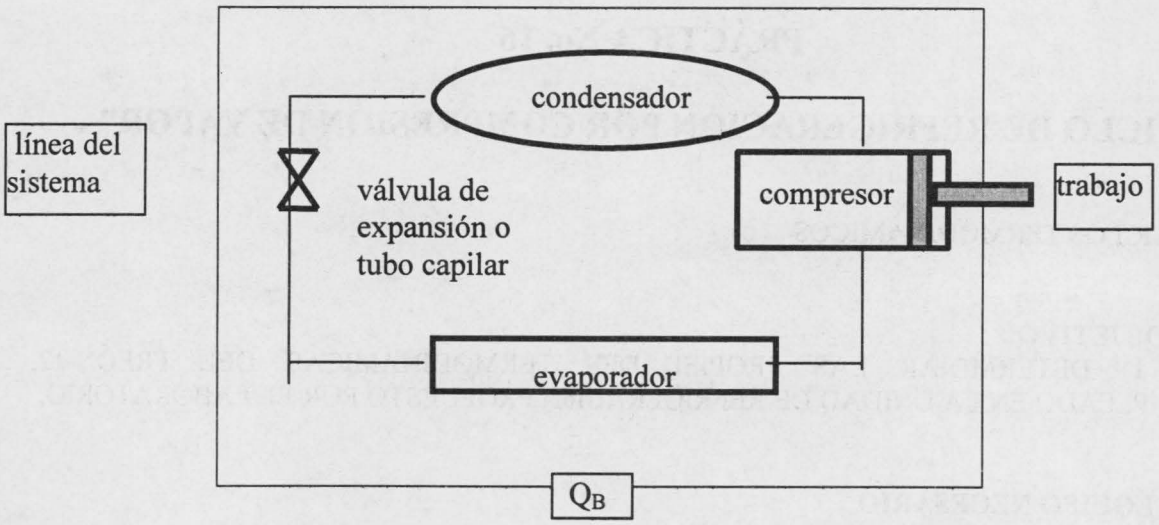


Fig. III.2. Ciclo de refrigeración

El vapor saturado, el estado 1, se comprime isoentrópicamente a vapor sobrecalentado hasta el estado 2. El vapor refrigerante entra a un condensador, de donde se extrae calor a presión constante hasta que el fluido se convierte en líquido saturado, el estado 3. Para que el fluido regrese a presión más baja, se expande adiabáticamente en una válvula o tubo capilar hasta el estado 4. El proceso 3-4 es una estrangulación irreversible y $h_3 = h_4$. En el estado 4, el refrigerante es una mezcla húmeda a baja calidad. Finalmente, pasa por el evaporador a presión constante. De la fuente de baja temperatura entra calor al evaporador, convirtiendo el fluido en vapor saturado y se completa el ciclo. Nótese que todo el proceso y una gran parte del proceso 2-3 ocurren a temperatura constante. A diferencia de muchos otros ciclos ideales, el ciclo de compresión de vapor que se representó en la figura de ciclo de refrigeración contiene un proceso irreversible que es el proceso de estrangulación. Se supone que todas las demás partes del ciclo son reversibles.

Todo el ciclo podría ser internamente reversible si se sustituyera el proceso de estrangulación 3-4 por el proceso de expansión isoentrópica 3-4'. En teoría, la salida de trabajo de la expansión podría aprovecharse para ayudar a mover el compresor. Además, se aumenta el efecto frigorífico por unidad de masa de refrigerante, porque ahora se tendría q_B desde el estado 4' al 1 en lugar que del 4 a 1. En otras palabras, cuando se utiliza estrangulación, el efecto de refrigeración disminuye en una cantidad de trabajo neto de entrada como una mayor cantidad de refrigeración, aumentaría el coeficiente de operación si se usara una expansión que realiza trabajo en lugar de la estrangulación. Sin embargo, en la práctica, se usa un estrangulamiento o una expansión libre. En primer lugar, la salida de trabajo de la expansión sería pequeña, porque el fluido fundamentalmente es líquido y de volumen específico pequeño. En segundo lugar, un aparato estrangulador es mucho menos costoso que un mecanismo que efectúe trabajo en la expansión y casi no requiere mantenimiento.

La capacidad de los sistemas frigorífico se expresa con base en las toneladas de refrigeración que proporciona la unidad al operarla en las condiciones de diseño. Una tonelada de refrigeración se define

como la rapidez de extracción de calor de la región fría o la rapidez de absorción de calor por el fluido que pasa por el evaporador de 211 kJ/min = 3517 W 0 200 Btu/min = 12000 Btu/h.

$$\beta_R = \frac{q_B}{w_c} = \frac{q_{4\text{-}1}}{w_{1\text{-}2}} = \frac{c_p\,(T_1 - T_4)}{h_2 - h_1} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{h_1 - h_3}{h_2 - h_1}$$

ya que $h_3 = h_4$

CUESTIONARIO PREVIO

(El instructor puede proponer otras preguntas sobre el tema)

III.1) Enuncie los procesos componen al ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

_____

_____

_____

III.2) Investigue cuáles son las características deseables en cualquier sustancia refrigerante.

_____

_____

_____

_____

III.3) Investigue los criterios que se emplean en la selección de una sustancia refrigerante.

_____

_____

_____

_____

_____

III.4) Investigue cuáles son los elementos que componen al Freón-12 y busque en las tablas correspondientes:
a) La presión de saturación y, b) La temperatura de saturación si las temperaturas y presión de referencia, es la unidad propuesta.

III.5) Explique el coeficiente de Joule-Thomson, en un proceso de estrangulación isoentálpica.

IV. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

IV.l) Muestre el diagrama de bloques del ciclo de refrigeración por compresión de vapor, de la unidad propuesta, ponga el nombre de cada dispositivo del ciclo, indicando la dirección del flujo de Freón. Haga el dibujo correspondiente.

IV.2) Explique brevemente la función que realiza la unidad de refrigeración:

_____

_____

_____

_____

_____

IV.2.a) Explique brevemente la función que realiza el compresor:

_____

_____

_____

_____

_____

IV.2.b) Explique brevemente la función que realiza el condensador:

_____

_____

_____

_____

_____

IV.2.c) Explique brevemente la función que realiza la válvula de estrangulamiento:_____

_____

_____

_____

IV.2.d) Explique brevemente la función que realiza el evaporador:

_____

_____

_____

_____

_____

IV.3) Una vez que se halla arrancado la unidad de refrigeración y esté funcionando en condiciones de flujo y estado estables, efectuará las lecturas de presión y temperatura en cada estado del ciclo, considerando que el estado 1 se encuentra entre el evaporador y el compresor, el estado 2 entre el compresor y el condensador y así sucesivamente hasta cerrar el ciclo. Los datos leídos vacíelos en la Tabla siguiente:

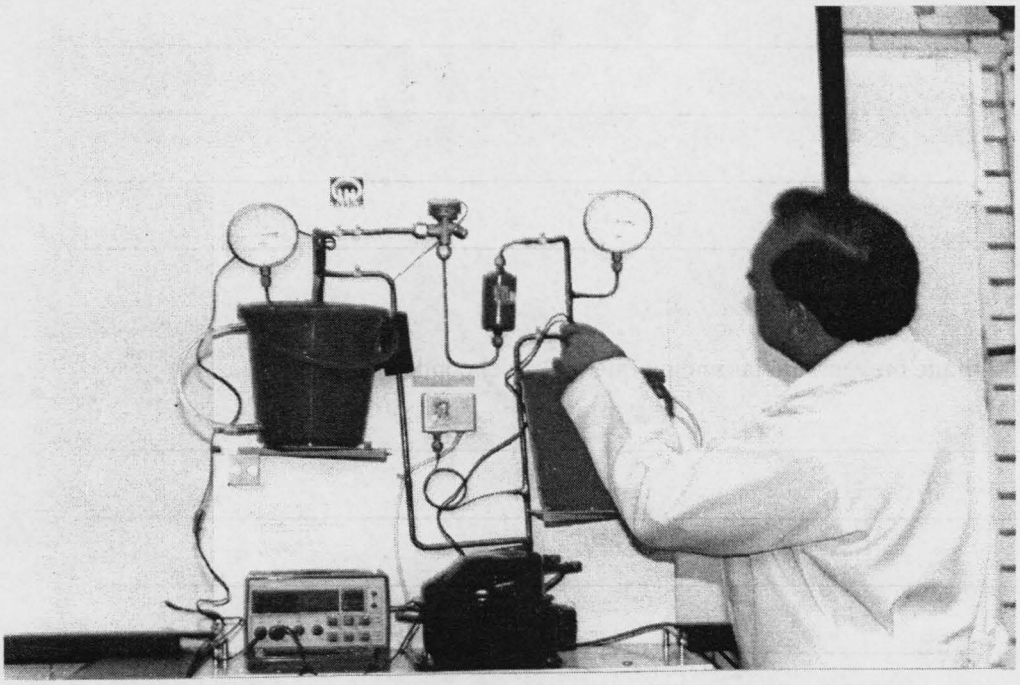


Fig.IV.1

Edo.	p	T	v	h	s
1					
2					
3					
4					

IV.4) Considerando que en la unidad de refrigeración se efectúan los procesos que definen al ciclo de refrigeración por compresión de vapor, con base en los datos de presión y temperatura de la tabla anterior grafique dichos procesos en el Diafragma presión-entalpía (P-h) del Freón-12 del cual saque una copia fotostática y péguelo a continuación.

IV.5) Obtenga el volumen específico (v), la entalpía (h) y la entropía (s) para cada estado del ciclo de refrigeración, usando:

a) El Diagrama anterior y cotéjelos,

b) Con los valores obtenidos de las tablas de propiedades termodinámicas para el Freón-12. Vacíe la información obtenida en la Tabla 1.

IV.6) Con los datos de la Tabla 1 calcule:
a) El calor por unidad de masa absorbida en el evaporador, y
b) El trabajo por unidad de masa realizado en el proceso de compresión.

IV.7) Empleando el dato de calor absorbido en la unidad de tiempo, calculado para el evaporador en la PRÁCTICA del COFICIENTE DE REFRIGERACIÓN, determine el flujo de vapor de Freón-12 que circula por la unidad de refrigeración.

IV.8) Con el flujo de masa calculado en el inciso anterior y el trabajo por unidad de masa calculado en el inciso b) del punto IV.6), determine la potencia desarrollada en el proceso de compresión.

IV.9) Compare el resultado del inciso anterior con la potencia calculada en la PRÁCTICA anterior.

V. CONCLUSIONES

VI. APLICACIONES

Investigue las aplicaciones de los conceptos desarrolla dos en la práctica; en los siguientes casos:

VI.) Frigoríficos:

VI.2) Aire acondicionado:

_____

_____

_____

_____

_____

VII BIBLIOGRAFÍA

Indique los libros consultados para la preparación de la práctica y en la elaboración del reporte.

_____

_____

_____

_____

_____

Esta obra se terminó de imprimir
en noviembre de 2006
en el taller de imprenta del
Departamento de Publicaciones
de la Facultad de Ingeniería,
Ciudad Universitaria, México, D.F.
C.P. 04510

Secretaría de Servicios Académicos

El tiraje consta de 500 ejemplares