



Facultad de Estudios Superiores

Acatlán

TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

MANUAL DE PRÁCTICAS LABORATORIO DE FÍSICA

FESA PAL IIC FI

ELABORÓ:

PROFESOR


Ing. J.P. Agustín Valera Negrete

REVISIÓN
TÉCNICA:

JEFE DE SECCIÓN

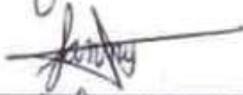

Ing. Alan Kristoffer Benitez Angeles

COORDINADOR DEL
PROGRAMA DE
INGENIERÍA CIVIL


Ing. Omar Ulises Morales Dávila

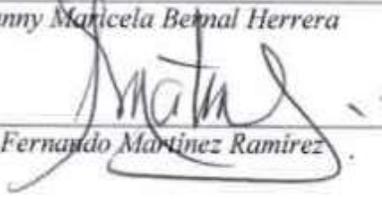
REVISIÓN DE
GC:

RESPONSABLE DE
GESTIÓN DE LA CALIDAD


Esp. Fanny Maricela Bernal Herrera

AUTORIZÓ:

REPRESENTANTE DE LA
DIRECCIÓN/
COORDINADOR DE
SERVICIOS ACADÉMICOS


Mtro. Fernando Martínez Ramírez

Fecha de Emisión: 2022.08.22

CONTENIDO

| Número de sesión práctica | Nombre | Página |
|---------------------------|--|--------|
| 1 | Determinación de la aceleración gravitatoria local | 3 |
| 2 | Determinación de la densidad de diversas muestras de líquidos y sólidos | 20 |
| 3 | Determinación de la presión atmosférica local | 39 |
| 4 | Variación de presión en líquidos de reposo | 66 |
| 5 | Determinación de la humedad relativa del aire | 83 |
| 6 | Elasticidad | 97 |
| 7 | Determinación del calor específico de diversas sustancias | 112 |
| 8 | Equivalente mecánico del calor “J” | 137 |
| 9 | Determinación de las viscosidades absoluta o dinámica y relativa o cinemática de un fluido | 148 |
| 10 | Determinación del gasto hidráulico en una tubería (Medición de flijo) | 170 |

SESIÓN PRÁCTICA No. 1 DETERMINACIÓN DE LA ACELERACIÓN GRAVITATORIA LOCAL

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. OBJETIVO:

Determinar el valor local de la aceleración gravitatoria mediante un dispositivo pendular.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS:

2.1 Antecedentes

CAÍDA DE LOS CUERPOS.

Para estar en posesión de ciertas leyes de la Física es necesaria la experimentación. El estudio de la caída de los cuerpos, lo realizaremos siguiendo este método; observación y experimentación. Hace algún tiempo se creyó que las leyes que rigen a la caída de los cuerpos eran complejas y no generales; pues según las consideraciones de Aristóteles, se creía que todos los cuerpos no caían a la misma velocidad. Estas consideraciones se derivaban de los hechos observados en la vida diaria, de que un cuerpo ligero como una hoja de árbol, una pluma, un trozo de papel, un copo de nieve o de algodón, experimentan una serie de movimientos antes de llegar al suelo, mientras que los cuerpos pesados caen rápidamente. Basándose en la Física de Aristóteles se suponía que un cuerpo que pesara diez kilogramos, caería de una altura determinada en una décima parte del tiempo que emplearía en caer un cuerpo que pesara un kilogramo. En aquellas épocas en que dominaban las ideas aristotélicas, surgió en Pisa un genio inquieto; hijo de humilde cuna, pero de un espíritu travieso y mordaz, como lo muestra su tratado contra el uso del birrete y de la toga en la Universidad, este genio respondía al nombre de Galileo Galilei.

Cuenta la Historia de la Física, que una mañana subió Galileo a la torre de Pisa, en los momentos en que pasaban por el pie de la torre un grupo de catedráticos con sus discípulos que se dirigían a la Universidad, llamando la atención de éstos, dejó caer desde lo alto de la torre dos cuerpos de distintos pesos, los cuales llegaron al suelo, prácticamente en el mismo tiempo. Ante estos hechos, sostuvieron los profesores, sin embargo, que sus ojos debían haberles engañado, porque no estaba de acuerdo con lo dicho por Aristóteles, célebre filósofo griego nacido en Estagira, oráculo de la Edad Media, el cual nunca se equivocaba. Con estos hechos demostró Galileo, que todos los cuerpos caen desde la misma

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

altura con la misma velocidad, y explicó además, que el fenómeno observado con los cuerpos ligeros era debido a la acción del aire, estando seguro que en el vacío, tanto el cuerpo ligero como el pesado llegarían al suelo en el mismo tiempo.

En el mismo año en que moría Galileo (1642) nacía en Inglaterra, Isaac Newton, cuyo legado científico aún es respetado en esta época de tanto revolucionarismo. Newton reprodujo desde lo alto de la cúpula de San Pablo en Londres, los experimentos de Galileo, confirmándolos más tarde en un tubo de vidrio de dos metros de largo, en donde hacía el vacío. En él observó que una pluma de ave y un trozo de plomo dejándolos caer simultáneamente, llegan al suelo en el mismo tiempo, de ahí que: “Todos los cuerpos caen en el vacío desde la misma altura con la misma velocidad”.

Para el estudio de la caída de los cuerpos se prefiere el uso de cuerpos esféricos de plomo o de acero, en los cuales la acción del aire es despreciable. Los cuerpos al caer adquieren un movimiento uniformemente acelerado, porque la acción de la gravedad obra constantemente sobre ellos y entre los límites en que se experimenta se puede considerar prácticamente invariable.

FUERZA GRAVITACIONAL TERRESTRE

Con esta expresión conocemos a la intensidad de la fuerza con que atrae la Tierra a los cuerpos que se encuentran en su superficie o cerca de ella. Esta fuerza produce sobre un kilogramo masa una aceleración de 9.80665 m/seg^2 al nivel del mar y a la latitud de 45° que es considerado como valor estándar. Pero dicha fuerza no es constante en toda la superficie de la Tierra, en la ciudad de México tiene el valor de 9.78 m/seg^2 y al nivel del mar de México 9.79 m/seg^2 , mientras que en los polos es de 9.83 m/seg^2 y en el ecuador es de 9.7803 m/s^2 .

La variación de la intensidad gravitatoria depende de que la Tierra no es esférica, ni tiene una superficie uniforme, de ahí que los lugares más cercanos a su centro, como los polos, tenga una intensidad de atracción mayor.

La atracción de la Tierra sobre los cuerpos, según Newton, es de la misma naturaleza que la que existe entre el Sol y los planetas y la de estos entre ellos mismos y el Sol, por lo que concluyó que la gravitación terrestre es un caso particular de la gravitación universal. Para explicar las diversas leyes del movimiento de los planetas Newton emitió su hipótesis sobre la Gravitación Universal:

“Si se consideran dos puntos materiales, situados a cierta distancia uno de otro, sucede como si se atrajeran con una fuerza dirigida siguiendo la recta que los une, proporcionalmente al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia”.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Si representamos por m y m' las masas de los dos puntos materiales a que se refiere la hipótesis de Newton, por d la distancia que los separa y por f la fuerza de atracción, el enunciado de la hipótesis se tiene la fórmula:

$$f = k \frac{m m'}{d^2}$$

La letra k es la constante de proporcionalidad, $k = 6.670 \times 10^{-11}$ Newton metro/seg².

ACELERACIÓN GRAVITATORIA O GRAVEDAD.

Se conoce con este nombre al valor de la aceleración que produce la gravitación sobre un objeto que es dejado en libertad de caída libre dentro de un campo gravitatorio. En nuestro planeta estaremos hablando de la gravedad terrestre; en la luna hablaríamos de la gravedad lunar, etc.

Para determinar la gravedad terrestre en una localidad determinada, es necesario conocer su altitud (altura sobre el nivel del mar) y su latitud (distancia del ecuador hacia los polos). Con estos datos aplicamos la siguiente ecuación:

$$g = g' (1 + 0.0053884 \text{ sen}^2 \lambda) (1 - 0.0000003 h)$$

En donde $g' = 9.7803 \text{ m/seg}^2$

$h =$ altitud en m

$\lambda =$ latitud en grados

Gravedad estándar de la tierra: Se considera como valor estándar al obtenido con altitud cero, es decir a nivel del mar y con latitud de 45°.

$h =$ altitud, $\lambda =$ latitud

$h = 0$, $\lambda = 45^\circ$

Aplicando la ecuación nos da:

$g_0 = 9.80665 \text{ m/seg}^2$

Valor que usualmente se redondea a 9.81 para operaciones en que no se tiene otra información y no son de alta precisión.

Gravedad en el Ecuador.

$h = 0$, $\lambda = 0^\circ$ (ecuador)

Aplicando la ecuación nos da:

$g = 9.7803 \text{ m/seg}^2$

Gravedad en la Ciudad de México a una altura de 2000 m:

$h = 2000$, $\lambda = 20^\circ$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Aplicando la ecuación nos da:

$$g = 9.7806 \text{ m/seg}^2$$

Gravedad en la Ciudad de México a una altura de 2200 m:

$$h = 2200, \lambda = 20^\circ$$

Aplicando la ecuación nos da:

$$g = 9.8265 \text{ m/seg}^2$$

PESO.

Si abandonamos un cuerpo en el espacio, el cuerpo cae; decimos que este fenómeno es debido a la atracción terrestre o gravedad, por lo tanto, ésta es una fuerza, cuya manifestación sobre el cuerpo conocemos con el nombre de peso. Cuando levantamos un cuerpo realizamos un esfuerzo, cuyo valor nos expresa la magnitud de la fuerza aplicada. Las fuerzas no son visibles, nos damos cuenta de ellas por sus efectos; de ahí que se defina como toda causa que produce o tiende a producir un movimiento o a modificarlo.

La unidad de fuerza se define como la fuerza que produce una aceleración unitaria cuando se aplica a la unidad de masa. En el sistema internacional SI, la unidad de fuerza (N) es la fuerza que produciría una aceleración de un m/s^2 sobre una masa de un kg.

En los sistemas de unidades se escoge la masa, la longitud y el tiempo como cantidades fundamentales. Para estas cantidades fundamentales se han adoptado patrones y se han definido las unidades en términos de estos patrones. La fuerza aparece en ellos como una cantidad derivada, determinada por la relación que da la 2^{da} ley de Newton: $F=ma$.

Las dimensiones de la fuerza son las mismas que las de la masa multiplicadas por las de la aceleración. En un sistema en el que las cantidades fundamentales son la masa, la longitud y el tiempo, las dimensiones de la fuerza son, por lo tanto, masa x longitud / tiempo², o sea MLT^{-2} . Arbitrariamente adoptaremos a la masa, la longitud y el tiempo como las cantidades mecánicas fundamentales.

El peso de un cuerpo es la fuerza gravitacional ejercida por la Tierra sobre él. Por ser una fuerza, el peso es una cantidad vectorial. La dirección de este vector es la de la fuerza gravitacional, es decir, dirigida hacia el centro de la tierra. La magnitud del peso se expresa en unidades de fuerza, tales como el newton o el kgf

En general, a la acción de la atracción gravitatoria sobre los cuerpos se le da el nombre de peso y es el resultado de multiplicar su masa por el valor local de la gravedad (peso = mg)

TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Cuando se deja caer libremente a un cuerpo de masa m , su aceleración es la de la gravedad g y la fuerza que actúa sobre él es su peso (w). La segunda ley de Newton, $F=ma$, aplicada a un cuerpo en su caída libre, dará como resultado $w = mg$. Tanto w como g son vectores dirigidos hacia el centro de la Tierra.

Para evitar que un cuerpo caiga debemos ejercer sobre él una fuerza hacia arriba cuya magnitud sea igual a w , para que la fuerza resultante se anule.

Experimentalmente, se ha encontrado que el valor de g es el mismo para todos los objetos situados en el mismo lugar. De esto se deduce que la relación entre los pesos de dos objetos debe ser igual a la relación entre sus masas. Por lo tanto, para comparar masas se puede usar, en la práctica, una balanza analítica que, en realidad, es un instrumento que lo que hace es comparar dos fuerzas dirigidas hacia abajo.

Si una muestra de sal colocada en uno de los platillos de una balanza empuja a éste con la misma fuerza que un kilogramo patrón lo hace sobre el otro platillo, podemos inferir que la masa de la sal es igual a un gramo. Entonces podríamos decir que la sal “pesa” un gramo, aunque un gramo es una unidad de masa y no de peso. Sin embargo, siempre es importante distinguir cuidadosamente entre el peso y la masa.

El peso de un cuerpo, es decir, la atracción hacia abajo que la Tierra ejerce sobre dicho cuerpo, es una cantidad vectorial. La masa del cuerpo es una cantidad escalar. La relación cuantitativa entre el peso y la masa está dada por $w = mg$. Como g varía de un punto a otro de la Tierra, el peso w de un cuerpo de masa m , difiere en los diversos lugares.

Entonces, el peso de un kilogramo de masa en una localidad, donde g es 9.70 m/s^2 es de 9.87 N ; en un lugar donde g sea 9.78 m/s^2 , la misma masa de un kilogramo pesa 9.78 N . Si estos pesos fueran determinados midiendo lo que se alargaría un resorte para equilibrarlos, la diferencia en peso de la misma masa de un kilogramo en los dos sitios diferentes se manifestaría mediante una diferencia pequeña de los alargamientos del resorte en los sitios mencionados. De esto se deduce que, al contrario de la masa de un cuerpo, que es una propiedad física de dicho cuerpo, el peso de éste depende de su posición respecto al centro de la Tierra. Por lo tanto, en diferentes lugares de la Tierra, las lecturas de un dinamómetro serían diferentes, aunque las de una balanza fuesen iguales.

Por lo que ya hemos estudiado, se entiende que el peso de un cuerpo es nulo en aquellas regiones del espacio en que no haya efectos gravitacionales, aunque los efectos inerciales y, por consiguiente, la masa de dicho cuerpo sean iguales a las que tenía en la Tierra. En una nave espacial libre de la influencia de la gravedad, es muy fácil “levantar” un gran bloque de plomo ($w=0$), pero si el astronauta le diera un puntapié, sufriría igualmente de una contusión (la masa no es $m=0$) como si lo hiciese en la Tierra.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

La misma fuerza que se necesita para acelerar a un cuerpo en un espacio libre de gravedad es la que se requiere para hacerlo en una superficie horizontal sin fricción en la Tierra, ya que la masa es la misma en ambos casos.

CENTRO DE GRAVEDAD.

El centro de gravedad es el punto de aplicación de la resultante de las fuerzas de la atracción terrestre, que obran sobre todas las partículas que forman un cuerpo. Cuando se suspende un cuerpo de un hilo, al cabo de cierto tiempo queda en equilibrio y entonces el centro de gravedad se encuentra sobre la dirección del hilo y hacia el interior del cuerpo; de donde se obtiene que todo cuerpo suspendido por su centro de gravedad estará en equilibrio, cualquiera que sea su posición.

Reglas para fijar el centro de gravedad:

- 1^{ra} Si es una recta homogénea, su centro de gravedad está en el punto medio.
- 2^{da} En una superficie o cuerpo homogéneo que tenga centro de figura, su centro de gravedad estará en dicho punto.
- 3^{ra} Un cuerpo que posea un eje de simetría, tiene su centro de gravedad en dicho eje. El eje de simetría es una recta hipotética considerada en el cuerpo, que cuando éste se corta por un plano que pase por el eje, al colocar esa parte del cuerpo sobre un espejo, la imagen completa la forma del cuerpo.

Determinación Experimental del Centro de Gravedad:

Todo cuerpo suspendido de un hilo queda en equilibrio al cabo de cierto tiempo, por lo que hemos considerado que el centro de gravedad se encuentra en la dirección del hilo; suspendiéndolo por otro punto, obtendremos una segunda dirección en la cual también se hallará el centro de gravedad, en el punto en donde se intersectan estas dos direcciones estará el centro de gravedad.

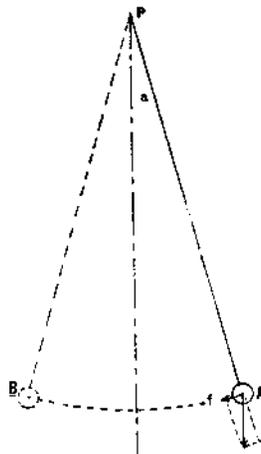
PÉNDULO.

Al hablar de las condiciones de equilibrio de los cuerpos suspendidos, indicamos que estarán en equilibrio estable cuando el punto de suspensión esté por encima del centro de gravedad. Cuando se retiran de su posición de equilibrio, experimentan una serie de movimientos de vaivén antes de alcanzar el estado de reposo, a estos movimientos se les llama oscilatorios o pendulares y el sistema que los efectúa se conoce como péndulo.

Consideremos un péndulo formado con una esfera pequeña, suspendida en el extremo de un hilo, el cual se ha fijado en un punto P. Si desalojamos a la esfera de su posición de equilibrio; efectuará por la resultante de la tensión del hilo con la acción de la gravedad, una serie de oscilaciones antes de llegar a su estado de reposo. El movimiento de ida y vuelta de la esfera lleva el nombre de oscilación completa, (recorrido que hace la

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

esfera de A a B y vuelta al punto A) ; el de ida o el de vuelta se conoce como oscilación simple. El tiempo que dura en efectuarse una oscilación completa se llama período del movimiento pendular ; el ángulo α que forma la vertical con la posición extrema alcanzada, lleva el nombre de amplitud de la oscilación. El movimiento ascendente del péndulo es retardado y el descendente acelerado, porque las intensidades de las componentes retardatriz y aceleratriz varían.



Péndulo Simple. Los físicos estudian el péndulo bajo un punto de vista teórico y entonces le llaman péndulo simple.

Para ellos, el que hemos hecho con la esferita pesada y el hilo, es un péndulo compuesto. El péndulo simple, concepción netamente matemática, está constituido por un punto material pesado unido al extremo de un hilo inextensible y sin peso, suspendido en el vacío y sin frotamiento en el punto de suspensión. Como se ve por la definición anterior, el péndulo simple es algo que no se puede realizar, es un péndulo ideal.

Para que nuestro péndulo esté lo más cercano al péndulo simple, usemos esferas pequeñas de sustancias pesadas (plomo, hierro, etc.) suspendidas por medio de hilos, los cuales se consideran de masa despreciable. Montemos, en un soporte de hierro con pinzas, una esfera de plomo o de hierro de aprox. 1cm de diámetro, suspendida de un hilo delgado de aprox. 1m de longitud.

LEYES DEL PÉNDULO

1^{ra} Ley (del isocronismo):

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Hagamos oscilar el péndulo con pequeña amplitud (no mayor de 3°) y contemos por ejemplo tres veces el número de oscilaciones que se efectúan durante 20 segundos. Se notará que el número de oscilaciones es el mismo en cada observación, de donde se infiere la primera ley descubierta por Galileo, durante una ceremonia religiosa en la catedral de Pisa, al fijar sus ojos sobre una lámpara que se mecía suavemente. Esta ley se enuncia como sigue: ***Las oscilaciones de pequeña amplitud son isócronas.***

2^{da} Ley (de la naturaleza de las sustancias):

Para llegar a la segunda ley, suspendamos de hilos de igual longitud, esferas de igual tamaño, pero de sustancias diferentes, como de plomo, de latón, de aluminio, de madera, etc., la longitud de los péndulos deberá ser la misma y se mide del punto de suspensión al centro de la esfera. Hagamos oscilar a cada uno de estos péndulos, con pequeña amplitud y registremos el tiempo en el que el péndulo oscila digamos 20 veces. Encontraremos como resultado de nuestras observaciones que el tiempo empleado es el mismo en todos los tipos de péndulo, de donde se deduce la segunda ley pendular: ***La duración de las oscilaciones es independiente de la sustancia de que está formada la esfera y del peso de la misma.***

3^{ra} Ley (de las longitudes):

Determinemos la duración de la oscilación de un péndulo de 100 cm. de longitud, registrando el número de oscilaciones efectuadas en veinte segundos ; después observemos el número de oscilaciones para el mismo tiempo, cuando el péndulo tengo longitudes de 40 cm., 90 cm. y 160 cm. Calculemos la duración de una oscilación simple en cada uno de los casos.

Llamando T la duración de la oscilación simple para un péndulo de longitud L y T' para uno de longitud L' se cumple que:

$$\frac{T^2}{T'^2} = \frac{L}{L'} \quad \text{o en la forma:} \quad \frac{T}{T'} = \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{L'}}$$

La última expresión nos lleva a la tercera ley pendular: ***Las duraciones de las oscilaciones son proporcionales a la raíz cuadrada de las longitudes del péndulo.***

4^a Ley (de la intensidad de la gravedad):

Hasta el punto anterior llegaron los trabajos de Galileo. La verdadera fórmula del péndulo fue establecida por Huygens, quien a los 28 años (en el año de 1657) inventó el reloj de péndulo. Huygens para establecer la teoría del péndulo parte del supuesto, de que en un péndulo físico debe existir un punto que oscile, precisamente como si toda la masa estuviese concentrada en él, con lo cual logró el péndulo matemático. A este punto lo llamó “centro de oscilación” y su distancia al punto de suspensión es la longitud matemática del

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

péndulo; de una manera muy ingeniosa y basándose en la geometría llegó a establecer la siguiente fórmula del péndulo para calcular el tiempo Ten segundos del periodo de una oscilación pendular completa como función de la longitud L del péndulo y del valor de la gravedad local g:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Huygens determinó el valor de la aceleración de la gravedad y basado en los trabajos de Richter, llegó a la cuarta ley pendular, la cual se enuncia como sigue: ***La duración de las oscilaciones del mismo péndulo, en dos lugares diferentes, es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de las intensidades de la gravedad en dichos lugares.***

USOS DEL PÉNDULO.

El péndulo tiene una gran aplicación como regulador del funcionamiento de los relojes, para medir el tiempo y para determinar el valor de la intensidad de la gravedad ; con este aparato se han determinado los siguientes valores de la gravedad que consideraremos como más importantes.

Si una partícula en un movimiento periódico se mueve de ida y vuelta sobre la misma trayectoria, decimos que el movimiento es oscilatorio o vibratorio. El universo está lleno de movimientos oscilatorios. Algunos ejemplos de ellos son las oscilaciones del balancín de un reloj, de una cuerda de violín, una masa sujeta a un resorte, los átomos y las moléculas en una estructura cristalina sólida y las moléculas del aire cuando por ellas pasa una onda de sonido

Muchos cuerpos oscilantes no se mueven en vaivén entre límites fijos bien definidos, porque las fuerzas de fricción disipan la energía del movimiento. Así, una cuerda de violín pronto deja de vibrar y un péndulo deja de oscilar. Estos movimientos reciben el nombre de movimientos armónicos amortiguados. Aunque no podemos eliminar la fricción en los movimientos periódicos de los objetos de gran tamaño, a menudo se pueden anular sus efectos de amortiguamiento suministrando energía en el sistema oscilante, de manera de compensar la energía disipada por fricción. El resorte principal de un reloj de pulso y la pesa de un reloj de péndulo suministran la energía externa, de tal forma que el sistema oscilante, es decir, el balancín o el péndulo en cada caso, se mueve como si no estuviese amortiguado.

Para el caso que nos ocupa, que es determinar la gravedad local con ayuda de un péndulo, tenemos un movimiento amortiguado no queriéndolo, debido a ello procuraremos

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

disminuir al mínimo posible el error dando una amplitud mínima a la oscilación, utilizando una esfera del menor diámetro posible y buscando que el punto de giro, que es el soporte del hilo, presente un diseño y colocación que reduzcan al mínimo la fricción. Sin embargo, es de esperarse que el periodo T sea ligeramente mayor al verdadero y por lo tanto, al utilizar la ecuación de Huygens, si despejamos a g tenemos:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

Como puede verse, el valor obtenido de g será ligeramente menor al valor verdadero pues se verá afectado con el cuadrado del error cometido en la obtención del periodo T .

Podemos saber cuál era el valor que debíamos tener para T el cual nos daría el resultado correcto para g ya obtenido para la ciudad de México a una altura de 2200m (valor aproximado de la ubicación del Laboratorio en Acatlán)

$$g = 9.8265 \text{ m/seg}^2$$

Con este valor y para una longitud de péndulo determinada (sea el caso de $L = 0.965 \text{ m}$), despejamos en la ecuación de Huygens:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Obtenemos un valor para T de:

$$T = 6.28318 \sqrt{\frac{.965 \text{ m}}{9.8265 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

$$T = 1.969 \text{ seg}$$

Así que, todas las lecturas menores que el valor de 1.969 s no se deben considerar pues significarían que no hay fricción ni de la esfera con el aire ni en el punto de giro del hilo pendular.

Se conoce con el nombre de *aceleración gravitatoria* o simplemente *gravedad* al valor de la aceleración que produce un campo gravitatorio sobre un objeto que es dejado en libertad de caída libre. En nuestro planeta estaremos hablando de la *gravedad terrestre*; en la luna hablaríamos de la *gravedad lunar*, etc.



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Para determinar la gravedad terrestre en una localidad determinada, es necesario conocer su altitud (altura sobre el nivel del mar) y su latitud (distancia del ecuador hacia los polos). Con estos datos aplicamos la siguiente ecuación:

$$g = g' (1 + 0.0053884 \text{ sen}^2 \lambda) (1 - 0.0000003 h)$$

En donde $g' = 9.7803 \text{ m/seg}^2$

h = altitud en m

λ = latitud en grados

Gravedad en la Ciudad de México.

$h = 2000$, $\lambda = 20^\circ$

Aplicando la ecuación nos da:

$$g = 9.7803 (1 + 0.0053884 \text{ sen}^2 45^\circ) [1 - (0.0000003)(2000)]$$

$$g = 9.7806 \text{ m/seg}^2$$

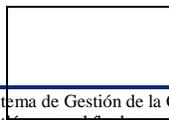
Este valor es nuestro objetivo teórico a conseguir en el desarrollo de la práctica. Para ello emplearemos el método del **dispositivo pendular** que requiere de las siguientes consideraciones a fin de alcanzar el máximo de precisión:

1°.- La lectura de la cuerda debe ser lo más precisa posible y hacerse justo desde el inicio del movimiento del hilo hasta el centro de la masa pendular. Una forma recomendable de hacerlo es proyectando la sombra de la esfera con ayuda de una lámpara sorda colocada perpendicularmente al eje del hilo.

2°.- El tiempo del Periodo (T) del movimiento pendular es la segunda lectura a realizar. En este caso, lo recomendable es realizar una lectura por cada 20 oscilaciones, de esa manera el error provocado por el arranque y paro del cronómetro se minimiza. Otro aspecto a considerar es el hecho de que lo ideal sería poder hacer el movimiento del péndulo dentro de una cámara al vacío a fin de reducir la fricción con el aire. La forma de reducir al mínimo este problema es utilizando una masa de diámetro pequeño (aunque de alto peso específico) y un ángulo de oscilación pendular menor a 5° , de preferencia ubicarse en valores cercanos a los 2° como se ilustra en la siguiente tabla:

| ÁNGULO | ERROR % |
|--------|------------|
| 0.00 % | 0° |
| 0.01 % | 2° |
| 0.11 % | 5° |
| 0.51 | 10° |
| | % |

Además de ayudar en reducir la fricción, el reducir el ángulo (se puede llevar a cabo la práctica con un ángulo de 2°) permite que sea más precisa la ecuación empleada para el péndulo simple:



Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad \therefore \quad g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

3^o.- Por último, es recomendable la formación de equipos y la toma del mayor número posible de mediciones, descartando las de mayor discrepancia respecto a la media a fin de reducir la desviación típica estándar a valores aceptables estadísticamente.

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

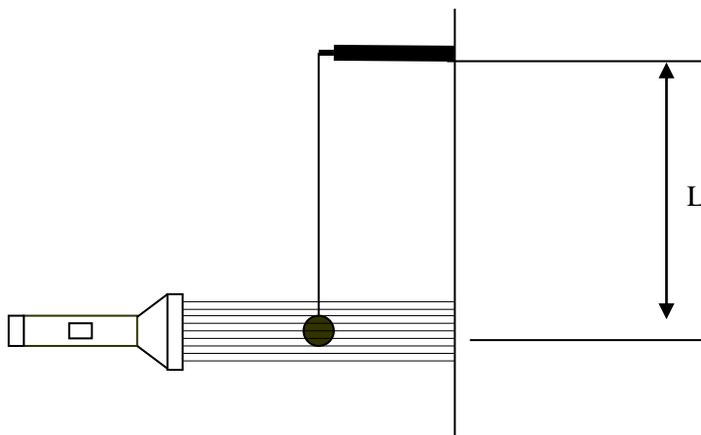
1. Péndulo Simple
2. Cronómetro
3. Linterna sorda
4. Soporte Universal
5. Mesa nivelada
6. Transportador angular
7. Escala graduada en cm y mm

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

Cada equipo formado llevará a cabo los siguientes pasos y al final se reunirá la información de todos los equipos para lograr mayor número de datos y aproximar así la media estadística al valor teórico esperado.

1^{er} paso: Determinar el valor de la longitud del péndulo.

Con ayuda del Soporte Universal y la mesa nivelada, se deberá colocar la lámpara perpendicular al eje del hilo. Al proyectar la sombra se podrá medir con precisión la longitud L del péndulo.

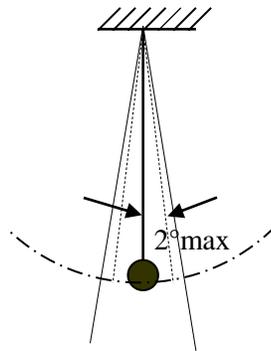


Cada equipo deberá obtener el valor de L verificándolo cuidadosamente.

2^{do} paso: Provocar la oscilación del péndulo.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

La misma linterna nos permitirá proyectar la sombra del movimiento y si antes trazamos unas líneas que nos limiten el ángulo a digamos 3° , con facilidad podremos controlar la amplitud de las oscilaciones en un ángulo de preferencia a 2° max. en el momento de la lectura.



3^{er} paso: Toma de la lectura del Periodo.

Antes de la toma de la lectura con el cronómetro se debe revisar que el movimiento del péndulo esté en un plano paralelo a la pared, que no tenga vibración vertical y que el ángulo esté dentro del límite de 2° max. La vista del alumno que opera el cronómetro debe ser al nivel de la lámpara a fin de asegurar una debida apreciación; activará el cronómetro y contará 10 oscilaciones completas antes de detenerlo. Anotará la lectura y procederá a repetirla, cuidando de que las oscilaciones no hayan disminuido en amplitud tanto que sea difícil apreciar el movimiento. En caso de ser así, se deberá nuevamente de iniciar el movimiento pendular aumentando la amplitud como se indica anteriormente. Se recomienda anotar los datos en una tabla como la indicada a continuación.

5. RESULTADOS

Equipo:

| LECTURA | Tiempo registrado | Tiempo / 20 | Elim | T (segundos) | Observaciones |
|---------|-------------------|-------------|------|--------------|---------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| ... | | | | | |
| | | | | T = | |

4^o paso: Cálculo del valor de **g**



**TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA**

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Con el valor de la longitud verificada y el valor promedio del periodo previamente eliminadas las dos lecturas más discrepantes, se procede a calcular el valor de g empleando la fórmula ya descrita anteriormente. Los valores obtenidos por al menos tres equipos se incluirán en la siguiente tabla:

| EQUIPO | L | T | $g (m/s^2)$ | Observaciones |
|----------|---|---|-------------|---------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Promedio | | | $\bar{g} =$ | |

DESARROLLO DE UNA PRÁCTICA EXPERIMENTAL

EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO:

1. Péndulo Simple
2. Tres cronómetros
3. Linterna sorda
4. Soporte Universal
5. Mesa nivelada
6. Transportador angular
7. Escala graduada en cm y mm

DESARROLLO:

Para obtener la longitud del hilo al centro de la esfera se hicieron tres mediciones y se sacó un promedio de:

$$L = 0.965 \text{ metros}$$

Siguiendo los pasos indicados anteriormente para esta longitud pendular de 0.965m, se tomaron las siguientes lecturas de tiempo para 10 oscilaciones completas del péndulo, en un grupo de 12 alumnos formando tres equipos. Los resultados se anotaron en la siguiente tabla:

| Observador | 10 T (seg) | T (seg) |
|------------|------------|---------|
| 1 | 19.78 | 1.978 |
| 2 | 19.80 | 1.980 |
| 3 | 19.80 | 1.980 |
| 4 | 19.62 | *1.962 |
| 5 | 19.83 | 1.983 |
| 6 | 19.55 | *1.955 |
| 7 | 20.04 | 2.004 |
| 8 | 19.79 | 1.979 |



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

| | | |
|----|-------|--------|
| 9 | 19.59 | *1.959 |
| 10 | 19.86 | 1.986 |
| 11 | 19.48 | *1.948 |
| 12 | 19.74 | 1.974 |
| 13 | 19.52 | *1.952 |
| 14 | 19.49 | *1.949 |
| 15 | 19.91 | 1.991 |
| 16 | 19.81 | 1.981 |

Los valores señalados con asterisco (*) los descartamos por ser menores a 1.97361 segundos (como se recomienda en el marco teórico) y el cuadro queda como sigue:

| Observador | 10 T (seg) | T (seg) |
|------------|------------|---------|
| 1 | 19.78 | 1.978 |
| 2 | 19.80 | 1.980 |
| 3 | 19.80 | 1.980 |
| 4 | 19.83 | 1.983 |
| 5 | 20.04 | 2.004 |
| 6 | 19.79 | 1.979 |
| 7 | 19.86 | 1.986 |
| 8 | 19.74 | 1.974 |
| 9 | 19.91 | 1.991 |
| 10 | 19.81 | 1.981 |

El valor del observador 5 se sale de la tendencia estadística de los demás y, como ya se ha indicado, debe también descartarse por lo que los únicos valores válidos y con los cuales se debe trabajar son:

| Observador | 10 T (seg) | T (seg) |
|------------|------------|----------------|
| 1 | 19.78 | 1.978 |
| 2 | 19.80 | 1.980 |
| 3 | 19.80 | 1.980 |
| 4 | 19.83 | 1.983 |
| 5 | 19.79 | 1.979 |
| 6 | 19.86 | 1.986 |
| 7 | 19.74 | 1.974 |
| 8 | 19.91 | 1.991 |
| 9 | 19.81 | 1.981 |
| PROMEDIO | | 1.98133 |

Factor de corrección al tiempo del periodo: Recordemos que el movimiento del péndulo debiera hacerse al vacío con el fin de eliminar la fricción del aire con la bola y el hilo, además de la fricción en el punto de giro del péndulo. El efecto buscado es acelerar el movimiento lo cual se puede conseguir si al tiempo



**TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA**

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04
del periodo le aplicamos un factor de reducción equivalente al 0.2 % (lo que se obtiene si multiplicamos por $1-0.2/100 = 0.998$).

$$T = 1.98133 \times 0.998 = 1.977367$$

Este tiempo es el más cercano al valor real que se puede conseguir en el laboratorio habiendo aplicado las correcciones debidas.

Aplicándolo a la ecuación para calcular g se tiene:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} = \frac{(39.4784176)(0.965)}{(1.977367)^2} = \frac{38.096673}{3.909982} = \underline{\underline{9.74344}}$$

El error lo podemos obtener de la siguiente manera:

$$\varepsilon = \frac{9.7806 - 9.74344}{9.7806} = 0.0038 = 0.38 \%$$

Nota: Es recomendable un error no mayor al 0.5 % por lo que para este grupo de alumnos se consideró correcta la práctica realizada.

6. CONCLUSIONES

En este espacio el alumno describirá las conclusiones a las que haya llegado, comparando los resultados obtenidos contra lo esperado, analizando las fuentes de error, indicando sus propias observaciones y describiendo la importancia del aprendizaje realizado.

7. FUENTES DE CONSULTA

El alumno, en su reporte deberá incluir una introducción teórica en referencia al objetivo de la práctica, debe anotar la bibliografía consultada señalando Autor, Editorial y Edición de los libros consultados. En caso de obtener información de Internet, debe indicar el Sitio consultado.

SESIÓN PRÁCTICA NO. 2

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE DIVERSAS MUESTRAS DE LÍQUIDOS Y SÓLIDOS

1. OBJETIVO

1.1 *Objetivo general*

Determinar la densidad de diferentes muestras de líquidos y sólidos, empleando para el primer caso un picnómetro de volumen conocido.

1.2 *Objetivos específicos*

1.2.1 Establecer la diferencia entre la masa y el peso de un cuerpo en diferentes lugares de la Tierra.

1.2.2 Obtener el peso y la masa de cuerpos sólidos regulares (de forma geométrica) de cuerpos sólidos irregulares y de líquidos.

1.2.3 Obtener la densidad de diversas muestras líquidas y sólidas.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1 *Antecedentes*

El arquitecto romano Vitruvio nos cuenta que el rey Hierón de Siracusa, patria de Arquímedes, encargó a éste la investigación de la ley de una corona de oro, porque abrigaba la sospecha de que existiera fraude, por parte del joyero a quien había encomendado la obra. El ilustre sabio de Siracusa reflexionó largo tiempo sobre el problema, sin llegar a su solución; estando un día bañándose observó que los cuerpos sumergidos desalojan cierta cantidad de agua y que perdían gran parte de su peso. Aquellos hechos le surgieron un método de investigación y fue tal su entusiasmo, que sin vestirse siquiera, salió del baño y desnudo se echó a correr por las calles de su tierra natal, gritando alegremente: ¡Eureka! (¡lo encontré!). En sus experimentos comparó las cantidades de agua desalojadas al sumergir la corona y masas de oro y de plata del mismo peso, descubriendo por este medio la falsificación de la corona de oro, hecha con plata.

Todos estamos familiarizados con el hecho de que un pequeño fragmento de un material puede ser más pesado que otra pieza más grande de otro, por lo que la distinción entre ellos la dará la masa de la unidad de volumen de la sustancia denominada densidad.

No hay en la naturaleza dos sustancias que en las mismas condiciones de temperatura y presión tengan la misma densidad.

Esta característica de los cuerpos la podemos comprender mejor imaginando una serie de cubos de un centímetro por lado, o sea que tengan el mismo volumen (1 cm^3) y que la materia que los forma sea distinta, por ejemplo: ver las muestras del laboratorio.

Si pesamos mediante una balanza de precisión cada una de las muestras y determinamos su masa mediante la relación de la segunda ley de Newton, y la dividimos entre su volumen, el resultado se llama densidad.

2.2 Densidad absoluta

La **masa específica o densidad absoluta** de una sustancia se define como la relación de su masa con respecto al volumen que ocupa, en el sistema cgs la masa específica es la masa en gramos, contenida en un cm^3 de la sustancia:

La expresión algebraica que define a la densidad es:
$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa del cuerpo}}{\text{volumen del cuerpo}}$$

y se representa como:
$$\rho = \frac{m}{V}$$

En el sistema internacional de unidades SI la densidad se define en $\frac{\text{kg}_m}{\text{m}^3}$

2.3 Densidad relativa

La **densidad relativa** es la relación que existe entre las masas de volúmenes iguales de dos sustancias o cuerpos. Se ha aceptado para el caso de líquidos y sólidos tomar como unidad al agua y para los gases al aire. Los cantidades que representan las densidades de los líquidos y de los sólidos, indican las veces que estas sustancias son más pesadas que el agua (a 4°C se tiene una $\rho_{\text{agua}} = 1000 \text{ kg}_m/\text{m}^3$). La densidad relativa es una cantidad adimensional que tiene la siguiente ecuación:

$$\rho_{\text{rel}} = \frac{\rho_{\text{sustancia}}}{\rho_{\text{agua}}} \quad (\text{adimensional}) \Rightarrow \rho_{\text{sustancia}} = \rho_{\text{rel}} \times \rho_{\text{agua}}$$

en general debemos recordar que en el nivel del mar: $\rho_{\text{agua}} = 1 \frac{\text{kg}_m}{\text{dm}^3}$

Densidades de algunas sustancias a 0°C y 1 atmósfera de presión

| Sustancia | Densidad ρ (g_m/cm^3) | Densidad ρ (Kg_m/m^3) | Sustancia | Densidad ρ (g_m/cm^3) | Densidad ρ (Kg_m/m^3) |
|----------------|---|---|----------------------------|---|---|
| Sólidos | | | Líquidos | | |
| Madera | 0.5 a 0.8 | 500 a 800 | Éter | 0.713 | 713 |
| Hielo | 0.92 | 920 | Gasolina | 0.700-0.745 | 700 a 745 |
| Concreto | 2.30 | 2,300 | Acetona | 0.792 | 792 |
| Vidrio | 2.60 | 2,600 | Alcohol etílico | 0.789 | 789 |
| Aluminio | 2.70 | 2,700 | Aguarrás | 0.870 | 870 |
| Mármol | 2.70 | 2,700 | Benceno | 0.878 | 878 |
| Zinc | 7.10 | 7,100 | Aceite de olivo | 0.916 | 916 |
| Fierro | 7.40 | 7,400 | Agua (4°C) | 1.000 | 1,000 |
| Hierro y acero | 7.80 | 7,800 | Agua de mar | 1.029 | 1,029 |
| Bronce | 8.50 | 8,500 | Leche | 1.029 | 1,029 |
| Latón | 8.70 | 8,700 | Glicerina | 1.264 | 1,264 |
| Cobre | 8.90 | 8,900 | Mercurio | 13.600 | 13,600 |
| Plata | 10.50 | 10,500 | | | |



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

| | | | | | |
|---------|-------|--------|--------------|-----------------------------|---|
| Plomo | 11.30 | 11,300 | Gases | (g / cm³) | (Kg_m / m³) |
| Oro | 19.30 | 19,300 | Hidrógeno | 0.000090 | 0.090 |
| Platino | 21.40 | 21,400 | Helio | 0.000178 | 0.178 |
| | | | Nitrógeno | 0.001260 | 1.260 |
| | | | Aire | 0.001290 | 1.290 |
| | | | Oxígeno | 0.001430 | 1.430 |

2.4 *Peso Específico*

El **peso específico** de una sustancia se define como la relación de su peso con respecto al volumen que ocupa, el peso específico es el peso de un cm³ de la sustancia y en el sistema cgs se expresa en *dinas/cm³* o en \bar{g}/cm^3 . Cuando la unidad de peso empleada es el gramo; el peso específico del agua destilada, a la temperatura de 4 °C es $1 \bar{g}/cm^3$ y en el sistema internacional SI el peso específico se expresa en \bar{kg}/m^3 .

La expresión algebraica que define al peso específico es:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{peso del cuerpo}}{\text{volumen del cuerpo}}$$

y se representa como: $\gamma = \frac{w}{V}$

Nota: En Mecánica de Suelos a “ γ ” se le denomina **peso volumétrico**.

Otra relación útil para determinar el peso específico la obtenemos mediante la substitución de la densidad:

$$\gamma = \frac{w}{V} = \frac{m g}{V} = \frac{m}{V} g = \rho g$$

$$\therefore \gamma = \rho g$$

2.5 *Principio de Arquímedes*

Para comprobar esta aseveración se efectúa el siguiente experimento: El cuerpo que pende del dinamómetro se introduce en un vaso con tubo de derrame y lleno de líquido, el líquido desalojado escurre por el tubo lateral al vaso pequeño, el cual ha sido previamente pesado; pesando de nuevo el vaso con el líquido que desplazó el cuerpo, se obtiene por diferencia el peso del líquido, el cual es igual a la diferencia entre los pesos registrados por el dinamómetro antes de sumergir el cuerpo y después de sumergirlo.

En la actualidad no nos causa asombro observar que cuerpos más pesados que el agua y el aire floten en ellos. Vemos con naturalidad que enorme buques, cuyos pesos sobrepasan las 100,000 toneladas, recorren los mares a grandes velocidades. Un trozo de corcho o de madera seca colocado sobre el agua flota, lo cual no sucede con un trozo de plomo, pero si laminamos éste y le damos la forma de un barquichuelo, también lograremos que flote en el agua. Estos hechos nos indican las condiciones para



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

que los cuerpos floten, y en dichos fenómenos el peso del cuerpo está equilibrado por la fuerza de **empuje del líquido**.

Colguemos de un dinamómetro un trozo de roca, anotemos el peso que registra el aparato; si ahora se introduce la roca en el agua, el dinamómetro indicará un peso menor, esta diferencia es igual al peso del líquido desplazado. Para comprobar esta aseveración se efectúa el siguiente experimento: el cuerpo que pende del dinamómetro se introduce en un vaso con tubo de derrame y lleno de líquido, el líquido desalojado escurre por el tubo lateral al vaso pequeño, el cual ha sido previamente pesado; pesando de nuevo el vaso con el líquido que desplazó el cuerpo, se obtiene por diferencia el peso del líquido, el cual es igual a la diferencia entre los pesos registrados por el dinamómetro antes de sumergir el cuerpo y después de sumergirlo. Es decir, utilizando un vaso con tubo de derrame, se confirma que el peso del líquido desalojado es igual al concepto denominado **empuje E**. Este hecho muestra el principio de Arquímedes, matemático griego (287-212 a.C.), el cual se enuncia como sigue:

Todo cuerpo sumergido en un líquido, experimenta un empuje E de abajo hacia arriba igual al peso del líquido desalojado.

El punto en donde se encuentra aplicado el empuje se llama **centro de presiones** y estará en el centro de gravedad del cuerpo, si éste es homogéneo y uniforme.

De la expresión de peso específico:

$$\gamma = \frac{w}{V} \Rightarrow w = \gamma V$$

si llamamos empuje E a este peso w del líquido desalojado, tenemos:

$$E = \gamma V$$

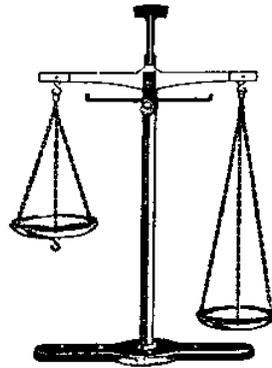
Por lo que hemos dicho anteriormente, sabemos que todo cuerpo colocado en un líquido está afectado por dos fuerzas verticales: una, el peso del cuerpo, dirigida hacia abajo y aplicada en su centro de gravedad; la otra, el empuje, dirigida hacia arriba, de intensidad igual al peso del líquido desalojado y aplicado en el centro de presiones. Como resultado de la acción de estas fuerzas se puede tener:

- Si el peso del cuerpo es menor que el empuje, como sucede con un trozo de corcho o de madera seca en el agua; de bronce, zinc, aluminio o hierro en el mercurio, el cuerpo flota.
- Si colocamos un trozo de hierro en el agua se hunde, esto sucede porque el peso del cuerpo es mayor que el empuje que experimenta.
- Cuando el peso del cuerpo y el empuje que experimenta en el líquido tienen la misma intensidad, el cuerpo se mantiene entre dos capas líquidas.

La fuerza de flotación o empuje hidrostático ocurre porque la presión en un fluido se incrementa con la profundidad. No debemos confundir el concepto de empuje, que relaciona al peso de un cuerpo con el volumen de desplazamiento, con las cargas de presión a las que está sujeto el cuerpo cuando se hunde, ya que en este último caso se deben considerar las fuerzas debidas al peso del líquido que se encuentra encima del cuerpo; recordemos que un cuerpo sumergido se hundirá si el peso del fluido que desaloja el empuje es menor que el peso del cuerpo. Si el peso del fluido desalojado es exactamente igual al peso del cuerpo sumergido, no se hundirá ni se elevará, estando el cuerpo en equilibrio. Si el peso del fluido desalojado excede al peso del cuerpo sumergido, el cuerpo se elevará a la superficie y flotará.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

El empuje de los líquidos sobre los cuerpos sumergidos, se puede comprobar también por medio de la balanza hidrostática; una de las formas más usadas en la actualidad, en los laboratorios escolares, porque se presta para usarla en otros ejercicios experimentales. El cuerpo se cuelga por medio de un hilo de seda, del gancho del platillo corto, en el otro platillo se colocan las pesas hasta lograr el equilibrio, éstas representan el peso del cuerpo. Se introduce el cuerpo en el agua, y se observa que la balanza se inclina del lado de las pesas; para restablecer el equilibrio, se colocan pesas en el plato corto; cuando se logra se tiene que el peso de estas pesas representan al empuje, porque lo equilibran. Utilizando un vaso con tubo de derrame, se confirma que el peso del líquido desalojado es igual al empuje. Estos hechos y otros de igual índole muestran el principio de Arquímedes.



Balanza hidrostática

2.6 *Cuerpos sumergidos y cuerpos flotantes*

Por lo que hemos dicho anteriormente, sabemos que todo cuerpo colocado en un líquido está solicitado por dos fuerzas verticales: una, el peso del cuerpo, dirigida hacia abajo y aplicada en su centro de gravedad; la otra, el empuje, dirigida hacia arriba, de intensidad igual al peso del líquido desalojado y aplicada en el centro de presiones. Como resultado de la acción de estas dos fuerzas se tiene:

1. Si el peso del cuerpo es menor que el empuje, como sucede con un trozo de corcho o de madera seca en el agua; o de bronce, zinc, aluminio o fierro en el mercurio, el cuerpo flota.
2. Si colocamos un trozo de fierro en el agua se hunde, esto sucede porque el peso del cuerpo es mayor que el empuje que experimenta.
3. Cuando el peso del cuerpo y el empuje que experimenta en el líquido tienen la misma intensidad, el cuerpo se mantiene entre dos capas líquidas.

Los tres fenómenos anteriores se pueden observar utilizando un huevo de gallina; este cuerpo se hunde en agua potable y flota en una solución concentrada de sal de cocina; pero se logra, que el huevo permanezca entre dos capas líquidas, agregando al agua potable pequeñas cantidades de la solución salina. Con el ludión o diablillo de Descartes, se puede lograr el mismo fenómeno, únicamente con oprimir la membrana que cubre el recipiente; pero en este caso se logra el fenómeno por la penetración del líquido en la esferita flotadora, al variar la presión, con ello aumenta la densidad del conjunto y tiende a hundirse.



Ludión o diablillo de Descartes

2.7 Volumen específico

El volumen específico de una sustancia se define como el volumen por unidad de masa, y se usa el símbolo “ v ”. Si la densidad de una sustancia se define como la masa por unidad de volumen, es por tanto, el recíproco del volumen específico. El volumen específico y la densidad son propiedades intensivas (independientes de la masa).

$$v = \frac{V}{m} \quad \text{y también} \quad v = \frac{1}{\rho} \quad \left(\frac{m^3}{kg_m} \right)$$

El volumen específico de un sistema en un campo gravitacional puede variar de un punto a otro. Por ejemplo, considerando la atmósfera como un sistema, el volumen específico aumenta con la elevación. Por tanto, la definición del volumen específico se refiere a dicha propiedad de la sustancia en un punto de un sistema. Las propiedades serán intensivas o extensivas. Las propiedades intensivas son independientes del tamaño de un sistema, como la temperatura, la presión y la densidad. Los valores de las propiedades extensivas dependen del tamaño o extensión del sistema. La masa m , el volumen V y la energía total E son algunos ejemplos de propiedades extensivas. Una manera fácil para determinar si una propiedad es intensiva o extensiva es dividir el sistema en dos partes iguales, con una separación. Cada parte tendrá el mismo valor de propiedades intensivas que el sistema original, pero la mitad del valor de las propiedades extensivas. Las propiedades extensivas por unidad de masa se llaman propiedades específicas. Un ejemplo de propiedad específica es lógicamente dicho volumen específico (v).

2.8 Areómetros y densímetros

El problema económico y las exigencias industriales, dieron lugar a que los técnicos construyeran aparatos de manejo sencillo, para la determinación del peso específico “ γ ” de líquidos y de soluciones. Estos aparatos llevan el nombre de areómetros y densímetros y para operar con ellos no se requiere más preparación que los conocimientos rudimentarios que posee cualquier trabajador. Son instrumentos que basándose en el principio de Arquímedes, sirven para determinar las densidades y concentraciones de los líquidos. Constan de una ampolla de vidrio, que lleva debajo otra más pequeña cargada de lastre para que el densímetro se mantenga vertical. La ampolla grande se prolonga por su parte superior en un vástago delgado de vidrio, en el cual se pueden leer directamente las densidades. Se dividen en dos clases: **de volumen constante y de peso constante**. Los primeros tienen un enrase fijo, al que se llega añadiendo o quitando lastre al instrumento. En



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

los segundos (utilizados en nuestro laboratorio), el peso del aparato no varía, sumergiéndose el vástago en razón inversa a la densidad del líquido.

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

1. Muestras de diversos materiales
 - a) **Líquidos:** agua, aceite, acetona, glicerina, alcohol, mercurio, etc.
 - b) **Sólidos:** aluminio, fierro, cobre, plomo, roca (grava) etc.
2. Balanza de precisión
3. Picnómetro
4. Termómetro
5. Vasos de precipitado de volúmenes diversos (juego de 50, 100, 200, 500 y 1000 cm³)
6. Probetas graduadas de volúmenes diversos (juego de 200, 500 y 1000 cm³)
7. Calibrador con vernier y escala (regla) graduada en cm. y mm.
8. Densímetros
9. Toallas de papel y franela

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

4.1 Determinación de la densidad de una sustancia

Para determinar la densidad de una sustancia, se requiere conocer tanto el valor de la masa como el de su volumen; y para la masa, a su vez se requiere la obtención del peso, aplicando la ecuación de la segunda ley de Newton:

4.1.1 Obtención de la masa

La obtención de las masas de las diferentes muestras líquidas y sólidas se realiza mediante el registro de sus pesos, aplicando la ecuación de la segunda ley de Newton:

- a) Si el peso se obtiene en \overline{kg} y “g” es el valor de la gravedad local:

$$w = m g \quad \text{entonces} \quad m = \frac{w}{g}$$

aplicando la constante gravitacional g_c , tenemos:

$$peso = \frac{\text{masa} \times \text{aceleración de la gravedad local}}{g_c} \quad \text{es decir:} \quad w = \frac{m g_{local}}{g_c}$$

$$\text{por lo tanto:} \quad m = \frac{w g_c}{g_{local}} \quad \text{siendo} \quad g_c = 9.81 \frac{kg_m \times m}{kg \times s^2}$$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$m = w(\bar{kg}) \times \frac{9.81 \frac{kg_m \times m}{kg \times s^2}}{9.78 \frac{m}{s^2}} = w(\bar{kg}) \times 1.003 \frac{kg_m}{kg} = 1.003 w(kg_m)$$

b) Si el peso se proporciona en “ \bar{g} ” entonces:

$$m = \frac{w g_c}{g} \quad \text{siendo} \quad g_c = 981 \frac{g_m \times cm}{g \times s^2}$$

$$m = w(\bar{g}) \frac{981 \frac{g_m \times cm}{g \times s^2}}{978 \frac{cm}{s^2}} = w(\bar{g}) \times 1.003 \frac{g_m}{g} = 1.003 w(g_m)$$

Con la expresión anterior observamos que para obtener la masa en la Ciudad de México, basta con multiplicar el valor del peso (obtenido en la Ciudad de México) por la constante 1.003, con lo cual analíticamente obtenemos una recta en forma simplificada que pasa por el origen y su pendiente es 1.003, por lo tanto:

$$1.003 = \frac{m}{w} \left(\frac{kg_m}{kg} \right)$$

$$m = 1.003 w \left(\frac{kg_m}{kg} \times \bar{kg} = kg_m \right)$$

Las unidades resultantes se encuentran dadas en gramos masa o kilogramos masa.

Para obtener la masa de nuestras muestras solo es necesario multiplicar la constante 1.003 por las lecturas del peso registrado y aplicar los criterios señalados.

Para obtener el peso de las muestras líquidas en forma indirecta, se pesa la probeta vacía y posteriormente se pesa conteniendo a la sustancia y la diferencia de pesos proporciona como resultado el peso del líquido.

4.1.2 Experimentos realizados

Para la Ciudad de México:
$$m = w(\bar{g}) \left(\frac{981 \frac{g_m \times cm}{g \times s^2}}{978 \frac{cm}{s^2}} \right) = w(\bar{g}) \left(1.003 \frac{g_m}{g} \right)$$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

- 1) Para la muestra líquida de agua:

$$\text{peso del agua: } w = \text{_____ } \bar{g}$$

$$\text{masa del agua: } = m = \text{_____ } \bar{g} \times 1.003 \frac{g_m}{g} = \text{_____ } g_m$$

- 2) Para la muestra líquida de acetona:

$$\text{peso de la acetona: } w = \text{_____ } \bar{g}$$

$$\text{masa de la acetona: } = m = \text{_____ } \bar{g} \times 1.003 \frac{g_m}{g} = \text{_____ } g_m$$

- 3) Para la muestra sólida de plomo (Pb) en forma de cubo:

$$\text{peso del plomo: } w = \text{_____ } \bar{g}$$

$$\text{masa del plomo: } = m = \text{_____ } \bar{g} \times 1.003 \frac{g_m}{g} = \text{_____ } g_m$$

- 4) Para la muestra sólida de cobre (Cu) en forma de cilindro:

$$\text{peso del cobre: } w = \text{_____ } \bar{g}$$

$$\text{masa del cobre: } = m = \text{_____ } \bar{g} \times 1.003 \frac{g_m}{g} = \text{_____ } g_m$$

- 5) Para la muestra de roca (grava) de forma irregular:

$$\text{peso de la roca: } w = \text{_____ } \bar{g}$$

$$\text{masa de la roca: } = m = \text{_____ } \bar{g} \times 1.003 \frac{g_m}{g} = \text{_____ } g_m$$

4.2 Determinación de la densidad de sustancias líquidas mediante el picnómetro y otros instrumentos de medición

4.2.1 Actividades propuestas

Se describirá el instrumento de medición llamado picnómetro y sus características, comparándolo con la probeta y el vaso de precipitados. El picnómetro cuenta con un termómetro el cual será utilizado para señalar la temperatura a la que se realizó el experimento.

4.2.2 Planeación del experimento

Se determina la temperatura de la muestra y mediante la balanza de precisión se obtiene su peso y con el picnómetro su volumen (de no existir el picnómetro se utilizará una probeta graduada o un vaso de precipitados).

4.2.3 Desarrollo del experimento mediante el uso del picnómetro, vaso de precipitados o probeta

Cada equipo o brigada de alumnos, llevará a cabo los siguientes pasos y al final se reunirá la información de todos los equipos para lograr mayor número de datos y aproximar así la media estadística al valor teórico esperado.

1.- Se obtiene el peso del picnómetro (del vaso de precipitados o de la probeta) que utilizaremos mediante la balanza de precisión y se determina su masa (a partir de la segunda ley de Newton) cuidando que el equipo este completamente limpio y seco. Esta masa la señalaremos como m_1 .

2.- A continuación se llena el picnómetro (vaso de precipitados o probeta seleccionada) hasta el nivel de aforo obteniendo así el volumen de la muestra "V". Se pesa el picnómetro que contiene el líquido muestra y se obtiene la masa m_2 , calculando la diferencia de masas $m_2 - m_1$ hallamos la densidad de la sustancia

seleccionada mediante la siguiente expresión:
$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \left(\frac{g_m}{cm^3} \right)$$

3.- Se indicará la temperatura a la que se realizó el experimento.

4.3 Determinación de la densidad de sustancias sólidas

Para el caso de muestras sólidas, se procede a determinar su masa (a partir del concepto de peso) con ayuda de la balanza de precisión procurando que la muestra este limpia y seca.

A continuación se determina su volumen, si el cuerpo es un sólido geométrico (regular) se cubica con la fórmula correspondiente y si se trata de un cuerpo irregular, se sumerge dentro de agua con ayuda del vaso de precipitado y/o de la probeta, midiendo el volumen del líquido desalojado, el cual será el volumen de la muestra, para materiales porosos se recomienda cubrirlos con un elemento de plástico ligero, y específicamente para la grava se podrá humedecer obteniendo su volumen real por desplazamiento.

Conociendo el volumen y la masa se aplica la fórmula mencionada.

$$\rho = \frac{m}{V} \left(\frac{g_m}{cm^3} \right)$$

Es importante hacer notar que con la temperatura el volumen de los cuerpos cambia por lo que es necesario registrarla para realizar el experimento.

Observación: El experimento debe repetirse el mayor número de veces con diferentes muestras de líquidos y sólidos y comparar los resultados con los valores de tablas.

4.3.1 Procedimiento

1. Registrar la temperatura de la muestra.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

2. Tarar la balanza de precisión.
3. Pesar todas las muestras y anotar sus resultados en unidades de fuerza.
4. Aplicar la ecuación de Newton para obtener las masas de las muestras.
5. Obtener el volumen de las muestras.
6. Registrar las lecturas.
7. Efectuar sus cálculos.

5. RESULTADOS

5.1 Resultados y análisis de muestras líquidas

Tabla 1 Se obtiene mediante el uso del picnómetro

| Muestra | Temp. en °C | Peso en \bar{g} | Masa en g_m | Volumen en cm^3 | Densidad teórica g_m/cm^3 | Densidad calculada g_m/cm^3 | Diferencia $\rho_t - \rho_c$ g_m/cm^3 |
|-----------|-------------|-------------------|---------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| Agua | | | | | | | |
| Acetona | | | | | | | |
| Glicerina | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Tabla 2 Se obtiene a partir de la definición de densidad mediante el uso del vaso de precipitados o de una probeta

| Líquido | Peso de la probeta Vacía w_1 en \bar{g} | Masa de la probeta vacía m_1 en g_m | Peso de la probeta llena w_2 en \bar{g} | Masa de la probeta llena m_2 en g_m | Masa del líquido en g_m | Volumen en cm^3 | Densidad ρ g_m/cm^3 |
|-----------|---|---|---|---|---------------------------|-------------------|----------------------------|
| Agua | | | | | | | |
| Acetona | | | | | | | |
| Glicerina | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Procedimiento mediante el uso del densímetro

Describir el densímetro y explicar su utilización.

1. Tomar la lectura de la temperatura de la muestra.
2. Introducir el densímetro en la muestra líquida
3. Tomar la lectura directa de la densidad de la muestra.
4. Comprobar los resultados obtenidos.

| Muestra | Temperatura °C | Densidad teórica g_m/cm^3 | Lectura densímetro g_m/cm^3 | Diferencia g_m/cm^3 |
|---------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Tabla 3: Muestras de forma cúbica de materiales predeterminados

| Muestra | Símbolo | Peso \bar{g} | Masa g_m | Cálculo del volumen en cm^3 | | | | ρ g_m/cm^3 |
|---------|---------|-------------------|---------------|-------------------------------|-------|--------|---------|-----------------|
| | | | | largo | ancho | grueso | volumen | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Tabla 4: Muestras de forma cilíndrica de materiales predeterminados

| Muestra | Peso \bar{g} | Masa g_m | Cálculo del volumen en cm^3 ($\pi r^2 l$) | | | | | ρ g_m/cm^3 |
|---------|-------------------|---------------|---|-------|-------|--------|---------|-----------------|
| | | | diámetro | radio | r^2 | altura | volumen | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Tabla 5: Muestras de forma irregular

TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

| Muestra | Peso \bar{g} | Masa g_m | Volumen cm^3 | ρ g_m/cm^3 |
|---------|-------------------|---------------|-------------------|----------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Tabla 6: Resumen de muestras sólidas

| Muestra | Temp. $^{\circ}C$ | Peso \bar{g} | Masa g_m | Volumen cm^3 | Densidad teórica g_m/cm^3 | Densidad calculada g_m/cm^3 | Diferencia g_m/cm^3 |
|---------|----------------------|-------------------|---------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Aplicaciones en la Ingeniería

La determinación de la masa de un cuerpo es importante en el campo de la Física para determinar la densidad del mismo y frecuentemente nos referimos tanto a sólidos líquidos y gases para analizar problemas en los que se requiere adicionalmente su peso específico. Dentro de la Ingeniería requerimos el análisis de pesos específicos para el estudio de diferentes materiales sujetos a esfuerzos de tensión, compresión y cortantes, en Mecánica de Suelos el peso específico de los materiales se les denomina como pesos volumétricos

Cuestionario

- 1) Explique con sus palabras la diferencia entre masa y peso de un cuerpo y su variación a medida que nos elevamos sobre el nivel del mar.
- 2) Explique los conceptos de densidad y peso específico e indique con valores aproximados, cuál es la variación de ambos conceptos para un cuerpo que se encuentra: a) en el nivel del mar, b) en la Ciudad de México y c) en la Luna.
- 3) Un cuerpo es trasladado desde el nivel del mar cuya constante de aceleración de la gravedad es $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$, hasta la ciudad de México en donde $g = 9.78 \text{ m/s}^2$, indique en qué forma afecta la altura sobre el nivel del mar a la densidad de un cuerpo y a su peso específico.
- 4) ¿Cuánto pesará el aire contenido en un salón de clases de dimensiones $10 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ si cada metro cúbico pesa 1.293 kg .
- 5) Escriba la expresión en la que se muestra que la presión del fluido es directamente proporcional a la profundidad del fluido y a su densidad, efectúe la demostración.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{o} \quad P = \frac{w}{A} \quad (\text{para caída libre})$$

si el peso específico se define como: $\gamma = \frac{w}{V} \Rightarrow w = \gamma V$

sustituyendo en la ecuación de presión: $P = \frac{\gamma V}{A} = \frac{\gamma A h}{A} = \gamma h$

recordando que: $\gamma = \rho g \Rightarrow \boxed{P = \rho g h}$

6) Establezca la relación (ecuación) que nos permita obtener directamente el valor de la masa de un cuerpo con relación al peso obtenido en la Ciudad de México en el sistema cgs.

a) Obtengamos el peso en la Ciudad de México de la muestra (en gramos fuerza): $w \Rightarrow \bar{g}$

b) De la segunda ley de Newton: $w = \frac{m g}{g_c} \Rightarrow m = \frac{w g_c}{g}$

c) Para la Ciudad de México: $g = 9.78 \frac{m}{s^2} = 978 \frac{cm}{s^2}$

d) El valor de la constante gravitacional es: $g_c = 9.80665 \frac{kg_m \times m}{kg \times s^2} = 980.665 \frac{g_m \times cm}{g \times s^2}$

e) La masa de la muestra se obtiene de la expresión: $m = \frac{w g_c}{g}$

$$m = \frac{w (\bar{g}) \times 980.665 \frac{g_m \times cm}{g \times s^2}}{978 \frac{cm}{s^2}} = 1.00272 \frac{g_m}{g} \times w (\bar{g}) = 1.00272 w (g_m)$$

Por lo tanto la expresión para obtener la masa de un cuerpo a partir de su peso calculado en la Ciudad de México es:

$$m = \frac{g_c}{g_{local}} w$$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$m = 1.00272 \frac{g_m}{g} x w(\bar{g}) = 1.00272 w(g_m)$$

$$m = 1.00272 \frac{g_m}{g} x w(\bar{g}) = 1.00272 w(g_m)$$

Observación: Recordemos que los valores prácticos en el nivel del mar para g y g_c están dados por:

$$g = 981 \frac{cm}{s^2} \quad y \quad g_c = 981 \frac{g_m \times cm}{g \times s^2}$$

de tal forma que la variación entre la masa y el cuerpo pesado en la Ciudad de México estará dada por:

$$m = \frac{w(\bar{g}) x 981 \frac{g_m \times cm}{g \times s^2}}{978 \frac{cm}{s^2}} = 1.003 \frac{g_m}{g} x w(\bar{g}) = 1.003 w(g_m)$$

7) Si la densidad del agua es igual a $1 \text{ kg}_m / \text{dm}^3$, obtenga su valor en $\text{lb}_m / \text{pie}^3$.

$$\rho_{\text{agua}} = 1 \frac{\text{kg}_m}{\text{dm}^3} x \frac{2.2046 \text{ lb}_m}{1 \text{ kg}_m} x \frac{(3.048 \text{ dm})^3}{1 \text{ pie}^3} = 62.427 \frac{\text{lb}_m}{\text{pie}^3}$$

8) Se estima que la masa de la Tierra es de $5.98 \times 10^{24} \text{ kg}_m$ y que su radio medio es de $6.38 \times 10^6 \text{ m}$. Calcule su densidad en g_m / cm^3 y en $\text{lb}_m / \text{pie}^3$. Compare este valor con el de la densidad del agua.

Datos:

$$m = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}_m$$

$$r = 6.38 \times 10^6 \text{ m}$$

$$\rho = ?$$

Fórmulas y ecuaciones:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

Solución:

8a) Hallar el volumen de la Tierra: $V = \frac{4}{3} \pi r^3$

$$V = \frac{4}{3} (3.1416) (6.38 \times 10^6 \text{ m})^3 = 1.0878 \times 10^{21} \text{ m}^3$$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

8b) Hallar la densidad de la Tierra: $\rho = \frac{m}{V}$

$$\rho = \frac{5.98 \times 10^{24} \text{ kg}_m}{1.0878 \text{ m}^3} \times \frac{1,000 \text{ g}_m}{1 \text{ kg}_m} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1,000,000 \text{ cm}^3} = 5.497 \frac{\text{g}_m}{\text{cm}^3}$$

8c) En comparación de la densidad del agua, la Tierra tiene una densidad relativa de 5.497

9) Sobre un cubo de madera, flotando en agua (en el nivel del mar) se coloca una pesa de $0.2 \overline{\text{kg}}$. Al retirar la pesa, el cubo se eleva 2 cm . Calcular la longitud de la arista de dicho cubo.

Solución:

9a) Si al retirar la pesa el cubo éste se eleva 2 cm , el volumen de elevación es igual a su base (b) por la altura, es decir, $V_{\text{elevación}} = (2 \text{ cm}) (b \text{ cm}^2) = 2b \text{ cm}^3$

9b) Recordamos que el empuje es igual al peso del volumen del líquido desplazado, es decir, $E = 0.2 \overline{\text{kg}}$ y su volumen es $V = 2b \text{ cm}^3$.

9c) Como el fluido en el cual está sumergido el cubo de madera es el agua con peso específico en el nivel del mar de $\gamma = 1 \overline{\text{kg}}/\text{dm}^3$, entonces de la expresión que relaciona al peso específico con el empuje tenemos:

$$\gamma = \frac{E}{V} \Rightarrow V = \frac{E}{\gamma}$$

$$V = \frac{0.2 \overline{\text{kg}}}{1 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{dm}^3}} = 0.2 \text{ dm}^3 = 200 \text{ cm}^3$$

9d) El volumen del agua desplazada y el volumen de elevación de la madera son iguales, teniendo:

$$V = 2b \text{ cm}^3 \Rightarrow b \text{ cm}^2 = \frac{V}{2 \text{ cm}}$$

$$b \text{ cm}^2 = \frac{200 \text{ cm}^3}{2 \text{ cm}} = 100 \text{ cm}^2$$

considerando que la base es una superficie cuadrada, cada lado tiene como dimensión 10 cm .

$$l = 10 \text{ cm}$$

10) Explique con sus palabras, la forma en que influye la variación de la densidad del concreto en la construcción de una obra de edificación.

En la construcción de obras de edificación se requiere analizar la relación agua-cemento y el tiempo de solidificación que son factores importantes en la determinación de la resistencia del concreto u hormigón. Normalmente, es común una relación agua-cemento de 0.45 a 0.55. Cuando se usa agua en exceso, quedan huecos al evaporarse el agua. El concreto hidráulico y el concreto asfáltico, son materiales de construcción comunes siendo compuestos particulados (formados por partículas) en los cuales un agregado, normalmente grava y arena, se aglutina en una matriz o molde de cemento Portland, o bien de bitumen (alquitrán). La variaciones en las cantidades suministradas de los componentes del concreto darán valores diferentes de su densidad y por lo tanto de su resistencia a esfuerzos mecánicos.

6. CONCLUSIONES

En este espacio el profesor y el alumno describirán las conclusiones a las que hayan llegado, comparando los resultados obtenidos contra lo esperado en teoría, analizando los posibles errores en sus observaciones e indicando la importancia del aprendizaje realizado.

6.1 Conclusiones del profesor

Como observamos los resultados tienen variaciones entre los datos teóricos y los experimentales, un ejemplo que tuvo gran diferencia fue la acetona de la cual su densidad es: $0.792 \text{ g}_m/\text{cm}^3$, y en el experimento se obtuvo $0.882 \text{ g}_m/\text{cm}^3$, aquí pudo influir que en la probeta no era muy preciso obtener la lectura para el volumen porque su rango era amplio.

También influye la temperatura a la cual estuvimos trabajando, porque es causa de la expansión o de la compresión de las muestras

Al conocer las densidades de algunos materiales es importante reconocer algunas con las cuales estará en contacto el ingeniero civil en sus procesos constructivos, tales como el PVC, la grava y la varilla corrugada.

Debe hacerse notar que el peso de un cuerpo se afecta por la gravedad local.

6.2 Conclusiones del alumno

En este espacio el alumno describirá las conclusiones a las que haya llegado, comparando los resultados obtenidos contra lo esperado en teoría, analizando los posibles errores en sus observaciones e indicando la importancia del aprendizaje realizado.



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

7. FUENTES DE CONSULTA

El alumno, en su reporte deberá incluir una introducción teórica en referencia al objetivo de la práctica, debe anotar la bibliografía consultada señalando Autor, Editorial y Edición de los libros consultados. En caso de obtener información de Internet, debe indicar el sitio consultado.

Abbott, Michael M.; Van Ness, Hendrick. *Termodinámica*, México, McGraw-Hill, Serie Schaum, 1986.

Askeland, Donald R. *La ciencia e ingeniería de los materiales*, Grupo Editorial Iberoamérica, 1987.

Beer, Ferdinand P.; Johnston E. Russell Jr.; Dewolf John T. *Mecánica de Materiales*, México, McGraw-Hill Interamericana, tercera edición, 2004.

Brostow, Witold. *Introducción a la ciencia de los materiales*, México, Limusa, 1981.

Cutnell, John D.; Johnson, Kenneth W. *Física*, México, Limusa Wiley, segunda edición, 2004.

Faires, Virgil Moring; Simmang, Clifford Max. *Termodinámica*, México, Limusa, 2004.

Gere, James M.; Timoshenko, Stephen P. *Mecánica de materiales*, International Thomson Editores, cuarta edición, 1998.

Giancoli Douglas C. *Física para universitarios*, volumen I, México, Prentice Hall, tercera edición, 2002.

Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. *Fundamentos de Física*, volúmenes 1 y 2, México, CECSA (Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.), sexta edición en inglés, tercera en español, 2001.

Holman, Jack. P. *Termodinámica*, México, McGraw-Hill, segunda edición, 1975.

Kadambi, V.; Prasad, Manohar. *Conversión de Energía, Termodinámica Básica*, volumen 1, México, Limusa, primera edición, 1983.

Lea, Susan M.; Burke, John Robert. *Física. La naturaleza de las cosas*, volúmenes I y II, International Thomson Editores, 1999.

Resnick, Robert; Halliday, David; Krane, Kenneth S. *Física*, volumen I, Editorial CECSA, quinta edición en español, 2000.

Reynolds, William C.; Perkins, Henry C. *Ingeniería Termodinámica*, México, McGraw-Hill, 1983.

Riley, William F.; Sturges, Leroy D.; Morris, Don H. *Mecánica de materiales*, Limusa Wiley, primera edición, 2001.

Schaum, B.S. Daniel; Van Der Merwe, Carel W. *Física general*, México, McGraw-Hill, Serie Schaum, novena edición, 2001.

Serway, Raymond A. *Física*, tomos I y II, México, McGraw-Hill, quinta edición, 2000.

Shackelford, James F. *Ciencia de materiales para ingenieros*, México, Prentice-Hall Hispano-americana, tercera



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04
edición, 1995.

Streeter, Victor L.; Wylie E., Benjamín; Bedford, Keith W. *Mecánica de fluidos*, México, McGraw-Hill, novena edición, 2000.

Tippens, Paul E. *Física. Conceptos y aplicaciones*, México, McGraw-Hill, sexta edición, 2001.

Van Wylen, Gordon J.; Sonntag, Richard E.; Borgnakke, Claus. *Fundamentos de termodinámica*, México, Limusa Wiley, segunda edición, 2003.



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

SESIÓN PRÁCTICA NO. 3
DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA
LOCAL

1. OBJETIVO

1.1 Objetivo general

Determinar el valor de la presión atmosférica local mediante el experimento de Torricelli.

1.2 Objetivos específicos

1.2.1 Analizar el concepto físico de presión atmosférica, obteniendo las expresiones matemáticas que definen su variación.

1.2.2 Obtener la presión atmosférica local mediante el experimento de Evangelista Torricelli.

1.2.3 Describir el funcionamiento del barómetro de cubeta y comparar su lectura local de la presión atmosférica, con el valor obtenido mediante el experimento de Torricelli.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1 Introducción

Mientras la palabra *atmósfera* (masa de aire) se aplica a toda la envoltura gaseosa que rodea la Tierra, el término *aire* (fluido gaseoso) expresa una porción limitada de esta envoltura; por ejemplo, se habla de un litro de aire, y no de un litro de atmósfera. El aire fue considerado como un elemento por los antiguos alquimistas griegos, junto con la tierra, el fuego y el agua.

La capa gaseosa que rodea a la Tierra lleva el nombre de atmósfera y está constituida por el aire, este gas es una mezcla de varios de ellos, siendo los principales el nitrógeno, el oxígeno, el argón, dióxido de carbono y agua aproximadamente en la siguiente proporción:

Componentes de la atmósfera

| Composición del aire | Volumen (%) | Peso (%) |
|---|-------------|-----------|
| Nitrógeno | 78.03000 | 75.580000 |
| Oxígeno | 20.99000 | 23.080000 |
| Argón | 0.94255 | 1.285296 |
| Dióxido de carbono | 0.03500 | 0.053000 |
| Otros gases inertes o nobles (helio, argón, neón, xenón y kriptón) | 0.00240 | 0.001700 |
| Hidrógeno | 0.00005 | 0.000004 |
| | ----- | ----- |

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

| | | |
|-------------------------|------------------------------|--------------|
| Código: FESA PAL IIC FI | Fecha de emisión: 2022.08.22 | Revisión: 04 |
| | 100.00000 | 100.000000 |

Estos datos se refieren al aire seco, pero la humedad puede variar del 0% al 4%.

Los componentes del aire pueden dividirse en dos grupos: constantes y variables (accidentales).

Los componentes constantes son el nitrógeno, el oxígeno y los gases inertes o nobles (de baja reactividad química, es decir, los átomos no presentan tendencia para combinarse con los demás para formar moléculas, cada elemento se presenta como un gas monoatómico) cuyas proporciones son prácticamente invariables. Además, hay tres componentes siempre presentes, pero cuya cantidad varía según el lugar y el tiempo: a) el dióxido de carbono, b) el vapor de agua y c) el polvo.

Los componentes variables (accidentales) son los demás gases y vapores característicos del aire de una determinada localidad; por ejemplo, el dióxido de azufre (procedente de la quema de carbón sulfúreo, de tostar minerales sulfurados y de la quema de gasolina principalmente); el amoníaco de la materia orgánica en descomposición; los óxidos de nitrógeno resultantes de las descargas eléctricas en la atmósfera durante las tormentas; el óxido de carbono en el aire de las grandes ciudades procedente de los gases de escape de los automotores. En general, estos componentes accidentales se hallan presentes en muy pequeña cantidad pero en ocasiones pueden acumularse en concentraciones letales, tal como en la niebla y lugares de bajas temperaturas ambientales.

El aire lleva siempre en suspensión partículas sólidas llamadas polvo. Estas partículas se componen de diversas sustancias, como arcilla, sales, hollín, fibras vegetales y restos animales. Las partículas de polvo transportan bacterias de un sitio a otro; algunas bacterias son agentes patógenos o que provocan enfermedades, y otras son de utilidad, como las que producen putrefacción y descomposición, sirviendo de agentes para destruir y eliminar la materia orgánica de manera natural o a través de procesos como el tratamiento de aguas.

Aunque se considere como una impureza del aire, el polvo desempeña un papel importante, pues sin él no habría nubes ni lluvia. Las partículas de polvo sirven de núcleos para la condensación del vapor de agua en gotitas, que finalmente caen en forma de lluvia o nieve. En una atmósfera exenta de polvo, el agua se depositaría sobre la superficie de todos los objetos como una película líquida, y cuando el aire llega a sobresaturarse, en este caso en una atmósfera libre de polvo, un paraguas no serviría de protección para impedir mojarse.

2.2 *Atmósfera*

Se llama presión atmosférica o barométrica a la fuerza por unidad de área ejercida por una columna de aire atmosférico. Esta magnitud representa una medida del peso de aire que circula por encima de la superficie terrestre o de las capas atmosféricas.

TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

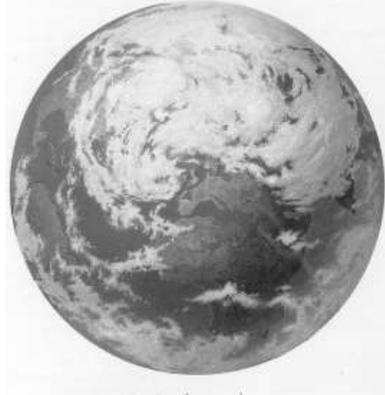
Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

| | | | | |
|--|---|-------------------------------------|---|-----------------------------------|
| Atmósfera | { | 1. – <i>Troposfera</i> (0–12 km) | { | a) <i>Biosfera</i> (0–3 km) |
| | | | } | b) <i>Tropopausa</i> (3–12 km) |
| | | 2. – <i>Estratosfera</i> (12–50 km) | { | a) <i>Ozonosfera</i> (12–40 km) |
| | | | } | b) <i>Estratopausa</i> (40–50 km) |
| | | 3. – <i>Mesosfera</i> (50–90 km) | | |
| | | 4. – <i>Ionosfera</i> (90–500 km) | | |
| 5. – <i>Exosfera</i> (500–1,000 km) | | | | |
| 6. – <i>Magnetosfera</i> (más de 1,000 km) | | | | |

La estructura vertical de la **atmósfera** considera que tiene un espesor aproximado de 1,000 km, aunque la delgada capa inferior, hasta los 20 km de altitud, concentra el 99% de la densidad atmosférica total; por encima de este nivel la composición del aire pierde homogeneidad y se enrarece. El estudio de la evolución térmica en altura permite analizar las distintas capas atmosféricas superpuestas, en primer lugar se encuentra la capa inferior llamada **troposfera** (tropos, cambio o movimiento) que contiene el 80% del peso de la atmósfera, presentando un grosor medio de 12 km, que asciende a 16 en los trópicos y disminuye a 7 en los polos. Su principal característica es que la temperatura del aire desciende por término medio en un gradiente de 0.55°C cada 100 m, aunque se dan casos aislados de inversión térmica (aumento de la temperatura con la altura) o de un mayor gradiente en los descensos.

La parte inferior de la troposfera, hasta los 3,000 m de altura, se denomina **biosfera**, y está sometida a la acción de los vientos. La troposfera presenta también un gradiente barométrico en altura, de tal forma que, teniendo la presión atmosférica un valor de 1,013 milibares en el nivel del mar, en los primeros centenares de metros encima del mismo tal presión desciende un milibar cada ocho metros; a medida que se asciende, aumenta el número de metros necesarios para obtener el mismo descenso de presión, conforme a la disminución progresiva de la densidad del aire. En el límite superior de la troposfera denominada **tropopausa** la temperatura comienza a estabilizarse.

La **estratosfera** se sitúa entre los 12 y 50 km. Su concentración de vapor de agua es muy baja y su temperatura se mantiene constante hasta los límites de la **estratopausa**, donde comienza a aumentar. Dentro de la estratosfera, se encuentra la **ozonosfera**, en la que las moléculas de ozono absorben los rayos ultravioletas del Sol y forma una especie de cinturón o faja protectora que produce la dispersión de la luz solar, lo que hace que veamos el cielo color azul, cuando es negro en realidad. A continuación de la estratosfera se sitúa una nueva capa, la **mesosfera**, que se caracteriza porque en ella se produce una rápida disminución de la temperatura hasta los 90 km de altura, nivel en el que los gases atmosféricos descienden a -90°C . Por encima de la mesosfera y separada de ésta por la mesopausa, se inicia la **ionosfera**, que llega aproximadamente hasta los 500 km de altitud. La **exosfera** se extiende desde los 500 hasta más allá de los 1,000 km de altura, en esta zona se producen las auroras polares y tiene lugar el intercambio entre las moléculas de los gases atmosféricos y los micrometeoritos del espacio exterior. Una última capa, de límite impreciso, es la **magnetosfera**, que se define en función de la influencia del campo magnético terrestre sobre las partículas electrizadas que rodean la tierra hasta una distancia de unos 95,000 km. Sin embargo la magnetosfera no constituye propiamente un estrato atmosférico.



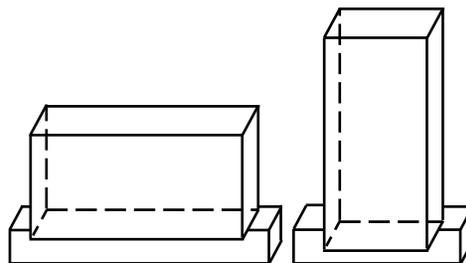
La Tierra vista desde el espacio

2.3 Presión

Hay diferencias sobre la manera en que una fuerza superficial actúa sobre un fluido (líquido o gas) y sobre un sólido. En un sólido no hay ninguna restricción respecto a la dirección de tal fuerza, pero en un fluido en reposo, la fuerza superficial debe estar siempre dirigida perpendicularmente a la superficie de dicho fluido. Un fluido en reposo no puede soportar una fuerza tangencial, ya que, en ese caso, las diferentes capas de fluido simplemente resbalarían unas sobre las otras. De hecho, es esta inhabilidad de los fluidos para resistir dichas fuerzas tangenciales (o esfuerzos cortantes) lo que les permite cambiar su forma o fluir (viscosidad).

Si colgamos de un dinamómetro apropiado, un trozo de hierro de forma prismática rectangular, cuyas tres dimensiones sean 4 dm., 5 dm. y 10 dm.; el dinamómetro nos indicará el peso de este cuerpo. Supongamos que dicho peso sea de 1,600 kilogramos, el cual ya sabemos es una fuerza. Imaginemos que este prisma de hierro se coloca sobre una superficie deformable, como una lámina gruesa de hule colocada en una mesa; si el prisma se apoya por su cara de mayor área, la deformación que experimenta la lámina es menor, que cuando se apoya por la cara de dimensiones más pequeñas. Este fenómeno nos explica que la deformación experimentada por la lámina de hule, no solamente depende del peso o fuerza que obra sobre ella, sino también del área de la superficie, sobre la cual se ejerce dicha fuerza. Si deseamos conocer el efecto que produce una fuerza sobre una superficie, es necesario investigar la relación que existe entre la intensidad de esa fuerza y el área de la superficie; dicha relación lleva el nombre de presión unitaria o simplemente presión.

$$\text{Presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área de la superficie}}$$



Efectos de la presión

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Si representamos por P la presión, por F la fuerza y por A el área de la superficie, la fórmula anterior se escribe como sigue:

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

El valor numérico de esta relación dependerá de las unidades empleadas. Cuando se conoce la presión que se ejerce sobre una superficie de área conocida, se puede calcular la fuerza que se ejerce sobre ella, usando la expresión anterior bajo la forma:

$$\text{Fuerza} = \text{Presión} \times \text{Área de la superficie}$$

$$F = P A$$

2.4 Acción de la presión sobre los sólidos y los líquidos

Si ponemos en un recipiente un trozo de plomo, este cuerpo conservará su forma, mientras no se ejerza sobre de él una presión muy grande que lo obligue a tomar la forma del recipiente. Si colocamos, en lugar del trozo de plomo, un poco de agua, este líquido se adapta inmediatamente a la forma del recipiente que lo contiene, fenómeno que se observa con cualquier líquido. Otra característica de los líquidos es la de su poca compresibilidad, es decir, que su volumen varía muy poco cuando son comprimidos; esta propiedad se determina en el laboratorio por medio de ciertos aparatos llamados piezómetros.

Si en un sólido se ejerce una presión en determinado sentido, esta presión se transmite en el sentido indicado; pero si la presión la ejercemos sobre una masa líquida cualquiera, ésta escapará en todas direcciones de ahí la necesidad de encerrarla completamente en un recipiente.

2.5 Principio de Pascal

El físico francés Blas Pascal, fue el primero en enunciar el principio de la transmisión uniforme de la presión en un líquido y lo enunció bajo la forma siguiente: Si en un vaso lleno de agua, cerrado por todas partes, tiene dos aberturas, una de ellas cien veces más grande que la otra, y en cada una colocamos un émbolo que ajuste perfectamente; un hombre empujando el émbolo chico igualaría la fuerza de cien hombres que empujasen el grande y podría más que noventa y nueve. En la actualidad el principio de Pascal se enuncia como sigue:

“ Toda presión ejercida sobre una porción plana de la superficie de un líquido encerrado por todas partes, se transmite integralmente a toda porción plana considerada sobre la pared o en el interior del líquido, cualquiera que sea su orientación ”. Este principio se comprueba con un aparato denominado prensa hidráulica.

2.6 Presión en los líquidos

Como los líquidos tienen peso, la presión en cada nivel interno se debe al peso de las capas superiores del líquido. Se puede mostrar la existencia de las presiones por medio de dispositivos llamados manómetros. La presión del líquido en un plano horizontal es la misma.

Para poner de manifiesto que la presión varía con la profundidad o con la distancia del punto considerado a la superficie del líquido, se usa un aparato que consiste en un tubo en forma de **J**, que contiene una pequeña cantidad de mercurio para que funcione como un manómetro; antes introducir este manómetro en un fluido, se

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

observa que las dos columnas de mercurio tienen el mismo nivel; a medida que se introduce en el líquido se produce un desnivel originado por el incremento de masa en la rama de menor longitud, aumentando simultáneamente la presión en la misma, cada mm de desnivel es equivalente a $1.36 \frac{g}{cm^2}$.

2.7 Presión sobre el fondo

Los líquidos transmiten las presiones que reciben con la misma intensidad y en todo sentido, por lo que la presión en el fondo del recipiente es independiente de la forma de éste. Si suponemos tres tubos obturados en su parte inferior con una membrana elástica de las mismas características, en el tubo 1 se coloca aceite, en el 2 agua y en el 3 mercurio; siendo las tres columnas líquidas de la misma altura, observamos que la membrana más deformada, será la correspondiente al mercurio y la menos corresponderá a la del aceite. Al preguntarnos la razón de dicho fenómeno, contestaremos que es debida a los pesos específicos de los líquidos y a mayor peso específico mayor es la deformación de la membrana, es decir, mayor presión en el fondo; de donde se infiere que: **la presión producida por una columna líquida es directamente proporcional al peso específico del líquido empleado.**

Para fijar la variación de la presión con la altura de la columna, se colocan en varios tubos, columnas de distintas alturas del mismo líquido, y se observa que el tubo que encierra la columna de mayor altura, tiene la membrana elástica más deformada, de este hecho se deduce que: La presión que produce una columna líquida es proporcional a su altura, de la expresión de caída libre:

Del principio fundamental de la hidrostática:

$$\text{Presión} = \text{peso específico del líquido} \times \text{altura de la columna}$$

$$P = \gamma h$$

Como sabemos que $\gamma = \rho g$ entonces:

$$P = \rho g h$$

Para calcular la fuerza en el fondo de un recipiente partimos de la expresión:

$$\text{Fuerza} = \text{presión} \times \text{área}$$

$$F = PA$$

Sustituyendo la ecuación de presión, obtenemos la fuerza en función del peso específico γ y de la altura h considerada desde la superficie del fluido.

$$F = \gamma h A$$

si: $\gamma = \rho g \Rightarrow \rho = \frac{\gamma}{g}$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

como:
$$\rho_{relativa} = \frac{\rho_{sustancia}}{\rho_{aire}}$$

entonces:
$$\rho_{relativa} = \frac{\frac{\gamma_{sustancia}}{g}}{\frac{\gamma_{aire}}{g}} = \frac{\gamma_{sustancia}}{\gamma_{aire}} \quad (\text{adimensional})$$

2.8 Presión atmosférica

La noción sobre el estado gaseoso se forma en nuestra mente como un proceso natural, pues nuestra vida se desarrolla en un océano gaseoso, cuya existencia se manifiesta durante nuestra respiración; también notamos la existencia de la capa gaseosa que rodea a la Tierra, cuando nos movemos con cierta velocidad o cuando existe viento. Esa capa gaseosa que rodea a nuestro planeta y cuyo espesor se considera alrededor de 1,000 km, lleva el nombre de atmósfera y está constituida por el aire, este gas es una mezcla de varios, siendo los principales el nitrógeno y el oxígeno en la proporción de 4 a 1.

Se denomina presión atmosférica o barométrica a la fuerza por unidad de área ejercida por una columna de aire atmosférico. Esta magnitud representa una medida del peso de aire que circula por encima de la superficie terrestre o de las capas atmosféricas.

Habitualmente, la presión se determina en milibares (mb) unidad equivalente a 100 newton por metro cuadrado (Pascal) y en atmósferas, donde una atmósfera equivale a 1,013.25 milibares.

Demostración:

a)
$$1 \text{ bar} = 10 \frac{N}{cm^2} \times \frac{10,000 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} = 100,000 \frac{N}{m^2}$$

$$1 \text{ mb} = 100 \frac{N}{m^2}$$

b)
$$1 \text{ bar} = 10 \frac{N}{cm^2} \times \frac{10,000 \text{ cm}^2}{m^2} = 100,000 \frac{N}{m^2}$$

$$1 \text{ mb} = 100 \frac{N}{m^2} = 100 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 101.3 \text{ kPa} \times \frac{1 \text{ mb}}{100 \text{ Pa}} = 1,013 \text{ mb}$$

valor exacto $1 \text{ atm} = 1,013.25 \text{ mb}$



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

El valor máximo de la presión atmosférica se alcanza en el nivel del mar, al existir mayor masa de aire por encima. En consecuencia, la presión se debilita paulatinamente en los estratos superiores de la atmósfera en una relación de alrededor de 3.5 milibares por cada treinta metros. La disminución de la presión atmosférica se acompaña a grandes altitudes de la rarefacción en la proporción de oxígeno del aire, con lo que la supervivencia en la alta montaña precisa de una adaptación a presiones inferiores y una técnica de comportamiento destinada a reducir el consumo de oxígeno por parte de las células de los tejidos.

La enorme presión que ejerce la atmósfera sobre el cuerpo humano se compensa a través de la proliferación interna de capilares y estrechos vasos sanguíneos, de manera que la disminución de la presión exterior crea un desequilibrio interno que se manifiesta en forma de malestar general y mareos.

La temperatura del aire de la atmósfera influye en el valor de la presión por deducción inmediata de la leyes de la termodinámica. A igualdad de volumen, la presión y la temperatura son directamente proporcionales, lo que se traduce en que el aire frío se halla más concentrado y, en consecuencia, pesa más que el caliente.

2.9 *Peso del aire*

Los gases debido a su composición molecular poseen un peso que está relacionado con el volumen que ocupan, con la presión que producen y con su temperatura.

El aire contiene, normalmente, muchas impurezas, como gases, sólidos, polvos, virus y bacterias, etc., en proporciones que dependen de varios factores. Se supone que en lugares montañosos y en el mar el aire es más puro, aunque los vientos también llevan consigo algunas impurezas.

El aire contiene por lo general:

| | | | | |
|------------|---|---------------------------|------------------|------|
| Gases en % | } | <i>Nitrógeno</i> | 78.03 | |
| | | <i>Oxígeno</i> | 20.99 | |
| | | <i>Argón</i> | 0.94 | |
| | | <i>Dióxido de carbono</i> | 0.03 | |
| | } | } | <i>Hidrógeno</i> | 0.01 |
| | | | <i>Xenón</i> | |
| | | | <i>Kriptón</i> | |
| | | | <i>Otros</i> | |

- Impurezas* {
- Humos de sulfuros*
 - Humos de ácidos*
 - CO₂ (bióxido de carbono)*
 - Polvo*
 - Cenizas*
 - Minerales*
 - Vegetales*
 - Animales*
 - Microorganismos*

El primero que midió el peso del aire fue el ingenioso sabio de Pisa, Galileo Galilei; las condiciones rudimentarias de los aparatos de medición no le permitieron dar valores exactos. Su método consistía en introducir agua a presión, en un globo de cristal lleno de aire, pesando dicho globo con su contenido; después dejaba escapar el aire comprimido y pesaba de nuevo, la diferencia entre estos dos pesos correspondía a la del aire escapado. Más tarde, Otto de Guericke, inventor de la máquina neumática, determinó el peso del aire suspendiendo una esfera provista de una llave, del brazo corto de una romana, estableció el equilibrio con un pequeño contrapeso colocado en el brazo largo, haciéndole el vacío y cerrando la llave, observó que disminuía un poco, el valor de dicha disminución la consideró como el peso del aire. En su aparato, de Guericke observó, que la esfera descendía o se elevaba, produciendo el desequilibrio correspondiente en la balanza, cuando se registraban algunos cambios atmosféricos. En la actualidad se usa un aparato semejante, que se conoce con el nombre de barómetro (balanza equilibrada por dos pesos iguales, de masas diferentes), que se emplea para mostrar el empuje de los gases.

Para fijar el peso de los gases se usa, como lo hizo Otto de Guericke, un globo de vidrio con llave. Se obtiene el peso de la esfera y después el peso cuando está llena del gas; la diferencia entre dichos pesos corresponde al del gas contenido en la esfera. Si se conoce la capacidad de la esfera, la presión que el gas produce en el interior y la temperatura del mismo, se puede calcular el peso correspondiente a un volumen determinado. Se ha aceptado, internacionalmente, expresar la densidad y el peso específico de los gases, referidos a la presión de una atmósfera y a la temperatura de 0°C; en estas condiciones un litro de aire pesa 1.293 gramos. El aire contenido en nuestro salón de clase, cuyas dimensiones son 10 m por 8 m por 3 m. pesa alrededor de 310.32 \overline{kg} .

El aire es el gas que se usa en Física, para fijar la densidad de los otros gases, es decir, la densidad relativa de un gas indica cuántas veces es más pesado que el aire:

$$\text{Densidad relativa de un gas} = \frac{\text{masa de un volumen de gas}}{\text{masa de igual volumen de aire}}$$

Un litro de gas carbónico, sustancia que se desprende de la combustión del carbón y de muchos combustibles, pesa 1.977 gramos; su densidad se obtiene dividiendo este número entre 1.293 peso de un litro de aire (1 dm³). En la tabla siguiente se comparan los pesos específicos y las densidades de algunos gases.

Tabla de pesos específicos y densidades relativas de diversos gases

| Gas | Peso específico $\gamma \left(\frac{\bar{g}}{cm^3} \right)$ | Densidad Relativa $\rho_{rel} = \frac{\rho_{gas}}{\rho_{aire}} \text{ adimensional}$ |
|--------------------------|---|---|
| Aire | 0.001293 | 1.0000 |
| Hidrógeno | 0.000090 | 0.0696 |
| Nitrógeno | 0.001251 | 0.9675 |
| Oxígeno | 0.001429 | 1.1051 |
| Helio | 0.000178 | 0.1376 |
| Gas carbónico | 0.001977 | 1.5290 |
| Cloro (Cl ₂) | 0.003179 | 2.4586 |

2.10 Unidades de presión y equivalencias

La presión es una cantidad escalar, su unidad en el Sistema Internacional “SI” es el Pascal (que se abrevia *Pa*) en honor al científico francés Blas Pascal. En el sistema absoluto cgs la unidad de presión es la baria y corresponde a la de una fuerza de una *dina* de intensidad, aplicada a una superficie de un cm^2 :

Se llaman **baria**, **bar** y **Pascal** a las unidades de presión definidas por:

$$1 \text{ baria} = 1 \frac{\text{dina}}{cm^2}$$

$$1 \text{ bar} = 10 \frac{\text{newton}}{cm^2} = 1,000,000 \text{ barias}$$

$$1 \text{ Pascal} = 1 \frac{\text{newton}}{m^2} \quad (1 \text{ Pa})$$

Las unidades que con mayor frecuencia se utilizan para indicar el concepto de presión son:

$$\frac{\text{Ton}}{m^2}, \frac{\text{Ton}}{cm^2}, \frac{\text{kg}}{m^2}, \frac{\text{kg}}{cm^2}, \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}, \text{ atm}, \text{ kPa (kilopascal)} \text{ y } \text{ MPa (Megapascal)}$$

Actualmente en meteorología se mide la presión atmosférica usando como unidad internacional el bar, que equivale a:

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$1 \text{ bar} = 1 \times 10^6 \text{ barias} = 1,000,000 \text{ barias}$$

$$1 \text{ bar} = 1,000,000 \frac{\text{dinas}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ bar} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

En la industria se expresa la presión en kilogramos fuerza (\overline{kg}) por cada centímetro cuadrado (cm^2) o en libras fuerza (\overline{lb}) por cada pulgada cuadrada (pulg^2).

$$\text{Unidades de presión usadas en la industria: } \frac{\overline{kg}}{\text{cm}^2}, \frac{\overline{lb}}{\text{pulg}^2}$$

También es costumbre representar en algunos casos a la presión por alturas de columnas de un líquido determinado, así la unidad de presión llamada atmósfera es igual a la presión que produce una columna de mercurio de 76 cm de altura con una base de 1 cm^2 y que equivale a la presión atmosférica al nivel del mar y a una temperatura de 0°C .

Del experimento de Evangelista Torricelli la columna de mercurio que equilibra a la presión atmosférica en el nivel del mar tiene una altura de: $h = 760 \text{ mm de Hg}$

es decir: $P_{\text{atmosférica}} = 1 \text{ atmósfera} =$ 760 mm de Hg

$$P_{\text{atmosférica}} = 760 \text{ mm de Hg} \times \frac{1 \text{ pulg}}{25.4 \text{ mm}} =$$
 $29.921 \text{ pulg de Hg}$

Para el caso del agua obtenemos una columna con una altura de 10.336 m de la siguiente manera: si:

$$P = \gamma h \Rightarrow h = \frac{P}{\gamma}$$

$$h = \frac{1.0336 \frac{\overline{kg}}{\text{cm}^2}}{1 \frac{\overline{kg}}{\text{dm}^3} \times \frac{1 \text{ dm}^3}{1000 \text{ cm}^3}} = 1,033.6 \text{ cm} =$$
 10.336 m

También podemos obtener la equivalencia con otras unidades:

$$P = 13.6 \frac{\overline{kg}}{dm^3} \times \frac{1 dm^3}{1000 cm^3} \times 76 cm = \boxed{1.0336 \frac{\overline{kg}}{cm^2}}$$

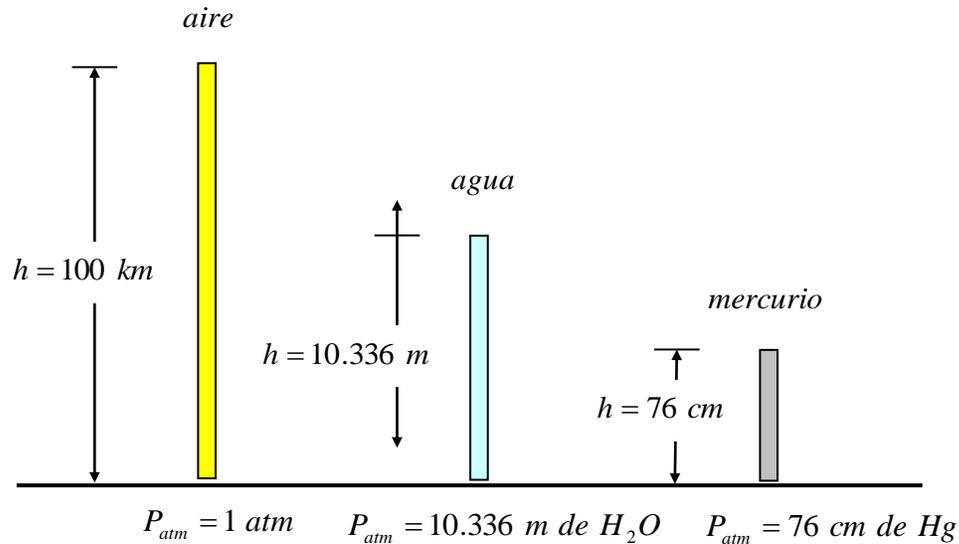
$$P = 1.0336 \frac{\overline{kg}}{cm^2} \times \frac{9.80665 N}{1 \overline{kg}} \times \frac{(100 cm)^2}{(1 m)^2} = 101,361.53 \frac{N}{m^2} = \boxed{101.361 kPa}$$

$$P = 1.0336 \frac{\overline{kg}}{cm^2} \times \frac{2.2046 \overline{lb}}{1 \overline{kg}} \times \frac{(2.54 cm)^2}{(1 pulg)^2} = \boxed{14.701 \frac{\overline{lb}}{pulg^2}}$$

por lo tanto, las equivalencias entre las unidades del sistema internacional e inglés para la presión son:

$$\begin{aligned} 1 atmósfera &= 760 mm de Hg \\ &= 29.921 pulg de Hg \\ &= 10.336 m de H_2O \\ &= 1.0336 \frac{\overline{kg}}{cm^2} \\ &= 101.361 kPa \\ &= 14.701 \frac{\overline{lb}}{pulg^2} \\ &= 29.921 pulg de Hg \end{aligned}$$

Columnas de aire, agua y mercurio que equilibran a la presión atmosférica (fuera de escala)



1. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

- 1.- Tubo capilar de vidrio de 1 m. de longitud sellado por un extremo
- 2.- Escala graduada en cm y mm (flexómetro)
- 3.- 500 ml de mercurio
- 4.- Cuba de porcelana o recipiente de vidrio
- 5.- Una Jeringa
- 6.- Un dedo de hule para protección
- 7.- Barómetro de cubeta

2. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

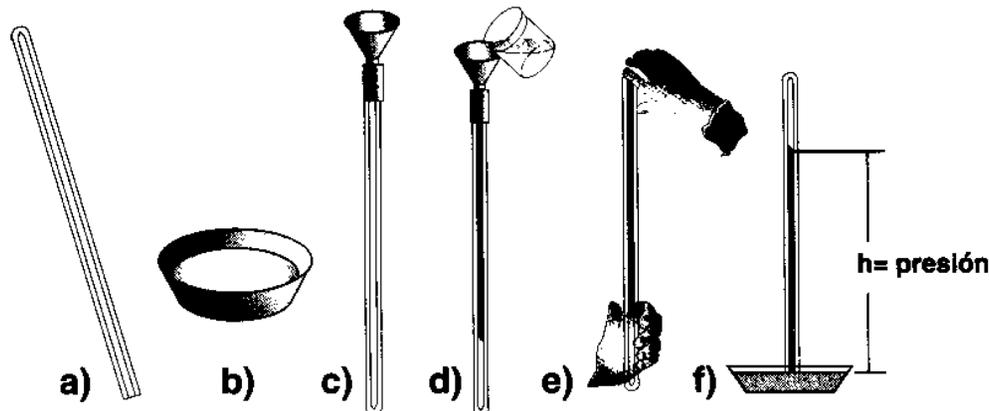
4.1 Experimento de Evangelista Torricelli

El por qué una bomba aspirante no puede elevar el agua arriba de diez metros de altura fue analizado por Evangelista Torricelli quien sugirió el uso de mercurio en lugar de agua, pues dicho líquido es 13.6 veces más pesado que el agua (al nivel del mar), llenando con mercurio un tubo de vidrio de metro y medio de largo cerrado por uno de sus extremos tapando el extremo libre con el dedo, lo sumergió en una cubeta con mercurio, al destaparlo, el mercurio bajó hasta la altura de 76 cm., quedando un vacío en la parte superior. La explicación de dicho fenómeno se atribuye a la presión atmosférica y encontró que no es la longitud de la columna de mercurio la que equilibra, sino la distancia normal a las dos superficies libres del líquido, hecho que mostró al inclinar el tubo de vidrio; el menisco permaneció en el mismo plano horizontal, mientras que la columna se hizo mayor. Cuando se emplea agua para equilibrar la presión atmosférica, el tubo debe tener una longitud mayor de diez metros para que se forme la cámara vacía.

Cuando Otto de Guericke efectuó sus experimentos en Ratisbona (Alemania Oriental) le fue mostrado el tubo de Torricelli por el capuchino Valeriano Magno, quien se decía ser el autor; más tarde el inventor de la

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

máquina neumática supo del verdadero descubridor. Torricelli y Viviani eran distinguidos discípulos de Galileo, quienes acompañaron en sus últimos días al maestro y continuaron sus investigaciones. A Evangelista Torricelli le fue encomendada oficialmente la continuación de la obra; el problema planteado en aquellos momentos históricos, era el por qué una bomba aspirante, no puede elevar el agua arriba de diez metros. Para sus ensayos Torricelli sugirió a Viviani el uso de mercurio en lugar de agua, pues dicho líquido es 13.6 veces más pesado que el agua. Viviani llevó a la práctica la idea de Torricelli, pero sin comunicárselo; llenó con mercurio un tubo de vidrio de metro y medio de largo cerrado por uno de sus extremos; tapando el extremo libre con el dedo, lo sumergió en una cubeta con mercurio, al destaparlo, el mercurio bajó hasta la altura de 76 cm, quedando un vacío en la parte superior. Viviani recurrió a Torricelli para la explicación de dicho fenómeno, comunicándole los resultados obtenidos. Como la idea sobre el experimento es de Torricelli, por eso conserva su nombre, además, él fue quien explicó dicho fenómeno, atribuyéndolo a la presión atmosférica y encontró que no es la longitud de la columna de mercurio la que equilibra, sino la distancia normal a las dos superficies libres del líquido, hecho que mostró al inclinar el tubo de vidrio; el menisco permaneció en el mismo plano horizontal, mientras que la columna se hizo mayor. Cuando se emplea agua para equilibrar la presión atmosférica, el tubo debe tener una longitud mayor de diez metros para que se forme la cámara vacía, la cual lleva el nombre de Torricelli.



Procedimiento para obtener el valor de la presión atmosférica

4.2 Procedimiento del experimento de Torricelli

4.2.1 Actividades propuestas

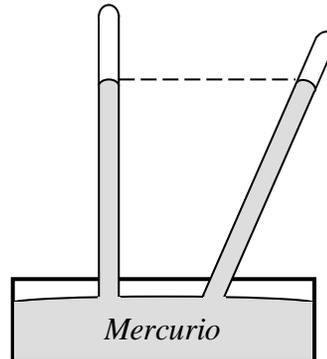
4.2.1.1 Obtener el valor de la presión atmosférica de la ciudad de México, en atmósferas.

4.2.1.2 Obtener el peso específico del mercurio en la ciudad de México.

4.2.1.3 *Hipótesis:* de acuerdo a diversos experimentos para la ciudad de México, la presión atmosférica es 0.7946 atmósferas . y el peso específico del mercurio es de $13.56 \overline{\text{kg}}/\text{dm}^3$.

4.3 Planeación del Experimento

A partir de los conceptos de la hidrostática, podemos comprender el experimento de Torricelli, ya que al voltear el tubo de vidrio lleno de mercurio, éste no se vacía por completo, teniendo una altura aproximada en la ciudad de México de 58.6 cm.; la explicación dada por Torricelli fue que la atmósfera ejerce una presión sobre todo cuerpo, y la columna de mercurio equilibra a dicha presión.



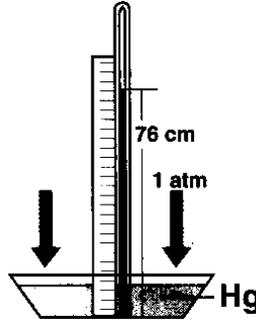
Experimento de Torricelli

4.4 Desarrollo y comprobación experimental del principio de Torricelli

Toda vez que se tiene el equipo y material disponible, se inicia el proceso de medición llenando con cuidado hasta el borde del tubo capilar de vidrio con mercurio utilizando una jeringa, de manera de no desperdiciarlo, tapando con la yema del dedo índice (protegido por un guante de hule) el orificio abierto (embocadura) para invertirlo e introducirlo en la caja de porcelana o cuba que a su vez contiene mercurio (debiendo evitar que se formen burbujas de aire en la medida de lo posible) al voltear el tubo, se observa que el mercurio desciende, formando en la parte superior un espacio o hueco totalmente vacío. Se mide la altura de la columna de mercurio a partir de la superficie del contenido en la cuba y hasta el límite del menisco del mercurio contenido en el tubo, este proceso se deberá repetir cuando menos cinco veces para tener una muestra representativa.

Cada equipo de alumnos, llevará a cabo los siguientes pasos y al final se reunirá la información de todos los equipos para lograr un mayor número de datos y estimar así la media estadística del valor teórico esperado.

1. Tomar la lectura de la temperatura del mercurio.
2. Llenar el tubo capilar con mercurio.
3. Tapar el tubo con un dedo (cubierto con el dedo de hule).
4. Invertir el tubo capilar e introducirlo en el recipiente de vidrio (cuba) al cual ya previamente se le puso mercurio.
5. Darle ligeros golpes al tubo en caso de haber quedado algunas burbujas de aire.
6. Medir la distancia entre la superficie del mercurio del recipiente de vidrio hasta el menisco de mercurio del tubo capilar.
7. Efectuar las operaciones que establece la ecuación: $Presión = \gamma h$



Obtención del valor de la presión atmosférica al nivel del mar

3. RESULTADOS

Los análisis y resultados de este experimento se encuentran anexos a la práctica. Conocidos los valores de peso específico del mercurio y de la altura de la columna en el tubo de vidrio, por medio de las ecuaciones de la hidrostática sabemos que la presión que se ejerce en un punto es igual a la que se ejerce en otro punto que se encuentra a la misma altura de un líquido en el mismo plano de referencia. Por ello, sabemos que la presión que se ejerce sobre el mercurio es la presión atmosférica. Sin embargo, la presión atmosférica es igual a la presión que la columna de mercurio ejerce sobre el punto que se encuentra a la misma altura que la superficie exterior del elemento. Por ello, tenemos presiones iguales en todos los puntos del líquido que se encuentra en la caja de porcelana.

La presión es igual al peso específico por la altura de la columna de mercurio o también se obtiene multiplicando la densidad por la gravedad terrestre y por la altura, siendo en el nivel del mar la densidad de $13.6 \text{ kg}_m/\text{dm}^3$ y la gravedad de 9.80665 m/s^2 y en la ciudad de México $13.56 \text{ kg}_m/\text{dm}^3$ y la gravedad de 9.78 m/s^2 .

$$P = \gamma h$$

$$P = \rho g h$$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Tabla de lecturas obtenidas en el laboratorio con el tubo de Torricelli en la Ciudad de México

| Lectura | Temperatura °C | Peso específico del mercurio $\gamma = 13.56 \text{ g/cm}^3$ | Altura de la co- lumna del mer- curio del tubo invertido $h = \text{cm}$ | Presión = γh (g/cm^2) | Observaciones |
|----------|-------------------|--|---|---|---------------|
| 1.- | | | | | |
| 2.- | | | | | |
| 3.- | | | | | |
| Promedio | | | | | |

Valor de la presión atmosférica a partir del peso específico y la altura de un fluido

El experimento de Torricelli, ha servido para fijar la magnitud de la presión atmosférica; dicho valor se calcula con la expresión:

$$\text{Presión} = \gamma h$$

En la cual “ γ ” es el peso específico del mercurio o del líquido empleado, y en el sistema cgs se tiene gramos-fuerza por cm^3 (g/cm^3) y “ h ” la altura en cm de la columna líquida que equilibra a la presión atmosférica. En el caso del mercurio para la Ciudad de México, obtenemos los siguientes valores:

Demostración:

$$\text{Si: } \gamma = \frac{w}{V} \quad \text{y} \quad w = \frac{m g}{g_c}$$

$$\gamma = \frac{\frac{m g}{g_c}}{V} = \frac{m g}{V g_c}$$

1) En el nivel del mar 1 dm^3 de mercurio tiene una masa $m_{Hg} = 13.6 \text{ kg}_m$ y un peso de $w = 13.6 \overline{\text{kg}}$ con una aceleración $g = 9.80665 \frac{m}{s^2}$, por lo tanto γ_{Hg} se obtiene de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \gamma_{Hg} &= \frac{13.6 \text{ kg}_m \times 9.80665 \frac{m}{s^2}}{1 \text{ dm}^3 \times 9.80665 \frac{\text{kg}_m \times m}{\text{kg} \times s^2}} = \frac{13.6 \times 9.80665 \frac{\text{kg}_m \times m}{s^2}}{9.80665 \frac{\text{kg}_m \times m \times \text{dm}^3}{\overline{\text{kg}} \times s^2}} \\ &= 13.6 \frac{\text{kg}_m \times m \times \overline{\text{kg}} \times s^2}{\text{kg}_m \times m \times \text{dm}^3 \times s^2} = 13.6 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{dm}^3} \end{aligned}$$

$$\gamma_{Hg \text{ al nivel del mar}} = 13.6 \frac{\overline{kg}}{dm^3}$$

2) En la Ciudad de México $1 dm^3$ de mercurio tiene una masa $m_{Hg} = 13.6 kg_m$ y un peso de $w = 13.56 \overline{kg}$ con una aceleración $g = 9.78 \frac{m}{s^2}$ entonces:

$$\begin{aligned} \gamma_{Hg} &= \frac{13.6 kg_m \times 9.78 \frac{m}{s^2}}{1 dm^3 \times 9.80665 \frac{kg_m \times m}{\overline{kg} \times s^2}} = \frac{133.008 \frac{kg_m \times m}{s^2}}{9.80665 \frac{kg_m \times m \times dm^3}{\overline{kg} \times s^2}} \\ &= 13.563 \frac{kg_m \times m \times \overline{kg} \times s^2}{kg_m \times m \times dm^3 \times s^2} = 13.563 \frac{\overline{kg}}{dm^3} \end{aligned}$$

$$\gamma_{Hg \text{ en la Ciudad de México}} = 13.563 \frac{\overline{kg}}{dm^3}$$

por lo que la presión atmosférica para dicho lugar es:

$$\text{Presión atmosférica en la Ciudad de México} = 13.563 \frac{\overline{g}}{cm^3} \times 58.6 cm = 794.79 \frac{\overline{g}}{cm^2}$$

Si se usa agua, la altura de la columna líquida que equilibra a la atmosférica es de 794.6 cm. Si suponemos que el cuerpo humano de una persona de estatura media, tenga una superficie de un metro cuadrado, el peso de aire que soporta dicho cuerpo en la Ciudad de México es alrededor de ocho toneladas y en el puerto de Veracruz de diez; pesos que no lo aplastan, debido a que los líquidos del organismo son poco compresibles y transmiten las presiones en todos los sentidos.

Transformación de unidades de la presión atmosférica para la Ciudad de México

Sabiendo que: $\gamma_{Hg} = 13.563 \frac{\overline{g}}{cm^3}$ y $h = 58.6 cm$

$$1) P = 13.563 \frac{\overline{kg}}{dm^3} \times 5.86 dm = 79.479 \frac{\overline{kg}}{dm^2} \times \frac{1 dm^2}{100 cm^2} = \boxed{0.79479 \frac{\overline{kg}}{cm^2}}$$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$2) P = 0.79479 \frac{\overline{kg}}{cm^2} \times \frac{2.2046 \overline{lb}}{1 \overline{kg}} \times \frac{(2.54 \text{ cm})^2}{(1 \text{ pulg})^2} = 11.3044 \frac{\overline{lb}}{\text{pulg}^2}$$

$$3) P = \gamma h \Rightarrow h = \frac{P}{\gamma}$$

$$h = \frac{0.79479 \frac{\overline{kg}}{cm^2} \times \frac{100 \text{ cm}^2}{1 \text{ dm}^2}}{1 \frac{kg_m}{dm^3} \times 9.78 \frac{m}{s^2}} = \frac{79.479 \frac{\overline{kg}}{dm^2}}{0.9972 \frac{kg}{dm^3}} = 79.702 \text{ dm} = \boxed{7.9702 \text{ m de agua}}$$

$$4) P = 58.6 \text{ cm Hg} \times \frac{1 \text{ pulg}}{2.54 \text{ cm}} = \boxed{23.07 \text{ pulg Hg}}$$

$$5) P = 0.79479 \frac{\overline{kg}}{cm^2} \times \frac{9.80665 \text{ N}}{1 \overline{kg}} \times \frac{10,000 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} = 77,942.273 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \boxed{77.942273 \text{ kPa}}$$

$$6) P = 58.6 \text{ cm Hg} \times \frac{1 \text{ atmósfera}}{76 \text{ cm Hg}} = \boxed{0.771 \text{ atmósferas}}$$

Variación de la presión atmosférica

Hemos indicado que las capas inferiores de los líquidos, soportan mayores presiones que las superficiales, esto mismo sucede con las capas gaseosas que constituyen la atmósfera, es decir, la presión atmosférica varía con la altura. Pero no sólo sucede con la altura, sino que también varía, para el mismo lugar con el tiempo y en función de la temperatura y la humedad.

5.1 Barómetros

Los instrumentos que se emplean para medir la presión atmosférica se llaman barómetros. El más conocido es el barómetro de cubeta, que también se conoce con el nombre de barómetro normal; es un dispositivo en donde el tubo que contiene al mercurio y la cubeta están fijos en una plancha resistente, la cual se coloca verticalmente en el muro y el nivel del mercurio se controla por medio de un tornillo, que termina en punta (punzón). Como la altura del tornillo es conocida y constante, la altura barométrica se mide por medio de una escala que contiene un vernier con objeto de obtener mayor precisión en pequeñas diferencias de altura vertical, considerando desde el extremo del tornillo hasta el menisco de la columna de mercurio. Las lecturas de las columnas de los barómetros de este tipo son corregidas por temperatura y por capilaridad, si el diámetro interior del tubo es pequeño.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

5.1.1 Determinación de la presión atmosférica local mediante el barómetro de cubeta

1. Efectuar la lectura de la temperatura del sitio.
2. Señalar con el indicador metálico (punzón) el nivel del mercurio contenido en la cubeta.
3. Señalar con la escala (que incluye vernier) la lectura indicada por el menisco de la columna de mercurio del tubo capilar.
4. Efectuar directamente la lectura en centímetros. y/o pulgadas de la columna de mercurio haciendo uso de la escala con vernier.
5. Efectuar las conversiones de unidades solicitadas.

Se procede a tomar la lectura de la temperatura del medio ambiente y a nivelar el indicador metálico (punzón), con la superficie del mercurio contenido en la cubeta del barómetro. Se indica con el calibrador la altura de la columna del mercurio contenida en el tubo capilar hasta su menisco y se obtiene la lectura con ayuda del vernier en centímetros y/o pulgadas. Posteriormente se podrán efectuar las conversiones de unidades solicitadas.

Tabla de lecturas obtenidas en el laboratorio con el barómetro de cubeta

| Lectura | Temperatura °C | Altura “h” de la columna de mercurio en cm | Presión = γh $\frac{\bar{g}}{cm^2}$ | Otras unidades | | Observaciones |
|----------|-------------------|--|--|-------------------------|----|---------------|
| | | | | $\frac{\bar{kg}}{cm^2}$ | mb | |
| 1.- | | | | | | |
| 2.- | | | | | | |
| Promedio | | | | | | |

**TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA**

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

**Tabla de factores de corrección por temperatura a las lecturas del barómetro
El valor de corrección debe restarse a la lectura barométrica**

| Temp. °C | 620 | 630 | 640 | 650 | 660 | 670 | 680 | 690 | 700 | 710 | 720 | 730 | 740 | 750 | 760 | 770 | 780 | 790 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1 | .10 | .10 | .10 | .11 | .11 | .11 | .11 | .11 | .11 | .12 | .12 | .12 | .12 | .12 | .12 | .13 | .13 | .13 |
| 2 | .20 | .21 | .21 | .21 | .22 | .22 | .22 | .23 | .23 | .23 | .24 | .24 | .24 | .25 | .25 | .25 | .25 | .26 |
| 3 | .30 | .31 | .31 | .32 | .32 | .33 | .33 | .34 | .34 | .35 | .35 | .36 | .36 | .37 | .37 | .38 | .38 | .39 |
| 4 | .40 | .41 | .42 | .42 | .43 | .44 | .44 | .45 | .46 | .46 | .47 | .48 | .48 | .49 | .50 | .50 | .51 | .52 |
| 5 | 0.51 | 0.51 | 0.52 | 0.53 | 0.54 | 0.55 | 0.56 | 0.56 | 0.57 | 0.58 | 0.59 | 0.60 | 0.60 | 0.61 | 0.62 | 0.63 | 0.64 | 0.64 |
| 6 | .61 | .62 | .63 | .64 | .65 | .66 | .67 | .68 | .69 | .70 | .71 | .71 | .72 | .73 | .74 | .75 | .76 | .77 |
| 7 | .71 | .72 | .73 | .74 | .75 | .77 | .78 | .79 | .80 | .81 | .82 | .83 | .85 | .86 | .87 | .88 | .89 | .90 |
| 8 | .81 | .82 | .84 | .85 | .86 | .87 | .89 | .90 | .91 | .93 | .94 | .95 | .97 | .98 | .99 | 1.01 | 1.02 | 1.03 |
| 9 | .91 | .92 | .94 | .95 | .97 | .98 | 1.00 | 1.01 | 1.03 | 1.04 | 1.06 | 1.07 | 1.09 | 1.10 | 1.12 | 1.13 | 1.15 | 1.16 |
| 10 | 1.01 | 1.03 | 1.04 | 1.06 | 1.08 | 1.09 | 1.11 | 1.13 | 1.14 | 1.16 | 1.17 | 1.19 | 1.21 | 1.22 | 1.24 | 1.26 | 1.27 | 1.29 |
| 11 | 1.11 | 1.13 | 1.15 | 1.17 | 1.18 | 1.20 | 1.22 | 1.24 | 1.26 | 1.27 | 1.29 | 1.31 | 1.33 | 1.35 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 |
| 12 | 1.21 | 1.23 | 1.25 | 1.27 | 1.29 | 1.31 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.39 | 1.41 | 1.43 | 1.45 | 1.47 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.55 |
| 13 | 1.31 | 1.34 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 | 1.46 | 1.48 | 1.50 | 1.53 | 1.55 | 1.57 | 1.59 | 1.61 | 1.63 | 1.65 | 1.67 |
| 14 | 1.41 | 1.44 | 1.46 | 1.48 | 1.51 | 1.53 | 1.55 | 1.57 | 1.60 | 1.62 | 1.64 | 1.67 | 1.69 | 1.71 | 1.73 | 1.76 | 1.78 | 1.80 |
| 15 | 1.52 | 1.54 | 1.56 | 1.59 | 1.61 | 1.64 | 1.66 | 1.69 | 1.71 | 1.74 | 1.76 | 1.78 | 1.81 | 1.83 | 1.86 | 1.88 | 1.91 | 1.93 |
| 16 | 1.62 | 1.64 | 1.67 | 1.69 | 1.72 | 1.75 | 1.77 | 1.80 | 1.82 | 1.85 | 1.88 | 1.90 | 1.93 | 1.96 | 1.98 | 2.01 | 2.03 | 2.06 |
| 17 | 1.72 | 1.74 | 1.77 | 1.80 | 1.83 | 1.86 | 1.88 | 1.91 | 1.94 | 1.97 | 1.99 | 2.02 | 2.05 | 2.08 | 2.10 | 2.13 | 2.16 | 2.19 |
| 18 | 1.82 | 1.85 | 1.88 | 1.91 | 1.93 | 1.95 | 1.99 | 2.02 | 2.05 | 2.08 | 2.11 | 2.14 | 2.17 | 2.20 | 2.23 | 2.26 | 2.29 | 2.32 |
| 19 | 1.92 | 1.95 | 1.98 | 2.01 | 2.04 | 2.07 | 2.10 | 2.13 | 2.17 | 2.20 | 2.23 | 2.26 | 2.29 | 2.32 | 2.35 | 2.38 | 2.41 | 2.44 |
| 20 | 2.02 | 2.05 | 2.08 | 2.12 | 2.15 | 2.18 | 2.21 | 2.25 | 2.28 | 2.31 | 2.34 | 2.38 | 2.41 | 2.44 | 2.47 | 2.51 | 2.54 | 2.57 |
| 21 | 2.12 | 2.15 | 2.19 | 2.22 | 2.26 | 2.29 | 2.32 | 2.36 | 2.39 | 2.43 | 2.46 | 2.50 | 2.53 | 2.56 | 2.60 | 2.63 | 2.67 | 2.70 |
| 22 | 2.22 | 2.26 | 2.29 | 2.33 | 2.36 | 2.40 | 2.43 | 2.47 | 2.51 | 2.54 | 2.58 | 2.61 | 2.65 | 2.69 | 2.72 | 2.76 | 2.79 | 2.83 |
| 23 | 2.32 | 2.36 | 2.40 | 2.43 | 2.47 | 2.51 | 2.54 | 2.58 | 2.62 | 2.66 | 2.69 | 2.73 | 2.77 | 2.81 | 2.84 | 2.88 | 2.92 | 2.96 |
| 24 | 2.42 | 2.46 | 2.50 | 2.54 | 2.58 | 2.62 | 2.66 | 2.69 | 2.73 | 2.77 | 2.81 | 2.85 | 2.89 | 2.93 | 2.97 | 3.01 | 3.05 | 3.08 |
| 25 | 2.52 | 2.56 | 2.60 | 2.64 | 2.68 | 2.72 | 2.77 | 2.81 | 2.85 | 2.89 | 2.93 | 2.97 | 3.01 | 3.05 | 3.09 | 3.13 | 3.17 | 3.21 |
| 26 | 2.62 | 2.66 | 2.71 | 2.75 | 2.79 | 2.83 | 2.88 | 2.92 | 2.96 | 3.00 | 3.04 | 3.09 | 3.13 | 3.17 | 3.21 | 3.26 | 3.30 | 3.34 |
| 27 | 2.72 | 2.77 | 2.81 | 2.86 | 2.90 | 2.94 | 2.99 | 3.03 | 3.07 | 3.12 | 3.16 | 3.20 | 3.25 | 3.29 | 3.34 | 3.38 | 3.42 | 3.47 |
| 28 | 2.82 | 2.87 | 2.91 | 2.96 | 3.00 | 3.05 | 3.10 | 3.14 | 3.19 | 3.23 | 3.28 | 3.32 | 3.37 | 3.41 | 3.46 | 3.51 | 3.55 | 3.60 |
| 29 | 2.92 | 2.97 | 3.02 | 3.06 | 3.11 | 3.16 | 3.21 | 3.25 | 3.30 | 3.35 | 3.39 | 3.44 | 3.49 | 3.54 | 3.56 | 3.63 | 3.68 | 3.72 |
| 30 | 3.02 | 3.07 | 3.12 | 3.17 | 3.22 | 3.27 | 3.32 | 3.36 | 3.41 | 3.46 | 3.51 | 3.56 | 3.61 | 3.66 | 3.71 | 3.75 | 3.80 | 3.85 |
| 31 | 3.12 | 3.17 | 3.22 | 3.27 | 3.32 | 3.37 | 3.43 | 3.48 | 3.53 | 3.58 | 3.63 | 3.68 | 3.73 | 3.78 | 3.83 | 3.88 | 3.93 | 3.98 |
| 32 | 3.22 | 3.28 | 3.33 | 3.38 | 3.43 | 3.48 | 3.54 | 3.59 | 3.64 | 3.69 | 3.74 | 3.79 | 3.85 | 3.90 | 3.95 | 4.00 | 4.05 | 4.11 |
| 33 | 3.32 | 3.38 | 3.43 | 3.48 | 3.54 | 3.59 | 3.64 | 3.70 | 3.75 | 3.81 | 3.86 | 3.91 | 3.97 | 4.02 | 4.07 | 4.13 | 4.18 | 4.23 |
| 34 | 3.42 | 3.48 | 3.53 | 3.59 | 3.64 | 3.70 | 3.75 | 3.81 | 3.87 | 3.92 | 3.98 | 4.03 | 4.09 | 4.14 | 4.20 | 4.25 | 4.31 | 4.36 |
| 35 | 3.52 | 3.58 | 3.64 | 3.69 | 3.75 | 3.81 | 3.86 | 3.92 | 3.98 | 4.03 | 4.09 | 4.15 | 4.21 | 4.26 | 4.32 | 4.38 | 4.43 | 4.49 |

5.2 Aplicaciones en la ingeniería

Las principales aplicaciones que la presión tiene en la ingeniería se observan prácticamente en todas las áreas de conocimiento, tales como: Mecánica, Resistencia de Materiales, Hidráulica, Mecánica de Suelos, Termodinámica, etc.; ya que los esfuerzos que genera una fuerza al incidir sobre una superficie adquieren la mayor importancia cuando se diseñan los elementos estructurales para que las edificaciones soporten las cargas para las que fueron diseñadas.

5.3 Cuestionario

El alumno deberá investigar en la bibliografía propuesta la solución a las preguntas del siguiente cuestionario.

1) ¿De los siguientes gases, cuál es el que tiene un peso específico menor?

| Gas | Peso específico γ (\bar{g} / cm^3) |
|-----------|---|
| Aire | 0.001293 |
| Nitrógeno | 0.001251 |
| Hidrógeno | 0.000090 |
| Helio | 0.000178 |

2) ¿Cuántas veces el oxígeno es más denso que el hidrógeno?

| Gas | Densidad ρ (g_m / cm^3) |
|-----------|----------------------------------|
| Hidrógeno | 0.070 |
| Oxígeno | 1.105 |

$$\rho_{oxígeno} = x \rho_{hidrógeno} \Rightarrow x = \frac{\rho_{oxígeno}}{\rho_{hidrógeno}}$$

$$x = \frac{1.105 \frac{g_m}{cm^3}}{0.070 \frac{g_m}{cm^3}} = 15.7857$$

3) ¿Cómo demostró Otto de Guericke la existencia de la presión atmosférica?

Otto de Guericke (1654) alcalde de Magdeburgo (Alemania Oriental) diseñó una máquina neumática y construyó 2 medias esferas de cobre (hemisferios de Magdeburgo) que se ajustan perfectamente para formar una esfera. Mediante un dispositivo se extrajo de su interior el aire que encierran y una llave que obtura el conducto; extrayendo el aire por medio de su máquina, Guericke, logró que la presión atmosférica apretara un hemisferio contra el otro tan fuertemente, que no fueron suficientes los esfuerzos de 16 caballos para separarlos.

4) Especifique el uso de los siguientes aparatos de medición.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

- a) Dinamómetros.- Basado en el principio de elasticidad, son resortes o muelles de acero templado que se deforman pasajeramente mientras accionan las fuerzas.
- b) Barómetro.- Aparato utilizado para medir la presión atmosférica o barométrica. El barómetro del laboratorio se denomina “normal” o de cubeta.
- c) Altímetro.- Instrumento para medir alturas.

5) ¿La presión atmosférica es una propiedad intensiva o extensiva? Justifique su respuesta.
La presión es una propiedad intensiva, es decir, es una propiedad independiente de la masa, al igual que la temperatura y la densidad.

6) ¿Cuál es el valor de la presión atmosférica, en barias ($dina/cm^2$) de un lugar en donde la columna barométrica tiene una altura de 58.6 cm y la aceleración de la gravedad es de 9.78 m/s^2 ?

Solución:

6.a) Calcular el valor del peso específico del mercurio cuando la gravedad terrestre es de 9.78 m/s^2 .

Considerando que en el nivel del mar el mercurio tiene un peso específico de: $\gamma = 13.6 \frac{\overline{kg}}{dm^3}$ de las

ecuaciones siguientes obtengamos la masa de un dm^3 de mercurio en el nivel del mar:

$$7.1. \quad \gamma = \frac{w}{V} \quad \text{y} \quad \gamma = \frac{m g}{V g_c} \quad \Rightarrow \quad m = \frac{\gamma V g_c}{g}$$

$$m = \frac{13.6 \frac{\overline{kg}}{dm^3} \times 1\text{ dm}^3 \times 9.81 \frac{kg_m \times m}{kg \times s^2}}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 13.6\text{ kg}_m$$

En el lugar en donde la aceleración de la gravedad es de 9.78 m/s^2 se tiene que el peso específico del mercurio es:

$$\gamma = \frac{m g}{V g_c} \quad \Rightarrow \quad \gamma = \frac{13.6\text{ kg}_m \times 9.78 \frac{m}{s^2}}{1\text{ dm}^3 \times 9.81 \frac{kg_m \times m}{kg \times s^2}} = 13.5584 \frac{\overline{kg}}{dm^3}$$

Comprobación:

Comprobemos el resultado anterior aplicando la ecuación: $\gamma = \frac{w}{V}$

$$w = \frac{m g}{g_c} \Rightarrow w = \frac{13.6 \text{ kg}_m \times 9.78 \frac{m}{s^2}}{9.81 \frac{\text{kg}_m \times m}{\text{kg} \times s^2}} = 13.5584 \overline{\text{kg}}$$

Obtengamos el peso específico en el lugar solicitado:

$$\gamma = \frac{w}{V} \Rightarrow \gamma = \frac{13.5584 \overline{\text{kg}}}{1 \text{ dm}^3} = 13.5584 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{dm}^3}$$

6.b) Calcular la presión en barias: $P = \gamma h$

$$P = 13.5584 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{dm}^3} \times 58.6 \text{ cm Hg} = 13.5584 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{dm}^3} \times 5.86 \text{ dm Hg} = 79.452224 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{dm}^2}$$

$$P = 79.452224 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{dm}^2} \times \frac{1 \text{ dm}^2}{(10 \text{ cm})^2} \times \frac{981,000 \text{ dinas}}{1 \overline{\text{kg}}} = 779,426.3174 \frac{\text{dinas}}{\text{cm}^2}$$

$$P = 779,426.3174 \text{ barias}$$

7) Indique algunos de los instrumentos que funcionan basados en la presión atmosférica.

7.1) Pipeta.- Consiste en un tubo de vidrio con un ensanchamiento, se usa en los laboratorios para sacar líquido de algún recipiente introduciendo la pipeta hasta que el líquido penetre a través de ella, se tapa con el dedo y se saca, el líquido no se derrama porque la presión atmosférica lo impide, ya que actúa sobre la porción inferior del tubo impidiendo la entrada del aire; pero al quitar el dedo escurre el líquido al equilibrarse en las dos ramas la presión y quedar el líquido abandonado a su propio peso.

7.2) Sifón.- Constituido por un tubo de dos ramas desiguales, que se destina para vaciar o transvasar de un recipiente a otro, para lo cual primero se llena con el líquido por transvasar, ya sea con embudo o por medios adecuados. La parte encorvada y más pequeña debe quedar en el recipiente de más alto nivel para que la presión al actuar haga que el líquido se eleve por el tubo de vidrio o de goma y se derrame en la parte inferior.

7.3) Sifón intermitente o Vaso de Tántalo.- Este sifón intermitente no tiene una salida continua del líquido, consiste en una vasija de vidrio en forma de copa, en la que un sifón con su rama más corta

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

está cerca del fondo, mientras que la rama más larga sale al exterior, por lo que si un chorro constante de agua circula, el nivel del agua sube poco a poco, sucediendo lo propio en la rama menor hasta llegar al vértice del sifón que se llena completamente. Como se sigue alimentando la vasija sube nuevamente su nivel y se repite la operación periódicamente.

7.4) Bomba hidráulica.- Todos los sistemas de bombas para elevar agua se basan en el efecto de la presión atmosférica. La bomba aspirante sirve para elevar agua a un nivel superior que no rebase los 10.33 metros. Consiste en un cuerpo de bomba, dentro del cual se mueve alternativamente un émbolo mediante una palanca, cuenta con dos válvulas que alternativamente se abren y se cierran de manera que por el efecto de la presión atmosférica el agua del recipiente distribuidor (pozo) salga al exterior.

8) Indique la forma en que la presión atmosférica afecta el comportamiento de vida humana

El ser humano adulto se encuentra formado por aproximadamente 80% de agua (incompresible) y 20% de materia, por lo tanto no es oprimido por el aire de la atmósfera. Nuestro cuerpo se encuentra diseñado biológicamente para soportar en condiciones óptimas las cargas de presión en el nivel del mar y bien sea que la altura disminuya cuando nos encontramos en alturas menores o mayores la presión variará, de tal manera que requerimos mayor cantidad de oxígeno, lo anterior afecta al ser humano en problemas de hipertensión arterial.

Para medir la tensión arterial se tienen en cuenta dos valores: el punto alto o máximo, en el que el corazón se contrae para vaciar su sangre en la circulación, llamado sístole; y el punto bajo o mínimo, en el que el corazón se relaja para llenarse con la sangre que regresa de la circulación, llamado diástole. La presión se mide en milímetros (mm) de mercurio (Hg) con la ayuda de un instrumento denominado esfigmomanómetro.

9) Comente la influencia que tiene la presión atmosférica en la determinación de las presiones absolutas para el de trabajo de máquinas térmicas.

Las presiones pueden expresarse con referencia a un origen, siendo los más comunes el vacío absoluto y la presión atmosférica local, por lo que reciben el nombre de presión absoluta y presión atmosférica respectivamente.

La presión que se ejerce sobre una superficie para un sistema cerrado o presión interna no siempre es positiva, ya que también se puede producir el vacío o presión negativa, la primera se mide con un manómetro (presión manométrica) y la segunda con un vacuómetro (presión vacuométrica). La expresión que se usa para hallar la presión absoluta es:

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{rel}$$

por tanto: $P_{rel} = P_{abs} - P_{atm}$

El diseño de motores de combustión interna se hace calculando los ciclos de compresión mediante presiones absolutas, en las que se considera a la presión atmosférica en el nivel del mar, por tal razón cuando una máquina térmica de este tipo trabaja en condiciones diferentes deberá ser ajustado el punto de ignición.

10) Si nos encontramos en la ciudad de México en donde la presión atmosférica tiene un valor de 58.6 cm. de mercurio y nos dirigimos a un lugar situado en el nivel del mar en donde la presión es de 76 cm. de

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

mercurio; calcule los pesos que soporta nuestra palma de la mano colocada en posición horizontal en ambos sitios, considerando que aproximadamente tiene una superficie de 140 cm^2 . ¿Indique algunos ejemplos Explique en qué afecta la diferencia por qué no se encuentra en equilibrio?

Solución:

10.1) Presión en la ciudad de México: $P = 0.79479 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{cm}^2}$

De la expresión: $P = \frac{w}{A} \Rightarrow w = P A$

Si: $P_{atm} = 0.79479 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{cm}^2}$ y $A = 140 \text{ cm}^2$

Entonces: $w = 0.79479 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{cm}^2} \times 140 \text{ cm} = 111.27 \overline{\text{kg}}$

10.2) Presión en el nivel del mar: $P = 1.033 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{cm}^2}$

Si: $P_{atm} = 1.033 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{cm}^2}$ y $A = 140 \text{ cm}^2$

Entonces: $w = 1.033 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{cm}^2} \times 140 \text{ cm} = 144.62 \overline{\text{kg}}$

10.3) La diferencia de pesos entre el nivel del mar y la ciudad de México es de:

$$\text{Diferencia de pesos} : 144.62 \overline{\text{kg}} - 111.27 \overline{\text{kg}} = 33.35 \overline{\text{kg}}$$

6 CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones del profesor

- 1) El valor teórico de la presión que debió obtenerse es: $P = 794.6 \frac{\overline{\text{g}}}{\text{cm}^2}$
- 2) La altura teórica para obtener este resultado es: $h = 58.6 \text{ cm}$

No se obtuvieron los valores exactos, en el primer experimento, por deficiencias al invertir el tubo capilar al recipiente de vidrio (cuba) formándose algunas burbujas en el mercurio, lo cual es motivo de variaciones en la lectura.

Con el barómetro de cubeta las deficiencias que se tuvieron fueron que la visibilidad de la cubeta es mala ya que el acrílico está muy maltratado y no permite observar con claridad un punto exacto en el cual el la aguja o punzón toque el mercurio; una mejor precisión se logra si se ilumina con una hoja blanca colocada atrás de la cubeta y aguja.

Se pudo obtener un valor muy cercano al de la presión de la Ciudad de México, trabajando con mayor cuidado y con instrumentos precisos después de varias observaciones. La presión que un líquido ejerce sobre

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

otro no está en función del diámetro del tubo, sino que se encuentra en función de la altura de líquido que se encuentra sobre un cierto punto, ya que dicha altura tiene que ver con el peso específico, el que a su vez no es otra cosa que el producto de la densidad por la gravedad terrestre local, razón por la cual el peso actúa sobre una superficie, y con ello una fuerza actúa sobre un área, lo que se conoce como presión. A partir del concepto anterior, podemos obtener la presión atmosférica de un determinado lugar aplicando el experimento de Torricelli.

La práctica es de gran interés para cualquier persona que se encuentre estudiando ingeniería, ya que por medio de un experimento sencillo pero ingenioso, se puede explicar lo que sucede en nuestra atmósfera, así como también calcular el valor de la presión atmosférica en un determinado lugar, la cual nos ayuda a obtener presiones absolutas a su vez. Es una práctica interesante y divertida que le permite al alumno manipular el mercurio y conocer sus características físicas.

6.2 Conclusiones del alumno

En este espacio el alumno describirá las conclusiones a las que haya llegado, comparando los resultados obtenidos contra lo esperado en teoría, analizando los posibles errores en sus observaciones e indicando la importancia del aprendizaje realizado.

7. FUENTES DE CONSULTA

El alumno, en su reporte deberá incluir una introducción teórica en referencia al objetivo de la práctica, debe anotar la bibliografía consultada señalando Autor, Título, Editorial y Edición de los libros consultados. En caso de obtener información de Internet, debe indicar el sitio consultado.

- Abbott, Michael M.; Van Ness, Hendrick. *Termodinámica*, México, McGraw-Hill, Serie Schaum, 1986.
- Cutnell, John D.; Johnson, Kenneth W. *Física*, México, Limusa Wiley, segunda edición, 2004.
- Faires, Virgil Moring; Simmang, Clifford Max. *Termodinámica*, México, Limusa, 2004.
- Giancoli Douglas C. *Física para universitarios*, volumen I, México, Prentice Hall, tercera edición, 2002.
- Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. *Fundamentos de Física*, volúmenes 1 y 2, México, CECSA (Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.), sexta edición en inglés, tercera en español, 2001.
- Holman, Jack. P. *Termodinámica*, México, McGraw-Hill, segunda edición, 1975.
- Kadambi, V.; Prasad, Manohar. *Conversión de Energía, Termodinámica Básica*, volumen 1, México, Limusa, primera edición, 1983.
- Lea, Susan M.; Burke, John Robert. *Física. La naturaleza de las cosas*, volúmenes I y II, International Thomson Editores, 1999.
- Resnick, Robert; Halliday, David; Krane, Kenneth S. *Física*, volumen I, Editorial CECSA, quinta edición en español, 2000.
- Reynolds, William C.; Perkins, Henry C. *Ingeniería Termodinámica*, México, McGraw-Hill, 1983.
- Schaum, B.S. Daniel; Van Der Merwe, Carel W. *Física general*, México, McGraw-Hill, Serie Schaum, novena edición, 2001.
- Serway, Raymond A. *Física*, tomos I y II, México, McGraw-Hill, quinta edición, 2000.
- Streeter, Victor L.; Wylie E., Benjamín; Bedford, Keith W. *Mecánica de fluidos*, México, McGraw-Hill, novena edición, 2000.
- Tippens, Paul E. *Física. Conceptos y aplicaciones*, México, McGraw-Hill, sexta edición, 2001.
- Van Wylen, Gordon J.; Sonntag, Richard E.; Borgnakke, Claus. *Fundamentos de termodinámica*, México, Limusa Wiley, segunda edición, 2003.

SESIÓN PRÁCTICA NO. 4

VARIACIÓN DE PRESIÓN EN LÍQUIDOS DE REPOSO

INTRODUCCIÓN

Iniciaremos el estudio de la mecánica de los líquidos en reposo (el cual lleva el nombre de Hidrostática) bajo el punto de vista de su equilibrio estático. Empezaremos con algunas ideas elementales sobre la presión y después durante el desarrollo del tema señalaremos algunas propiedades que caracterizan a los líquidos, siendo fundamental la que se refiere a su volumen y cuya forma puede variar de acuerdo con el recipiente que lo contiene, así 100 cm³ de agua es un volumen determinado, los cuales si están en un vaso o en una cápsula, tomarán la forma de estos recipientes ; pero el volumen, cualquiera que sea su forma, es el mismo.

Hay una diferencia en la manera en que una fuerza superficial actúa sobre un fluido y sobre un sólido. En un sólido no hay ninguna restricción respecto a la dirección de tal fuerza, pero en un fluido en reposo, la fuerza superficial debe estar siempre dirigida perpendicularmente a la superficie de dicho fluido. Un fluido en reposo no puede soportar una fuerza tangencial, ya que, en ese caso, las diferentes capas de fluido simplemente resbalarían unas sobre las otras. De hecho, es esta inhabilidad de los fluidos para resistir dichas fuerzas tangenciales (o esfuerzos cortantes) lo que les permite cambiar su forma o fluir.

Nociones sobre la presión.

Si colgamos de un dinamómetro apropiado, un trozo de hierro de forma prismática rectangular, cuyas tres dimensiones sean 40 cm, 50 cm y 100 cm; el dinamómetro nos indicará el peso de este cuerpo. Supongamos que dicho peso sea de 1600 kilogramos, el cual ya sabemos es una fuerza. Imaginemos que este prisma de hierro se coloca sobre una superficie deformable, como una lámina gruesa de hule colocada en una mesa; si el prisma se apoya por su cara de mayor área, la deformación que experimenta la lámina de caucho es menor, que cuando se apoya por la cara de dimensiones más pequeñas. Este fenómeno nos explica que la deformación experimentada por la lámina de hule, no solamente depende del peso o fuerza que obra sobre ella, sino también del área de la superficie, sobre la cual se ejerce dicha fuerza.

Si deseamos conocer el efecto que produce una fuerza sobre una superficie, es necesario investigar la relación que existe entre la intensidad de esa fuerza y el área de la superficie. Dicha relación lleva el nombre de presión unitaria o simplemente presión.

$$P = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área de la superficie}}$$

Si representamos por P la presión, por F la fuerza y por A el área de la superficie, la fórmula anterior se escribe como sigue :

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

El valor numérico de esta relación dependerá de las unidades empleadas. Cuando se conoce la presión que se ejerce sobre una superficie de área conocida, se puede calcular la fuerza que se ejerce sobre ella, usando la expresión anterior bajo la forma:

FUERZA = PRESIÓN x AREA DE LA SUPERFICIE

$$F = p \cdot A$$

No olvidemos que la presión es una cantidad escalar no vectorial.

Unidades de presión.

En el sistema CGS, la unidad de presión es la *baria* y corresponde a una fuerza de una dina de intensidad, aplicada a una superficie de un cm^2 .

Actualmente en Meteorología se mide la presión atmosférica usando como unidad internacional el *bar*, que equivale a 10^6 dinas/ cm^2 . ($10^6 = 1000000$)

$$1 \text{ bar} = 10^6 \text{ barias}$$

$$1 \text{ bar} = 10^6 \text{ dinas/cm}^2$$

En la industria se expresa la presión en kg por cada cm^2 (kgf/cm^2) ó bien para el sistema inglés aún en uso, en libras por cada pulgada cuadrada (lbf/pulg^2).

No debemos olvidar que un kilogramo-fuerza en cada cm^2 equivale a una presión de 981 000 barias:

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 981\,000 \text{ barias} = 0.981 \text{ bar}$$

También es costumbre representar en algunos casos la presión por alturas de columnas de un líquido determinado; así la unidad de presión llamada *atmósfera* es igual a la presión que produce una columna de mercurio de 76 cm de altura con una base de 1 cm^2 y que equivale a la presión atmosférica al nivel del mar y a una temperatura de 0°C .

$$1 \text{ atmósfera} = 76 \text{ cm de Hg} = 760 \text{ mm de Hg}$$

En el Sistema Internacional de medidas (SI) la unidad para la presión es el *pascal* (abreviado Pa) en honor al científico francés Blaise Pascal

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Otros factores de conversión utilizados son:

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.81 \text{ N/cm}^2 = 98100 \text{ N/m}^2 = 98100 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atmósfera} = 1.033 \text{ kgf/cm}^2 = 101337 \text{ Pa}$$

Acción de la presión sobre los Sólidos y los Líquidos.

Si ponemos en un recipiente un trozo de hierro, este cuerpo conservará su forma. Si ahora colocamos en lugar del trozo de hierro un poco de agua, este líquido se adapta inmediatamente a la forma del recipiente que lo contiene, fenómeno que se observa con cualquier líquido.

Otra característica de los líquidos es la de su poca compresibilidad, es decir, que su volumen varía muy poco cuando son comprimidos; esta propiedad se determina en el laboratorio por medio de ciertos aparatos llamados piezómetros.

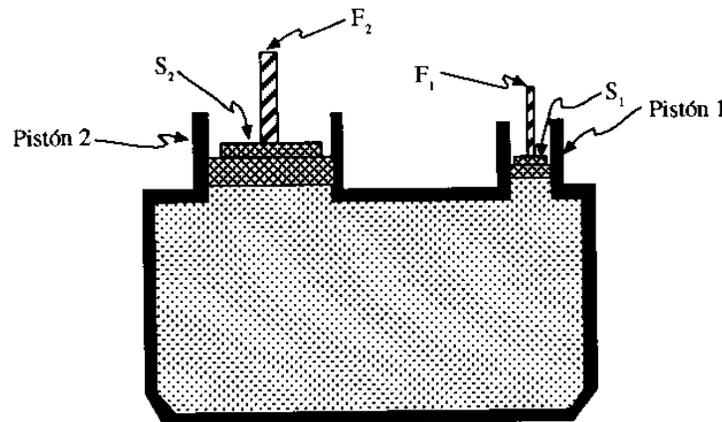
Si en un sólido se ejerce una presión en determinado sentido, esta presión se transmite en el sentido indicado; pero si la presión la ejercemos sobre una masa líquida cualquiera, ésta se transmite en todas direcciones.

Principio de Pascal. El físico francés Blaise Pascal, fue el primero en enunciar el principio de la transmisión uniforme de la presión en un líquido y lo enunció bajo la forma siguiente: *Si un vaso lleno de agua, cerrado por todas partes, tiene dos aberturas, una de ellas cien veces más grande que la otra, y en cada una colocamos un émbolo que ajuste perfectamente; un hombre empujando el émbolo chico igualaría la fuerza de cien hombres que empujasen el grande y podría más que noventa y nueve.* En la actualidad el principio de Pascal se enuncia como sigue:

“Toda presión ejercida sobre una porción plana de la superficie de un líquido encerrado por todas partes, se transmite íntegramente a toda porción plana considerada sobre la pared o en el interior del líquido, cualquiera que sea su orientación”.

Prensa Hidráulica. La ley establecida en 1658 por Pascal sobre la transmisión de la presión en los líquidos, encontró una importante aplicación en la prensa hidráulica; construida por primera vez por el ingeniero inglés J. Bramah en 1795 y que presta, en la actualidad, inapreciables servicios a la técnica de construcción y la industria automotriz.

La prensa hidráulica consiste en dos cuerpos de bomba de diámetro distintos, en donde se mueven los émbolos correspondientes



Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

La fuerza aplicada en el pistón 1 es multiplicada en función de la relación de superficies por el pistón 2. Como lo dijo Pascal: si el área del pistón 2 es 100 veces mayor a la del pistón 1, la fuerza ejercida por el pistón 2 será 100 veces superior a la aplicada en el pistón 1.

Superficie libre de un líquido. Con frecuencia observamos en la superficie del agua de un estanque, de un lago o de la contenida en un recipiente, la imagen de las personas que se asoman o la de los paisajes vecinos, este fenómeno nos indica que dichas superficies son semejantes a la de los espejos planos, de donde se concluye que la superficie libre de un líquido en equilibrio es plana; además, es horizontal, hecho que se deriva de la movilidad de sus partículas expuestas a un campo gravitatorio uniforme. En grandes extensiones, como en el mar, la superficie no es plana, lo cual se observa cuando un buque se acerca a la costa. Un observador en el muelle del puerto verá aparecer primero el mástil, siguiendo la chimenea y después el casco de la nave a medida que se acerca la embarcación. Es lógico suponer que el mar tenga la forma esférica, la acción de la gravedad tiene el mismo valor en la superficie esférica y sobre el mar produce el fenómeno descrito por la movilidad de las partículas de agua.

Peso Específico. Construyamos un cubo de 1 cm. de arista con cada una de las siguientes sustancias: corcho, madera, yeso, mármol, aluminio, hierro y plomo; cada cubo representará un volumen de 1 cm³. Con un dinamómetro sensible como la balanza de Jolly, se determinan los pesos de estos cubos; al compararlos, encontraremos que cada uno de ellos tiene un valor diferente, pero si determinamos el peso de tres cubos de 1 cm³ de la misma sustancia, por ejemplo de aluminio, notaremos que los valores son los mismos porque son de la misma sustancia. Como ésta es una propiedad característica de cada sustancia, se ha aceptado en llamarle *peso específico*.

El peso específico es entonces el peso de 1 cm³ de la sustancia y se expresa generalmente en gramos-fuerza por cm³; en el sistema CGS se indicará en dinas por cm³. Cuando la unidad de peso empleada es el gramo fuerza, el peso específico del agua destilada, a la temperatura de 4°C es un gramo en cada cm³; el del aluminio 2.7, el del hierro 7.8, el del plomo 11.37, el de la plata 10.5, el del oro 19.3, el del platino 21.5 y el osmio 22.5, y así sucesivamente para diferentes materiales.

El peso específico se simboliza con γ y las unidades más frecuentemente usadas son

Sistema CGS: gf/cm³

Sistema Internacional: N/m³

Sistema MKS técnico: kgf/m³

Sistema inglés: lbf/pie³

Presión en los líquidos. Como los líquidos naturales tienen peso, la presión en cada nivel se debe al peso de las capas superiores del líquido. Por otra parte, un corolario derivado del principio de Pascal es que *“la presión de un líquido en un plano horizontal es la misma”*.

Para poner de manifiesto que la presión varía con la profundidad o distancia del punto considerado a la superficie del líquido, se usa un aparato con una tubo en forma de J que contiene una pequeña cantidad de mercurio y que funciona como un manómetro; antes de introducir este manómetro de aire libre, las dos columnas de mercurio tienen el mismo nivel; a medida que se introduce en el líquido se produce un desnivel originado por la presión; cada cm de desnivel es equivalente a 13.6 gf/cm².

La medida e incluso el registro continuo de presiones es muy frecuente tanto en los laboratorios como en la industria para verificación de procesos industriales, para determinar junto con la temperatura el estado de un gas, a la salida y entrada de las máquinas de fluido, para seguridad de personas y de equipo (calderas, recipientes de presión).

Los medidores de presión o manómetros necesariamente han de ser variadísimos, ya que en los laboratorios y la industria se han de medir presiones desde un vacío absoluto hasta presiones muy altas, requiriendo un alto grado de precisión y en medios (temperaturas elevadas, atmósferas explosivas, etc.) muy diversos.

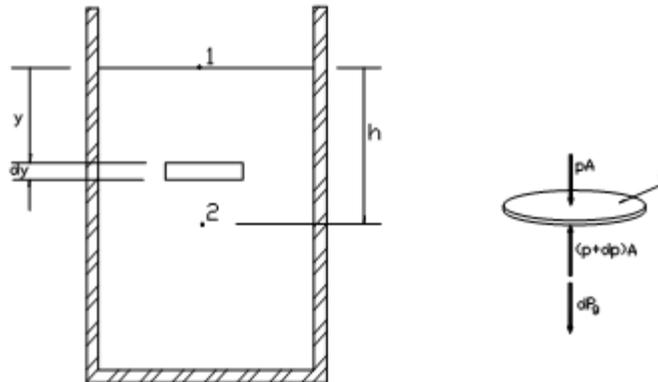
Los manómetros se clasifican en tubos piezométricos, manómetros de líquido y manómetros metálicos. Los tubos piezométricos y la inmensa mayoría de los manómetros de líquido y metálicos miden presiones relativas o diferencia de presiones con relación a la atmósfera. Otros manómetros miden presiones absolutas: entre estos últimos se encuentran naturalmente los barómetros, que miden la presión atmosférica.

Los manómetros de líquido y manómetros metálicos se llaman vacuómetros cuando se destinan a medir presiones por debajo de la presión atmosférica y mano-vacuómetros cuando miden tanto presiones como depresiones con relación a la atmósfera.

Analicemos ahora la presión hidrostática en el seno de un líquido:

Consideremos un recipiente como el mostrado en la siguiente figura, conteniendo un líquido en reposo. Un elemento de este líquido, obviamente también estará en reposo. Sea el elemento un pequeño disco de superficie A y altura dy ; por estar en reposo, la suma de fuerzas que actúan sobre él estarán en equilibrio.

En todo el costado del disco las fuerzas se equilibran por lo que no las consideraremos; en cambio la cara superior del disco tiene una presión ligeramente menor que la inferior ya que esta última se encuentra a mayor profundidad, sea dp la diferencial de presión entre las dos caras.



Aplicando una sumatoria de fuerzas:

$$\Sigma F_y = 0 \therefore$$

$$pA + dp_g - (p + dp)A = 0$$

Pero:

$$dPg = \gamma dV = \gamma A dy \therefore$$

$$pA + \gamma A dy - pA - dpA = 0$$

Simplificando:

$$\gamma A dy - dpA = 0 \therefore$$

$$dp = \gamma dy$$

Integrando entre los puntos 1 y 2:

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$\int_1^2 dp = \int_1^2 \gamma dy \quad \text{si se considera } \gamma \text{ constante en el rango de estudio:}$$

$$p_2 - p_1 = \gamma(y_2 - y_1)$$

Si se considera que $p = p_2 - p_1$ entonces:

$$p = \gamma(y_2 - y_1)$$

finalmente, sea $h = y_2 - y_1$

$$p = \gamma h \quad \text{----- 4.2.1}$$

Esta ecuación también es frecuente verla expresada en función de la densidad multiplicada por la aceleración gravitatoria en lugar del peso específico del líquido, como a continuación se indica:

$$\gamma = \rho g \quad \therefore$$

$$p = \rho g h \quad \text{----- 4.2.2}$$

Principio de Arquímedes. En la actualidad no nos causa asombro, que cuerpos más pesados que el agua y el aire floten en ellos. Vemos con naturalidad que enormes buques, cuyos pesos sobrepasan las 50,000 toneladas, recorren los mares a grandes velocidades. Un trozo de corcho o de madera seca colocado sobre el agua flota, lo cual no sucede con un trozo de plomo, pero si laminamos a éste y le damos la forma de un barquichuelo, también lograremos que flote en el agua. Estos hechos nos indican las condiciones para que los cuerpos floten y en dichos fenómenos el peso del cuerpo está equilibrado por el empuje del líquido. Colguemos de un dinamómetro un trozo de roca y anotemos el peso que registra el aparato; si ahora se introduce la roca en el agua, el dinamómetro indicará un peso menor; esta diferencia es igual al peso del líquido desplazado. Para comprobar esta aseveración se efectúa el siguiente experimento: el cuerpo que pende del dinamómetro se introduce en un vaso con tubo de derrame y lleno de líquido, el líquido desalojado escurre por un tubo lateral a un vaso pequeño, si pesamos ahora el líquido derramado, veremos que es igual a la diferencia entre los pesos registrados por el dinamómetro antes de sumergir el cuerpo y después de sumergido.

El principio de Arquímedes es también una consecuencia necesaria de las leyes de la mecánica de los fluidos. Cuando un cuerpo está total o parcialmente sumergido en un fluido. La presión es mayor sobre las partes sumergidas a mayor profundidad. La resultante de todas las fuerzas es una fuerza dirigida hacia arriba y llamada el empuje sobre el cuerpo sumergido. Hemos visto que esta fuerza actúa verticalmente a través del centro de gravedad del fluido antes de ser desplazado.

La presión sobre cualquier parte de la superficie del cuerpo no depende, ciertamente, del material del que el cuerpo esté hecho. Supongamos entonces que el cuerpo, o la parte de él que está sumergida, se reemplaza por un fluido igual al que lo rodea. Este fluido experimentará la presión que actúa sobre el cuerpo sumergido y permanecerá en reposo. Por lo tanto, la fuerza resultante hacia arriba que actúa sobre él, será igual a su peso y actuará verticalmente hacia arriba a través de su centro de gravedad.

El empuje de los líquidos sobre los cuerpos sumergidos, se puede comprobar por medio de la *balanza hidrostática*, una de las formas más utilizadas en la actualidad en los laboratorios escolares, porque se

TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

presta para usarla en otros ejercicios experimentales. El cuerpo se cuelga por medio de un hilo de seda, del gancho del platillo corto, en el otro platillo se colocan las pesas hasta lograr el equilibrio, éstas representan el peso del cuerpo. Se introduce el cuerpo en el agua, y se observa que la balanza se inclina del lado de las pesas; para restablecer el equilibrio, se colocan pesas en el plato corto; el peso de estas pesas representan al empuje, porque lo equilibran. Utilizando un vaso con tubo de derrame, se confirma que el peso del líquido desalojado es igual al empuje. Estos hechos y otros de igual índole muestran el principio de Arquímedes, el cual se enuncia como sigue:

“Todo cuerpo sumergido en un líquido, experimenta un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del líquido desalojado”.

El punto en donde se encuentra aplicado el empuje se llama centro de presiones y está en el centro de gravedad del cuerpo si éste es homogéneo y uniforme.

Cuerpos sumergidos y cuerpos flotantes. Por lo que hemos dicho anteriormente, sabemos que todo cuerpo colocado en un líquido está solicitado por dos fuerzas verticales: una, el peso del cuerpo, dirigida hacia abajo y aplicada en su centro de gravedad; la otra, el empuje, dirigida hacia arriba, de intensidad igual al peso del líquido desalojado y aplicada en el centro de presiones. Como resultado de la acción de estas dos fuerzas se puede tener:

- El cuerpo flota si el peso del cuerpo es menor que el empuje ascendente, como sucede con un trozo de corcho o de madera seca en el agua. También sucede con bronce, zinc, aluminio o hierro en el mercurio.
- El cuerpo se hunde si el peso del cuerpo es mayor que el empuje que experimenta, por ejemplo si colocamos un trozo de hierro en el agua.
- Cuando el peso del cuerpo y el empuje que experimenta en el líquido tienen la misma intensidad, el cuerpo se mantiene entre dos capas líquidas, es decir queda sumergido pero sin hundirse hasta el fondo.

Los tres fenómenos anteriores se pueden observar con el *Ludión* o *diablillo de Descartes*, únicamente con oprimir la membrana que cubre el recipiente, el fenómeno ocurre por la penetración del líquido en la esferita flotadora, al variar la presión.



Cuando el cuerpo se hunde, su condición de equilibrio es semejante a la de los cuerpos apoyados. Cuando el cuerpo tiene el mismo peso específico medio que el del líquido en que se sumerge, es decir, cuando permanece entre dos capas líquidas, entonces su equilibrio quedará sujeto a las mismas leyes de los cuerpos suspendidos. Finalmente, si el cuerpo flota, el centro de presiones llamado también *de carena*, recibe el empuje ascendente que debe ser mayor al peso gravitatorio del objeto.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. OBJETIVO:

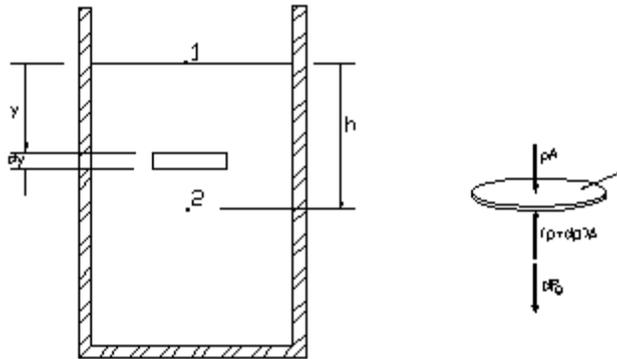
Analizar el fenómeno de la variación de la presión en los fluidos a diferentes profundidades como consecuencia de su peso específico

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS:

Presión en los líquidos. Como los líquidos naturales tienen peso, la presión en cada nivel se debe al peso de las capas superiores del líquido. Por otra parte, un corolario derivado del principio de Pascal es que *“la presión de un líquido en un plano horizontal es la misma”*.

Analicemos ahora la presión hidrostática en el seno de un líquido:

Consideremos un recipiente como el mostrado en la siguiente figura, conteniendo un líquido en reposo. Un elemento de este líquido, obviamente también estará en reposo. Sea el elemento un pequeño disco de superficie A y altura dy ; por estar en reposo, la suma de fuerzas que actúan sobre él estarán en equilibrio.



En todo el costado del disco las fuerzas se equilibran por lo que no las consideraremos; en cambio la cara superior del disco tiene una presión ligeramente menor que la inferior ya que esta última se encuentra a mayor profundidad, sea dp la diferencial de presión entre las dos caras.

Aplicando una sumatoria de fuerzas:

$$\Sigma F_y = 0 \therefore$$

$$pA + dp_g - (p + dp)A = 0$$

Pero:

$$dPg = \gamma dV = \gamma A dy \quad \therefore$$

$$pA + \gamma A dy - pA - dpA = 0$$

Simplificando:

$$\gamma A dy - dpA = 0 \quad \therefore$$

$$dp = \gamma dy$$

Integrando entre los puntos 1 y 2:

$$\int_1^2 dp = \int_1^2 \gamma dy \quad \text{si se acepta que } \gamma \text{ sea constante en el rango de estudio:}$$

$$p_2 - p_1 = \gamma(y_2 - y_1)$$

Si se considera que $p = p_2 - p_1$ entonces:

$p = \gamma(y_2 - y_1) \therefore$ finalmente, sea $h = y_2 - y_1$ entonces:

| | |
|----------------|-------------|
| $p = \gamma h$ | ----- 4.2.1 |
|----------------|-------------|

Esta ecuación también es frecuente verla expresada en función de la densidad multiplicada por la aceleración gravitatoria en lugar del peso específico del líquido, como a continuación se indica:

$$\gamma = \rho g \quad \therefore$$

| | |
|----------------|-------------|
| $p = \rho g h$ | ----- 4.2.2 |
|----------------|-------------|

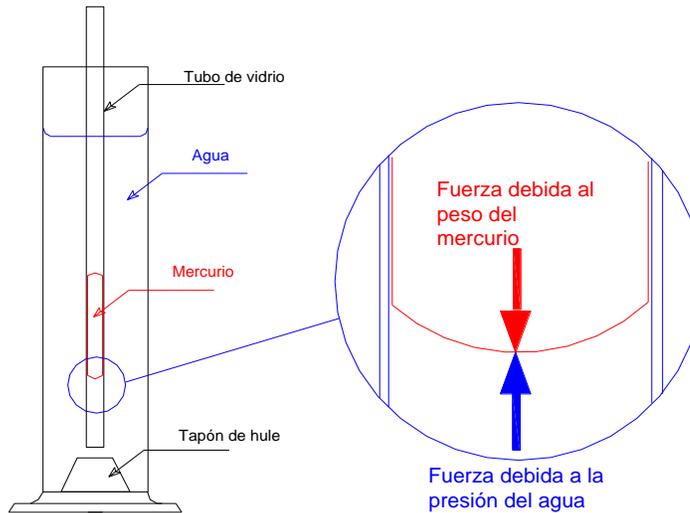
3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

1. Escalímetro metálico
2. Tubo de vidrio
3. Tapón de hule
4. Recipiente de vidrio
5. Mercurio
6. Jeringa
7. Agua
8. Multimanómetro diferencial

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

Cada equipo formado llevará a cabo los siguientes pasos y al final se reunirá la información de todos los equipos para lograr mayor número de datos y aproximar así la media estadística al valor teórico esperado.

- 1^{er} paso:** Colocar al fondo del recipiente de vidrio el tapón de hule
- 2^{do} paso:** Apoyar en el tapón de hule el tubo de vidrio y presionarlo firmemente
- 3^{er} paso:** Con ayuda de la jeringa llenar de mercurio el tubo de vidrio.
- 4^o paso:** Agregar agua al recipiente hasta aprox. $\frac{3}{4}$ del lleno total.
- 5^o paso:** Liberar poco a poco la fuerza aplicada entre el tubo de vidrio y el tapón de hule permitiendo que escape parte del mercurio. Llegará un momento en el que la presión del agua iguale en su empuje ascendente al peso del mercurio y entonces no saldrá más mercurio.



- 6^o paso:** Introducir la regleta graduada y medir la distancia que hay de la base del mercurio hasta la superficie libre del agua (distancia H_a) y también la longitud de la columna de mercurio (H_m).
- 7^o paso:** Repetir los pasos anteriores levantando poco a poco el tubo de vidrio para que escape algo del mercurio en cada ocasión a fin de completar al menos tres lecturas. Anotar las lecturas en la siguiente tabla:

Equipo:

| LECTURA | H_a | H_m | Observaciones |
|---------|-------|-------|---------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |

7° paso: **Cálculos:** La fuerza ascendente de la presión del agua será:

$$F = pA = \gamma_a (Ha)A$$

Esta fuerza está en equilibrio con el peso de la columna de mercurio que vale:

$$w = \gamma_m (Hm)A$$

Igualando las dos ecuaciones y simplificando tenemos:

$$F = w \quad \therefore$$

$$\gamma_a (Ha)A = \gamma_m (Hm)A \quad \therefore$$

$$\gamma_a (Ha) = \gamma_m (Hm)$$

8° paso: Sabemos que el peso específico del agua es de 1 gr/cm³ y el del mercurio de 13.6 por lo que

$$Ha = 13.6 (Hm)$$

5. RESULTADOS

Hacer las operaciones y completar la tabla:

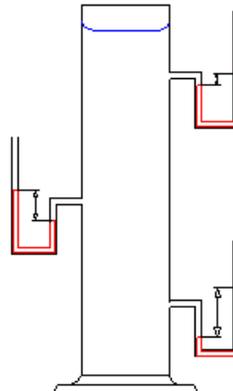
Equipo:

| LECTURA | Ha | 13.6 (Hm) | Observaciones |
|---------|----|-------------|---------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |

9° paso: El siguiente dispositivo permite ver al alumno de manera sencilla que los distintos manómetros diferenciales colocados a distinta altura presentan diferentes alturas de la columna de mercurio. Para cada una de las lecturas del manómetro, se debe cumplir la misma relación anterior:

$$\gamma_a (Ha) = \gamma_m (Hm) \quad \therefore$$

$$Ha = 13.6 (Hm)$$





**TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA**

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

10° paso: Completar la siguiente tabla:

| Equipo: | | | | |
|---------|----|----|-------------|---------------|
| LECTURA | Ha | Hm | 13.6 (Hm) | Observaciones |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |

6. CONCLUSIONES

En este espacio el alumno describirá las conclusiones a las que haya llegado, comparando los resultados obtenidos contra lo esperado, analizando las fuentes de error, indicando sus propias observaciones y describiendo la importancia del aprendizaje realizado.

7. FUENTES DE CONSULTA

El alumno, en su reporte deberá incluir una introducción teórica en referencia al objetivo de la práctica, debe anotar la bibliografía consultada señalando Autor, Editorial y Edición de los libros consultados. En caso de obtener información de Internet, debe indicar el Sitio consultado.

1. OBJETIVO:

Analizar el fenómeno de la variación de la presión en los fluidos a diferentes profundidades como consecuencia de su peso específico.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

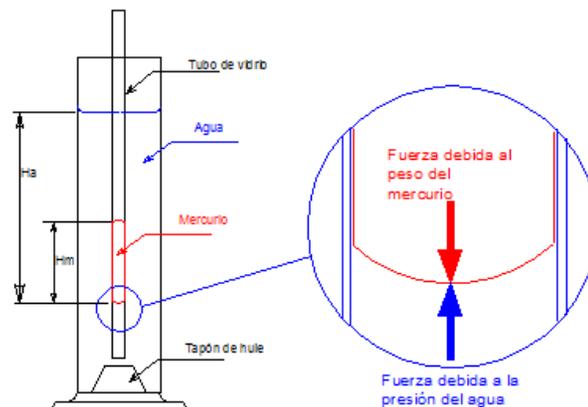
3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

1. Escalímetro metálico
2. Tubo de vidrio
3. Tapón de hule
4. Recipiente de vidrio
5. Mercurio
6. Jeringa
7. Agua
8. Multimanómetro diferencial

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

Cada equipo formado llevará a cabo los siguientes pasos y al final se reunirá la información de todos los equipos para lograr mayor número de datos y aproximar así la media estadística al valor teórico esperado.

- 1^{er} paso:** Colocar al fondo del recipiente de vidrio el tapón de hule
- 2^{do} paso:** Apoyar en el tapón de hule el tubo de vidrio y presionarlo firmemente
- 3^{er} paso:** Con ayuda de la jeringa llenar de mercurio el tubo de vidrio.
- 4^o paso:** Agregar agua al recipiente hasta aprox. $\frac{3}{4}$ del lleno total.
- 5^o paso:** Liberar poco a poco la fuerza aplicada entre el tubo de vidrio y el tapón de hule permitiendo que escape parte del mercurio. Llegará un momento en el que la presión del agua iguale en su empuje ascendente al peso del mercurio y entonces no saldrá más mercurio.



6° paso: Introducir la regleta graduada y medir la distancia que hay de la base del mercurio hasta la superficie libre del agua (distancia H_a) y también la longitud de la columna de mercurio (H_m).

7° paso: Repetir los pasos anteriores levantando poco a poco el tubo de vidrio para que escape algo del mercurio en cada ocasión a fin de completar al menos tres lecturas. Anotar las lecturas en la siguiente tabla:

Equipo: 1

| LECTURA | H_a | H_m | Observaciones |
|---------|---------|--------|---------------|
| 1 | 62.3 cm | 4.5 cm | |
| 2 | 46.7 cm | 3.5 cm | |
| 3 | 23.7 cm | 1.7 cm | |
| 4 | 15.4 cm | 1.0 cm | |
| | | | |

Equipo: 2

| LECTURA | H_a | H_m | Observaciones |
|---------|---------|--------|---------------------------|
| 1 | 76.5 cm | 5.5 cm | H_m debería ser 5.62 cm |
| 2 | 52.0 cm | 3.7 cm | H_m debería ser 3.82 cm |
| 3 | 22.6 cm | 1.7 cm | H_m debería ser 1.66 cm |
| 4 | 12.4 cm | 0.8 cm | H_m debería ser 0.91 cm |
| | | | |

7° paso: **Cálculos:** La fuerza ascendente de la presión del agua será:

$$F = pA = \gamma_a (H_a)A$$

Esta fuerza está en equilibrio con el peso de la columna de mercurio que vale:

$$w = \gamma_m (H_m)A$$

Igualando las dos ecuaciones y simplificando tenemos:

$$F = w \quad \therefore$$

$$\gamma_a (H_a)A = \gamma_m (H_m)A \quad \therefore$$

$$\gamma_a (H_a) = \gamma_m (H_m)$$



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

8° paso: Sabemos que el peso específico del agua es de 1 gr/cm^3 y el del mercurio de 13.6 por lo que

$$H_a = 13.6 (H_m)$$

Hacer las operaciones y completar la tabla:

Equipo: 1

| LECTURA | H_a | $13.6 (H_m)$ | Observaciones |
|---------|---------|--------------|------------------------|
| 1 | 62.3 cm | 61.2 cm | Hm debería ser 4.58 cm |
| 2 | 46.7 cm | 47.6 cm | Hm debería ser 3.43 cm |
| 3 | 23.7 cm | 23.12 cm | Hm debería ser 1.74 cm |
| 4 | 15.4 cm | 14.96 cm | Hm debería ser 1.13 cm |
| 5 | | | |

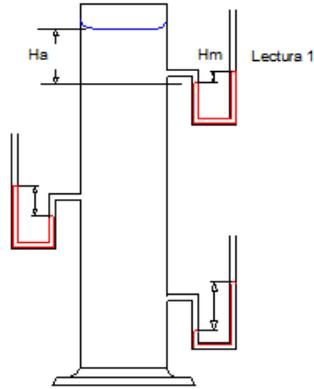
Equipo: 2

| LECTURA | H_a | $13.6 (H_m)$ | Observaciones |
|---------|---------|--------------|------------------------|
| 1 | 76.5 cm | 74.8 cm | Hm debería ser 5.62 cm |
| 2 | 52.0 cm | 50.32 cm | Hm debería ser 3.82 cm |
| 3 | 22.6 cm | 23.12 cm | Hm debería ser 1.66 cm |
| 4 | 12.4 cm | 10.88 cm | Hm debería ser 0.91 cm |
| 5 | | | |

9° paso: El siguiente dispositivo permite ver al alumno de manera sencilla que los distintos manómetros diferenciales colocados a distinta altura presentan diferentes alturas de la columna de mercurio. Para cada una de las lecturas del manómetro, se debe cumplir la misma relación anterior:

$$\gamma_a (H_a) = \gamma_m (H_m) \therefore$$

$$H_a = 13.6 (H_m)$$



10° paso: Completar la siguiente tabla:

Equipo: 1

| LECTURA | Ha | Hm | 13.6 (Hm) | Observaciones |
|---------|----------|--------|-------------|--------------------|
| 1 | 8.7 cm | 0.6 cm | 8.16 cm | Lectura aproximada |
| 2 | 36.7 cm | 2.8 cm | 38.08 cm | Lectura aproximada |
| 3 | 64 .2 cm | 4.7 cm | 63.9 cm | Lectura aproximada |
| 4 | | | | |

Equipo: 2

| LECTURA | Ha | Hm | 13.6 (Hm) | Observaciones |
|---------|----------|---------|-------------|--------------------|
| 1 | 9.3 cm | 0.65 cm | 8.84 cm | Lectura aproximada |
| 2 | 35.0 cm | 2.5 cm | 34.0 cm | Lectura aproximada |
| 3 | 64 .6 cm | 4.7 cm | 63.92 cm | Lectura aproximada |
| 4 | | | | |



**TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA**

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

5. RESULTADOS

No Aplica.

6. CONCLUSIONES

En este espacio el alumno describirá las conclusiones a las que haya llegado, comparando los resultados obtenidos contra lo esperado, analizando las fuentes de error, indicando sus propias observaciones y describiendo la importancia del aprendizaje realizado.

7. FUENTES DE CONSULTA

El alumno, en su reporte deberá incluir una introducción teórica en referencia al objetivo de la práctica, debe anotar la bibliografía consultada señalando Autor, Editorial y Edición de los libros consultados. En caso de obtener información de Internet, debe indicar el Sitio consultado.



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

SESIÓN PRÁCTICA NO. 5
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL
AIRE

INTRODUCCIÓN

CONDICIÓN NATURAL DEL AIRE.

El aire en la atmósfera terrestre es una mezcla de gases cuyo porcentaje bajo condiciones promedio es la siguiente:

| GASES | % EN VOLUMEN |
|----------------------------------|--------------|
| Nitrógeno | 78.03 |
| Oxígeno | 20.99 |
| Argón | 0.94 |
| Bióxido de carbono | 0.03 |
| Hidrógeno, Xenón, Criptón, otros | 0.01 |

Entre los espacios intermoleculares se aloja el vapor de agua en mayor o menor cantidad dependiendo de la temperatura y la presión atmosférica. Este factor, la humedad en el aire, es un elemento de especial consideración dentro de la Ingeniería civil ya que interviene tanto en el fraguado del concreto hidráulico como en la conservación de las estructuras o el requisito de acondicionamiento del aire en viviendas, oficinas, laboratorios, etc.

IMPUREZAS:

El aire contiene en estado de suspensión debido al viento y con tendencia a precipitarse las siguientes impurezas (variables según lugar, clima, estación o eventualidades como una erupción volcánica o el incendio de un bosque):

- Humos de sulfuros
- Humos de ácidos
- Monóxido de carbono
- Ozono
- Polvos:
 - Cenizas
 - Minerales
 - Vegetales microscópicos, polen
 - Microorganismos

ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE

Acondicionar el aire es controlar su temperatura, humedad, pureza y distribución. Su objeto es procurar la comodidad de los ocupantes de residencias, teatros, escuelas, laboratorios, oficinas, fábricas, etc., o bien, en la industria, mantener productos alimenticios, productos químicos, medicamentos, etcétera, a bajas temperaturas para evitar que se contaminen.



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Lograr acondicionar el aire de un determinado lugar como los mencionados requiere conocer, para poderlas controlar, varias características entre ellas precisamente su temperatura y humedad.

Bajo otras circunstancias, por ejemplo cuando se hace un colado de concreto hidráulico, no se pretende controlar la temperatura y humedad del medio ambiente sino conocerlas a fin de adoptar el procedimiento adecuado para que el proporcionamiento de la mezcla y el curado del mismo permita alcanzar los valores de resistencia requeridos.

TEMPERATURAS DE BULBO SECO Y DE BULBO HÚMEDO

La temperatura de bulbo seco es la que se mide con un termómetro ordinario, y es la medida del *calor sensible* del aire expresado en grados centígrados o Fahrenheit.

La temperatura de bulbo húmedo indica la cantidad de calor total contenido en el aire, también llamado *calor latente* y está expresado en grados centígrados o Fahrenheit. Se determina cubriendo el bulbo de un termómetro con una tela humedecida con agua limpia y haciendo pasar aire rápidamente o girando el bulbo rápidamente para que el agua de la tela comience a evaporarse.

Para lograr la evaporación del agua de la tela se requiere calor, el cual se toma del mercurio del bulbo y del aire circulante; la temperatura del agua en la tela y la del termómetro consecuentemente bajan proporcionalmente a la evaporación ocurrida.

Si está seco el aire que rodea al termómetro, la evaporación es rápida y el descenso de temperatura es grande. Por el contrario, si el aire está muy húmedo, la evaporación es lenta y, por lo tanto, la diferencia de temperatura entre el bulbo seco y el húmedo, es pequeña. Si el aire está saturado de humedad, no habrá evaporación ni bajará la temperatura por lo que la temperatura de bulbo húmedo será igual a la del bulbo seco.

Con los valores obtenidos de temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo, unas tablas que indican la presión del vapor saturado y un par de ecuaciones, es posible calcular el valor de *la humedad relativa del aire*. Aclaremos antes las causas que provocan la variación en la humedad relativa del aire en una determinada localidad:

Variación de la humedad relativa

- a) La humedad relativa se puede aumentar de las siguientes formas:
 - 1) Reduciendo la temperatura, sin variar la humedad absoluta.
 - 2) Aumentando la humedad absoluta sin variar la temperatura.
 - 3) Reduciendo la temperatura a la vez que se aumenta la humedad.
- b) La humedad relativa se puede disminuir de las siguientes maneras:
 - 1) Aumentando la temperatura, sin variar la humedad absoluta.
 - 2) Disminuyendo la humedad absoluta, sin variar la temperatura final.
 - 3) Aumentando la temperatura a la vez que se disminuye la humedad.

Veamos ahora la definición de la humedad relativa en términos de las ecuaciones que permiten su cálculo para una localidad bajo determinadas condiciones ambientales:

HUMEDAD RELATIVA (ϕ)

La humedad relativa se define como la relación de la presión parcial del vapor en el aire con la presión de saturación del vapor correspondiente a la temperatura existente.

Otra manera de definir a al humedad relativa es: la relación de la densidad del vapor de agua en el aire con la densidad de saturación a la temperatura correspondiente. Utilizaremos la primera definición:

$$\phi = \left(\frac{P_v}{P_d} \right) \times 100 \quad \text{----- 1}$$

en donde:

P_v = presión parcial del vapor de agua

P_d = presión de saturación del vapor de agua (se obtiene de las tablas psicrométricas con la temperatura de bulbo seco)

ϕ = humedad relativa en %

$$P_v = P_w - \frac{(P_{at} - P_w)(T_{bs} - T_{bh})}{2800 - 1.3 T_{bh}} \quad \text{----- 2}$$

P_w = presión de vaporación del agua (se obtiene de las tablas psicrométricas con la temperatura de bulbo húmedo)

P_{at} = presión atmosférica local en plg Hg

En seguida se presentan las tablas de las propiedades de una mezcla de aire con vapor de agua saturado. Si en la columna de la izquierda entramos con la temperatura de bulbo seco (t_{bs}) en la columna de la derecha obtenemos el valor de P_d requerido en la ecuación 1. Por otra parte, si entramos en la columna de la izquierda con la temperatura de bulbo húmedo (t_{bh}) obtendremos en la columna de la derecha el valor de P_w necesario para la ecuación 2.



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

PRESION DEL VAPOR SATURADO PRESION DEL VAPOR SATURADO PRESION DEL VAPOR SATURADO

| <i>Temp.</i> °F | <i>Pulgadas de Hg</i> | <i>Temp.</i> °F | <i>Pulgadas de Hg</i> | <i>Temp.</i> °F | <i>Pulgadas de Hg</i> |
|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) |
| 0 | 0.03773 | 47 | 0.32393 | 94 | 1.6088 |
| 1 | 0.03975 | 48 | 0.33635 | | |
| 2 | 0.04186 | 49 | 0.34917 | 95 | 1.6591 |
| 3 | 0.04409 | | | 96 | 1.7108 |
| 4 | 0.04645 | 50 | 0.36241 | 97 | 1.7638 |
| | | 51 | 0.37625 | 98 | 1.8181 |
| 5 | 0.04886 | 52 | 0.39051 | 99 | 1.8741 |
| 6 | 0.05144 | 53 | 0.40496 | | |
| 7 | 0.05412 | 54 | 0.42003 | 100 | 1.9316 |
| 8 | 0.05692 | | | 101 | 1.9904 |
| 9 | 0.05988 | 55 | 0.43570 | 102 | 2.0507 |
| | | 56 | 0.45179 | 103 | 2.1128 |
| 10 | 0.06295 | 57 | 0.46828 | 104 | 2.1763 |
| 11 | 0.06618 | 58 | 0.48538 | | |
| 12 | 0.06958 | 59 | 0.50310 | 105 | 2.2414 |
| 13 | 0.07309 | | | 106 | 2.3084 |
| 14 | 0.07677 | 60 | 0.52142 | 107 | 2.3770 |
| | | 61 | 0.54035 | 108 | 2.4473 |
| 15 | 0.08067 | 62 | 0.55970 | 109 | 2.5196 |
| 16 | 0.08469 | 63 | 0.57985 | | |
| 17 | 0.08895 | 64 | 0.60042 | 110 | 2.5939 |
| | | 65 | 0.62179 | 111 | 2.6692 |
| 18 | 0.09337 | 66 | 0.64378 | | |
| 19 | 0.09797 | 67 | 0.66638 | 112 | 2.7486 |
| | | 68 | 0.68980 | 113 | 2.8280 |
| 20 | 0.1028 | 69 | 0.71382 | 114 | 2.9044 |
| 21 | 0.1078 | | | | |
| 22 | 0.1132 | 70 | 0.73866 | 115 | 2.9929 |
| 23 | 0.1186 | 71 | 0.76431 | 116 | 3.0784 |
| 24 | 0.1241 | 72 | 0.79058 | 117 | 3.1660 |
| | | 73 | 0.81766 | 118 | 3.2576 |
| 25 | 0.1301 | 74 | 0.84555 | 119 | 3.3492 |
| 26 | 0.1366 | | | | |
| 27 | 0.1432 | 75 | 0.87448 | 120 | 3.4449 |
| 28 | 0.1500 | 76 | 0.90398 | 121 | 3.5406 |
| 29 | 0.1571 | 77 | 0.93452 | 122 | 3.6404 |
| | | 78 | 0.96588 | 123 | 3.7422 |
| 30 | 0.1645 | 79 | 0.99825 | 124 | 3.8460 |
| 31 | 0.1722 | | | | |
| 32 | 0.1803 | 80 | 1.0316 | 125 | 3.9519 |
| 33 | 0.1879 | 81 | 1.0661 | 126 | 4.0618 |
| 34 | 0.1957 | 82 | 1.1013 | 127 | 4.1718 |
| | | 83 | 1.1377 | 128 | 4.2858 |
| 35 | 0.20360 | 84 | 1.1752 | 129 | 4.4039 |
| 36 | 0.21195 | | | | |
| 37 | 0.22050 | 85 | 1.2135 | 130 | 4.5220 |
| 38 | 0.22925 | 86 | 1.2527 | 131 | 4.6441 |
| 39 | 0.23842 | 87 | 1.2933 | 132 | 4.7703 |
| | | 88 | 1.3346 | 133 | 4.8986 |
| 40 | 0.24778 | 89 | 1.3774 | 134 | 5.0289 |
| 41 | 0.25755 | | | | |
| 42 | 0.26773 | 90 | 1.4231 | 135 | 5.1633 |
| 43 | 0.27832 | 91 | 1.4661 | 136 | 5.2997 |
| 44 | 0.28911 | 92 | 1.5125 | 137 | 5.4402 |
| | | 93 | 1.5600 | 138 | 5.5827 |
| 45 | 0.30031 | | | 139 | 5.7293 |
| 46 | 0.31191 | | | | |

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

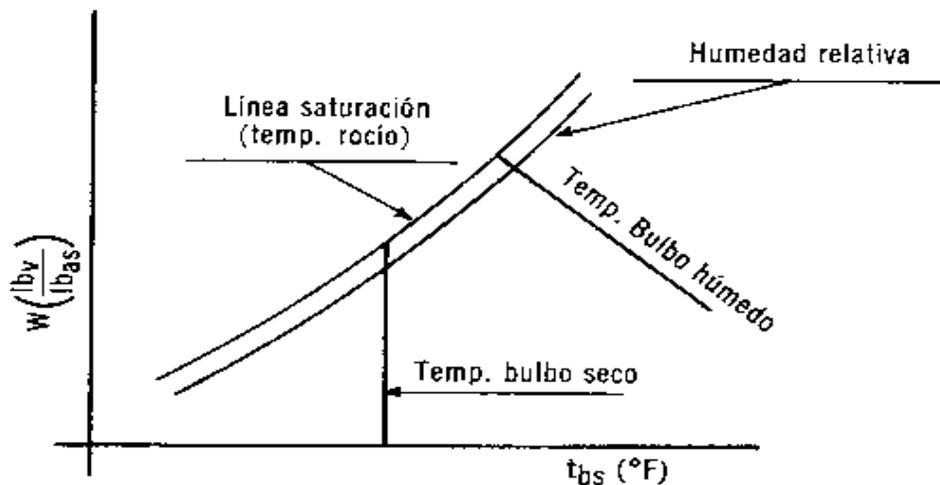
Carta psicrométrica

La carta psicrométrica es la representación gráfica de las tablas y, con ella se pueden analizar gráficamente las propiedades psicrométricas y se facilita la solución de diferentes problemas.

- 1) Temperatura del bulbo húmedo (T_{bh}).
- 2) Temperatura de rocío (T_w).
- 3) Temperatura de bulbo seco (T_{bs}).
- 4) Humedad relativa (%).
- 5) Humedad específica (W_v). (es el peso del vapor de agua en el aire no saturado por cada libra de aire seco)

Cuando se conocen dos de estas propiedades, las demás se encuentran con toda facilidad.

La carta parte de la línea de saturación, o sea, a cada temperatura de bulbo seco corresponde cierta cantidad de humedad para que haya saturación; por lo tanto, si en las abscisas se representan las temperaturas y en las ordenadas las humedades específicas, la línea de saturación tiene la forma mostrada en la figura.



Carta psicrométrica.

A continuación se presenta una copia de la tabla del manual de aire acondicionado Carrier para la Cd. de México (por su elevación sobre el nivel del mar).

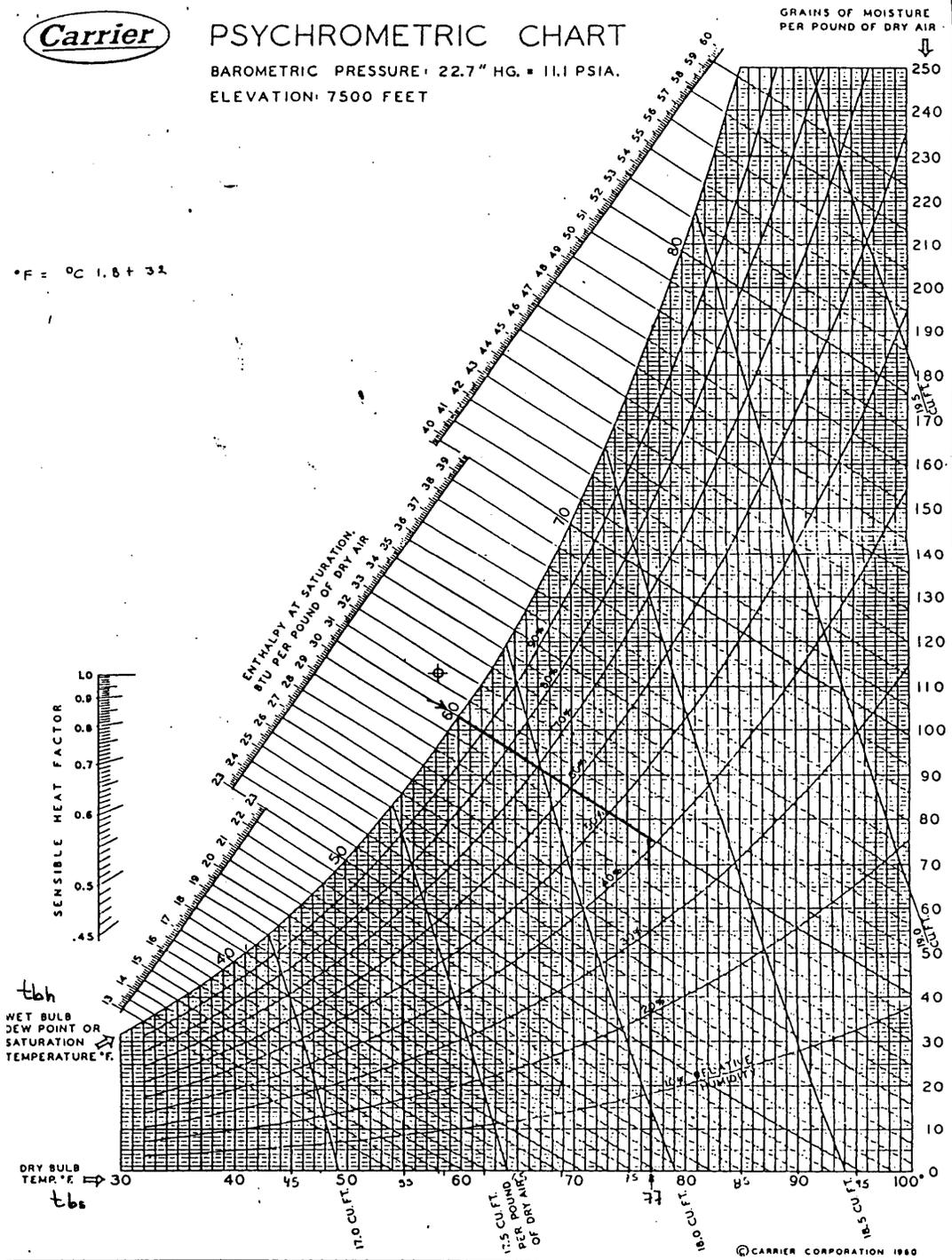
La manera de usarla es sencilla: con la temperatura de bulbo húmedo se traza una línea paralela a las diagonales y con la temperatura de bulbo seco se lleva una vertical. El lugar donde estas dos líneas se crucen será el valor de la humedad relativa en %. En la carta se muestra un ejemplo en que $t_{bh} = 60$ °F y $t_{bs} = 77$ °F.



PSYCHROMETRIC CHART

BAROMETRIC PRESSURE: 22.7" HG. = 11.1 PSIA.
ELEVATION: 7500 FEET

$^{\circ}F = ^{\circ}C \cdot 1.8 + 32$



Temperatura de rocío (t_w)

La temperatura de rocío (expresada en °F) indica la cantidad de humedad contenida en el aire. Es la temperatura a la cual el aire se satura cuando se enfría, suponiendo que no hay aumento ni disminución de humedad. La temperatura de rocío no se puede cambiar, si no se aumenta o disminuye la humedad del aire.

Si el aire se enfría a una temperatura inferior a la de rocío, empieza la condensación y se establece una nueva temperatura de rocío.

La temperatura de rocío se puede disminuir, substrayendo humedad del aire (o sea, substrayendo vapor de agua a un peso dado de aire) y se puede aumentar añadiendo humedad al aire. Por ejemplo: si un aire saturado a 70 °F se enfría a 65°F, se dice que hay 5°F de precipitación y quedará aire a una temperatura de rocío de 65°F, saturado también. Si ese mismo aire se calienta a 70°F, el punto de rocío permanece en 65°F.

La temperatura de rocío de cualquier mezcla de aire y vapor de agua se puede determinar de la manera siguiente:

1. Enfriando poco a poco un recipiente que contenga aire, la temperatura a la que la condensación empieza a aparecer en las paredes del recipiente es la temperatura de rocío.
2. La temperatura de rocío se puede encontrar psicrométricamente partiendo de la temperatura de bulbo húmedo y de bulbo seco.

Características de la temperatura de rocío.

- Es una medida de la humedad contenida en el aire.
- Es la temperatura a la cual se satura el aire.
- Es una temperatura que no cambia sin cambiar la humedad del aire.
- Si se enfría por debajo de ésta, empieza la condensación
- Sólo se reduce disminuyendo el vapor de agua contenido en el aire.
- Sólo aumenta añadiendo vapor de agua al aire.

Relación de saturación (μ)

La relación de saturación designada con la letra μ se define como la “relación del peso de vapor mezclado con una libra de aire seco en un momento dado, con el peso de vapor que satura esa libra de aire a la temperatura de la mezcla”.

$$\mu = \frac{W_v}{W_d}$$

W_v = peso del vapor mezclado con una unidad de peso de aire seco.

W_d = peso del vapor que saturaría a la unidad de peso de aire seco.

1. OBJETIVO

Mediante el uso de un psicrómetro obtener las temperaturas de bulbo húmedo (T_{bh}) y de bulbo seco (T_{bs}) y con estos datos, determinar la humedad relativa del aire.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

El aire seco de la atmósfera terrestre es una mezcla de gases cuyo porcentaje en condiciones promedio se muestra en la siguiente tabla:

| GASES | PORCENTAJE |
|----------------------------------|------------|
| Nitrógeno | 78.03 |
| Oxígeno | 20.99 |
| Argón | 0.94 |
| Bióxido de carbono | 0.03 |
| Hidrógeno, Xenón, Criptón, otros | 0.01 |

Entre los espacios intermoleculares se aloja el vapor de agua en mayor o menor cantidad dependiendo de la temperatura y la presión atmosférica. Este factor, la humedad en el aire, es un elemento de especial consideración dentro de la Ingeniería civil ya que interviene tanto en el fraguado del concreto hidráulico como en la conservación de las estructuras o el requisito de acondicionamiento del aire en viviendas, oficinas, laboratorios, etc.

La determinación de la humedad relativa del aire se hace a partir de tablas o cartas utilizando como datos las lecturas de la presión atmosférica local y las temperaturas de bulbo seco (t_{bs}) y de bulbo húmedo (t_{bh}) de un psicrómetro.

Las ecuaciones a utilizar para determinar la humedad relativa del aire son las siguientes:

Sea: ϕ = humedad relativa del aire en %

$$\phi = \frac{P_v}{P_d} \times 100 \quad \text{----- 1}$$

P_v = Presión parcial del vapor en el aire en plg de Hg.

P_d = Presión de saturación del vapor de agua a la t_{bs} en plg de Hg.

Para obtener P_d se utiliza la tabla anexa entrando en la columna izquierda con el dato de la temperatura de bulbo seco que se obtiene del psicrómetro (ver procedimiento).

Para obtener P_v se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_v = P_w - \frac{(P_{at} - P_w)(t_{bs} - t_{bh})}{2800 - 1.3 t_{bh}} \quad \text{----- 2}$$

En donde: P_w = Presión de evaporación del agua a la t_{bh} en plg de Hg.

P_{at} = Presión atmosférica local en plg de Hg.

t_{bs} y t_{bh} dadas en °F

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

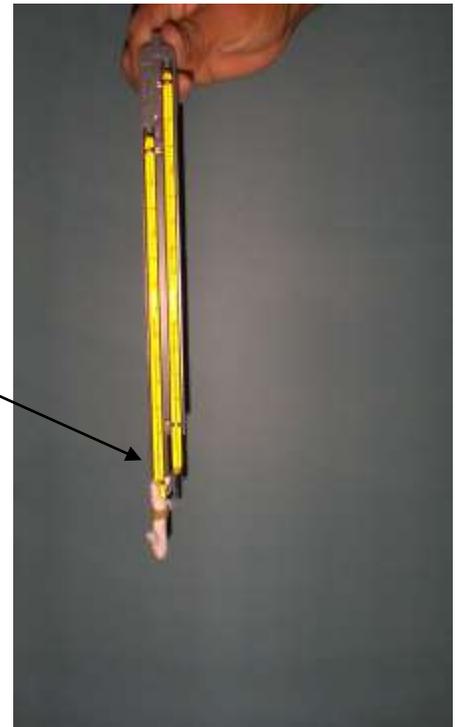
- 1 Psicrómetro
- 2 Tablas psicrométricas
- 3 Higrómetro
- 4 Matraz Erlenmeyer con agua
- 5 Termómetro para temperatura de bulbo húmedo
- 6 Termómetro para temperatura de bulbo seco
- 7 Matraz Kitazato
- 8 Mangueras
- 9 Material absorbente secador de aire (ejem: gis seco)

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

Para cumplir con el objetivo de la práctica, se determinará la humedad relativa del aire en el laboratorio y además, se determinará la humedad relativa de un aire secado artificialmente y de otro humedecido al máximo posible, con el fin de que el alumno comprenda la diferencia entre ellos.

4.1 **Primer experimento:** determinar la humedad del aire ambiente.

- Mojar el pedazo de tela del termómetro de bulbo húmedo del psicrómetro.
- Girar el psicrómetro durante un minuto aprox. hasta asegurarse de que la temperatura no baja más.
- Registrar las temperaturas del bulbo húmedo y bulbo seco
- Anotar los resultados en la tabla 1 de resultados



4.2 **Segundo experimento:** Determinar la humedad relativa del aire seco.

- Conectar una manguera de la toma de aire comprimido al secador de aire.
- Conectar una manguera del secador de aire al matraz Kitazato el cual tiene los dos termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo.
- Hacer circular aire durante al menos un minuto y si la temperatura de bulbo húmedo no desciende más, se toma la lectura.
- Anotar las lecturas en la tabla 2 de resultados.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

- 4.3 **Tercer experimento:** Determinar la humedad relativa del aire saturado húmedo.
- Conectar una manguera a la toma de aire comprimido.
 - Introducir la manguera en el matraz Erlenmeyer con agua, de este mismo sale otra manguera que va al matraz Kitazato el cual contiene los dos termómetros bulbo seco y bulbo húmedo.
 - Hacer circular aire durante al menos un minuto y si la temperatura de bulbo húmedo no desciende más, se toma la lectura.
 - Anotar las lecturas en en la tabla 3 de resultados
- 4.4 Con las fórmulas 1 y 2 y con ayuda de las tablas psicrométricas, se determinarán las humedades relativas del aire en las tres condiciones utilizando los valores promedio de las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo y se anotarán en la tabla 4 de resultados
- 4.5 Con el higrómetro se toma la lectura de la humedad relativa del aire ambiente y se compara con la obtenida a partir del psicrómetro.

5. RESULTADOS

Tabla 1.

| lectura | t_{bs} (°C , °F) | t_{bh} (°C , °F) |
|----------|--------------------|--------------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| n | | |
| Promedio | | |

Tabla 2.

| lectura | t_{bs} (°C , °F) | t_{bh} (°C , °F) |
|----------|--------------------|--------------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| n | | |
| Promedio | | |

Tabla 3

| lectura | t_{bs} (°C , °F) | t_{bh} (°C , °F) |
|----------|--------------------|--------------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| n | | |
| Promedio | | |



**TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA**

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Tabla 4

| CONDICION | P_w | P_v | P_d | ϕ |
|---------------|-------|-------|-------|--------|
| AIRE AMBIENTE | | | | |
| AIRE SECO | | | | |
| AIRE SATURADO | | | | |

6. CONCLUSIONES

En este lugar, el alumno anotará las conclusiones a las que haya llegado, describiendo las posibles fuentes de error en las lecturas o el uso de las tablas psicrométricas, el uso del higrómetro y sus limitaciones y la aplicación de las cartas psicrométricas. De igual manera anotará la aplicación del conocimiento de la humedad relativa del aire en la construcción, mantenimiento y aplicación de las obras civiles.

7. FUENTES DE CONSULTA

El alumno, en su reporte deberá incluir una introducción teórica en referencia al objetivo de la práctica, debe anotar la bibliografía consultada señalando Autor, Editorial y Edición de los libros consultados. En caso de obtener información de Internet, debe indicar el Sitio consultado.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

DESARROLLO DE UNA PRÁCTICA EXPERIMENTAL PARA LA PRÁCTICA No. 5 “DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE”

1. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

- 1 Psicrómetro
- 2 Tablas psicrométricas
- 3 Higrómetro
- 4 Matraz Erlenmeyer con agua
- 5 Termómetro para temperatura de bulbo húmedo
- 6 Termómetro para temperatura de bulbo seco
- 7 Matraz Kitazato
- 8 Mangueras
- 9 Material absorbente secador de aire (ejem: gis seco)

2. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Para cumplir con el objetivo de la práctica, se determinó la humedad relativa del aire en el laboratorio y además, se determinó la humedad relativa de un aire secado artificialmente y de otro humedecido al máximo posible, con la finalidad de comprender la diferencia entre ellos.

2.1 Primer experimento: determinar la humedad del aire ambiente.

- Se mojó el pedazo de tela del termómetro de bulbo húmedo del psicrómetro.
- Se giró el psicrómetro durante un minuto aprox. hasta asegurar que la temperatura no bajaba más.
- Se registraron las temperaturas del bulbo húmedo y bulbo seco.
- Se anotaron los resultados en la siguiente tabla:

| LECTURA | Tbs [°C] | Tbs [°F] | Tbh [°C] | Tbh [°F] |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 25.7 | 78.26 | 12.9 | 55.22 |
| 2 | 25.8 | 78.44 | 14.5 | 58.1 |
| 3 | 25.5 | 77.9 | 12.9 | 55.22 |
| 4 | 26.0 | 78.8 | 13.7 | 56.66 |
| 5 | 26.0 | 78.8 | 13 | 55.4 |

Los valores de P_d y P_w los tomamos de las tablas psicrométricas con los valores de la temperatura en grados Fahrenheit redondeando las cantidades.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$P_v = P_w - \frac{(P_{atm} - P_w)(T_{bs} - T_{bh})}{2800 - 1.3 T_{bh}}$$

$$\phi = \left(\frac{P_v}{P_d} \right) \times 100$$

$Patm_{local} = 58.6 \text{ cm Hg} = 23.07 \text{ plg. Hg}$

| No. | Tbs [°F] | P _d [plg Hg] | Tbh [°F] | P _w [plg Hg] | P _v [plg Hg] | φ [%] |
|-----|-------------|----------------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|----------|
| 1 | 78.26 | 0.96588 | 55.22 | 0.43570 | 0.24087 | 24.937 |
| 2 | 78.44 | 0.96588 | 58.1 | 0.48538 | 0.31314 | 32.420 |
| 3 | 77.9 | 0.96588 | 55.22 | 0.43570 | 0.24391 | 25.252 |
| 4 | 78.8 | 0.99825 | 56.66 | 0.46828 | 0.28093 | 28.142 |
| 5 | 78.8 | 0.99825 | 55.4 | 0.43570 | 0.23781 | 23.822 |

Ejemplo del no. 1.

$$P_v = 0.43570 \text{ pul Hg} - \frac{(23.07 \text{ pul Hg} \times (78.26 - 55.22)^\circ F)}{2800 - 1.3 (55.22^\circ F)} = 0.24087 \text{ pu lg Hg}$$

$$\phi = \frac{0.24087 \text{ pul Hg}}{0.96588 \text{ pul Hg}} \times 100 = 24.937 \%$$

Así obtuvimos todos los resultados para este primer experimento que se anotaron en la tabla. La lectura de humedad relativa (φ) en el higrómetro registrada, fue de 36 %.

2.2 Segundo experimento: Determinar la humedad relativa del aire seco.

- Conectamos una manguera de la toma de aire comprimido al secador de aire.
- Conectamos una manguera del secador de aire al matraz Kitazato el cual tiene los dos termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo.
- Hicimos circular aire durante un minuto y cuando la temperatura de bulbo húmedo no descendía más, se tomó la lectura.
- Anotamos las lecturas en la tabla siguiente:

| Tbs [°C] | Tbs [°F] | Tbh [°C] | Tbh [°F] |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 26.8 | 80.24 | 20.8 | 69.44 |

Redondeamos el valor de la temperatura y localizamos φ (humedad relativa en %).



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Para encontrar la humedad relativa localizamos en la carta, donde esté el cruce de las lecturas de la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo.

$$\phi = 65 \% \text{ de aire seco, redondeado para } T_{bs} = 80^\circ\text{F y } T_{bh} = 70^\circ\text{F}$$

2.3 Tercer experimento: Determinar la humedad relativa del aire saturado húmedo.

- Conectamos una manguera a la toma de aire comprimido.
- Introducimos la manguera en el matraz Erlenmeyer con agua, de este mismo sale otra manguera que va al matraz Kitazato el cual contiene los dos termómetros bulbo seco y bulbo húmedo.
- Hicimos circular aire durante al menos un minuto y tomamos la lectura cuando ya no descendía mas su valor.
- Anotamos las lecturas en la tabla siguiente:

| Tbs [°C] | Tbs [°F] | Tbh [°C] | Tbh [°F] |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 26.4 | 79.52 | 25.6 | 78.08 |

De igual forma localizamos en la carta psicrométrica.

$$\phi = 96 \% \text{ de aire húmedo, redondeando para } T_{bs} = 80^\circ\text{F y } T_{bh} = 78^\circ\text{F}$$

3.0 CONCLUSIONES

El concepto de humedad relativa es muy utilizado en aire acondicionado, de lo cual nosotros debemos conocer, aunque a nosotros nos interesa en el caso de hacer colados.

Es muy importante saber la humedad relativa del lugar donde se pretenda colar, para preparar el concreto con las cantidades necesarias y convenientes de cada uno de los materiales para la mezcla, y poder determinar correctamente el tiempo de fraguado.

La humedad relativa es también importante en el confort de las personas, ya sea en su lugar de trabajo, de esparcimiento, de estudio o en su hogar. Cuando la humedad relativa es alta al igual que la temperatura, sentimos la sensación de bochorno; cuando es muy baja se irritan las vías respiratorias.

SESIÓN PRÁCTICA NO. 6 ELASTICIDAD

INTRODUCCIÓN

Elasticidad.

Tomemos entre los dedos los extremos de nuestra goma de borrar y comprimámosla; observaremos que la goma se deforma, adquiriendo su forma primitiva tan pronto como cesa la presión producida por nuestros dedos; este fenómeno sucede con las sustancias en mayor o menor grado. Por ejemplo, calentemos un tubo de vidrio hasta que se reblandezca y estirémoslo hasta obtener un capilar de pequeño diámetro externo y de una longitud de 30 cm, éste ahora se puede flexionar como si fuera una varilla de acero o de madera y tan pronto como cese el esfuerzo que lo flexiona, volverá a su forma primitiva. Lo que estamos describiendo se llama *elasticidad*.

Cuando tomamos una liga o un resorte y los estiramos con exageración no vuelven a su forma primitiva cuando cesa la tensión, sino que quedan alargados o deformados permanentemente; eso sucede cuando se sobrepasa el límite elástico de la sustancia. Por *límite elástico* se entiende el punto en que una carga mínima produce una deformación permanente.

Ley de Hooke.

El inglés Roberto Hooke fue el primero en establecer la relación que existe entre las fuerzas que se aplican a un resorte y las deformaciones que le producen. Encontró en sus experimentos que la magnitud de deformación que sufre un cuerpo elástico es proporcional a la fuerza aplicada (siempre que no se llegue al límite elástico).

En 1676 Hooke descubrió la ley sobre la elasticidad y la expresó en la forma siguiente: “*Las deformaciones o alargamientos experimentados por un cuerpo, entre los límites de una elasticidad perfecta, son directamente proporcionales a las fuerzas que los producen*”.

La expresión matemática de esta ley es:

$$\frac{a}{f} = \frac{a'}{f'}$$

a y a' son los alargamientos producidos por las fuerzas f y f', respectivamente.

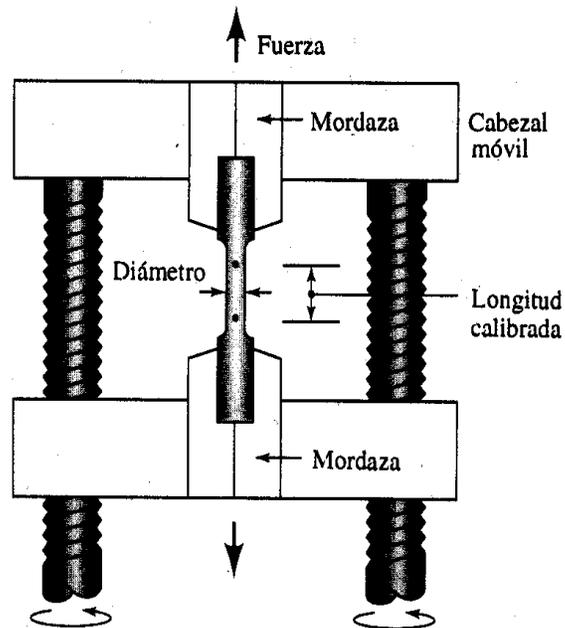
La ley de Hooke establece que para un sistema de esfuerzos a tensión en el que los cuerpos tengan un comportamiento elástico “las deformaciones o alargamientos experimentados por un cuerpo entre los límites de una elasticidad lineal perfecta son directamente proporcionales a las fuerzas que lo producen”.

Una relación general, relativa a la deformación de los cuerpos elásticos, rige el comportamiento de resortes y otros cuerpos elásticos, siempre que su deformación no sea demasiado grande. Si el sólido se deforma más allá de cierto punto llamado *límite elástico*, ya no recuperará su forma original cuando cese de actuar la fuerza aplicada. Ahora bien, la Ley de Hooke es válida hasta casi el límite elástico de muchos materiales comunes. Al intervalo de fuerzas aplicadas en el que es válida la Ley de Hooke, se le llama “*región proporcional*”. Más allá del límite elástico, la relación fuerza-deformación depende de otros factores, incluyendo la rapidez de la deformación y la historia previa del sólido.

Propiedades de los metales.

Los elementos estructurales para la construcción o de maquinaria, se fabrican a menudo de uno de los metales (o de aleaciones de metales) como el acero, aluminio o bronce. Normalmente, se hace una descripción de las propiedades de los metales según afectan al diseño mecánico.

Por lo regular, las propiedades de resistencia, elasticidad y ductilidad de los metales y otros tipos de materiales se determinan a partir de una prueba de tracción o *ensayo traccional* en la cual, una muestra del material (casi siempre en forma de barra redonda o plana) se sostiene con prensas y se jala hasta que se rompe como consecuencia de la tensión.



Durante la prueba, se hace un seguimiento de la magnitud de la fuerza en la barra y el correspondiente cambio en longitud registrándose en forma continua hasta que sucede la ruptura con la separación de las dos partes.

La información relativa a tal prueba de tracción se muestra a menudo en diagramas conocidos como *diagrama esfuerzo-deformación*.

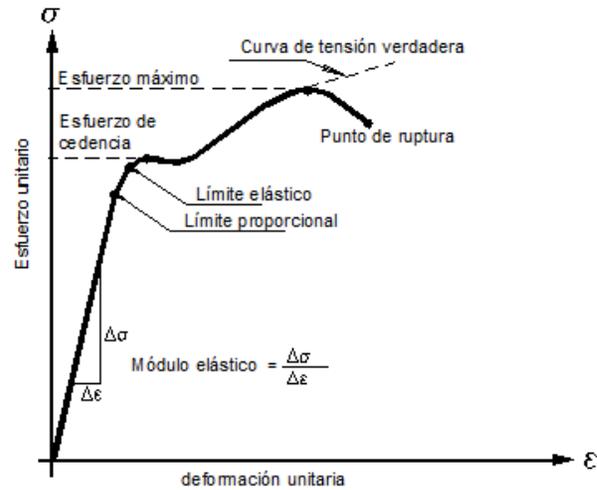


DIAGRAMA ESFUERZO – DEFORMACIÓN

El eje de las ordenadas es el esfuerzo unitario (σ) obtenido de dividir la fuerza de tracción entre el área de la sección transversal de la probeta. El eje de las abscisas es la deformación unitaria (ε) obtenido al dividir la deformación del espécimen entre su longitud de prueba.

Límite proporcional

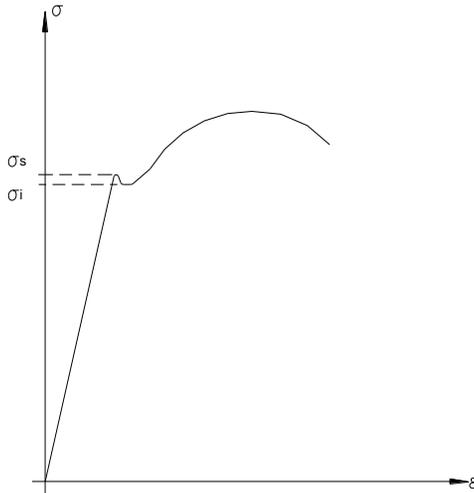
El punto en la curva esfuerzo-deformación que se aleja de la línea recta se denomina *límite proporcional*. Esto es, por abajo del límite proporcional, se aplica la ley de Hooke pero por arriba de ese valor de tensión el esfuerzo ya no es proporcional a la deformación unitaria aunque aún el material continúa siendo elástico, es decir que si se libera de la fuerza de tracción recuperará su longitud original.

Límite elástico

En algún punto, al que se le da el nombre de *límite elástico*, un material registra cierta cantidad de deformación plástica y por tanto no recobrará su forma original una vez que se libere la carga. Por debajo de ese nivel, el material muestra un comportamiento por completo elástico. El límite proporcional y el límite elástico se encuentran muy cerca de la resistencia a la deformación y puesto que es difícil determinarlos se señalan con poca frecuencia.

Esfuerzo de cedencia

Esa parte de la gráfica esfuerzo-deformación en la cual hay un incremento considerable de la deformación con poco o nulo aumento del esfuerzo, se denomina *esfuerzo de cedencia*. Esta propiedad indica que el material se ha deformado o dado de sí plásticamente, en forma permanente y en un grado significativo.

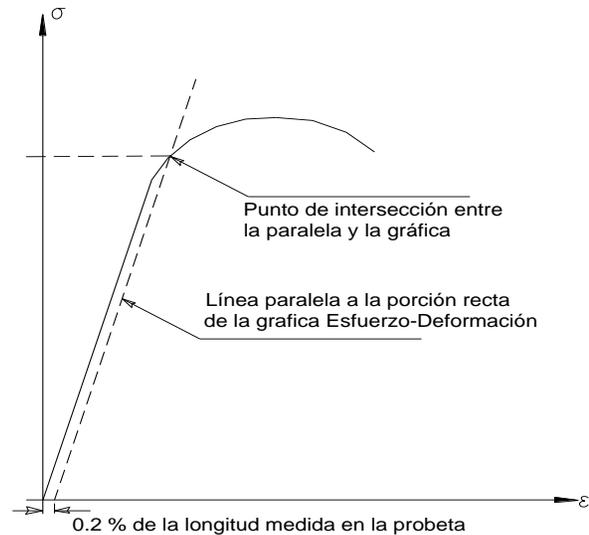


Para ciertos aceros de bajo carbono, la curva presenta un esfuerzo de cedencia doble. El superior (σ_s) ocurre por que pequeñas agrupaciones de átomos de carbono interfieren con el deslizamiento libre de las dislocaciones que suceden al llegar el material a la cedencia. Al aumentar el esfuerzo, se rompen las agrupaciones de átomos de carbono y el deslizamiento de las dislocaciones es libre moviéndose rápidamente bajo un esfuerzo menor (σ_i).

No en todos los casos los materiales muestran con claridad este punto, por lo que se ha establecido una *norma convencional* que consiste en trazar una línea recta paralela a la porción inicial de la gráfica.

Debido a que para los metales se acepta una deformación permisible de hasta un 0.2 % (esto es 0.002 cm por cada cm de su longitud), el inicio de esta línea se ubica en el eje de la deformación unitaria a 0.2% de la longitud medida en la probeta a partir del origen y de allí se lleva paralela a la zona recta de la gráfica hasta que cruce la curva.

El punto de cruce define de manera convencional el valor del *esfuerzo de cedencia* para estos materiales.



Módulo elástico (E)

Para aquella parte de la gráfica esfuerzo-deformación que es recta y que por lo tanto cumple con la ley de Hooke, el esfuerzo unitario es proporcional a la deformación unitaria y el valor de la constante de proporcionalidad (E) es conocido como *Módulo elástico* o *Módulo de Young*. Es decir:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Esta es la pendiente de la parte en línea recta de la gráfica. El *módulo elástico* indica la rigidez del material, o bien, su resistencia a la deformación.

Resistencia máxima a la tracción.

La cresta o punto máximo de la curva esfuerzo-deformación se considera como la *resistencia máxima a la tracción*, también conocida como *esfuerzo máximo*. En este punto de la prueba se cuantifica la tensión aparente en una barra de prueba del material.

La curva toma una trayectoria descendente después de llegar a la cresta; no obstante, nótese que la instrumentación que se utiliza para la prueba genera en realidad una gráfica de carga contra deflexión en lugar de esfuerzo real contra deformación unitaria. El *esfuerzo aparente* se calcula dividiendo la carga entre el área del corte transversal de la barra de prueba.

Resistencia a la fractura

Después que se llega a la cresta de la curva hay un decremento notorio en el diámetro de la barra, lo cual recibe el nombre de *adelgazamiento o estrangulamiento*, por tanto la carga actúa sobre un área más pequeña y la tensión continúa hasta que sobreviene la *fractura*.

Es difícil hacer un seguimiento de la reducción del diámetro durante el proceso de adelgazamiento, en consecuencia, se ha hecho costumbre utilizar la cresta de la curva como la resistencia a la tracción, aunque se sabe que es un valor más bien conservador.

Ductilidad y Elongación Porcentual (Porcentaje de Elongación)

Ductilidad es el grado en el cual se deformará un material antes que se fracture. Fragilidad es lo opuesto a ductilidad. Cuando en elementos estructurales o de maquinaria se utilizan materiales dúctiles, la fractura inminente se detecta con facilidad y es posible evitar la falla total. Además, los materiales dúctiles, por lo regular, resisten las cargas sucesivas mejor que los materiales quebradizos o frágiles.

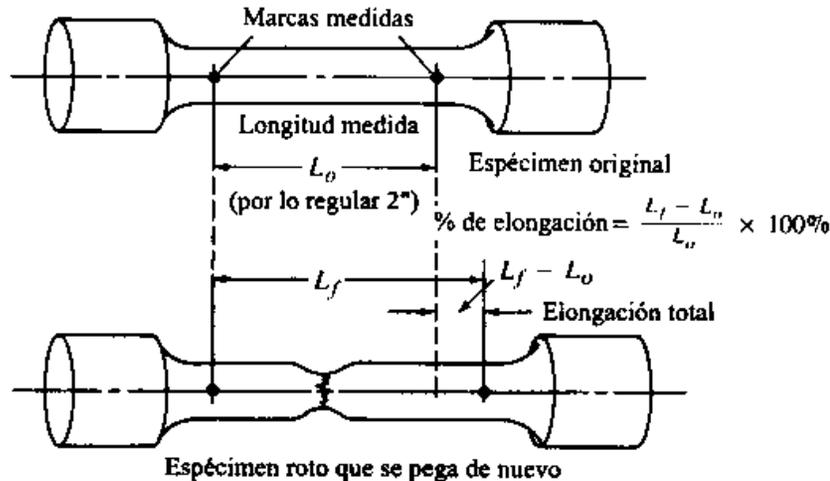
La medida común de ductilidad es el *Porcentaje de elongación (Elongación porcentual)* del material, obtenido después de la fractura en una prueba estándar de resistencia a la tracción.

El porcentaje de elongación es la diferencia entre la longitud final (se unen las dos partes después de la fractura para poder medir la longitud final) y la longitud original dividida entre la longitud original convertida a porcentaje. Esto es:

$$\text{Porcentaje de elongación} = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100 \%$$

Se ha convenido en que la elongación porcentual se base en una *longitud medida* (L_o) de 50.8 mm (2 pulgadas). En teoría, se considera que un material es dúctil si su porcentaje de elongación es mayor al 5%.

Por razones prácticas y de seguridad, se recomienda utilizar un material con valor de 12% o más para elementos estructurales o de maquinaria sujetos a cargas sucesivas o a impactos.



Medición de la elongación porcentual

La *reducción porcentual en área* es otra indicación de ductilidad. Este valor se encuentra comparando el área original transversal con el área final en el momento en que se fractura la muestra de material que se somete a pruebas de tracción; la diferencia de áreas se divide entre el área original y al cociente se le multiplica por 100.

El tipo de fractura por tracción indica, de alguna manera, la calidad del material, pero esto resulta afectado en forma considerable por la temperatura de la prueba, la rapidez de la prueba, la forma y el tamaño de la pieza de prueba, y por otras condiciones. La contracción es máxima en los materiales tenaces y dúctiles y mínima en los materiales quebradizos. En general, las fracturas son del tipo de corte o del de separación (pérdida de cohesión).

Las probetas planas para tracción de los metales dúctiles muestran con frecuencia fallas de corte, si la relación entre el ancho y el espesor es mayor que 6:1. Una falla por completo del tipo de corte puede terminar en un filo de cincel, para una probeta plana, o en una ruptura de punta, para una probeta redonda. Las fallas de separación suceden en los materiales quebradizos, o ciertas fundiciones de hierro. En las probetas redondas de metal dúctil son comunes las combinaciones de fallas de corte y de separación. Con frecuencia, la falla se inicia en el eje de una región estrecha y produce un área relativamente plana, que crece hasta que el material se corta por una superficie en forma de cono en el exterior de la probeta, lo que trae como resultado lo que se conoce como fractura de copa y cono.

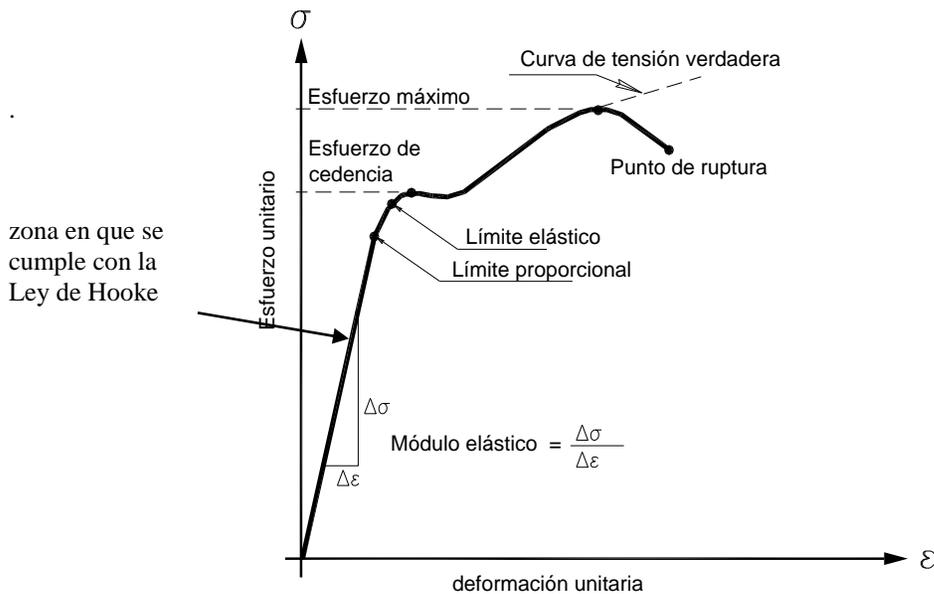
PRÁCTICA EXPERIMENTAL

1. OBJETIVO GENERAL:

Determinar la máxima resistencia a la tensión y la resistencia a la fluencia de un espécimen de material elástico como el acero, interpretar la gráfica obtenida y calcular los valores característicos.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS:

En la gráfica siguiente se indican los puntos relevantes de la gráfica esfuerzo-deformación para un material elástico como el acero.



Elasticidad.

Tomemos entre los dedos los extremos una goma de borrar y comprimámosla; observaremos que la goma se deforma, adquiriendo su forma primitiva tan pronto como cesa la presión producida por nuestros dedos; este fenómeno sucede con las sustancias en mayor o menor grado. Por ejemplo, calentemos un tubo de vidrio hasta que se reblandezca y estirémoslo hasta obtener un capilar de pequeño diámetro externo y de una longitud de 30 cm, éste ahora se puede flexionar como si fuera una varilla de acero o de madera y tan pronto como cese el esfuerzo que lo flexiona, volverá a su forma primitiva. Lo que estamos describiendo se llama *elasticidad*.

Cuando tomamos una liga o un resorte y los estiramos con exageración no vuelven a su forma primitiva cuando cesa la tensión, sino que quedan alargados o deformados permanentemente; eso sucede cuando se sobrepasa el límite elástico de la sustancia. Por *límite elástico* se entiende el punto en que una carga mínima produce una deformación permanente.

Ley de Hooke.

El inglés Roberto Hooke fue el primero en establecer la relación que existe entre las fuerzas que se aplican a un resorte y las deformaciones que le producen. Encontró en sus experimentos que la magnitud de deformación que sufre un cuerpo elástico es proporcional a la fuerza aplicada (siempre que no se llegue al límite elástico).

En 1676 Hooke descubrió la ley sobre la elasticidad y la expresó en la forma siguiente: “Las deformaciones o alargamientos experimentados por un cuerpo, entre los límites de una elasticidad perfecta, son directamente proporcionales a las fuerzas que los producen”.

La expresión matemática de esta ley es:

$$\frac{a}{f} = \frac{a'}{f'}$$

a y a' son los alargamientos producidos por las fuerzas f y f', respectivamente.

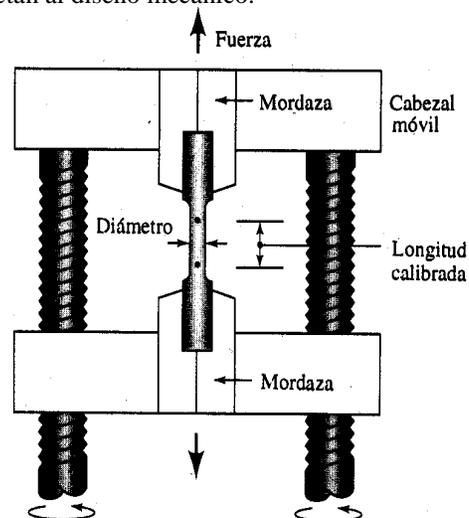
La ley de Hooke establece que para un sistema de esfuerzos a tensión en el que los cuerpos tengan un comportamiento elástico “las deformaciones o alargamientos experimentados por un cuerpo entre los límites de una elasticidad lineal perfecta son directamente proporcionales a las fuerzas que lo producen”.

Una relación general, relativa a la deformación de los cuerpos elásticos, rige el comportamiento de resortes y otros cuerpos elásticos, siempre que su deformación no sea demasiado grande. Si el sólido se deforma más allá de cierto punto llamado *límite elástico*, ya no recuperará su forma original cuando cese de actuar la fuerza aplicada. Ahora bien, la Ley de Hooke es válida hasta casi el límite elástico de muchos materiales comunes. Al intervalo de fuerzas aplicadas en el que es válida la Ley de Hooke, se le llama “*región proporcional*”. Más allá del límite elástico, la relación fuerza-deformación depende de otros factores, incluyendo la rapidez de la deformación y la historia previa del sólido.

Propiedades de los metales.

Los elementos estructurales para la construcción o de maquinaria, se fabrican a menudo de uno de los metales (o de aleaciones de metales) como el acero, aluminio o bronce. Normalmente, se hace una descripción de las propiedades de los metales según afectan al diseño mecánico.

Por lo regular, las propiedades de resistencia, elasticidad y ductilidad de los metales y otros tipos de materiales se determinan a partir de una prueba de tracción o *ensayo traccional* en la cual, una muestra del material (casi siempre en forma de barra redonda o plana) se sostiene con prensas y se jala hasta que se rompe como consecuencia de la tensión.



Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Durante la prueba, se hace un seguimiento de la magnitud de la fuerza en la barra y el correspondiente cambio en longitud registrándose en forma continua hasta que sucede la ruptura con la separación de las dos partes.

La información relativa a tal prueba de tracción se muestra a menudo en diagramas conocidos como *diagrama esfuerzo-deformación*.

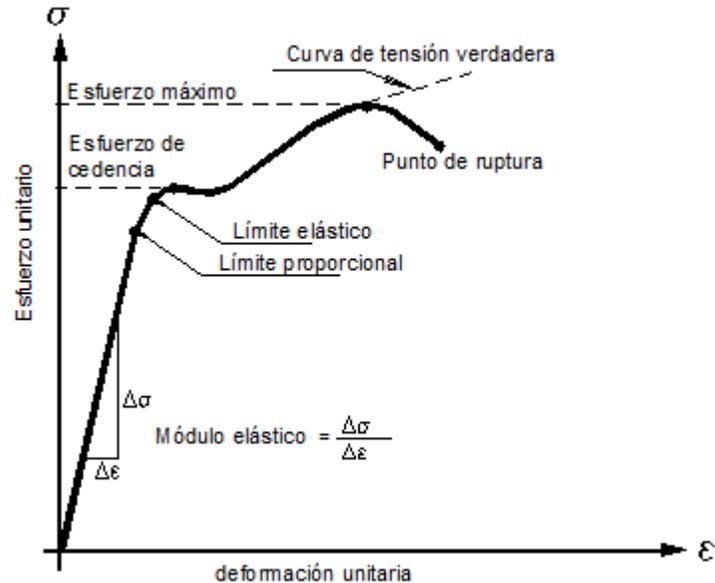


DIAGRAMA ESFUERZO – DEFORMACIÓN

El eje de las ordenadas es el esfuerzo unitario (σ) obtenido de dividir la fuerza de tracción entre el área de la sección transversal de la probeta. El eje de las abscisas es la deformación unitaria (ϵ) obtenido al dividir la deformación del espécimen entre su longitud de prueba.

Límite proporcional

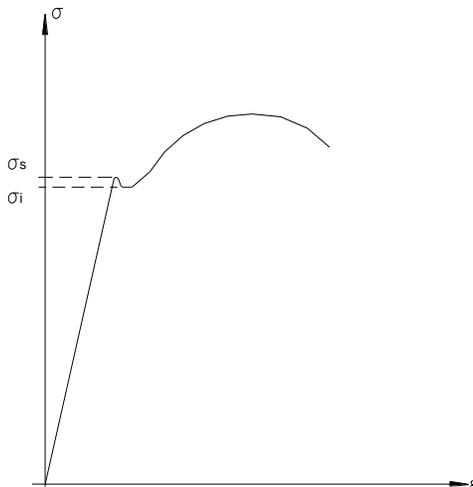
El punto en la curva esfuerzo-deformación que se aleja de la línea recta se denomina *límite proporcional*. Esto es, por abajo del límite proporcional, se aplica la ley de Hooke pero por arriba de ese valor de tensión el esfuerzo ya no es proporcional a la deformación unitaria aunque aún el material continúa siendo elástico, es decir que si se libera de la fuerza de tracción recuperará su longitud original.

Límite elástico

En algún punto, al que se le da el nombre de *límite elástico*, un material registra cierta cantidad de deformación plástica y por tanto no recobrará su forma original una vez que se libere la carga. Por debajo de ese nivel, el material muestra un comportamiento por completo elástico. El límite proporcional y el límite elástico se encuentran muy cerca de la resistencia a la deformación y puesto que es difícil determinarlos se señalan con poca frecuencia.

Esfuerzo de cedencia

Esa parte de la gráfica esfuerzo-deformación en la cual hay un incremento considerable de la deformación con poco o nulo aumento del esfuerzo, se denomina *esfuerzo de cedencia*. Esta propiedad indica que el material se ha deformado o dado de sí plásticamente, en forma permanente y en un grado significativo.

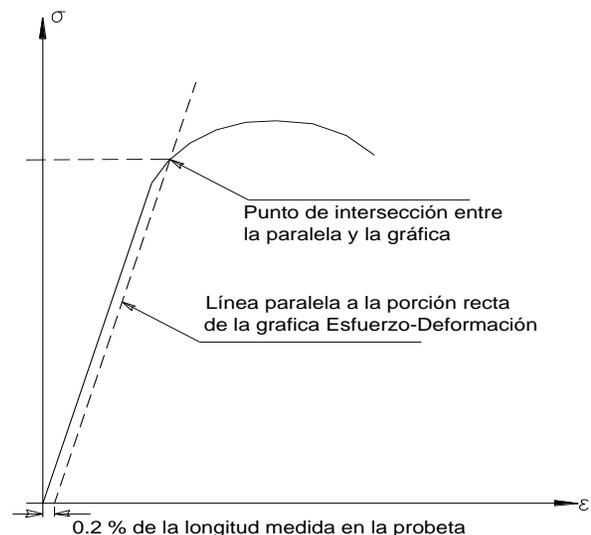


Para ciertos aceros de bajo carbono, la curva presenta un esfuerzo de cedencia doble. El superior (σ_s) ocurre porque pequeñas agrupaciones de átomos de carbono interfieren con el deslizamiento libre de las dislocaciones que suceden al llegar el material a la cedencia. Al aumentar el esfuerzo, se rompen las agrupaciones de átomos de carbono y el deslizamiento de las dislocaciones es libre moviéndose rápidamente bajo un esfuerzo menor (σ_i).

No en todos los casos los materiales muestran con claridad este punto, por lo que se ha establecido una *norma convencional* que consiste en trazar una línea recta paralela a la porción inicial de la gráfica.

Debido a que para los metales se acepta una deformación permisible de hasta un 0.2 % (esto es 0.002 cm por cada cm de su longitud), el inicio de esta línea se ubica en el eje de la deformación unitaria a 0.2% de la longitud medida en la probeta a partir del origen y de allí se lleva paralela a la zona recta de la gráfica hasta que cruce la curva.

El punto de cruce define de manera convencional el valor del *esfuerzo de cedencia* para estos materiales.



Módulo elástico (E)

Para aquella parte de la gráfica esfuerzo-deformación que es recta y que por lo tanto cumple con la ley de Hooke, el esfuerzo unitario es proporcional a la deformación unitaria y el valor de la constante de proporcionalidad (E) es conocido como *Módulo elástico* o *Módulo de Young*. Es decir:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Esta es la pendiente de la parte en línea recta de la gráfica. El *módulo elástico* indica la rigidez del material, o bien, su resistencia a la deformación.

Resistencia máxima a la tracción.

La cresta o punto máximo de la curva esfuerzo-deformación se considera como la *resistencia máxima a la tracción*, también conocida como *esfuerzo máximo*. En este punto de la prueba se cuantifica la tensión aparente en una barra de prueba del material.

La curva toma una trayectoria descendente después de llegar a la cresta; no obstante, nótese que la instrumentación que se utiliza para la prueba genera en realidad una gráfica de carga contra deflexión en lugar de esfuerzo real contra deformación unitaria. El *esfuerzo aparente* se calcula dividiendo la carga entre el área del corte transversal de la barra de prueba.

Resistencia a la fractura

Después que se llega a la cresta de la curva hay un decremento notorio en el diámetro de la barra, lo cual recibe el nombre de *adelgazamiento* o *estragulamiento*, por tanto la carga actúa sobre un área más pequeña y la tensión continúa hasta que sobreviene la *fractura*.

Es difícil hacer un seguimiento de la reducción del diámetro durante el proceso de adelgazamiento, en consecuencia, se ha hecho costumbre utilizar la cresta de la curva como la resistencia a la tracción, aunque se sabe que es un valor más bien conservador.

Ductilidad y Elongación Porcentual (Porcentaje de Elongación)

Ductilidad es el grado en el cual se deformará un material antes que se fracture. *Fragilidad* es lo opuesto a ductilidad. Cuando en elementos estructurales o de maquinaria se utilizan materiales dúctiles, la fractura inminente se detecta con facilidad y es posible evitar la falla total. Además, los materiales dúctiles, por lo regular, resisten las cargas sucesivas mejor que los materiales quebradizos o frágiles.

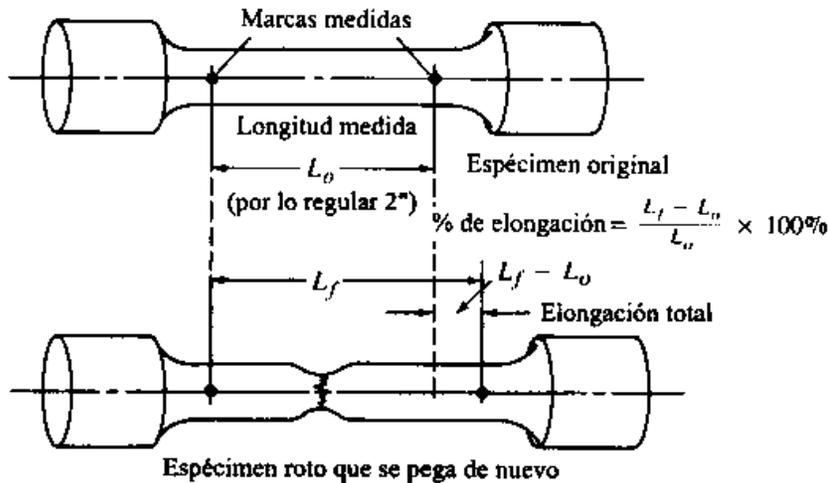
La medida común de ductilidad es el *Porcentaje de elongación (Elongación porcentual)* del material, obtenido después de la fractura en una prueba estándar de resistencia a la tracción.

El porcentaje de elongación es la diferencia entre la longitud final (se unen las dos partes después de la fractura para poder medir la longitud final) y la longitud original dividida entre la longitud original convertida a porcentaje. Esto es:

$$\text{Porcentaje de elongación} = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100 \%$$

Se ha convenido en que la elongación porcentual se base en una *longitud medida* (L_o) de 50.8 mm (2 pulgadas). En teoría, se considera que un material es dúctil si su porcentaje de elongación es mayor al 5%.

Por razones prácticas y de seguridad, se recomienda utilizar un material con valor de 12% o más para elementos estructurales o de maquinaria sujetos a cargas sucesivas o a impactos.



Medición de la elongación porcentual

La *reducción porcentual en área* es otra indicación de ductilidad. Este valor se encuentra comparando el área original transversal con el área final en el momento en que se fractura la muestra de material que se somete a pruebas de tracción; la diferencia de áreas se divide entre el área original y al cociente se le multiplica por 100.

El tipo de fractura por tracción indica, de alguna manera, la calidad del material, pero esto resulta afectado en forma considerable por la temperatura de la prueba, la rapidez de la prueba, la forma y el tamaño de la pieza de prueba, y por otras condiciones. La contracción es máxima en los materiales tenaces y dúctiles y mínima en los materiales quebradizos. En general, las fracturas son del tipo de corte o del de separación (pérdida de cohesión).

Las probetas planas para tracción de los metales dúctiles muestran con frecuencia fallas de corte, si la relación entre el ancho y el espesor es mayor que 6:1. Una falla por completo del tipo de corte puede terminar en un filo de cincel, para una probeta plana, o en una ruptura de punta, para una probeta redonda. Las fallas de separación suceden en los materiales quebradizos, como ciertas fundiciones de hierro. En las probetas redondas de metal dúctil son comunes las combinaciones de fallas de corte y de separación. Con frecuencia, la falla se inicia en el eje de una región estrecha y produce un área relativamente plana, que crece hasta que el material se corta por una superficie en forma de cono en el exterior de la probeta, lo que trae como resultado lo que se conoce como fractura de copa y cono.

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO.

EQUIPO:

Dispositivos para la prueba de tensión.
Micrómetro.
Extensómetro.
Flexómetro.
Pie de rey

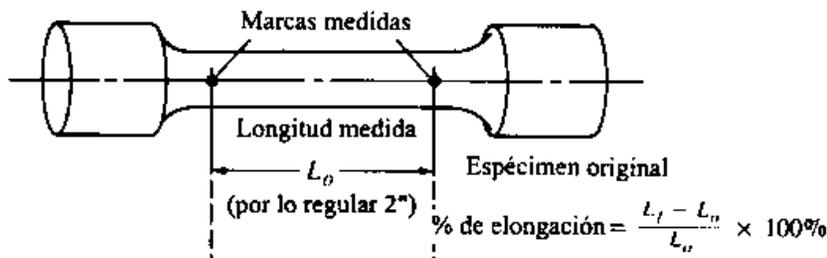
MATERIAL DE CONSUMO:

Probetas redondas de acero.
Plumones rojo y negro
Cinta "maskin-tape"

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA.

Cada equipo formado llevará a cabo los siguientes pasos y al final se reunirá la información de todos los equipos para lograr mayor número de datos y aproximar así la media estadística a los valores teóricos esperados.

1. Identificar la probeta que se va a someter a la prueba de tensión.
Se debe conocer a qué tipo de acero pertenece y conocer el esfuerzo máximo esperado.
Medir con precisión (utilizando el micrómetro) el diámetro de la sección de prueba y calcular el área de la sección transversal.
2. Con los datos anteriores calcular la fuerza que se aplicará como valor máximo. Esto servirá para determinar la escala que se va a emplear en el marco universal de cargas. Ajustar dicha escala.
3. Con ayuda del Pie de Rey trazar marcas finas en la probeta indicando la longitud de prueba inicial (L_0)



4. Instalar la muestra de prueba en el Marco Universal de cargas sujetándolo firmemente con las mordazas. Posicionar el Extensómetro y ajustar a ceros el equipo y el graficador.



**TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA**

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

5. Iniciar la prueba. Abra gradualmente la válvula de carga, provocando tensión hasta obtener la ruptura de la muestra. La gráfica esfuerzo deformación unitaria se irá formando en el graficador. La velocidad de aplicación de la carga es importante y está normalizada, si se aplica demasiado rápido la fuerza los resultados obtenidos se verán afectados.

En caso de tomar lecturas parciales de comprobación, se deben hacer dentro del límite elástico del material y con el graficador desactivado; se recomienda efectuar las lecturas a intervalos de carga múltiplos de 100 kgf o a intervalos constantes de deformación múltiplos de 0.1 cm.

5. RESULTADOS

De la gráfica obtenida y los datos tomados en la muestra antes y después de la prueba, se debe extraer la información que permita al alumno completar la siguiente tabla de resultados:

| LECTURAS | | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Observaciones |
|----------|---|-----------|-----------|-----------|---------------|
| 1 | Lo(cm) | | | | |
| 2 | Lf(cm) | | | | |
| 3 | % elongación | | | | |
| 4 | Diámetro inicial(cm) | | | | |
| 5 | Area inicial(cm ²) | | | | |
| 6 | Diámetro final (cm) | | | | |
| 7 | Area final(cm ²) | | | | |
| 8 | % reducción de área | | | | |
| 6 | Carga de cedencia(kgf) | | | | |
| 7 | Esfuerzo de cedencia (kgf/cm ²) | | | | |
| 8 | Carga máxima(kgf) | | | | |
| 9 | Esfuerzo máximo (kgf/cm ²) | | | | |
| 10 | Carga de ruptura (kgf) | | | | |
| 11 | Esfuerzo de ruptura(kgf) | | | | |
| 12 | Deformación unitaria al punto de cedencia | | | | |
| 13 | Limite Elastico (kgf/cm ²) | | | | |



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

APLICACIONES EN LA INGENIERÍA (pregunta para el cuestionario).

Mencione dos aplicaciones de ingeniería civil en que se utiliza prácticamente la información obtenida de una prueba de tensión a un material elástico.

CUESTIONARIO.

1. ¿Qué entiende por un material elástico?
2. ¿Por qué es importante realizar una prueba de tensión a un material elástico?
3. ¿Qué diferencia hay entre fuerza de tensión y esfuerzo de tensión?
4. ¿Qué establece la Ley de Hooke?
5. Explique la diferencia que hay entre el límite de proporcionalidad y el límite elástico de un material.
6. Señale los puntos relevantes de un gráfico esfuerzo-deformación unitaria.
7. ¿Qué importancia tiene el punto de fluencia en la gráfica esfuerzo deformación unitaria?
8. ¿Qué importancia tiene el esfuerzo máximo en la prueba esfuerzo deformación unitaria?
9. ¿Cómo se determina el Módulo Elástico de un material?

6. CONCLUSIONES.

En este espacio el alumno describirá las conclusiones a las que haya llegado, comparando los resultados obtenidos contra lo esperado, analizando las fuentes de error, indicando sus propias observaciones y describiendo la importancia del aprendizaje realizado.

7. FUENTES DE CONSULTA

El alumno, en su reporte (que deberá incluir una introducción teórica en referencia al objetivo de la práctica) debe anotar la bibliografía consultada señalando autor, editorial y edición de los libros consultados. En caso de obtener información de Internet, debe indicar el Sitio consultado.

SESIÓN PRÁCTICA NO. 7

DETERMINACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO DE DIVERSAS SUSTANCIAS

1. OBJETIVO

1.1 Objetivo general

Mediante un balance de energía determinar el calor específico de diferentes muestras de líquidos y sólidos, empleando un calorímetro de doble pared (llamado también calorímetro simple de agua).

1.2 Objetivos específicos

- 1.2.1 Deducir a partir del concepto de capacidad calorífica la ecuación de calor absorbido o cedido por una sustancia líquida o sólida.
- 1.2.2 Describir las características de un calorímetro de doble pared.
- 1.3.3 Mediante un balance de energía aplicar la ecuación de calor para hallar el calor específico de diversas sustancias líquidas y sólidas.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1 Termometría

En la antigüedad se tenía la creencia de que el calor era una sustancia y así lo señalaron los sabios de la Grecia antigua con los cuatro elementos aristotélicos: aire, agua, tierra y fuego, con los cuales consideraban constituidos todos los cuerpos; la dilatación de dichos cuerpos la explicaban por la adición de esta sustancia a la que llamaron “calórico”. Cuando se analiza el concepto de equilibrio térmico, se observa que si dos cuerpos con diferente temperatura se ponen en contacto, alcanzan luego de cierto tiempo, una misma temperatura. A principios del siglo XIX, los científicos explicaban este hecho suponiendo que todos los cuerpos contenían en su interior, una sustancia fluida, invisible y de masa nula, llamada calórico. Cuanto mayor fuese la temperatura de un cuerpo, tanto mayor sería la cantidad de calor en su interior. De acuerdo con este modelo, cuando dos cuerpos con distintas temperaturas se ponen en contacto, se produce una transmisión de calórico del cuerpo más caliente al más frío, ocasionando una disminución en la temperatura del primero y un incremento en la del segundo. Una vez que ambos cuerpos hubiesen alcanzado la misma temperatura, el flujo de calórico se interrumpiría y permanecería, a partir de ese momento, en equilibrio térmico.

La interpretación de calor bajo la hipótesis de la teoría del calórico, fue introducida por el alemán Wolf en 1721, y dio lugar a que en dicha época se le ponderara por el hecho de que los metales al ser calentados para convertirlos en cenizas, éstos resultaban aumentados de peso, ligando el hecho físico con la teoría del flogisto (principio que suponían los antiguos desprenderse de los cuerpos en la combustión) introducida en la Química en aquellos tiempos. La teoría del calórico se mantuvo durante algunos años, porque suministraba la explicación en forma sencilla de los fenómenos térmicos más comunes; pero no pudo explicar el fenómeno de la obtención del calor por medio del frotamiento, es decir, por el trabajo mecánico. Hacia fines del siglo XVIII, el conde de Rumford (Benjamín Thompson), basado en hechos experimentales, indicó que no encontraba una explicación en la teoría del calórico; pues notó en el arsenal militar de Munich, que en el barrenado de los tubos de los cañones, se calentaban éstos y las virutas, intensamente. Cuando el barrenado se efectuaba dentro del agua, ésta no se enfriaba sino al contrario, llegaba pronto a la ebullición, por lo que quedó descartado el suministro del calor por el medio que lo rodea. Rumford, de sus observaciones, consideró

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

que el calor tenía su origen en el movimiento. A favor de esta apreciación concurre el experimento del químico H. Davy, quien por medio de un mecanismo de relojería, hizo frotar dos trozos de hielo en el vacío y a una temperatura de -2°C ambos se fundieron, suministrando agua a la temperatura de 2°C ; hecho inexplicable con la teoría del calórico. De los experimentos anteriores se concluyó que el calor es solamente movimiento; de la controversia entre estas dos teorías surgió la que en la actualidad se acepta y que supone que el calor tiene su origen en la **energía cinética interna de las moléculas**; el aumento de esta energía se manifiesta con la elevación de la temperatura del cuerpo.

2.2 Conceptos básicos de termodinámica

El estudio del calor, su transmisión y transformación en energía mecánica se denomina termodinámica, un término que procede de las raíces griegas que significan: “movimiento de calor”. La ciencia de la termodinámica se desarrolló a principios del siglo XVIII, antes de que se entendieran las teorías atómica y molecular de la materia. La termodinámica es una poderosa rama de la Física que prescinde del todo de los detalles moleculares de un sistema. Está basada en la conservación de la energía y en el hecho de que el calor fluye de lo caliente a lo frío y no en forma inversa. La termodinámica proporciona la teoría básica de las máquinas térmicas, desde las turbinas de vapor hasta los reactores de fusión y la teoría básica de los refrigeradores y bombas de calor.

La divulgación de estas ideas dio lugar a muchas discusiones entre los científicos del siglo XIX, algunos efectuaron experimentos que confirmaron las suposiciones de Rumford. Entre estos científicos debe destacarse a James P. Joule (1818-1889), cuyos famosos experimentos acabaron por establecer, definitivamente, que el calor es una forma de energía.

Actualmente se considera que cuando aumenta la temperatura de un cuerpo, la energía que posee en su interior, denominada energía interna, también aumenta. Si este cuerpo se pone en contacto con otro de más baja temperatura, habrá una transmisión o transferencia de energía del primero al segundo, energía que se denomina calor. Por lo tanto el concepto moderno del calor es el siguiente:

Calor es la energía que se transmite de un cuerpo a otro, en virtud únicamente de una diferencia de temperaturas entre ellos.

Debemos observar que el término calor sólo debe emplearse para designar a la **energía en transición**, es decir, la que se transfiere de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperatura. La transferencia de calor hacia un cuerpo origina un aumento en la energía de agitación de sus moléculas y átomos, o sea, que ocasiona un aumento en la energía interna del cuerpo, lo cual, generalmente, produce una elevación de su temperatura. Por lo tanto, no se puede decir que “un cuerpo tiene calor” o que “la temperatura es una medida del calor en un cuerpo”. En realidad, lo que un sistema material posee es energía interna, y cuanto mayor sea su temperatura, tanto mayor será también dicha energía interna. Naturalmente, si un cuerpo se encuentra a mayor temperatura que otro, puede transmitir parte de su energía interna a este último. Esta energía transferida es el calor que pasa de un cuerpo a otro.

Es importante observar, incluso, que la energía interna de un cuerpo puede aumentar sin que el cuerpo reciba calor, siempre que reciba alguna otra forma de energía. Cuando, por ejemplo, agitamos una botella con agua, su temperatura se eleva, a pesar de que el agua no haya recibido calor. El aumento de energía interna en este caso, se produjo debido a la energía mecánica transferida al agua cuando se efectúa el trabajo de agitar la botella.

2.3 Temperatura

Es difícil dar una definición formal de temperatura, ya que frecuentemente se confunde con el concepto de calor, que es energía; sin embargo podemos decir lo siguiente:

La intensidad de calor de una sustancia o de un cuerpo, o su tendencia para transmitir calor, es medida por su temperatura. La temperatura no indica la cantidad de calor, sino que es una medida del calor sensible de un cuerpo o de su grado de enfriamiento.

Un cuerpo se encuentra frío o caliente, según la impresión relativa que nos produce al tocarlo; de dos cuerpos que tocamos el más caliente tiene mayor temperatura; pero estas condiciones de calor o de frío son muy relativas, pues dependen de anteriores sensaciones, por ejemplo: si metemos una mano en agua caliente y la otra en agua fría y las dejamos durante algunos minutos, al cabo de los cuales introducimos ambas manos en agua tibia; una mano percibirá el agua fría y la otra caliente, registrando el mismo individuo las dos sensaciones producidas por la misma temperatura del agua tibia. Esto nos explica las divergencias que se presentan cuando se quiere fijar la temperatura de un cuerpo recurriendo únicamente a las sensaciones percibidas; de ahí la necesidad de utilizar aparatos que indique las temperaturas de los cuerpos, esos aparatos reciben el nombre de termómetros.

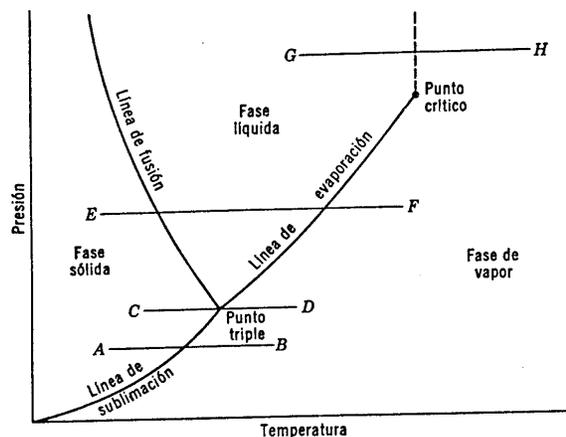


Diagrama presión-temperatura del agua

2.4 Termómetros

Para determinar la temperatura de los cuerpos se emplean los termómetros, entre los más usados podemos mencionar los de mercurio, de alcohol, de gas y por medio de diferencia de potencial eléctrico los termopares. Los de mercurio son dispositivos que constan de un tubo de vidrio capilar, que en su parte inferior se le ha ensanchado con el fin de formar un depósito en donde se coloca dicho mercurio. Este elemento como otras sustancias, experimenta aumentos de volumen o disminuciones cuando su temperatura varía; si se calienta el mercurio su volumen aumenta, si se enfría su volumen se contrae. En esta propiedad de la variación del volumen con la temperatura se basan todos los termómetros, ya sea que se usen en ellos sustancias sólidas, líquidas o gaseosas como termo métricas, con la única exigencia que la variación del volumen sea en el mismo sentido que la temperatura. A fines del siglo XVII, en Europa, las fábricas de vidrio exigían a los operarios en esta rama, una gran habilidad en la fabricación de los termómetros; entre los obreros más destacados, la historia moderna de los termómetros reserva el primer lugar a G. D. Fahrenheit de Danzig quien construyó su primer termómetros utilizando alcohol, sustituyéndolo enseguida por mercurio. Para

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

graduado su termómetro eligió como puntos fijos la temperatura de una mezcla frigorífica (dos partes de sal de cocina y tres partes de hielo, mezcla que produce una temperatura de) y la del cuerpo humano, dividiendo dicho espacio termométrico en; al fijar Fahrenheit la temperatura del hielo fundente con su termómetro encontró que correspondía a 32° y lo considera como punto fijo superior de su termómetro. Más tarde al prolongar las divisiones y determinar la temperatura de ebullición del agua, encontró que ésta correspondía a 212° en el punto de ebullición del agua, ambos a la presión normal, pues observó que dichos puntos variaban con la presión conservándose, constante a la presión atmosférica de. El astrónomo sueco Celsius, por razones de conveniencia, dividió en el año de 1742 el espacio termométrico entre los puntos fijos citados en 100 partes iguales, asignando con 0° , el punto correspondiente a la fusión del hielo y con 100° el que se refería a la temperatura de ebullición del agua, a la presión atmosférica de 76 cm. de mercurio, más tarde Linneo dio a estas graduaciones el nombre de centígrado o Celsius. Estas dos escalas termométricas son las que han perdurado a través del tiempo y son las que en la actualidad se usan.

2.5 Relación entre las escalas Centígrada y Fahrenheit

En los pueblos de habla inglesa se usan generalmente los termómetros graduados en escala Fahrenheit y en el resto del mundo los graduados en escala Celsius. Como no vivimos aislados, sino que estamos ligados a todos los pueblos de una manera directa o indirectamente, nos vemos en la necesidad de aprender la forma de transformar las lecturas de una escala de temperatura, en las correspondientes de otra escala. Se comparan dos termómetros con escalas diferentes, cuya variación de la columna mercurial, entre el punto de fusión y el de ebullición del agua a la presión atmosférica normal, está expresada por la misma longitud. Poniendo ambos termómetros en el hielo fundente, se encuentra que el 0°C corresponde al 32°F y colocándolos para fijar el punto que corresponde al de ebullición del agua, se confirma que el 100 de la escala Celsius corresponde al 212 de la escala Fahrenheit; de donde se obtiene que el intervalo termométrico entre el punto de fusión del hielo y el de ebullición del agua a la presión atmosférica, queda expresado por 100°C y 180°F , números que guardan entre sí, la misma relación de 5 a 9, lo cual indica que 5 divisiones en grados centígrados es igual a 9 divisiones en grados Fahrenheit. No debemos olvidar que para poder relacionar las escalas es necesario partir del mismo punto fijo, que en nuestro caso se prefiere considerar el correspondiente al de fusión del hielo; para lograr esto en el caso de la escala Fahrenheit, se debe restar siempre a las lecturas en esta escala el número 32, que corresponde al mismo punto que obtiene 0°C , relacionando las lecturas de temperaturas en las dos escalas se tiene:

2.6 Temperatura relativa y temperatura absoluta, ecuaciones de equivalencia

En nuestros cálculos haremos uso de las **temperaturas absolutas**, que son las que se determinan a partir del cero absoluto, siendo esta temperatura aquella en la que la actividad molecular es nula o cuando su energía cinética vale cero. Es frecuente definir el cero absoluto como la característica que se presenta al enfriar un gas a -273.15°C , en donde el volumen y presión de ese gas valen cero.

Se presenta esquemáticamente la relación que guardan las **escalas relativas** Celsius $^{\circ}\text{C}$ (centígrada) y Fahrenheit $^{\circ}\text{F}$ con referencia a las **escalas absolutas** que en forma correspondiente son la escala Kelvin, K, (Lord Kelvin o William Thomson, matemático y físico inglés, 1824-1907) y la escala Rankine $^{\circ}\text{R}$ (William John Rankine, físico e ingeniero inglés, 1820-1872) así como las **ecuaciones de equivalencia**:

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

1) Temperaturas relativas

$$^{\circ}C = \frac{^{\circ}F - 32}{1.8}$$

$$^{\circ}F = 1.8 ^{\circ}C + 32$$

2) Temperaturas absolutas

$$K = ^{\circ}C + 273.15$$

$$^{\circ}R = ^{\circ}F + 459.67$$

| $^{\circ}C$ | K | $^{\circ}F$ | $^{\circ}R$ | |
|-------------|--------|-------------|-------------|----------------------|
| 100 | 373.15 | ----- 212 | 671.67 | |
| 0 | 273.15 | ----- 32 | 491.67 | |
| -17.8 | 255.35 | ----- 0 | 459.67 | |
| -273.15 | 0 | -459.67 | 0 | cero absoluto |

Escala termométrica

Un mol de un gas ideal ocupa un volumen de 22.4 litros a una temperatura $^{\circ}C$ y a una presión de una atmósfera (1.013×10^5 Pa). Estas condiciones de temperatura y presión se denominan **temperatura y presión normales (TPN)**.

2.6 Trasmisión del calor (conducción, radiación y convección)

El calor Q se trasmite de un cuerpo o sistema a otro por conducción, radiación o convección.

2.6.1 Conducción

Suponga que una persona sostiene uno de los extremos de una barra metálica, y que el otro extremo se pone en contacto con una flama. Los átomos o moléculas del extremo calentado por la flama adquieren una mayor energía de agitación. Parte de esta energía se transfiere a las partículas de la región más próxima a dicho extremo, entonces la temperatura de esta región también aumenta. Este proceso continúa a lo largo de la barra, y después de cierto tiempo, la persona que sostiene el otro extremo percibirá una elevación de temperatura en ese lugar.

Por tanto, hay una trasmisión de calor a lo largo de la barra, que continuará mientras exista una diferencia de temperatura entre ambos extremos. Observemos que esta trasmisión se debe a la agitación de los átomos de la barra, transferida sucesivamente de uno a otro átomo, sin que estas partículas sufran ninguna traslación en el interior del cuerpo. Este proceso de trasmisión de calor se denomina **conducción térmica**. La mayor parte del calor que se transfiere a través de los cuerpos sólidos, es transmitida de un punto a otro por conducción.

Dependiendo de la constitución atómica de una sustancia, la agitación térmica puede transmitirse de uno a otro átomo con mayor o menor facilidad, haciendo que tal sustancia sea buena o mala conductora del calor. Así, por ejemplo, los metales son conductores térmicos, mientras que otras sustancias, como el unicel, corcho, porcelana, madera, aire, hielo, lana, papel, etc., son aislantes térmicos, es decir, malos conductores del calor.

2.6.2 Radiación

El calor radiante o radiación, es el proceso por el cual la energía se transfiere por medio de ondas electromagnéticas o cuantos, a diferencia de los procesos de conducción y de convección, no se requiere de un medio material para propagarse.

El físico escocés James Clark Maxwell (1831-1879) predijo que los campos eléctrico y magnético fluctuando de manera conjunta podían formar una onda en propagación denominada **onda electromagnética**.

Todos los cuerpos irradian calor, de manera que una transmisión de calor por radiación tiene lugar debido a que un cuerpo caliente emite más calor que el que recibe y un cuerpo frío recibe más calor del que emite.

La energía del Sol llega a la Tierra mediante grandes cantidades de **ondas de luz visible**, así como de cantidades considerables de ondas infrarrojas y ultravioletas, todas pertenecientes a una clase de ondas denominadas “electromagnéticas”. En esta clase también se incluyen las microondas utilizadas para cocinar y las ondas de radio utilizadas para la transmisión en AM (amplitud modulada) y FM (frecuencia modulada), las señales de televisión, los rayos X, etc. Muchos acontecimientos comunes se relacionan con el hecho de que las ondas electromagnéticas conducen energía. Cuando nos exponemos al Sol sentimos calor debido a que nuestro cuerpo absorbe energía de las ondas electromagnéticas. Cualquier persona que se haya parado cerca de un fuego abrasador o colocado su mano cerca de un foco incandescente ha sentido un efecto semejante.

2.6.3 Convección

La convección es un proceso por medio del cual el calor es transferido debido al movimiento de la masa de las moléculas de un lugar a otro. En tanto que la conducción implica el movimiento y colisiones de moléculas (o electrones) sólo sobre pequeñas distancias, la convección implica el movimiento de moléculas sobre grandes distancias.

Es un medio de mover la energía de un lugar a otro, por lo tanto es un transporte de energía. Ocurre debido a que un fluido en movimiento recoge energía de un cuerpo caliente y la entrega a un cuerpo más frío. Por ejemplo, cuando se calientan las manos sosteniéndolas sobre una flama descubierta, el aire directamente encima de la flama se calienta y expande. Como resultado, la densidad del aire disminuye y éste asciende. Esta masa de aire caliente le da calor a las manos cuando fluye por ellas, afirmando que la energía térmica transferida por el movimiento de la sustancia calentada se ha transferido por convección. Cuando el movimiento se produce por diferencias en la densidad, como en el ejemplo descrito del aire alrededor del fuego, ésta se conoce como convección natural. Cuando la sustancia calentada es obligada a moverse mediante un ventilador o bomba, como en algunos sistemas de calefacción de aire y agua caliente, el proceso se denomina convección forzada.

El viento es un ejemplo de convección, y las condiciones atmosféricas en general son un resultado de corrientes convectivas del aire. Cuando un recipiente con agua es calentado, se establecen corrientes de convección natural cuando el agua caliente del fondo se eleva debido a su menor densidad y es remplazada por agua más fría de arriba.

2.7 Cambios de estado

La noción sobre los estados físicos: sólido, líquido y gaseoso, se ha formado en nuestra mente de manera natural; aunque no podamos explicar con claridad los principios de energía interna, sí podemos distinguir un cuerpo sólido de un líquido. Algunas sustancias sólidas se transforman en líquidas por medio de calor, a la vez que las líquidas se pueden transformar en vapores. La teoría cinética explica dichos cambios basándose en el movimiento de las moléculas; siendo la energía cinética de un sólido menor que la de un líquido y la de éste menor que la de un gas. El paso del estado sólido al líquido se manifiesta con absorción de energía calorífica,

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

la cual aumenta el movimiento de las moléculas. Los estados de plasma, cristal, coloidal, etc., requieren de análisis físicos y químicos de mayor profundidad.

Las condiciones térmicas de los cuerpos no quedan suficientemente determinadas con sólo conocer sus temperaturas. Este hecho queda exhibido si mezclamos diferentes cuerpos a distintas temperaturas; si la mezcla se hace con 100 g_m de agua a 0°C y 100 g_m de agua a 100°C , se obtiene una de 50°C aproximadamente: pero si a los 100 g_m de agua a 0°C mezclamos 100 g_m de hierro a 100°C , la temperatura de la mezcla registrada con un termómetro será aproximadamente de 10°C ; si se usan 100 g_m de plomo a 100°C , la temperatura que se obtenga apenas alcanzará 3°C . Si ahora utilizamos una lámpara de alcohol o un mechero Bunsen para elevar la temperatura del agua a 3°C , 10°C y 50°C , se comprende lógicamente que tardará más en los dos últimos casos con la misma fuente calorífica, hechos que indican que se requiere mayor cantidad de calor. Para medir la energía calorífica en el sistema internacional se emplea la caloría, y en el inglés, el Btu (British thermal unit o unidad térmica británica).

2.8 Calor sensible

Al calor que hace variar la temperatura se le llama calor sensible. La temperatura de bulbo seco es la que se mide con un termómetro ordinario, y es la medida del calor sensible del aire expresado en grados centígrados o Fahrenheit.

2.9 Calor latente

Es el calor que permite el cambio de estado (fases físicas). El calor por kilogramo masa que se asocia con un cambio de fase se denomina calor latente, es decir, el calor latente L es la cantidad de energía calorífica por kilogramo masa que se debe agregar o eliminar cuando una sustancia cambia de fase.

La unidad en el SI del calor latente es: $\frac{\text{Joule}}{\text{kg}_m}$

El calor latente de fusión L_F de una sustancia es la cantidad de calor que necesita un kilogramo masa de ella para transformarse, a la misma temperatura, del estado sólido al líquido. El calor latente de vaporización L_V se refiere al cambio entre las fases líquida y gaseosa, y el calor latente de sublimación L_S se refiere al cambio entre las fases sólida y gaseosa.

2.10 Calor de fusión y calor de vaporización

El calor absorbido mientras no hay cambio de temperatura es el **calor de fusión**. Cuando a un cuerpo se le suministra energía calorífica, puede suceder que el cuerpo experimente una variación en su temperatura o que cambie de estado físico. El calor requerido para cambiar 1 kg_m de una sustancia del estado sólido al líquido se llama **calor de fusión**; se denota por L_F . El calor de fusión del agua a 0°C es de 79.7 kcal/kg_m , o en unidades del SI 333 kJ/kg_m . El calor requerido para cambiar una sustancia de la fase líquida a la de vapor se llama **calor de vaporización** y se denota por L_V , y para el agua a 100°C es de 539 kcal/kg_m o en unidades del SI es $2,260\text{ kJ/kg}_m$.

2.11 Unidades de calor: Caloría y British thermal unit (Btu)

El concepto de caloría fue propuesto por el físico y químico francés Pedro Luis Dulong (1785-1838) para expresar la unidad de cantidad de calor, concepto que ha sido aceptado desde 1850. En dicha época se consideró la caloría como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua en 1°C; más tarde se comprobó que la cantidad de calor no es la misma para hacer variar un gramo de agua de 0°C a 1°C que para hacerla variar de 15°C a 16°C, o a cualquier otra temperatura considerada, en vista de esto se definió a una caloría como la cantidad de calor que necesita un gramo masa de agua para que su temperatura varíe desde 14.5°C a 15.5°C; pero en la actualidad, para los problemas prácticos se prefiere usar la caloría media, que es igual a la centésima parte de la cantidad de calor empleada para elevar la temperatura de un gramo de agua de 0°C a 100°C.

Una vez establecido que el calor es una forma de energía, es obvio que una cierta cantidad de calor debe medirse en unidades energéticas. En la práctica, como indicamos anteriormente, se emplean como unidades de calor a la caloría (*cal*) y al *Btu*, entonces:

1. Por definición, *1 caloría* es la cantidad de calor que debe transmitirse a $1 g_m$ de agua para que su temperatura se eleve en 1 grado Celsius o centígrado (de 14.5 a 15.5 °C). La notación de caloría es “*cal*”, pero como frecuentemente utilizamos la relación para $1 kg_m$ de agua, es preferible considerar a la *kilocaloría* (*kcal*), llamada por algunos autores también como caloría grande, que corresponde a la cantidad de calor que requiere un kilogramo masa de agua para elevar su temperatura un grado centígrado.

$$1 \text{ cal} = 1 g_m \times 1^\circ\text{C}$$

2. De la misma forma se define a la unidad térmica británica de *1 Btu* como la cantidad de calor que debe transmitirse a $1 lb_m$ de agua para que su temperatura se eleve en 1 grado Fahrenheit (de 59.5 a 60.5°F).

$$1 \text{ Btu} = 1 lb_m \times 1^\circ\text{F}$$

En sus experimentos Joule estableció la relación entre las unidades de calor y de trabajo mecánico y obtuvo:

3. Tabla de equivalencias de unidades de energía

| | |
|---|--|
| $1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ Joules}$ | $1 \text{ hp} - h = 641.1865 \text{ kcal}$ |
| $1 \text{ kcal} = 4,186.8 \text{ Joules}$ | $1 \text{ hp} - h = 2,544.434 \text{ Btu}$ |
| $1 \text{ kcal} = 426.931 \overline{\text{kg}} \times m$ | $1 \text{ kw} - h = 859.8452 \text{ kcal}$ |
| $1 \text{ kcal} = 3.9683 \text{ Btu}$ | $1 \text{ kw} - h = 3,412.142 \text{ Btu}$ |
| $1 \text{ Btu} = 778.16 \overline{\text{lb}} \times \text{pie}$ | <i>Valores para uso práctico:</i> |
| $1 \text{ Btu} = 0.251996 \text{ kcal}$ | $1 \text{ hp} - h = 641.2 \text{ kcal}$ |
| $1 \text{ Btu} = 252 \text{ cal}$ | $1 \text{ hp} - h = 2,545 \text{ Btu}$ |
| | $1 \text{ kw} - h = 860 \text{ kcal}$ |
| | $1 \text{ kw} - h = 3,412 \text{ Btu}$ |

Existen procesos en los cuales no hay transferencia de energía calorífica, a los que se les denomina adiabáticos, es decir, $Q = 0$.

2.12 Capacidad calorífica

Si una sustancia absorbe calor, se presenta un cambio en su temperatura. La relación entre el calor absorbido y esta variación de temperatura recibe el nombre de capacidad calorífica.

Supóngase que a un cuerpo A se le proporciona una cantidad de calor igual a 100 cal, y que su temperatura se eleva 20 grados centígrados. Pero si se suministra esa misma cantidad de calor (100 cal) a otro cuerpo B, podemos observar un aumento de temperatura diferente, por ejemplo, de 10 grados centígrados. Por lo tanto, al proporcionar la misma cantidad de calor a cuerpos distintos, en general, éstos presentan diferentes variaciones en sus temperaturas. Para caracterizar este comportamiento de los cuerpos se define una magnitud, llamada capacidad térmica, de la siguiente manera: si un cuerpo recibe una cantidad de calor Q y su temperatura varía en T grados, la capacidad térmica o calorífica de este cuerpo está dada por la razón de la cantidad de calor suministrado con el correspondiente incremento de temperatura del cuerpo:

$$\text{Capacidad calorífica: } Cc = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

La capacidad calorífica se expresa en las siguientes unidades:

| | |
|-----------------------------|---|
| <i>Capacidad calorífica</i> | $Cc \Rightarrow \frac{kcal}{^\circ C} \text{ o } \frac{Btu}{^\circ F}$ |
| <i>masa</i> | $m \Rightarrow kg_m \text{ o } lb_m$ |
| <i>Temperatura</i> | $T \Rightarrow \begin{cases} ^\circ C \rightarrow K \\ ^\circ F \rightarrow ^\circ R \end{cases}$ |
| <i>Calor</i> | $Q \Rightarrow kcal \text{ o } Btu$ |

Así, al calcular las capacidades caloríficas de los cuerpos A y B citados tendremos:

$$C_A = \frac{100 \text{ cal}}{20^\circ C} = 5 \frac{\text{cal}}{^\circ C}$$

$$C_B = \frac{100 \text{ cal}}{10^\circ C} = 10 \frac{\text{cal}}{^\circ C}$$

Estos resultados indican que al cuerpo A debemos proporcionar 5 cal por cada grado centígrado de elevación en su temperatura, mientras que para el cuerpo B se necesitan 10 cal para producir el mismo efecto. Entonces, cuanto mayor sea la capacidad calorífica de un cuerpo, mayor será la cantidad de calor que debemos proporcionarle para producir determinado aumento en su temperatura; de la misma manera, será mayor la cantidad de calor que cederá cuando su temperatura sufre determinada reducción.

Como la capacidad calorífica de un cuerpo está dada por la relación $Cc = Q/T$, una unidad para medir esta magnitud es la $cal/°C$. Como sabemos, el calor es una forma de energía, por lo tanto, se puede expresar en Joules (ver tema 3.6). También podemos emplear como unidades de capacidad calorífica las siguientes equivalencias:

$$1 \frac{kcal}{kg_m} = 1.802 \frac{Btu}{lb_m}$$

$$1 \frac{Btu}{lb_m} = 0.5556 \frac{kcal}{kg_m}$$

2.13 Calor específico

De manera general, el valor de la capacidad calorífica varía de un cuerpo a otro, dependiendo de las condiciones físicas a las que se encuentre sometido. Dos cuerpos que tienen iguales masas (de distintas sustancias) pueden tener distintas capacidades caloríficas.

Si tomamos bloques hechos del mismo material, por ejemplo de masas m_1 , m_2 y m_3 , sus capacidades caloríficas serán distintas. Pero al dividir la capacidad calorífica de cada bloque entre su masa, se obtiene el mismo resultado para todos los cuerpos, es decir:

$$\frac{Cc_1}{m_1} = \frac{Cc_2}{m_2} = \frac{Cc_3}{m_3} = \text{constante}$$

Entonces, el cociente Cc/m es constante para determinado material, y varía por lo tanto de un material a otro. Este cociente se denomina calor específico Ce del material. Por consiguiente, si un cuerpo de masa m tiene una capacidad calorífica Cc , el calor específico Ce del material que constituye el cuerpo está dado por:

$$Ce = \frac{Cc}{m}$$

Por ejemplo, en el experimento señalado en el tema 3.4.1.2, el plomo es de menor calor específico que el hierro, porque a iguales masas de plomo y de hierro a la misma temperatura ($100°C$) elevaron, el primero, en $3°C$ la temperatura de los $100 g_m$ de agua a $0°C$, y el segundo en $10°C$. Si ahora tomamos $100 g_m$ de hierro a $100°C$ y lo introducimos en $100 g_m$ de kerosena a $0°C$, la temperatura alcanzada por ésta será de $16°C$; si en lugar de este líquido se emplean $100 g_m$ de mercurio, el termómetro registrará una temperatura de $78°C$. Estos hechos nos muestran que la misma cantidad de calor, llevada por los $100 g_m$ de hierro, eleva la temperatura de iguales masas de distintas sustancias a diferentes valores, dependiendo de una propiedad física de las sustancias, la cual se conoce con el nombre de calor específico. El calor específico de una sustancia es igual al número de calorías necesarias para elevar en $1°C$ la temperatura de un gramo masa de la sustancia.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

El calor específico (también llamada capacidad calorífica específica) de una sustancia se define por la cantidad de calor que entra o sale de una unidad de masa cuando en ésta varía un grado su temperatura.

En forma dimensional:
$$C_e = \frac{\text{calor (unidades de energía)}}{\text{masa} \times \text{cambio de temperatura}}$$

Si el cuerpo cede calor, entonces podemos decir que el calor específico de la sustancia de la que se forma el cuerpo es igual a la cantidad de calor que desprende cada gramo al disminuir 1°C su temperatura; en el sistema inglés el calor específico se refiere a una libra y a 1°F. El calor específico del agua es 1 en cualquiera de los sistemas mencionados.

$$C_{e_{\text{agua}}} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}_m \times ^\circ\text{C}} = 1 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}_m \times ^\circ\text{F}}$$

Tabla de calores específicos de algunas sustancias a 20°C y 1 atmósfera

| (1) Sustancia | Ce $\left(\frac{\text{cal}}{\text{g}_m \times ^\circ\text{C}} \right)$ | (2) Sustancia | Ce $\left(\frac{\text{cal}}{\text{g}_m \times ^\circ\text{C}} \right)$ | (3) Sustancia | Ce $\left(\frac{\text{cal}}{\text{g}_m \times ^\circ\text{C}} \right)$ |
|------------------|---|------------------|---|------------------|---|
| Acero | 0.114 | Estaño | 0.055 | Mercurio | 0.033 |
| Acetona | 0.530 | Eter | 0.515 | Níquel | 0.110 |
| Agua (15°C) | 1.000 | Grafito | 0.200 | Oro | 0.0316 |
| Alcohol etílico | 0.580 | Hielo (-5°C) | 0.500 | Parafina | 0.0694 |
| Aluminio | 0.220 | Hierro | 0.113 | Plata | 0.056 |
| Azufre | 0.180 | Kerosena | 0.550 | Platino | 0.032 |
| Benzol | 0.450 | Latón | 0.094 | Plomo | 0.031 |
| Bronce | 0.089 | Madera | 0.400 | Vidrio | 0.200 |
| Cobre | 0.093 | Marmol | 0.210 | Zinc | 0.092 |

2.14 Calorimetría

El calor también se define como una forma de energía que es transferida a través de la frontera de un sistema a una temperatura dada, a otro sistema que presenta una temperatura más baja, debido a la diferencia de temperaturas entre los dos sistemas.

El calor por unidad de masa lo representamos con la letra “q” teniendo que:

$$q = \frac{Q}{m} \quad \Rightarrow \quad Q = qm$$

en variaciones diferenciales, tenemos: $dQ = m dq$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

como el calor específico está dado por la expresión: $Ce = \frac{dq}{dT}$

entonces: $dq = Ce dT$

multiplicando ambos miembros por la masa total m :

$$m dq = m Ce dT$$

$$dQ = m Ce dT$$

integrando entre los estados inicial (1) y final (2):

$$\int_1^2 dQ = m Ce \int_1^2 dT$$

$$[Q]_1^2 = m Ce [T]_1^2$$

$$Q_2 - Q_1 = m Ce (T_2 - T_1)$$

si llamamos $Q_2 - Q_1$ al calor total añadido a la masa m , entonces:

$$Q_2 - Q_1 = Q_{total} \quad \text{o simplemente} \quad Q_2 - Q_1 = Q$$

entonces para las temperaturas T_1 (inicial) y T_2 (final):

$$Q = m Ce (T_2 - T_1)$$

o

$$Q = m Ce (T_f - T_i)$$

por último las unidades utilizadas frecuentemente para referirnos al calor específico son:

$$Ce = \frac{Q}{m \Delta T} \left(\frac{cal}{g_m \times ^\circ C} , \frac{Btu}{lb_m \times ^\circ F} \right)$$

Como el calor específico es característico de cada material, su valor para cada sustancia se determina con todo cuidado en los laboratorios y los resultados se tabulan.

El calor específico del agua es mucho mayor que los calores específicos de casi todas las demás sustancias. Esto significa que al suministrar la misma cantidad de calor a iguales masas de agua y de alguna otra sustancia líquida, se observa que la masa de agua se calienta mucho menos.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Se sabe que el calor específico de un material puede presentar variaciones en determinadas circunstancias. De este modo, cuando una sustancia pasa del estado sólido al estado líquido (o gaseoso) su calor específico se altera.

2.14.1 Calor absorbido y calor cedido por un cuerpo

Cuando un cuerpo se encuentra a una temperatura determinada, absorbe calor del medio que lo rodea, elevando su temperatura sin cambiar su estado físico; la cantidad de calor absorbida quedará expresada como sigue:

$$\text{Calorías absorbidas} = \text{masa} \times \text{calor específico} \times \text{variación de la temperatura}$$

Si representamos por Q el calor absorbido, por Ce el calor específico, por m la masa del cuerpo, por T_1 la temperatura inicial y por T_2 la temperatura final a la que se elevó, podemos escribir la expresión anterior como se indicó en el tema de calorimetría:

$$Q = mCe(T_2 - T_1) \quad \text{en donde: } T_2 > T_1$$

En el caso de que el calor se hubiera cedido la expresión de calor estará afectada por un cambio de signo:

$$-Q = mCe(T_2 - T_1) \quad \text{en donde: } T_2 < T_1$$

2.14.2 Equivalente en agua de un cuerpo

Bajo el punto de vista calorimétrico, entendemos por equivalencia en agua de un cuerpo el producto de su masa por su calor específico:

$$\text{Equivalente en agua de la sustancia} = \text{masa} \times \text{calor específico de la sustancia}$$

Este concepto lo aclararemos con el siguiente ejemplo: ¿Cuál es el equivalente calorimétrico en agua de 100 g_m de aluminio?

$$\text{Equivalente en agua} = \text{masa del cuerpo} (100 g_m) \times \text{Ce del aluminio} (0.22 \frac{\text{cal}}{g_m \times ^\circ\text{C}}) = 22 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$$

Esto significa que el calor contenido (absorbido o cedido) por los 100 g_m de aluminio, es como si fueran 22 g_m de agua que se encuentran a la misma temperatura, o que experimentan la misma variación en la temperatura.

2.14.3 Calor contenido en un cuerpo

Con el nombre de calor contenido en un cuerpo entendemos la cantidad de energía térmica que contiene el cuerpo, siendo equivalente al producto de su masa por su calor específico y por su temperatura; ésta última se mide desde 0°C .

Si $T^{\circ}\text{C}$ representa la temperatura del cuerpo, m su masa y C_e su calor específico, la cantidad de calorías Q contenida en el cuerpo quedará expresada por:

$$Q = m C_e T$$

En el caso del agua (ver tema 3.4.2) el calor específico es igual a la unidad, por tanto, el calor contenido es igual a:

$$C_{e_{\text{agua}}} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}_m \times ^{\circ}\text{C}} = 1 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}_m \times ^{\circ}\text{F}}$$

2.15 Ley cero de la termodinámica

La ley que en termodinámica ha recibido el nombre de “ley cero” establece que cuando dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico respecto a un tercero, entonces estarán en equilibrio térmico entre sí, y por ende, presentarán una misma temperatura.

Debe notarse que para que dos cuerpos estén en equilibrio completo es necesario que, además de la igualdad de temperaturas, las presiones de los dos cuerpos también sean iguales y que ambos cuerpos estén constituidos de tal forma que no haya lugar a cambios químicos cuando se pongan en contacto. Consideremos nuevamente dos cuerpos A y B que tienen diferentes temperaturas: si dichos cuerpos se juntan poniendo en contacto la cara de uno con la del otro, la temperatura de ambos se equilibrará después de transcurrido un tiempo t , permitiendo que el cuerpo de mayor temperatura ceda energía calorífica al de menor temperatura.

La ley cero de la termodinámica establece que dos cuerpos, cuando tienen igual temperatura con respecto a un tercero, tienen igual temperatura entre sí.

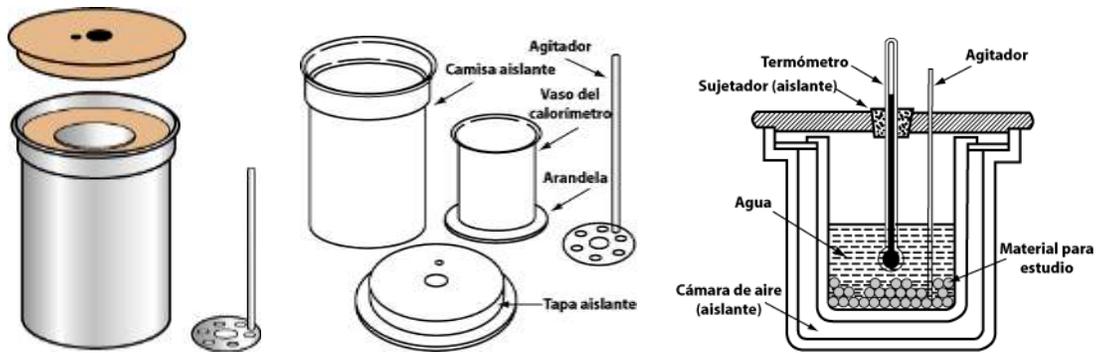
3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

- 1.- Calorímetro de doble pared o simple de agua, conformado por tapa de madera, vaso mayor y vaso menor de aluminio, arandela, agitador y termómetro de 0°C a 100°C
- 2.- Balanza de precisión
- 3.- Parrilla eléctrica
- 4.- Termómetro de aceite mineral (de 0°C a 150°C)
- 5.- Vaso de precipitados (100 y 200 ml)
- 6.- Pinzas y jeringa
- 7.- Guantes de carnaza
- 8.- Muestras de diversas sustancias líquidas y sólidas

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

4.1 Determinación del calor específico

Los calorímetros son los aparatos que se emplean para determinar el calor específico de las sustancias; en el laboratorio se utiliza el **calorímetro de doble pared** también llamado simple de agua. Por medio de una balanza de precisión se determina la masa del vaso del calorímetro junto con su agitador, a continuación se obtiene la masa de agua que deberá contener el vaso, en el cual se coloca el cuerpo que cede calor; el agua debe estar a la temperatura del medio ambiente.



Calorímetro de doble pared o simple de agua

Se determina la masa del cuerpo cuyo calor específico deseamos investigar y se coloca en una parrilla eléctrica (o estufa) durante cierto tiempo hasta que adquiere la temperatura de análisis, la cual deberá ser alrededor de 80 a 100°C. El cuerpo caliente se sumerge rápidamente en el agua del calorímetro y se agita hasta que la temperatura indicada por el termómetro no varíe. Es necesario tener en cuenta que si dos cuerpos a diferentes temperaturas se ponen en contacto, el más caliente cede calor al más frío hasta que ambos estén a la misma temperatura o en equilibrio térmico; esto sucede en el calorímetro al poner el cuerpo caliente en el agua que se encuentra en su vaso; ésta se calienta y aquél se enfría, hasta que ambos están a la misma temperatura. Además no debemos olvidar que el número de calorías cedido por el cuerpo caliente es igual al absorbido por el cuerpo frío. En el calorímetro, el calor cedido por el cuerpo caliente es igual al absorbido por el agua y por el vaso calorimétrico junto con el agitador, por lo tanto podemos escribir:

$$\begin{aligned} \text{Calorías perdidas} &= \text{Calorías ganadas} \\ \text{Sustancia o cuerpo caliente} &= \text{agua} + \text{calorímetro} \end{aligned}$$

Cuando se mezcla el cuerpo caliente con el agua a temperatura ambiente, ésta se calienta absorbiendo las calorías que cede el primero, por tanto, si el agua se calentó de T_1 a T_2 y el cuerpo se enfrió de T_3 a T_2 , podemos escribir para $T_1 < T_2 < T_3$:

$$\begin{aligned} \text{Calor cedido} &= \text{Calor absorbido} \\ -Q_{\text{cedido por la sustancia}} &= +Q_{\text{absorbido por el agua}} + Q_{\text{absorbido por el calorímetro}} \end{aligned}$$

de la ecuación de equilibrio térmico:

$$-m_{sust} Ce_{sust} (T_2 - T_3) = m_{agua} Ce_{agua} (T_2 - T_1) + m_{cal} Ce_{cal} (T_2 - T_1)$$

$$-m_{sust} Ce_{sust} (T_2 - T_3) = m_{agua} Ce_{agua} (T_2 - T_1) + m_{cal} Ce_{cal} (T_2 - T_1)$$

$$-m_{sust} Ce_{sust} (T_2 - T_3) = (m_{agua} Ce_{agua} + m_{cal} Ce_{cal}) (T_2 - T_1)$$

$$Ce_s = \frac{(m_a Ce_a + m_c Ce_c) (T_2 - T_1)}{-m_s (T_2 - T_3)}$$

en donde:

m_{agua} masa del agua a la temperatura del medio ambiente

Ce_{agua} calor específico del agua

m_{cal} masa del calorímetro incluido el agitador (aluminio)

Ce_{cal} calor específico del calorímetro (fabricado de aluminio)

m_{subst} masa en g_m de la sustancia o cuerpo caliente

Ce_{subst} **calor específico del cuerpo caliente (valor por hallar)**

T_1 *temperatura del medio ambiente* (es la temperatura registrada del vaso del calorímetro conteniendo agua a la temperatura del medio ambiente)

T_2 *temperatura de equilibrio térmico* (es la temperatura media registrada de la mezcla de agua conteniendo a la sustancia en estudio)

T_3 *temperatura de la sustancia caliente* (es la temperatura registrada de la muestra calentada en la parrilla)

Sustituyendo los valores numéricos encontrados para la muestra se tendrán las siguientes unidades

Deberá observarse que la temperatura en equilibrio de la sustancia, que se obtuvo matemáticamente utilizando las ecuaciones de calor, es muy semejante a la que se obtiene de manera experimental. Este fenómeno se debe a que todas las sustancias tienden a estar en equilibrio térmico cuando se han puesto en contacto o mezclados, de manera que hay una transferencia de energía en forma de calor. Después de algunos segundos la temperatura de una mezcla tiende a estar en equilibrio. Esto se puede medir y calcular de manera matemática, ya que sabemos que la cantidad de calor que transmite una sustancia de mayor temperatura es igual a la cantidad de calor que adquiere otra segunda sustancia de menor temperatura; por ello la suma de ambas energías es igual a cero.

El calor y el trabajo tienen semejanzas en el sentido de que ambos constituyen flujos de energía, y en que ambos tienen que cruzar la frontera del sistema para tener significado.

Debido a que el calor se produce como resultado de un flujo de energía entre un sistema y sus alrededores, constituye una función del modo como se transfiere o transmite dicha energía. Esto significa que el calor es matemáticamente una función de trayectoria semejante a la de trabajo mecánico, por tal razón puede representarse para un proceso físico mediante la expresión:

$$Q = \int_1^2 dQ$$

$$Q = [Q]_1^2$$

$$Q = Q_2 - Q_1$$

Q es el calor que se transmite cuando un sistema pasa del estado (1) al estado (2) en cualquier proceso dado. También Q es llamado calor total o calor neto generado dentro del sistema.

Podemos establecer la comparación entre calor y trabajo mecánico mediante las siguientes consideraciones:

5. El calor y el trabajo mecánico son energías o fenómenos de transición y ningún cuerpo o sistema poseen por sí mismos calor o trabajo, pero se puede atravesar la frontera del sistema según las funciones de trayectoria cuando se cambia de un estado a otro.
6. Tanto el calor como el trabajo mecánico se relacionan con la frontera del sistema, atravesando esta energía el entorno que forman sus paredes.
7. Por tratarse de funciones de trayectoria, el calor y el trabajo mecánico son diferenciales inexactas y convencionalmente consideramos que **el calor tiene signo (+) cuando es recibido por el sistema y el trabajo tiene signo (+) cuando es producido por el sistema** y se libera en forma de energía.

4.2 Procedimiento del experimento

Mediante un balance de calor determinar los calores específicos de diversas sustancias utilizando un calorímetro de doble pared. (el cual es un instrumento que nos sirve para crear un aislamiento con el exterior, de forma que los procesos que se dan en el interior sean más controlados y puedan ser fácilmente medibles). Basándonos en la ley cero de la termodinámica (que dice que todos los cuerpos, al estar en contacto y a diferentes temperaturas, tienden a equilibrar su energía térmica de forma que alcanzan la misma energía interna), sabemos que el objeto de análisis y el fluido (agua y calorímetro) alcanzarían una temperatura igual después de pasado cierto tiempo, lo cual nos ayudará a determinar el calor específico de cada uno de los materiales

4.2.1 Verificar el calor específico del agua

- 1.- Hallar la masa del vaso menor del calorímetro y del agitador.
- 2.- Depositar en el vaso menor del calorímetro aproximadamente 100 cm^3 de agua a la temperatura del medio ambiente y hallar su masa (del agua)
- 3.- Registrar la temperatura del sistema (vaso del calorímetro, agitador y agua)
- 4.- Hallar la masa del vaso de precipitado.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

- 5.- Agregar aproximadamente 100 cm^3 de agua al vaso de precipitado (calcular la masa de la misma) y calentarla sobre la parrilla eléctrica hasta obtener una temperatura cercana a $80 \text{ }^\circ\text{C}$, procurando evitar la evaporación (para no perder masa).
- 6.- Registrar la temperatura del agua caliente y verterla en el calorímetro.
- 7.- Agitar la mezcla de agua fría con agua caliente tapando el calorímetro
- 8.- Registrar la nueva temperatura de la mezcla.
- 9.- Aplicar las ecuaciones para verificar el calor específico del agua.

4.2.2 Desarrollo del experimento

- 1.- Primero se pesa el vaso del calorímetro y del agitador para hallar su masa. (aplicando la 2ª ley de Newton).

$$C_{e_{\text{aluminio}}} = 0.220 \frac{\text{cal}}{\text{g}_m \text{ }^\circ\text{C}}$$

Nota: Para obtener la masa del agua y de cualquier sustancia obtenemos primero su peso y aplicamos la ecuación gravitacional:

$$m_{\text{subs}} = \frac{W_{\text{subs}}}{g_{\text{local}}}$$

- 2.- Se pesa el vaso del calorímetro seco y posteriormente se le añade cierta cantidad de agua (aproximadamente 100 cm^3), de manera que esa agua se encuentre a la temperatura ambiente (aproximadamente 20°C), después se pesa el vaso del calorímetro con agua de manera que nos permita obtener la masa del agua por diferencia de pesadas.

- 3.- Una vez que se ha obtenido la masa del agua del calorímetro, repetimos el proceso anterior, solo que en esta ocasión consideramos un vaso de precipitados con aproximadamente 100 cm^3 que calentamos a una temperatura entre 70 y $80 \text{ }^\circ\text{C}$, evitando perder masa por evaporación.

- 4.- Finalmente, se mezclan ambas sustancias en un calorímetro de doble pared (de agua), y se regula la temperatura de la mezcla, la cual se debe encontrar en equilibrio después de algunos segundos.

- 5.- Los resultados obtenidos de los puntos anteriores deben registrarse y anotarse en tablas diseñadas para tal efecto anexándola a la práctica de calorimetría.

4.2.3 Desarrollo de la ecuación de equilibrio térmico

$$C_{e_s} = \frac{(m_a C_{e_a} + m_c C_{e_c}) (T_2 - T_1)}{-m_s (T_2 - T_3)}$$

Sustituyendo los valores encontrados para la muestra de agua:

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$C_{e_{sust}} (\text{nombre}) = \frac{(\text{---} g_m \times 0.220 \frac{\text{cal}}{g_m \cdot ^\circ C} + \text{---} g_m \times 1 \frac{\text{cal}}{g_m \cdot ^\circ C}) (\text{---} - \text{---}) ^\circ C}{-(\text{---} g_m) (\text{---} - \text{---}) ^\circ C} = \text{---} \frac{\text{cal}}{g_m \cdot ^\circ C}$$

Deberá observarse que la temperatura en equilibrio de la sustancia que se obtuvo matemáticamente utilizando las ecuaciones es muy semejante a la que se encontró de manera experimental. Este fenómeno se debe a que todas las sustancias tienden a estar en equilibrio térmico cuando se han puesto en contacto y mezclados, de manera que hay una transferencia de energía en forma de calor (en relación con la ley cero de la termodinámica). Después de algunos segundos la temperatura de una mezcla tiende a estar en equilibrio. Esto se puede medir y calcular de manera matemática, ya que sabemos que la cantidad de calor que transmite una sustancia de mayor temperatura es igual a la cantidad de calor que adquiere otra segunda sustancia de menor temperatura; por ello la suma de ambas energías es igual a cero.

Los resultados deberán reflejarse en las tablas 1 y 2 de la sección resultados.

4.2.4 Hallar el calor específico de diversas muestras sólidas

- 1.- Hallar la masa del vaso menor del calorímetro y del agitador.
- 2.- Depositar en el vaso menor del calorímetro aproximadamente 100 cm³ de agua a la temperatura del medio ambiente.
- 3.- Registrar la temperatura del sistema (vaso del calorímetro-agitador-agua)
- 4.- Hallar la masa de la muestra.
- 5.- Calentar sobre la parrilla eléctrica la muestra hasta obtener una temperatura entre 70-80°C.
- 6.- Registrar la temperatura de la muestra y con pinzas depositarla en el calorímetro.
- 7.- Agitar el agua con la muestra para equilibrar la temperatura.
- 8.- Registrar la nueva temperatura.
- 9.- Aplicar las ecuaciones para obtener el calor específico de la muestra.

4.2.5 Desarrollo de la ecuación de equilibrio térmico

Si consideramos por facilidad las siguientes nomenclaturas:

Calorímetro (aluminio) = (c)
 Agua = (a)
 Sustancia = (s)

$$Q_c + Q_a = -Q_s$$

$$Q_c = m_c C_{e_c} (T_2 - T_1)$$

$$Q_a = m_a C_{e_a} (T_2 - T_1)$$

$$Q_s = m_s C_{e_s} (T_2 - T_3)$$

$$m_c C_{e_c} (T_2 - T_1) + m_a C_{e_a} (T_2 - T_1) = -m_s C_{e_s} (T_2 - T_3)$$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$C_s = \frac{(m_c C_c + m_a C_a)(T_2 - T_1)}{-m_s (T_2 - T_3)}$$

Los resultados deberán reflejarse en las tablas 3 y 4 de la sección resultados.

5. RESULTADOS

Tabla 1: Para registro de parámetros

| Muestra líquida | Masa del vaso menor del calorímetro y del agitador g_m | Masa del agua contenida en el vaso del calorímetro g_m | Masa de la muestra de agua g_m |
|-----------------|---|---|-------------------------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Tabla 2 Obtención de masas calculadas mediante la 2ª ecuación de Newton

| Sustancia | m_c (g _m) | C_c ($\frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C}$) | m_a (g _m) | C_a ($\frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C}$) | T_1 (°C) inicial | T_2 (°C) mezcla | m_s (g _m) | C_s ($\frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C}$) | T_3 (°C) muestra |
|-----------|----------------------------|---|----------------------------|---|--------------------------|-------------------------|----------------------------|---|--------------------------|
| | | 0.220 | | 1.000 | | | | | |
| | | 0.220 | | 1.000 | | | | | |
| | | 0.220 | | 1.000 | | | | | |

Tabla 3 para registro de parámetros

| Muestra sólida | Masa del vaso menor del calorímetro y del agitador g_m | Masa del agua contenida en el vaso del calorímetro g_m | Masa de la muestra g_m |
|----------------|---|---|-----------------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Tabla 4. Obtención de masas calculadas mediante la ecuación de Newton

| Sustancia | m_c (g_m) | C_c ($\frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C}$) | m_a (g_m) | C_a ($\frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C}$) | T_1 ($^\circ C$) inicial | T_2 ($^\circ C$) mezcla | m_s (g_m) | C_s ($\frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C}$) | T_3 ($^\circ C$) muestra |
|-----------|--------------------|---|--------------------|---|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|---|------------------------------------|
| | | 0.220 | | 1.000 | | | | | |
| | | 0.220 | | 1.000 | | | | | |
| | | 0.220 | | 1.000 | | | | | |
| | | 0.220 | | 1.000 | | | | | |
| | | 0.220 | | 1.000 | | | | | |

Aplicaciones en la ingeniería

La determinación del calor específico de las sustancias en el ejercicio profesional de la ingeniería tanto civil como electromecánica es de gran importancia ya que en las construcciones se requiere determinar la capacidad (coeficientes térmicos) de los materiales para determinar su dilatación y contracción para evitar fracturas por la generación de esfuerzos mecánicos. En el estudio de los fluidos (líquidos y gases) y principalmente para aquellos que circulan por ductos y tuberías, es necesario determinar las cargas térmicas para conocer su capacidad de expansión y compresión, así como en el caso de equipos de alta presión que transforman la energía calorífica a trabajo mecánico.

Cuestionario

1) Defina las unidades de calor en el sistema internacional y en el sistema inglés.

R: En el sistema internacional la unidad de calor es la caloría, que se define como la cantidad de calor que requiere 1 g_m de agua para elevar su temperatura 1 $^\circ C$ (entre 14.5 $^\circ C$ y 15.5 $^\circ C$). En el sistema inglés la unidad de calor es el Btu, que se define como la cantidad de calor que requiere 1 lb_m de agua para elevar su temperatura 1 $^\circ F$ (entre 59 $^\circ F$ y 60 $^\circ F$)

2) ¿Cuántas calorías contiene una masa de agua de 20 g_m a 25 $^\circ C$?

R: $Q = mCeT$

$$Q = 20 g_m \times 1 \frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C} \times 25^\circ C = 500 cal$$

3) Si una masa de agua de 500 g_m se ha calentado de 20 $^\circ C$ a 50 $^\circ C$, ¿qué cantidad de calor habrá absorbido?

R: $Q = mCe(T_2 - T_1)$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$Q = 500 g_m \times 1 \frac{cal}{g_m \times ^\circ C} (50 - 20)^\circ C = 15,000 cal$$

4) ¿Qué cantidad de calor contiene un trozo de plomo de $100 g_m$ si su temperatura es de $60^\circ C$?

R: $Q = m Ce (T_2 - T_1) \quad Ce_{pb} = 0.031 \frac{cal}{g_m \times ^\circ C}$

$$Q = 100 g_m \times 0.031 \frac{cal}{g_m \times ^\circ C} \times 60^\circ C = 186 cal$$

5) Se mezclan $100 g_m$ de agua a $30^\circ C$, con $800 g_m$ de agua a $60^\circ C$, ¿cuál será la temperatura de la mezcla?

R: $m_1 Ce (T_3 - T_1) = -m_2 Ce (T_3 - T_2)$

$$m_1 Ce (T_3 - 30) = -m_2 Ce (T_3 - 60)$$

$$100 g_m \times 1 \frac{cal}{g_m \times ^\circ C} (T_3 - 30)^\circ C = -800 g_m \times 1 \frac{cal}{g_m \times ^\circ C} (T_3 - 60)^\circ C$$

$$100 T_3 cal - 3000 cal = -800 T_3 cal + 48,000 cal$$

$$100 T_3 cal + 800 T_3 cal = 48,000 cal + 3,000 cal$$

$$900 T_3 cal = 51,000 cal$$

$$T_3 = \frac{51,000 cal}{900 cal} = 56.66 \quad \text{recordemos que la temperatura esta dada en } ^\circ C, \text{ por lo tanto:}$$

$$T_3 = 56.66^\circ C$$

6) En el laboratorio se ha determinado el calor específico de una sustancia A. Los datos experimentales son: un vaso calorimétrico de aluminio de una masa de $200 g_m$; $300 g_m$ de agua puesta en el vaso a $20^\circ C$; se colocaron en el agua del vaso $100 g_m$ de la sustancia a la temperatura de $100^\circ C$; la temperatura del agua se elevó hasta $23^\circ C$. Calcule con los datos anteriores el calor específico de la sustancia A.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

R: De la ecuación
$$C_s = \frac{(m_c C_c + m_a C_a)(T_2 - T_1)}{-m_s (T_2 - T_3)}$$

$$C_{e_{sust (nombre)}} = \frac{(\text{---} g_m \times 0.220 \frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C} + \text{---} g_m \times 1 \frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C})(\text{---} - \text{---})^\circ C}{-(\text{---} g_m)(\text{---} - \text{---})^\circ C} = \text{---} \frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C}$$

Sustitución de datos del problema

| Sustancia | m_c (g_m) | C_c ($\frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C}$) | m_a (g_m) | C_a ($\frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C}$) | T_1 ($^\circ C$) inicial | T_2 ($^\circ C$) mezcla | m_s (g_m) | C_s ($\frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C}$) | T_3 ($^\circ C$) muestra |
|-----------|--------------------|---|--------------------|---|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|---|------------------------------------|
| A | 200 | 0.220 | 300 | 1.000 | 20 | 23 | 100 | 0.134 | 100 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

$$C_{e_{sust (A)}} = \frac{(200 g_m \times 0.22 \frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C} + 300 g_m \times 1 \frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C})(23 - 20)^\circ C}{-(100 g_m)(23 - 100)^\circ C} = 0.134 \frac{cal}{g_m \cdot ^\circ C}$$

7) De las siguientes sustancias indique la que posee un calor específico más pequeño: Agua, acero, madera y plomo.

| Sustancia | Calor específico $\frac{cal}{g_m \times ^\circ C}$ |
|-----------|---|
| Agua | 1.000 |
| Acero | 0.114 |
| Madera | 0.400 |
| Plomo | 0.031 |

8) Indique de los siguientes conceptos: evaporación, fusión, solidificación y condensación. ¿Cuál se refiere al fenómeno físico que sucede cuando un líquido pasa al estado sólido?

R: Solidificación

9) Investigar el fenómeno de sublimación e indicar de las siguientes sustancias: mercurio, agua, yodo y alcohol, la que presenta dicho fenómeno, explique su respuesta.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

R: En el diagrama de presión-temperatura se muestra el proceso de sublimación, el cual consiste en el paso de una sustancia del estado sólido al de vapor directamente o de éste al sólido sin pasar por el estado líquido. Este fenómeno se observa de las cuatro sustancias solamente en el yodo.

10) ¿Cuáles son las condiciones que se deben satisfacer para que un gas se convierta en líquido?

R: El proceso de transformación de una sustancia en estado gaseoso al estado líquido recibe el nombre de licuefacción de los gases. En la actualidad se ha generalizado el uso del gas (hidrocarburo gaseoso) como combustible para el hogar; distribuyéndose este producto en tanques de acero en estado líquido. Este gas combustible está formado principalmente de un compuesto químico natural, llamado butano y que se obtiene del gas de los pozos de petróleo, separándose de otros gases que lo acompañan, por un procedimiento llamado destilación fraccionada o por medio de la absorción. Todas las sustancias que en las condiciones del medio ambiente de presión y temperatura, se encuentran en forma gaseosa, se pueden transformar al estado líquido por medio de la compresión y enfriamiento; así se obtiene el gas combustible licuado de petróleo (LP), lo mismo el gas carbónico (que se emplea en la fabricación de refrescos) y el aire. Cada gas que se desee licuar posee una temperatura, arriba de la cual es imposible convertirlo al estado líquido, dicha temperatura límite se denomina **temperatura crítica**, a la que le corresponde una presión mínima debajo de la cual no es posible lograr el cambio de estado a la que se conoce como **presión crítica**; las condiciones correspondientes a la temperatura y presión críticas se llaman estados críticos del gas. En la siguiente tabla se enumeran los estados críticos de algunos gases:

Tabla de estados críticos de gases

| No. | Nombre del gas | Temperatura Crítica °C | Presión crítica en atmósferas |
|-----|---------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 1.- | Aire | -140.7 | 39.5 |
| 2.- | Amoníaco | 130 | 115 |
| 3.- | Dióxido de azufre | 156 | 179 |
| 4.- | Dióxido de carbono (gas carbónico) | 31 | 75 |
| 5.- | Hidrógeno | -240 | 15 |
| 6.- | Nitrógeno | -149 | 35 |
| 7.- | Oxígeno | -118 | 53 |

6. CONCLUSIONES

En este espacio el profesor y el alumno describirán las conclusiones a las que hayan llegado, comparando los resultados obtenidos contra lo esperado en teoría, analizando los posibles errores en sus observaciones e indicando la importancia del aprendizaje realizado.

6.1 Conclusiones del profesor



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Es importante conocer el calor específico de los materiales, ya que debemos considerar que cuando están expuestos a altas temperaturas se pueden ocasionar deformaciones si no se tienen los cuidados necesarios. También es importante conocer la capacidad de un cuerpo para generar energía térmica y los procesos para transformarla en trabajo mecánico.

6.2 Conclusiones del alumno

En este espacio el alumno describirá las conclusiones a las que haya llegado, comparando los resultados obtenidos contra lo esperado en teoría, analizando los posibles errores en sus observaciones e indicando la importancia del aprendizaje realizado.

7. FUENTES DE CONSULTA

El alumno, en su reporte deberá incluir una introducción teórica en referencia al objetivo de la práctica, debe anotar la bibliografía consultada señalando Autor, Título, Editorial y Edición de los libros consultados. En caso de obtener información de Internet, debe indicar el sitio consultado.

Abbott, Michael M.; Van Ness, Hendrick. *Termodinámica*, México, McGraw-Hill, Serie Schaum, 1986.

Cutnell, John D.; Johnson, Kenneth W. *Física*, México, Limusa Wiley, segunda edición, 2004.

Faires, Virgil Moring; Simmang, Clifford Max. *Termodinámica*, México, Limusa, 2004.

Giancoli Douglas C. *Física para universitarios*, volumen I, México, Prentice Hall, tercera edición, 2002.

Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. *Fundamentos de Física*, volúmenes 1 y 2, México, CECSA (Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.), sexta edición en inglés, tercera en español, 2001.

Holman, Jack. P. *Termodinámica*, México, McGraw-Hill, segunda edición, 1975.

Kadambi, V.; Prasad, Manohar. *Conversión de Energía, Termodinámica Básica*, volumen 1, México, Limusa, primera edición, 1983.

Lea, Susan M.; Burke, John Robert. *Física. La naturaleza de las cosas*, volúmenes I y II, International Thomson Editores, 1999.

Resnick, Robert; Halliday, David; Krane, Kenneth S. *Física*, volumen I, Editorial CECSA, quinta edición en español, 2000.

Reynolds, William C.; Perkins, Henry C. *Ingeniería Termodinámica*, México, McGraw-Hill, 1983.

Schaum, B.S. Daniel; Van Der Merwe, Carel W. *Física general*, México, McGraw-Hill, Serie Schaum, novena edición, 2001.

Serway, Raymond A. *Física*, tomos I y II, México, McGraw-Hill, quinta edición, 2000.

Tippens, Paul E. *Física. Conceptos y aplicaciones*, México, McGraw-Hill, sexta edición, 2001.

Van Wylen, Gordon J.; Sonntag, Richard E.; Borgnakke, Claus. *Fundamentos de termodinámica*, México, Limusa Wiley, segunda edición, 2003.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

SESIÓN PRÁCTICA NO. 8 EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR “J”

INTRODUCCIÓN

■ Relación entre el calor y el trabajo

El célebre físico Sadi Carnot, influido por las ideas predominantes de su época, interpretó sus primeros trabajos por medio de la teoría del *calórico*, explicando el rendimiento de una máquina de vapor por medio de comparaciones mecánicas: “El descenso del calor de una temperatura elevada a otra más baja es como la caída de un cuerpo pesado”. Sin embargo, las memorias que dejó este sabio francés después de su muerte, mostraron su rectificación a las nuevas ideas, y no solamente las aceptó, sino que expresó de un modo general el *Principio de la conservación de la energía* y determinó el *Equivalente Mecánico del calor*, al cual asignó de manera aun rudimentaria el valor de 0.370 kgf-m por cada caloría.

Roberto Hayer, médico de Heilbronn, observó a su llegada en 1840 a Batavia, puerto de Java, que en las sangrías, la sangre venosa era mucho más clara que en Europa y apenas si existía una pequeña diferencia en el color con la sangre arterial. De los experimentos que tuvo que efectuar para explicar sus observaciones de Batavia, obtuvo la base para el principio de la equivalencia entre el calor y el trabajo llegando a un valor de 0.425 kgf-m. por caloría más próximo al verdadero.

Las inquietudes a que dieron lugar las nuevas ideas hicieron que una pléyade de sabios, entre los que debemos mencionar a Joule, Lord Kelvin y Clausius, pusieran todo su empeño en el estudio de la ley de la energía, contribuyendo todos ellos a fijar las bases de una nueva rama de la Física, la *Termodinámica*, que define sus fronteras como ciencia y establece las relaciones que existen entre la energía mecánica y la energía calorífica.

El Equivalente Mecánico del Calor.

Muchos hechos cotidianos nos muestran una relación entre el trabajo mecánico y el calor; por ejemplo, si nuestras manos están muy frías, las frotamos para que se calienten (en la fricción se ha empleado cierto trabajo, parte de él, se ha transformado en calor).

Si golpeamos con un martillo, éste se calienta lentamente, fenómeno que se explica por las vibraciones que el choque produce y que hacen que aumente la energía cinética de sus moléculas.

Una relación de importancia en termodinámica es el llamado “equivalente mecánico del calor”. Relaciona las unidades de kilocalorías con N-m o kgf-m por una parte y BTU con lbf-pie por la otra.

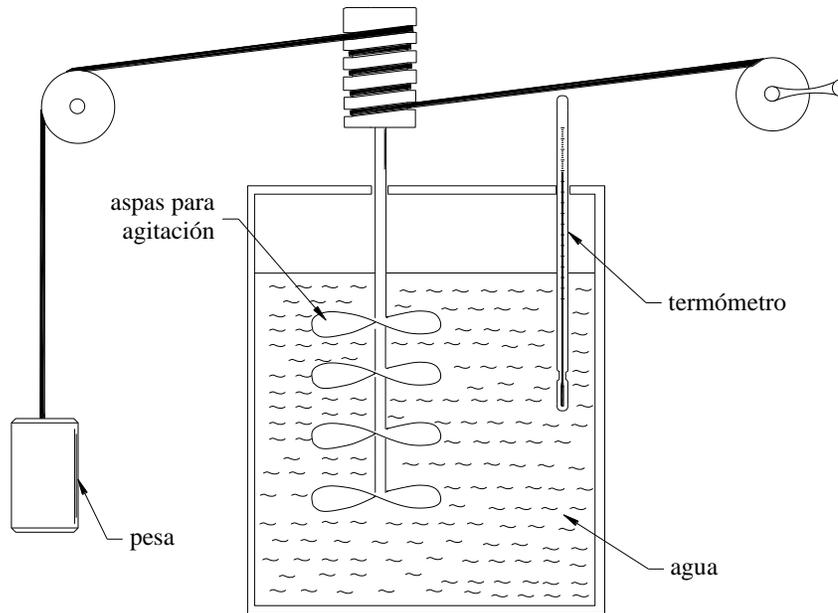
La historia nos cuenta que originalmente se pensaba en la existencia de una sustancia llamada *calórico* que contenían todos los objetos en su interior y que al cortarse un objeto el calórico se liberaba o bien se transfería de un objeto más caliente a otro más frío. El primero que puso en duda la teoría del calórico fue el conde de Rumford de Baviera quien descubrió en el año de 1798 durante una supervisión a una fábrica de cañones, que cuando la broca estaba menos afilada generaba más calentamiento al agua que se usaba para enfriar el proceso que cuando la broca estaba más afilada y esto estaba en contradicción a la teoría del calórico pues ésta establecía que entre mejor se cortara, con mayor facilidad se liberaría el calórico contenido en el cuerpo. La idea de que el calor sea una sustancia debe desecharse; no es algo que un objeto tenga sino más bien una energía que un objeto cede a otro o a su medio ambiente o bien que recibe de otro objeto o del medio ambiente en tanto exista una diferencial de temperatura entre ellos.

Para obtener de una manera cuantitativa la relación entre el calor y el trabajo, el fabricante de cerveza y físico de afición, James Prescott Joule, efectuó una serie de experimentos en 1843, entre los cuales citaremos el que consistía en hacer girar unas aspas, unidas sólidamente a un eje, en un recipiente cilíndrico

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

que servía de vaso calorimétrico. El extremo superior del eje fue provisto de una polea, en la que se enrollaba un cordón y se le ajustaba un mecanismo apropiado, para que un peso w que baja de cierta altura h , hiciera mover las aspas, las cuales al frotar en el agua producen calor. Un termómetro mostró la variación de la temperatura del agua al producirse el frotamiento.

En la siguiente figura se muestra el aparato diseñado por Joule:



Con ayuda del maneral, la pesa se sube una distancia conocida h con lo que se gana una energía potencial

$$EP_g = mgh$$

A continuación se registra la temperatura del termómetro como temperatura inicial t_i y se anota la masa del agua como m_a .

Se cumple entonces que la energía potencial se convierte en trabajo mecánico con ayuda del mecanismo y que este trabajo mecánico se convierte en calor al agitar las aspas el agua elevando su temperatura hasta un valor t_f . Entonces:

$${}_1W_2 = m g h = Q = m_a c_a (t_f - t_i)$$

Si asignamos la letra J como símbolo del Equivalente Mecánico del Calor (inicial de Joule) tendremos:

$$J = \frac{{}_1W_2}{Q}$$

Sustituyendo las equivalencias:



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$J = \frac{m \cdot g \cdot h}{m_a c_a (t_f - t_i)}$$

El valor obtenido por Joule con este método fue de 0.4253 kgf-m por caloría. Posteriores mediciones con mayor exactitud le dieron el valor de 0.4264 kgf-m por caloría.

Un valor más exacto sobre el equivalente mecánico del calor fue determinado por Rowland en 1880 dando el valor de 0.427 kgf-m por cada caloría ya muy próximo al valor moderno de 0.4271 kgf-m por caloría.

En el sistema de unidades MKS:

$$J = 427.1 \text{ kgf-m / kcal}$$

$$J = 4188 \text{ N-m / kcal}$$

En el sistema de unidades inglés:

$$J = 778.26 \text{ lbf-pie / BTU}$$

BIBLIOGRAFIA

- Domínguez R. Ramón.
- Curso Elemental de Física.
- Editorial. Porrúa, S. A.

- Resnick Robert- Halliday David.
- Física.
- Parte 1.
- Editorial. Compañía Editorial Continental, S. A. (CECSA).



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. OBJETIVO:

Determinar el equivalente mecánico del calor, mediante el principio de conservación de la energía.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

La obtención del Equivalente Mecánico del Calor “J” mediante el análisis del experimento con la máquina de Callendar en sustitución del dispositivo utilizado por el físico inglés James Prescott Joule en el cual se agita una base de agua, requiere en forma secuencial y aplicando los conceptos teóricos de la Primera Ley de la Termodinámica para Sistemas Cerrados, hacer uso de expresiones empíricas de tal forma que la relación entre el trabajo mecánico W convertido en calor, y la cantidad de calor Q producida se encuentra dada por la ecuación $W = JQ$.

Joule demostró entre 1843 y 1878 mediante una serie de experimentos que el valor del equivalente mecánico es siempre el mismo, aunque difieran los métodos empleados para convertir la energía mecánica en calor.

Mediante principios de la Dinámica se analiza el calor que se genera en el calorímetro al trabajar el agua contra un par resistente (sustituto de las paletas del original dispositivo de Joule). En una vuelta completa, el trabajo producido contra dicho par resistente es: $W = (F)(2\pi R)$ (referencia: Guía Didáctica del Proveedor).

Siendo:

$W = \text{Trabajo mecánico}$,

$F = \text{Fuerza para que el calorímetro soporte el giro}$,

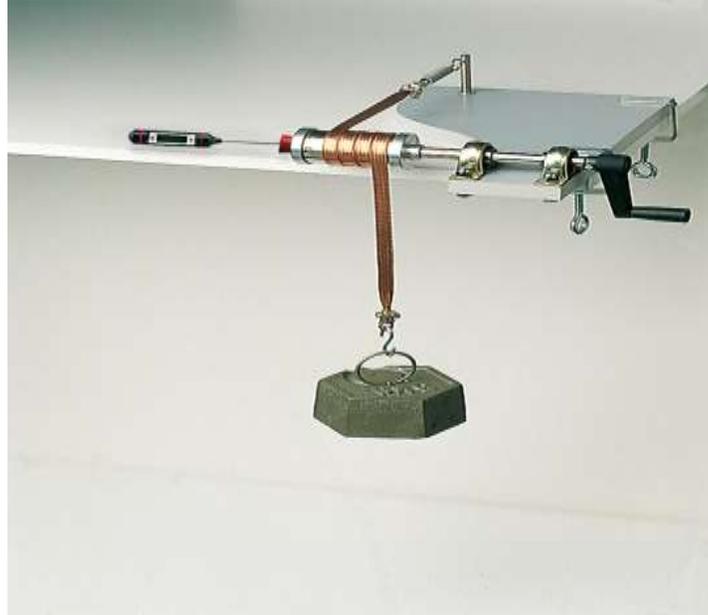
$R = \text{Radio del calorímetro}$.

Si giramos la manivela del calorímetro n veces, entonces la expresión anterior toma la forma de:

$$W = (F)(2\pi R)(n) \quad \text{o} \quad W = 2\pi F R n$$

1. Máquina de Callendar

Este aparato de extrema robustez, está constituido por un cilindro calorimétrico de latón con un largo de 7 cm, y diámetro de 5 cm, soportado por cojinetes de bolas. Sobre él está enrollada una cinta de cobre retenida por un muelle al cual se le cuelga una carga o pesa de $5\overline{kg}$. Por causa de la rotación, el agua contenida en el cilindro se calienta, por lo cual midiendo el trabajo realizado y el calor producido es posible determinar el equivalente mecánico de la caloría y de acuerdo con el principio de Conservación de la Energía el **Equivalente Mecánico del Calor “J”**. La temperatura se obtiene mediante un termómetro (termopar digital de bolsillo).



Máquina de Callendar

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

1. Máquina de Callendar
2. Soporte de madera y cojinetes de bola
3. Calorímetro de latón y manivela
4. Cinta de cobre
5. Carga o pesa de $5 \overline{kg}$
6. Soportes de presión o abrazaderas de fijación
7. Termómetro termopar digital, y termómetro de bulbo de mercurio
8. Vaso de precipitados
9. Agua destilada
10. Parilla eléctrica
11. Balanza de precisión
12. Embudo
13. Paño o franela
14. Alcohol o desengrasante
15. Cinta adhesiva o masking tape

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

3.1 En un vaso de precipitados añadir $40 g_m$ de agua destilada a la temperatura del medio ambiente a la que llamamos T_1 (medida con un termopar) y vaciarla al calorímetro de latón.



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

3.2 Calentar $40 g_m$ de agua en otro recipiente aproximadamente a $80^\circ C$ llamándola temperatura T_2 (medida con un termopar).

3.3 Mezclar dentro del calorímetro de latón las dos masas de agua (fría y caliente) y tomar la lectura promedio de las temperaturas entre T_1 y T_2 obteniendo un tercer valor al que denominaremos temperatura de equilibrio T_e (medida con el termopar).

3.4 Calcular la masa equivalente del calorímetro de latón aplicando la expresión empírica:

$$m_e = 40 \frac{T_2 - T_e}{T_e - T_1} - 40 \quad (g_m \text{ y } kg_m)$$

3.5 Valores obtenidos en el laboratorio en un primer equipo:

$$\text{Valores experimentales} \left\{ \begin{array}{l} m_1 = 40.02 g_m \rightarrow T_1 = 24^\circ C \\ m_2 = 39.98 g_m \rightarrow T_2 = 78^\circ C \end{array} \right\} T_e = 39.2^\circ C$$

Sustituyendo valores en la expresión: $m_e = 40 \frac{T_2 - T_e}{T_e - T_1} - 40$

$$m_e = (40) \left(\frac{78 - 39.2}{39.2 - 24} \right) - 40 = (40) \left(\frac{38.8}{15.2} \right) - 40 = 102.1052632 - 40 = 62.1052632 g_m$$

$$m_e = 0.0621052632 kg_m$$

Tabla para el registro de datos para calcular la masa equivalente “m_e”

| No. de Exp. | T ₁ (°C) | T ₂ (°C) | T _e (°C) | m _e (g _m) | m _e (kg _m) |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |

3.6 Retirar el total de agua del calorímetro ($80 g_m$) limpiarlo y secarlo. Esperar a que el calorímetro de latón regrese a la temperatura del medio ambiente (aproximadamente 10 minutos).

Observación: En la determinación de la masa equivalente m_e intervinieron los laboratoristas de Física General, con objeto de obviar esta parte del experimento y que el profesor de prácticas disponga de mayor tiempo para desarrollar el marco teórico del tema y la determinación práctica del equivalente mecánico del

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

calor. Por lo tanto el profesor puede prescindir de esta parte del experimento, ya que aparecerá en la base de la máquina de Callendar el valor obtenido.

4. Cálculo del calor desarrollado “ Q ”

4.1 Introducir en el calorímetro de latón $50 g_m$ de agua destilada a la temperatura del medio ambiente y tomar la lectura T_3 (con el termómetro termopar digital de bayoneta, procurando que el tapón en el que está inserto selle perfectamente al calorímetro).

4.2 Limpiar con un paño y alcohol el tambor del calorímetro y la bobina de cobre y fijar el aparato a una mesa mediante las dos abrazaderas.

4.3 Fijar los extremos de la bobina de cobre al soporte del borde del muelle, y envolver con 4 espiras el tambor del calorímetro evitando que se superpongan las espiras o bucle, uniéndolas entre sí con cinta adhesiva o masking tape.

4.4 Fijar la pesa de $5 \overline{kg}$ y **tener cuidado para que no se brinquen las espiras al girar la manivela porque se puede romper el termopar.**

4.5 Girar la manivela 200 vueltas en un tiempo promedio de 1.5 minutos, permitiendo equilibrar la fuerza de rozamiento con el peso de $5 \overline{kg}$.

4.6 Tomar la nueva lectura de la temperatura del calorímetro T_4 (con el termómetro).

4.7 Calcular el calor desarrollado o generado aplicando la ecuación:

$$Q = (m_e + 0.05) (T_4 - T_3) \quad (Cal = kcal)$$

$m_e =$ masa equivalente del calorímetro en g_m y kg_m

$T_3 =$ temperatura inicial en $^{\circ}C$

$T_4 =$ temperatura final en $^{\circ}C$

$Q =$ calor desarrollado en Calorias grandes (Cal o kcal)

Parámetros obtenidos en el laboratorio:

$$m_e = 62.1052632 g_m \quad \text{o} \quad m_e = 0.0621052632 kg_m$$

$$T_3 = 27.5^{\circ}C$$

$$T_4 = 30.4^{\circ}C$$

$$n = 200 \quad (\text{número de giros o vueltas a la manivela})$$

$$t = 1' 35'' \quad (1 \text{ minuto y } 35 \text{ segundos})$$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Sustituyendo valores en la expresión: $Q = (m_e + 0.05) (T_4 - T_3)$

$$Q = (0.0621052632 + 0.05) (30.4 - 27.5) = (0.1121052632) (2.9) = 0.3251052633 \text{ kcal}$$

Tabla para el registro de datos para calcular el calor desarrollado Q

| No. de Exp. | m_e (g _m) | m_e (kg _m) | T_3 (°C) | T_4 (°C) | q (cal) | Q (kcal) |
|-------------|-------------------------|--------------------------|------------|------------|---------|----------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |

5. Cálculo del trabajo realizado “W”

Se empleará la relación empírica siguiente: $W = 2\pi FRn$ ($\overline{kg \times m}$)

En donde:

$$F = 5 \overline{kg}$$

$$R = 0.025 \text{ m} \quad (\text{radio del calorímetro})$$

$$n = 200 \quad (\text{número de giros o vueltas a la manivela})$$

Sustituyendo valores en la expresión: $W = 2\pi FRn$

$$W = (2) (3.1416) (5 \overline{kg}) (0.025 \text{ m}) (200) = 157.08 \overline{kg \times m}$$

Tabla para el registro de datos para calcular el trabajo realizado W

| No. de Exp. | F (\overline{kg}) | R (m) | n (No. vueltas) | W ($\overline{kg \times m}$) |
|-------------|-----------------------|-------|-----------------|--------------------------------|
| 1 | 5 | 0.025 | 150 | ? |
| 2 | 5 | 0.025 | 200 | ? |
| 3 | 5 | 0.025 | 250 | ? |

6. Cálculo del Equivalente Mecánico del Calor “J”

Procedimiento 1 (sugerido):

Cálculo mediante la ecuación de la Conservación de la Energía para Sistemas Cerrados:

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$Q = \frac{W}{J} \Rightarrow J = \frac{W}{Q} \left(\frac{\overline{kg \times m}}{kcal} \right)$$

Valores teóricos del Equivalente Mecánico del Calor “J”:

$$J = 426.93 \frac{\overline{kg \times m}}{kcal} \quad \text{o} \quad J = 778.16 \frac{\overline{lb \times pie}}{Btu}$$

Sustituyendo valores en la expresión: $J = \frac{W}{Q}$

$$J = \frac{157.08 \overline{kg \times m}}{0.3251052633 \text{ kcal}} = 483.1665 \frac{\overline{kg \times m}}{kcal}$$

Tabla para el registro de datos para calcular el Equivalente Mecánico del Calor **J**

| No. de Exp. | W ($\overline{kg \times m}$) | Q (kcal) | J $\left(\frac{\overline{kg \times m}}{kcal} \right)$ |
|-------------|--------------------------------|----------|--|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |

Procedimiento 2: Cálculo mediante las expresiones empíricas obtenidas para la Máquina de Callendar, para la obtención del **equivalente mecánico de la caloría, según lo propone la guía didáctica del vendedor.**

De la expresión siguiente:

$$W = 2\pi FRn \quad (\text{Joules o Julios})$$

$$F = 5\overline{kg} \quad \text{o} \quad F = 48.9 \text{ Newton} ; \quad g_{C.Méx.} = 9.78 \frac{m}{s^2} ; \quad 1 \text{ Joule} = 1 \text{ N x m}$$

$$R = 0.025 \text{ m} \quad (\text{radio del calorímetro})$$

$$n = 200 \quad (\text{número de giros o vueltas a la manivela})$$

$$W = 2\pi FRn \text{ Joules o Julios}$$

Tabla para el registro de datos para calcular el trabajo realizado W



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

| No. de Exp. | F (N) | R (m) | n (No. vueltas) | W (Joules) |
|-------------|-------|-------|-----------------|------------|
| 1 | 48.9 | 0.025 | 150 | |
| 2 | 48.9 | 0.025 | 200 | 1,536.2424 |
| 3 | 48.9 | 0.025 | 250 | |

Aplicar la relación: $\frac{Q}{W}$

$$\frac{Q}{W} = \frac{0.3251052633 \text{ kcal}}{1,536.2424 \text{ Joules}} = 0.0002116236756 \frac{\text{kcal}}{\text{Joules}}$$

Valores teóricos: $1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ Joules}$ o $1 \text{ kcal} = 4,186.8 \text{ Joules}$

Tabla para el registro de datos para calcular el Equivalente Mecánico de la Caloría o kilocaloría

| No. de Exp. | W (Joules o Julios) | Q (kcal) | $\left(\frac{\text{kcal}}{\text{Joules}}\right)$ |
|-------------|------------------------|----------|--|
| | | | |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |

Observación: Los valores teóricos que deberán obtenerse son:

Valores teóricos: $1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ Joules}$ o $1 \text{ kcal} = 4,186.8 \text{ Joules}$

Es decir:

$$1 = \frac{1 \text{ cal}}{4.1868 \text{ Joules}} = 0.2388458966 \frac{\text{cal}}{\text{Joules}}$$

$$1 = \frac{1 \text{ kcal}}{4,186.8 \text{ Joules}} = 2.388458966 \times 10^{-4} \frac{\text{kcal}}{\text{Joules}} = 0.0002388458966 \frac{\text{kcal}}{\text{Joules}}$$

Comprobación:

Verifiquemos aplicando el concepto de la constante gravitacional terrestre en el nivel del mar:



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$1 \text{ kcal} = 4,186.8 \text{ Joules}$, cuando $g_{\text{teórica}} = 9.80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, entonces:

$$1 \text{ kcal} = 4,186.8 \text{ Joules} = 4,186.8 \text{ N x m}$$

$$1 \text{ kcal} = 4,186.8 \text{ N x m} = (4,186.8 \text{ N x m}) \left(\frac{1 \overline{\text{kg}}}{9.80665 \text{ N}} \right) = 426.93 \overline{\text{kg}} \text{ x m}$$

Que corresponde al valor del Equivalente Mecánico del Calor “J” en el Sistema Internacional.

NOTA 1: Como el desarrollo del experimento se realiza en la Ciudad de México, se considera que la constante de la gravedad terrestre de $g_{CM} = 9.78 \text{ m/s}^2$ y por lo tanto se deberá aplicar una constante de corrección igual a:

$$k = \frac{9.78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{9.80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.997282456$$

NOTA 2: No es necesario efectuar el experimento mediante el procedimiento 2.

NOTA 3: Se ha obtenido experimentalmente el valor de la masa equivalente m_e (kg_m), y se encuentra indicada en cada Máquina de Callendar (punto 3.5) para que el profesor de laboratorio inicie su práctica a partir del punto (4).

6. CONCLUSIONES

Se anotará en este espacio las conclusiones obtenidas de los experimentos realizados y si la hubiese, las causas de discrepancia entre el valor teórico esperado y el real obtenido en el laboratorio.

SESIÓN PRÁCTICA NO. 9

DETERMINACIÓN DE LAS VISCOSIDADES ABSOLUTA O DINÁMICA Y RELATIVA O CINEMÁTICA DE UN FLUIDO

1. OBJETIVO

1.1 *Objetivo general*

Determinar la viscosidad absoluta o dinámica de un fluido mediante el viscosímetro Brookfield y la viscosidad relativa o cinemática mediante el viscosímetro Saybolt.

1.2 *Objetivos específicos*

- 1.2.1 Medir la viscosidad de diversos fluidos con el viscosímetro Saybolt a diferentes temperaturas.
- 1.2.2 Analizar la variación de la viscosidad de diversos fluidos al aumentar la temperatura del medio ambiente.
- 1.2.3 Conocer el funcionamiento teórico-práctico del viscosímetro Brookfield y obtener la viscosidad absoluta o dinámica de un fluido.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1 *Viscosidad en líquidos*

Definimos a un fluido como una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a una tensión de cortadura (τ), siendo una fuerza cortante la componente tangente a la superficie de la fuerza (F), la que dividida por el área de dicha superficie es la tensión de cortadura media sobre el área considerada.

2.2 *Viscosidad absoluta o dinámica (μ)*

La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a fluir, como resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas. Si se considera el movimiento de un flujo sobre una frontera sólida fija, donde las partículas se mueven en líneas rectas paralelas, se puede suponer que el flujo se produce en forma de capas o láminas de espesor diferencial cuyas velocidades varían con la distancia “ y ”, normal a dicha frontera.

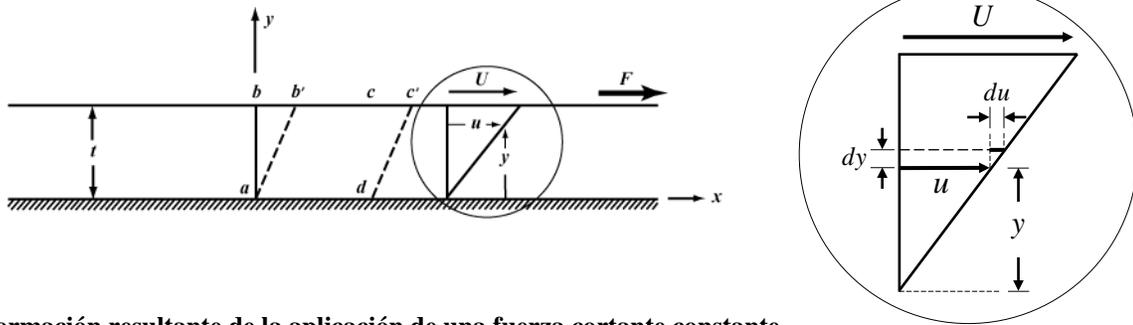
Según Newton, el esfuerzo tangencial que se produce entre dos láminas separadas una distancia dy , y que se desplaza con velocidades “ v ”.

Si la tensión de cortadura es $\tau = F/A$ en donde A es el área de la lámina superior, y si la velocidad angular puede escribirse como du/dy la cual expresa la variación de velocidad dividida por la distancia en que esta variación se produce, o bien como el cociente de la velocidad con que una capa del fluido se mueve en relación con la capa adyacente por la distancia entre las capas se podrá tener que:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \text{y} \quad \tau = \mu \frac{du}{dy}$$

siendo “ μ ” el factor de proporcionalidad entre la tensión de cortadura y la velocidad de “deformación angular” de un movimiento de un fluido. F es directamente proporcional a A y a U , e inversamente proporcional a t , según la siguiente figura:

de concluir que la sustancia situada entre las láminas es un fluido.



Deformación resultante de la aplicación de una fuerza cortante constante

U = velocidad en la lámina superior con una altura máxima “ t ”

En la figura se representa una sustancia que se ha colocado entre dos láminas paralelas lo suficientemente largas para que pueda despreciarse el efecto de los bordes. La lámina inferior está quieta y sobre la superficie se aplica una fuerza F , que origina una tensión de cortadura F/A en la sustancia colocada entre las láminas (A es el área de la lámina superior). Cuando ésta fuerza F , por muy pequeña que sea, hace mover a la lámina superior con una velocidad constante (no nula) se puede concluir que la sustancia situada entre las láminas es un fluido.

$$F = \mu \frac{AU}{t}$$

El fluido en inmediato contacto con la pared sólida tiene la misma velocidad que la pared. La velocidad varía uniformemente desde cero en la lámina en reposo hasta U en la lámina superior.

De lo anterior podemos decir, que la viscosidad es la propiedad del fluido en virtud de la cual éste ofrece resistencia a las tensiones de cortadura; las melazas y el alquitrán son líquidos muy viscosos y el agua y el aire poco viscosos ya que la ley de la viscosidad de Newton $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ establece que para una dada

velocidad angular de deformación del fluido, la tensión de cortadura es directamente proporcional a la viscosidad.

De acuerdo con dicha ley, el esfuerzo tangencial es proporcional al gradiente transversal de velocidades. La constante de proporcionalidad μ es una magnitud característica de la viscosidad del fluido y se conoce como viscosidad dinámica o absoluta o simplemente, viscosidad.

De acuerdo con el perfil de velocidades, mostrado en la figura siguiente, es claro que el esfuerzo cortante generado entre el fluido y la pared es mayor al que hay entre las capas de fluido adyacente. Los llamados

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

newtonianos se comportan conforme esta ley; en cambio, en los no newtonianos es distinto. En los casos extremos se encuentran: el fluido no viscoso con viscosidad $\mu = 0$ y, el elástico, con viscosidad $\mu = \infty$.

La viscosidad de un gas aumenta con la temperatura mientras que la de un líquido disminuye, ya que la tensión de cortadura depende de la cohesión de la sustancia y del grado de transferencia de cantidad de movimiento de sus moléculas. Un líquido con moléculas más cercanas que un gas tiene fuerzas de cohesión mayores y como dicha cohesión disminuye con la temperatura a la viscosidad le sucede lo mismo, por otra parte un gas tiene fuerzas cohesivas muy pequeñas y la mayor parte de su resistencia a la tensión de corte es resultado de la transferencia de cantidades de movimientos moleculares, y como se incrementan con la temperatura la viscosidad aumenta.

Las unidades de la viscosidad se determinan despejando μ , y en honor a Poiseuille en el sistema cgs se le llama **poise** a la siguiente relación:

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad \text{Si } \tau = \frac{\text{dina}}{\text{cm}^2} \quad \text{y} \quad \frac{du}{dy} \text{ siendo } \begin{cases} du = \frac{\text{cm}}{\text{s}} \\ dy = \text{cm} \end{cases}$$

entonces:
$$\mu = \frac{\frac{\text{dina}}{\text{cm}^2}}{\frac{\text{cm}}{\text{s} \times \text{cm}}} = \frac{\text{dina} \times \text{s}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ poise} = 1 \frac{\text{dina} \times \text{s}}{\text{cm}^2}$$

y también:

$$1 \text{ poise} = 1 \frac{\text{dina} \times \text{s}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{\frac{\text{g}_m \times \text{cm}}{\text{s}^2} \times \text{s}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{\text{g}_m \times \text{cm} \times \text{s}}{\text{cm}^2 \times \text{s}^2} = 1 \frac{\text{g}_m}{\text{cm} \times \text{s}}$$

$$1 \text{ poise} = 1 \frac{\text{g}_m}{\text{cm} \times \text{s}}$$

A la viscosidad μ suele llamarse **absoluta o dinámica**. El agua a 20°C tiene una viscosidad de 1.0 centipoise (centésima parte del poise). Dimensionalmente μ se expresa como: $[F L^{-2} T]$

Para el sistema gravitacional es más común la unidad: $1 \frac{\overline{\text{kg}} \times \text{s}}{\text{m}^2} = 98.0665 \frac{\text{g}_m}{\text{cm} \times \text{s}}$

TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

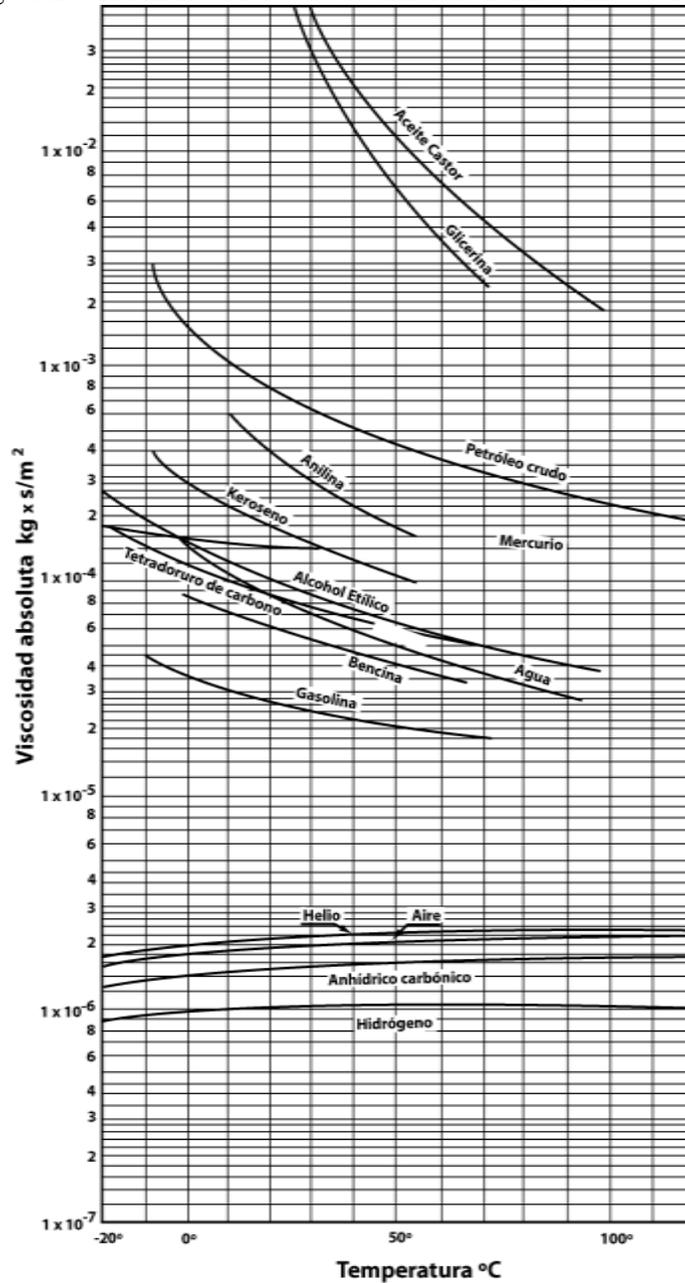
Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22

Revisión: 04

Tabla de viscosidades absolutas o dinámicas de algunos fluidos

| Fluido | Temperatura °C | Viscosidad dinámica $\mu = \frac{N \times s}{m^2}$ |
|------------------------------------|----------------|---|
| Aceite para motor (SAE 20) | 20 | (230 a 300) x 10 ⁻³ |
| Aceite para motor (SAE 30) | 20 | (360 a 430) x 10 ⁻³ |
| Aceite para motor (SAE 40) | 20 | (430 a 540) x 10 ⁻³ |
| Agua | 0 | 1.8 x 10 ⁻³ |
| Agua | 20 | 1.0 x 10 ⁻³ |
| Agua | 100 | 0.3 x 10 ⁻³ |
| Aire | 0 | 0.0171 x 10 ⁻³ |
| Aire | 20 | 0.0182 x 10 ⁻³ |
| Aire | 40 | 0.0193 x 10 ⁻³ |
| Alcohol etílico | 20 | 1.2 x 10 ⁻³ |
| Bióxido de Carbono CO ₂ | 20 | 0.015 x 10 ⁻³ |
| Gasolina | 20 | 0.29 x 10 ⁻³ |
| Glicerina | 20 | 1500 x 10 ⁻³ |
| Hidrógeno | 0 | 0.009 x 10 ⁻³ |
| Sangre (entera) | 37 | 4.0 x 10 ⁻³ |
| Sangre (plasma) | 37 | 1.5 x 10 ⁻³ |
| Vapor de agua | 100 | 0.013 x 10 ⁻³ |

Recordemos que: $1 \frac{N \times s}{m^2} = 1 Pa \times s = 10 \text{ poises}$



Viscosidades absolutas μ de algunos gases y líquidos

2.3 Viscosidad relativa o cinemática (ν)

Por otra parte tenemos a la **viscosidad relativa o cinemática** ν que se define como el cociente de la viscosidad μ entre la densidad ρ :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

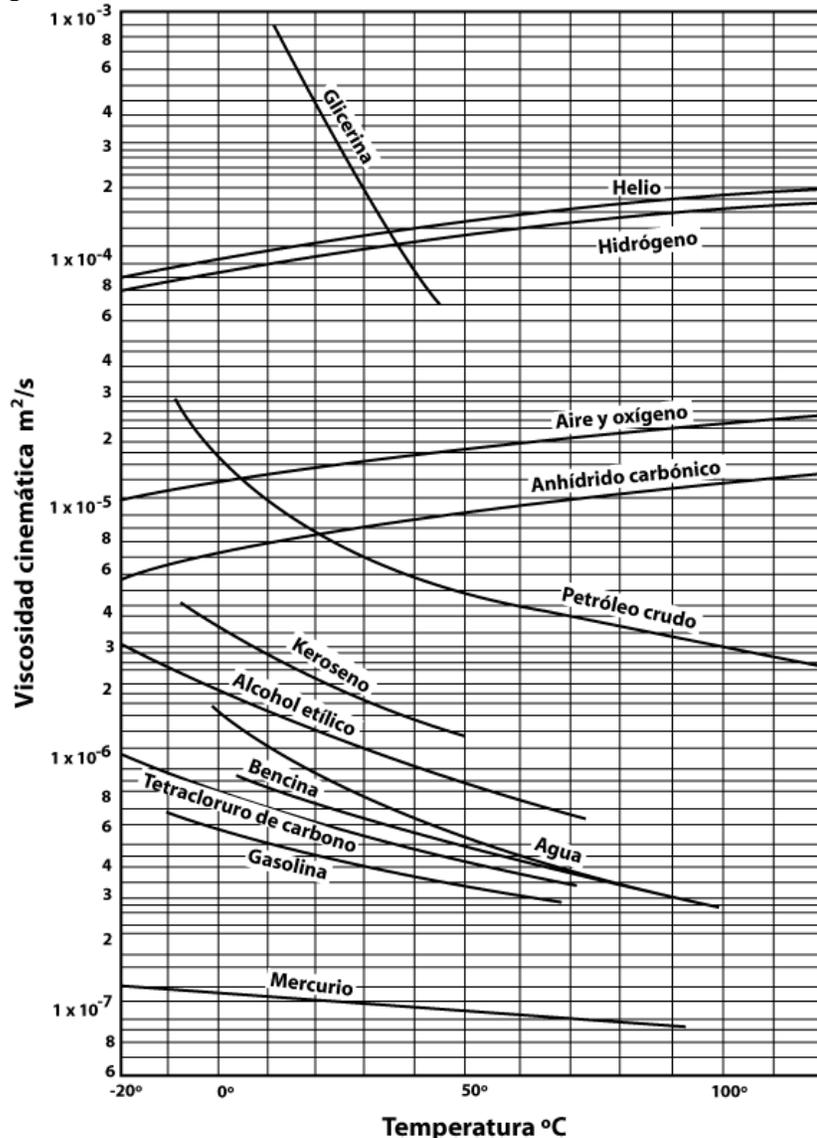
entonces las unidades de la viscosidad relativa son: $\nu = \frac{1 \frac{g_m}{cm \times s}}{1 \frac{g_m}{cm^3}} = 1 \frac{g_m \times cm^3}{g_m \times cm \times s} = 1 \frac{cm^2}{s}$

y en el sistema absoluto cgs se le llama **stoke** a: $1 \text{ stoke} = 1 \frac{cm^2}{s}$

también: $1 \text{ stoke} = 1 \frac{cm^2}{seg} = 0.001 \frac{m^2}{seg}$

Dimensionalmente ν se expresa como: $[L^2 T]$

La viscosidad es prácticamente independiente de la presión y depende únicamente de la temperatura para ambos casos (cinemática y dinámica).



Viscosidades cinemáticas ν de algunos gases y líquidos
Los gases están a presión atmosférica normal

De aquí que en el estudio de la **estática de los fluidos** no hay que considerar fuerzas cortantes porque no existen en un fluido en reposo y las únicas tensiones que quedan son las normales o presiones debidas al peso y a las fuerzas normales a las superficies de las porciones consideradas.

La ventaja de usar esta nueva propiedad “ ν ” es evidente, ya que sus dimensiones son, independientes de los conceptos de masa y fuerza. El coeficiente ν presenta características semejantes a las de μ .

El esfuerzo tangencial en cualquier punto de un fluido puede desaparecer en algunos de los casos siguientes:

1. Si se desprecia la acción de viscosidad (fluido no viscoso).
2. Si la distribución de velocidades es uniforme ($v = \text{constante}$) y por tanto sucede cuando el flujo es turbulento y el efecto viscoso es despreciable.
3. En un líquido en reposo donde la velocidad en cada punto vale cero.

Tabla de la viscosidad relativa ν (cinemática) de diferentes líquidos

| Líquido | Temperatura [°C] | ν [stoke = cm ² / s] |
|-------------------------|-----------------------|--|
| Aceite lubricante | 20 | 1.7200 |
| Agua dulce | 20 | 0.0101 |
| Alcohol | 18 | 0.0133 |
| Gasolina | 18 | 0.0065 |
| Mercurio | 20 | 0.0157 |
| Petróleo ligero | 18 | 0.2500 |
| Petróleo pesado o crudo | 18 | 1.4000 |

Ejemplo 1: Efectuar la conversión de unidades de $1 \frac{m^2}{s}$ a *stokes* y de $1 \frac{\overline{kg} \times s}{m^2}$ a *poises* .

Solución:

$$a) 1 \frac{m^2}{s} = 1 \frac{m^2}{s} \times \frac{10,000 \text{ cm}^2}{1 m^2} = 10,000 \frac{cm^2}{s} = 10^4 \text{ stokes}$$

$$b) 1 \frac{\overline{kg} \times s}{m^2} = 1 \frac{\overline{kg} \times s}{m^2} \times \frac{981,000 \text{ dinas}}{1 \overline{kg}} \times \frac{1 m^2}{10,000 \text{ cm}^2} = 98 \frac{\text{dina} \times s}{cm^2} = 98 \text{ poises}$$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Tabla de viscosidades absolutas y relativas para diferentes temperaturas del agua

| Temperatura [°C] | μ [centipoise] | ν [centistoke] |
|-----------------------|---------------------|---------------------|
| 0 | 1.792 | 1.792 |
| 10 | 1.308 | 1.308 |
| 20 | 1.005 | 1.007 |
| 30 | 0.801 | 0.804 |
| 40 | 0.656 | 0.661 |
| 50 | 0.549 | 0.556 |
| 60 | 0.469 | 0.477 |
| 70 | 0.406 | 0.415 |
| 80 | 0.357 | 0.367 |
| 90 | 0.317 | 0.328 |
| 100 | 0.284 | 0.296 |

Ejemplo 2: Un líquido tiene una viscosidad de 0.055 *poises* y una densidad relativa de 0.87 . Calcular:

- a) La viscosidad dinámica en unidades del sistema MKS (llamadas técnicas)
- b) La viscosidad cinemática en *stokes* y en el sistema MKS

Solución:

Datos:

$$\mu = 0.055 \text{ poises}$$

$$\rho = 0.87$$

Fórmulas:

$$\rho_{rel} = \frac{\rho_{mat}}{\rho_{H_2O}}$$

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

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

$$1 \text{ poise} = 1 \frac{\text{dina} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2}$$

$$F = \mu \frac{AU}{t}$$

$$1 \text{ stoke} = 1 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$a) \mu = 0.055 \text{ poises} = 0.055 \frac{\text{dina} \times \text{s}}{\text{cm}^2} \times \frac{1 \overline{\text{kg}}}{981,000 \text{ dinas}} \times \frac{10,000 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2}$$

$$\mu = 0.00056 \frac{\overline{\text{kg}} \times \text{s}}{\text{m}^2} = 5.6 \times 10^{-4} \frac{\overline{\text{kg}} \times \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$3. \quad \nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\rho_{mat} = \rho_{rel} \times \rho_{H_2O}$$

$$\rho_{mat} = 0.87 \times 1 \frac{\text{g}_m}{\text{cm}^3} = 0.87 \frac{\text{g}_m}{\text{cm}^3}$$

$$\nu = \frac{0.055 \text{ poises}}{0.87 \frac{\text{g}_m}{\text{cm}^3}} = \frac{0.055 \frac{\text{dina} \times \text{s}}{\text{cm}^2}}{0.87 \frac{\text{g}_m}{\text{cm}^3}} = \frac{0.055 \frac{\text{g}_m \times \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} \times \text{s}}{\text{cm}^2}}{0.87 \frac{\text{g}_m}{\text{cm}^3}} = \frac{0.055 \text{ g}_m \times \text{cm}^4 \times \text{s}}{0.87 \text{ g}_m \times \text{cm}^2 \times \text{s}^2}$$

$$\nu = 0.063 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} = 0.063 \text{ stokes}$$

$$\nu = 0.063 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ m}^2}{10,000 \text{ cm}^2} = 0.00000632 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 6.32 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

2.4 Capa límite y rugosidad superficial

Debido a que la viscosidad del agua y del aire es muy pequeña, la mayoría de los problemas de flujo a los que se enfrenta el ingeniero civil es con números de Reynolds grandes; esto es, flujos turbulentos donde los efectos viscosos son despreciables. Sin embargo (aun para este tipo de flujo), los efectos de viscosidad se confinan a una capa muy delgada, en la inmediata vecindad de las fronteras sólidas, que se conoce como capa límite.

Aun cuando Reynolds fue el primero que concibió la idea anterior al observar detenidamente el flujo de transición entre el laminar y el turbulento, el concepto- tal como hoy se conoce- se debe a Ludwig Prandtl (1904). Ha sido a tal grado importante que su advenimiento, además de permitir la explicación de muchos fenómenos, propició el nacimiento de la moderna mecánica de fluidos.

Una mejor explicación del concepto de capa límite se consigue al suponer la existencia de un flujo uniforme horizontal, de velocidad constante v_0 , al cual se interpone un cuerpo agudo.

El campo de velocidades del flujo se adapta a la forma del cuerpo y modifica su carácter de uniformidad. Además, las fuerzas viscosas que retardan el movimiento del fluido en una capa muy delgada (de espesor cero) en el punto en el que la corriente toca al cuerpo, se manifiestan sobre una capa de espesor creciente al



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

transmitir progresivamente el efecto de filete en filete. La región interior de la capa límite presenta las siguientes características.

1. La velocidad del fluido, en el punto de contacto con la frontera, vale cero.
2. El gradiente transversal de velocidades y , por lo mismo, el esfuerzo cortante, tienen valores máximos en la frontera; disminuye a medida que el punto se aleja de ésta.
3. Fuera de la capa límite, el gradiente de velocidad es prácticamente cero, porque también lo es el esfuerzo cortante y los efectos viscosos.
4. Fuera de la capa límite las líneas de corriente se conforman, según un flujo con potencial, sufriendo un ligero desplazamiento hacia el exterior de la pared.

La descripción anterior es la de una capa límite bidimensional. En el caso tridimensional los vectores velocidad, dentro de la capa límite y a diferentes distancias de la frontera, tienen componentes en las tres direcciones coordenadas que dificultan su estudio; éste es el caso en el que se muestra la entrada a un tubo donde se desarrolla la capa límite alrededor de toda la frontera. Después de cierta distancia, desde la entrada, la capa límite converge para establecerse inmediatamente en una manera uniforme.

La capa límite laminar actúa, por sí misma, como un disturbio; de tal modo que a una distancia x_0 , desde el principio de la pared, se torna turbulenta con un comportamiento distinto.

Cuando la capa límite laminar se adelgaza hasta alcanzar un espesor muy pequeño, adquiere el nombre de subcapa laminar. La turbulencia originada en la capa límite es posible debido al efecto de alguna irregularidad sobre la superficie de la pared, produciendo el disturbio que se transmite hacia fuera. A partir de el espesor de la capa límite turbulenta crece más rápidamente que en el caso laminar.

Por lo que respecta a la velocidad, se observa que el efecto de fricción se presenta en la capa límite por la modificación de su distribución, variando su velocidad de cero- en la pared- al valor medio. Las fuerzas de viscosidad son importantes dentro de la capa límite; fuera de ésta, la distribución de velocidades es prácticamente uniforme y las fuerzas de viscosidad son despreciables.

La viscosidad dinámica o absoluta del agua a 20°C es:

$$\begin{aligned}\mu &= 0.01 \text{ poise} \\ &= 1 \text{ centipoise}\end{aligned}$$

La viscosidad dinámica o absoluta del aceite a 20°C es:

SAE 20: de 230 a 300 centipoise
SAE 30: de 360 a 430 centipoise
SAE 40: de 430 a 540 centipoise

La viscosidad cinemática o relativa del agua a 20°C es:

$$\begin{aligned}\nu &= 0.01 \text{ stoke} \\ &= 1 \text{ centistoke}\end{aligned}$$

2.5 El número de Reynolds

El número de Osborne Reynolds $VD\rho/\mu$ es el cociente de las fuerzas de inercia entre las fuerzas viscosas. Un valor crítico de este parámetro permite distinguir entre el régimen laminar y el turbulento en un escurrimiento dado; por ejemplo, a través de un tubo, en la capa límite o en un flujo alrededor de un cuerpo sumergido. El valor de este número de Reynolds crítico depende de la situación que se tenga.

Un flujo laminar se define como aquel en que el fluido se mueve en capas o láminas, deslizándose suavemente unas sobre otras y existiendo sólo intercambio de cantidad de movimiento molecular entre ellas. Cualquier tendencia hacia la inestabilidad y la turbulencia se amortigua por la acción de las fuerzas cortantes viscosas que se oponen al movimiento relativo de capas de fluido adyacentes entre sí. Por otro lado, en un flujo turbulento, el movimiento de las partículas es muy errático y se tiene un intercambio transversal de cantidad de movimiento muy intenso. El número de Reynolds permite caracterizar la naturaleza del escurrimiento, es decir, si se trata de un flujo laminar o de un flujo turbulento; además, indica la importancia relativa de la tendencia del flujo hacia un régimen turbulento respecto de uno laminar y la posición relativa de este estado de cosas a lo largo de determinada longitud.

Reynolds analizó ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, no lineales, para tratar de determinar las condiciones bajo las cuales escurrimientos distintos eran semejantes.

Se dice que dos escurrimientos son dinámicamente semejantes cuando:

1. Ambos sistemas son geoméricamente semejantes, es decir, cuando se tiene una relación constante entre dimensiones de longitud correspondientes.
2. Las correspondientes familias de líneas de corriente son geoméricamente semejantes o las presiones en puntos correspondientes forman una relación constante.

Al estudiar dos escurrimientos geoméricamente semejantes, Reynolds pudo concluir que dichos flujos serían dinámicamente semejantes si las ecuaciones diferenciales que describían cada uno resultaban idénticas. Al cambiar las unidades de masa, longitud y tiempo en un grupo de ecuaciones y al determinar las condiciones necesarias para hacerlas idénticas a las ecuaciones originales, Reynolds encontró que el parámetro adimensional $ul\rho/\mu$ debía ser igual en ambos casos. En este parámetro, u es la velocidad característica, l es una longitud característica, ρ es la densidad del fluido y μ es su viscosidad. Este parámetro se conoce ahora como número de Reynolds \mathbf{R} .

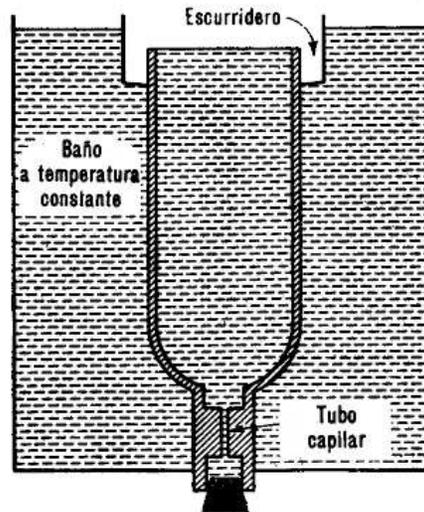
$$\mathbf{R} = \frac{ul\rho}{\mu}$$

2.6 Viscosímetro Saybolt

Es un dispositivo que consta de un corto tubo capilar y se mide el tiempo que tarda en desalojarse 60 cm^3 del fluido bajo prueba a través del tubo por la acción de la gravedad; este tiempo constituye la lectura Saybolt. La cantidad determinada mediante este dispositivo es la viscosidad cinemática, resultado evidente de la ecuación de flujo laminar incompresible y permanente a través de tubos circulares y entre dos cilindros concéntricos, obtenida experimentalmente por Hagen en 1839 y por Poiseuille en 1840 en forma independiente por lo que se le conoce como ecuación de Hagen-Poiseuille y se expresa de la siguiente manera:

$$Q = \frac{\Delta P \pi D^4}{128 \mu L}$$

en donde si $\Delta P = \rho g h$, $Q = V/t$ y separando los términos que son iguales independientemente del fluido,



Esquema de un viscosímetro Saybolt

$$\frac{V}{t} = \frac{\rho g h \pi D^4}{128 \mu L}$$

$$\frac{\mu}{\rho t} = \frac{g h \pi D^4}{128 V L} = C_1$$

si la carga h varía durante la prueba, el rango de variación es el mismo para todos los líquidos; los términos del lado derecho de la expresión anterior se pueden considerar constantes para un mismo instrumento. En estas condiciones, se obtiene



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

$$v = C_1 t$$

lo cual indica que la viscosidad cinemática es directamente proporcional al tiempo t . Dado que el tubo capilar es muy corto, la distribución de velocidades típica de un flujo laminar no se alcanza a establecer: el fluido entra al tubo uniformemente y, debido al arrastre viscoso en las paredes, tiende a frenarse cerca de ellas y a acelerarse en el centro. Por esta razón, es necesario introducir un término de corrección de la forma C/t en la última ecuación, o sea,

$$v = C_1 t + \frac{C_2}{t}$$

Para hacer el cálculo de la viscosidad relativa tenemos la siguiente fórmula que relaciona a los segundos Saybolt:

$$v = 0.0022 t - \frac{1.8}{t}$$

donde:

$$t = \text{segundos}$$

$$v = \text{stokes}$$

para obtener " μ " si $v = \frac{\mu}{\rho}$ entonces: $\mu = v\rho$

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

- 1.- Viscosímetro Saybolt
- 2.- Viscosímetro Brookfield
- 3.- Líquidos: agua, acetona y aceite lubricante
- 4.- Cronómetro
- 5.- Termómetro
- 6.- Sustancias de trabajo
- 7.- Vasos de precipitados
- 8.- Equipo de seguridad (guantes, bata, goggles, etc.)

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

El desarrollo de la práctica nos permite obtener mediante la utilización del viscosímetro Saybolt la viscosidad cinemática o relativa ν en stokes, aplicando directamente la ecuación descrita. Posteriormente utilizaremos el viscosímetro Brookfield para obtener la viscosidad dinámica o absoluta μ en poises aplicando los factores que se encuentran señalados en la tabla correspondiente.

4.1 Procedimiento para la determinación de la viscosidad cinemática o relativa ν mediante el viscosímetro Saybolt

En los dos vasos del viscosímetro Saybolt que se encuentran obturados por un tapón de hule, depositamos 60 cm^3 de dos líquidos por analizar de diferentes sustancias, registrando el valor de la temperatura inicial T ; quitamos los tapones de ambos cilindros y tomamos con un cronómetro el tiempo que tardan en vaciarse, para después aplicar la ecuación correspondiente y hallar el valor de la viscosidad relativa o cinemática " ν " en stokes.

$$\nu = 0.0022 t - \frac{1.80}{t}$$

Incrementamos sucesivamente la temperatura un promedio de 10°C y repetimos la operación descrita anteriormente, para obtener diversos valores de la viscosidad de una misma sustancia a diferentes temperaturas.

Si deseamos obtener la viscosidad absoluta o dinámica recordemos la ecuación $\mu = \nu \rho$. En el caso de tratarse del agua, sabemos que su densidad es: $\rho_{\text{Agua}} = 1 \frac{\text{g}_m}{\text{cm}^3}$ y por tal razón tendremos que:

$$\mu = \nu \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{seg}} \right) \times \rho \left(\frac{\text{g}_m}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{g}_m}{\text{cm} \times \text{s}} \quad (\text{poise})$$

el experimento deberá repetirse para distintas temperaturas y se obtendrá una gráfica temperatura-viscosidad relativa o cinemática.

Usar la tabla 1 de resultados

4.2 Viscosímetro digital Brookfiel (modelo DV-1)

El viscosímetro digital Brookfield nos permite obtener la viscosidad absoluta o dinámica " μ " y consiste en un dispositivo alimentado por un motor sincronizado de precisión que hace girar un elemento sensor sumergido en un fluido y mide el torque o momento de torsión (cuando se empuja un objeto, se está aplicando una fuerza. Cuando se gira un objeto se aplica una fuerza rotacional, la cual se denomina torque y se expresa en unidades de fuerza-distancia) necesario para vencer la resistencia de la viscosidad al movimiento inducido. Esto se logra manejando el elemento sumergido, llamado aguja, a través de un resorte de cobre-birilio. El grado de deformación del resorte indicado en la pantalla digital, es proporcional a la viscosidad del fluido.



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

El viscosímetro es capaz de medir en un amplio rango de escalas, dado que, para una deflexión del resorte, la viscosidad es proporcional a la velocidad de la aguja y relacionada con el tamaño y la forma de esta. Para una sustancia de una viscosidad determinada, la resistencia será mayor si se incrementa el tamaño de la aguja o la velocidad de rotación. El rango mínimo de viscosidad se obtiene usando la aguja más grande a la velocidad más alta, el rango máximo usando la aguja más pequeña a la más baja velocidad.

Los factores usados para calcular los valores de viscosidad a partir de las lecturas del viscosímetro Brookfield son independientes de la temperatura.

4.2.1 Procedimiento para la determinación de la viscosidad dinámica o absoluta μ mediante el viscosímetro Brookfield

En el viscosímetro Brookfield depositamos el líquido por analizar en un recipiente (vaso de precipitados) que nos permita realizar el experimento, a continuación se le coloca una de las 7 agujas seleccionadas, la cual se hará girar dentro del líquido para registrar su viscosidad. El resultado lo obtenemos con la ayuda de la tabla en la cual tenemos que localizar el número de la aguja utilizada y el número seleccionado de revoluciones por minuto a las que se hizo girar dicha aguja del viscosímetro, al tener estos datos localizados en la tabla podemos obtener un tercer número el cual se obtiene por la multiplicación de los dos valores de tabla; 1) la lectura de la pantalla del viscosímetro 2) el factor que aparece al lado de la velocidad a la cual se está haciendo la medición.

Lectura de la velocidad en el viscosímetro \times factor = viscosidad en centipoises

**en donde la velocidad está dada en RPM
M = 1000**

La siguiente tabla de factores de conversión se aplica al viscosímetro Brookfield modelo RV, con las agujas estándares suministradas. Para convertir las lecturas del viscosímetro a **centipoises**, seleccionemos la columna correspondiente al número de la aguja que se esté utilizando en la prueba. Multiplicando la lectura de la pantalla del viscosímetro por el factor que aparece al lado de la velocidad a la cual se está haciendo la medición teniendo que.

Usar la tabla 2 de resultados

TABLA DE FACTORES DE CONVERSIÓN

| Aguja # 1 | | Aguja # 2 | | Aguja # 3 | | Aguja # 4 | | Aguja # 5 | | Aguja # 6 | | Aguja # 7 | |
|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
| Vel. | Fac. |
| 0.5 | 200 | 0.5 | 800 | 0.5 | 2000 | 0.5 | 4000 | 0.5 | 8000 | 0.5 | 20 M | 0.5 | 80 M |
| 1 | 100 | 1 | 400 | 1 | 1000 | 1 | 2000 | 1 | 4000 | 1 | 10 M | 1 | 40 M |
| 2 | 50 | 2 | 200 | 2 | 500 | 2 | 1000 | 2 | 2000 | 2 | 5 M | 2 | 20 M |
| 2.5 | 40 | 2.5 | 160 | 2.5 | 400 | 2.5 | 800 | 2.5 | 1600 | 2.5 | 4 M | 2.5 | 16 M |
| 4 | 25 | 4 | 100 | 4 | 250 | 4 | 500 | 4 | 1000 | 4 | 2.5M | 4 | 10 M |
| 5 | 20 | 5 | 80 | 5 | 200 | 5 | 400 | 5 | 800 | 5 | 2 M | 5 | 8 M |
| 10 | 10 | 10 | 40 | 10 | 100 | 10 | 200 | 10 | 400 | 10 | 1 M | 10 | 4 M |
| 20 | 5 | 20 | 20 | 20 | 50 | 20 | 100 | 20 | 200 | 20 | 500 | 20 | 2 M |
| 50 | 2 | 50 | 8 | 50 | 20 | 50 | 40 | 50 | 80 | 50 | 200 | 50 | 800 |
| 100 | 1 | 100 | 4 | 100 | 10 | 100 | 20 | 100 | 40 | 100 | 100 | 100 | 400 |

5. RESULTADOS

Tabla 1: Resultados en el viscosímetro Saybolt

| No. | Líquido | Experimento 1 | | Experimento 2 | | Experimento 3 | | Experimento 4 | | v en stoke |
|-----|---------------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|------------|
| | | T [°C] | t [s] | |
| 1 | Agua | | | | | | | | | |
| 2 | Acetona | | | | | | | | | |
| 3 | Aceite SAE 30 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Tabla 2: Resultados en el viscosímetro Brookfield

| No. | Líquido | # de Aguja | Temperatura °C | Factor de conversión | | μ en poises |
|-----|---------|------------|-------------------|----------------------|--------|-------------|
| | | | | v en RPM | factor | |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Observación:

Cualquier dispositivo de medición es revisado por su fabricante para permitirnos tener los valores más cercanos a los determinados teóricamente, sin embargo, por las condiciones de su manejo, por traslado, por temperaturas, humedad, etc., pierden su calibración original, siendo necesario que dichos instrumentos sean normalizados (recalibrados) por un organismo que se encuentre certificado tales como el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) el Centro de Investigación Avanzada (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional, etc.

Aplicaciones en la Ingeniería

Las principales aplicaciones en la ingeniería se observan el manejo de aceites y lubricantes para disminuir la fricción en el movimiento de motores y compresores con relación a las temperaturas de trabajo. En el movimiento y traslado de fluidos en sistemas cerrados (tuberías) y abiertos (canales). Así como en el uso de gases para la generación de energía utilizados en dispositivos de alta compresión..

Cuestionario

1) Indique la diferencia entre fluidos newtonianos y no newtonianos, dar algunos ejemplos.

Los fluidos pueden clasificarse de acuerdo con la relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la relación de deformación o rapidez de deformación resultante.

a) Los fluidos newtonianos son aquellos en donde el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la rapidez de deformación bajo condiciones normales, por ejemplo: El agua, el aire, la gasolina, glicerina, aceite, etc.

b) Los fluidos no newtonianos son aquellos en los que el esfuerzo cortante no es directamente proporcional a la rapidez de deformación, por ejemplo: Soluciones poliméricas, suspensiones coloidales, pulpa de papel en agua, pasta de dientes, etc.

2) Explique los efectos de la temperatura en la viscosidad.

Para los gases todas las moléculas están en continuo movimiento aleatorio debido a la energía cinética interna de la sustancia, y cuando hay un flujo el movimiento molecular se efectúa en bloque, superponiéndose dicho movimiento a los movimientos aleatorios para posteriormente distribuirse por todo el fluido mediante colisiones moleculares. Para los líquidos no es posible estimar con exactitud la variación de su viscosidad por efectos de la temperatura, ya que el fenómeno de transferencia de energía por medio de colisiones moleculares es más difícil de calcular por efecto de los campos de fuerza (energía potencial interna) debido a la cercanía de las moléculas.

En gases el aumento de la temperatura provoca un aumento en la viscosidad, mientras que en los líquidos un aumento de la temperatura disminuye la viscosidad.

3) Explique los efectos de la presión en la viscosidad.

La viscosidad de los gases es generalmente independiente de la presión, sin embargo, la viscosidad a altas presiones (mayor de 7 atmósferas) aumenta con la presión. Para el caso de los líquidos, recordemos que la mayoría de ellos son incompresibles entre unos cuantos centésimos de una atmósfera y unas cuantas atmósferas.

4) Investigar según la teoría molecular (mediante la energía interna de una sustancia) la forma en que un líquido fluye por influencia de la gravedad terrestre.

Un líquido empieza a fluir bajo la influencia de la gravedad terrestre debido a que las moléculas de capas estacionarias del fluido deben cruzar una frontera para entrar en la región de flujo. Una vez cruzada la frontera, estas moléculas reciben energía de las que están en movimiento y comienzan a fluir. Debido a la energía transferida, las moléculas que ya estaban en movimiento reducen su velocidad. Al mismo tiempo, las moléculas de la capa de fluido en movimiento cruzan la frontera en sentido opuesto y entran en las capas estacionarias, con lo que transmiten un impulso o cantidad de movimiento a las moléculas estacionarias. El resultado global de este movimiento en ambas direcciones de la frontera es que el fluido en movimiento reduce su velocidad, el fluido estacionario se pone en movimiento y las capas en movimiento adquieren una velocidad media. El efecto anterior se debe a que las moléculas de regiones con alta velocidad global chocan con las moléculas que se mueven con una velocidad global menor, y viceversa. Estos choques permiten transportar cantidad de movimiento de una región de fluido a otra.

5) Transforme las unidades de $1 \text{ poise} = 1 \frac{\text{dina} \times \text{s}}{\text{cm}^2}$ a:

a) μ en $\frac{\overline{\text{kg}} \times \text{s}}{\text{m}^2}$

b) μ en $\frac{\text{N} \times \text{s}}{\text{m}^2}$

$$\text{a) } 1 \text{ poise} = 1 \frac{\text{dina} \times \text{s}}{\text{cm}^2} \times \frac{1 \overline{\text{kg}}}{980,665 \text{ dina}} \times \frac{10,000 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} = 0.010197 \frac{\overline{\text{kg}} \times \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$\text{b) } 1 \text{ poise} = 1 \frac{\text{dina} \times \text{s}}{\text{cm}^2} \times \frac{1 \text{ N}}{100,000 \text{ dina}} \times \frac{10,000 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} = 0.1 \frac{\text{N} \times \text{s}}{\text{m}^2}$$

6) Indique el principio técnico mediante el cual funciona el viscosímetro universal Saybolt.

R: A una temperatura dada, la facilidad con que un líquido fluye a través de un orificio de diámetro pequeño es una indicación de su viscosidad. El fluido (60 cm^3) se coloca en el cilindro del viscosímetro, se establece

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

el flujo y el tiempo resultante para su desalojo se considera como la velocidad del fluido en segundos universales Saybolt.

7) Indique el principio técnico mediante el cual funciona el viscosímetro Brookfield.

El viscosímetro digital Brookfield nos permite obtener la viscosidad absoluta o dinámica “ μ ” y consiste en un dispositivo alimentado por un motor sincronizado de precisión que hace girar un elemento sensor sumergido en un fluido y mide el torque o momento de torsión ($\bar{g} \times cm$, $\bar{l}b \times pie$). Esto se logra manejando el elemento sumergido, llamado aguja, a través de un resorte. El grado de deformación del resorte indicado en la pantalla digital, es proporcional a la viscosidad del fluido.

El viscosímetro es capaz de medir en un amplio rango de escalas, dado que, para una deflexión del resorte, la viscosidad es proporcional a la velocidad de la aguja y relacionada con el tamaño y la forma de esta. Para una sustancia de una viscosidad determinada, la resistencia será mayor si se incrementa el tamaño de la aguja o la velocidad de rotación. El rango mínimo de viscosidad se obtiene usando la aguja más grande a la velocidad más alta, el rango máximo usando la aguja más pequeña a la más baja velocidad.

En el viscosímetro Brookfield depositamos el líquido por analizar en un recipiente (vaso de precipitados) que nos permita realizar el experimento, a continuación se le coloca una de las 7 agujas seleccionadas, la cual se hará girar dentro del líquido para registrar su viscosidad. El resultado lo obtenemos con la ayuda de la tabla en la cual tenemos que localizar el número de la aguja utilizada y el número seleccionado de revoluciones por minuto a las que se hizo girar dicha aguja del viscosímetro, al tener estos datos localizados en la tabla podemos obtener un tercer número el cual se obtiene por la multiplicación de los dos valores de tabla; 1) la lectura de la pantalla del viscosímetro, 2) el factor que aparece al lado de la velocidad a la cual se está haciendo la medición.

8) Investigar el concepto de “**grado de viscosidad**”.

SAE (Society American Engineering)

Aceites con sufijo W

ISO norma ASTM

9) Investigar el concepto de “**índice de viscosidad**”.

La forma de medir el cambio de viscosidad de un fluido con la variación de la temperatura es dada por su índice de viscosidad, es decir, un fluido con un alto índice de viscosidad, muestra un cambio pequeño de viscosidad con respecto a la variación de la temperatura; un fluido con un bajo índice de viscosidad presenta un cambio significativo en su viscosidad.

10) Indique algunas aplicaciones prácticas del concepto de viscosidad.

R: Algunas aplicaciones de la viscosidad de un fluido (líquido o gas) se expresan a continuación: Perfiles aerodinámicos en los diseños aeronáuticos se utilizan para incrementar el poder de penetración y eliminar la incidencia de torbellinos y las turbulencias del aire, así como en la fabricación de barcos y submarinos que circulan en flujos laminares (para velocidades bajas, en el que las partículas se frenan progresivamente al acercarse a los límites del canal de flujo) y turbulentos (pleno de vórtices y torbellinos en el que las altas velocidad y viscosidad ocasionan un arrastre de todo el fluido, que se detiene bruscamente en el contacto con los bordes). En el análisis estructural se estudia el viento como uno de los cuatro factores importantes para la construcción de una edificación (carga muerta, carga viva, sismo y viento). El conocimiento y control de la viscosidad constituye uno de los factores de mayor importancia en la lubricación de piezas mecánicas para disminuir la fricción, y por ello las industrias de aceites y grasas requieren de variados y precisos



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

instrumentos de medición. Los barnices, pinturas, anticorrosivos, aglutinados para el fraguado de concreto (acelerantes y retardantes), etc., son productos que requieren un estudio de la viscosidad dependiendo el uso al que se destinen.

6. CONCLUSIONES

7.1 Conclusiones del profesor

Esta práctica es demostrativa porque el viscosímetro Saybolt se encuentra deteriorado y los diámetros de sus espreas han sido dañados, por otra parte el viscosímetro Brookfield no se encuentra calibrado por una empresa autorizada de certificación.

7.2 Conclusiones del alumno

En este espacio el alumno describirá las conclusiones a las que haya llegado, comparando los resultados obtenidos contra lo esperado en teoría, analizando los posibles errores en sus observaciones e indicando la importancia del aprendizaje realizado.

7. FUENTES DE CONSULTA

El alumno, en su reporte deberá incluir una introducción teórica en referencia al objetivo de la práctica, debe anotar la bibliografía consultada señalando Autor, Título, Editorial y Edición de los libros consultados. En caso de obtener información de Internet, debe indicar el sitio consultado.

Abbott, Michael M.; Van Ness, Hendrick. *Termodinámica*, México, McGraw-Hill, Serie Schaum, 1986.

Cutnell, John D.; Johnson, Kenneth W. *Física*, México, Limusa Wiley, segunda edición, 2004.

Faires, Virgil Moring; Simmang, Clifford Max. *Termodinámica*, México, Limusa, 2004.

Giancoli Douglas C. *Física para universitarios*, volumen I, México, Prentice Hall, tercera edición, 2002.

Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. *Fundamentos de Física*, volúmenes 1 y 2, México, CECSA (Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.), sexta edición en inglés, tercera en español, 2001.

Holman, Jack. P. *Termodinámica*, México, McGraw-Hill, segunda edición, 1975.

Kadambi, V.; Prasad, Manohar. *Conversión de Energía, Termodinámica Básica*, volumen 1, México, Limusa, primera edición, 1983.

Lea, Susan M.; Burke, John Robert. *Física. La naturaleza de las cosas*, volúmenes I y II, International Thomson Editores, 1999.

Resnick, Robert; Halliday, David; Krane, Kenneth S. *Física*, volumen I, Editorial CECSA, quinta edición en español, 2000.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Reynolds, William C.; Perkins, Henry C. *Ingeniería Termodinámica*, México, McGraw-Hill, 1983.

Schaum, B.S. Daniel; Van Der Merwe, Carel W. *Física general*, México, McGraw-Hill, Serie Schaum, novena edición, 2001.

Serway, Raymond A. *Física*, tomos I y II, México, McGraw-Hill, quinta edición, 2000.

Streeter, Victor L.; Wylie E., Benjamín; Bedford, Keith W. *Mecánica de fluidos*, México, McGraw-Hill, novena edición, 2000.

Tippens, Paul E. *Física. Conceptos y aplicaciones*, México, McGraw-Hill, sexta edición, 2001.

Van Wylen, Gordon J.; Sonntag, Richard E.; Borgnakke, Claus. *Fundamentos de termodinámica*, México, Limusa Wiley, segunda edición, 2003.



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

SESIÓN PRÁCTICA NO. 10
DETERMINACIÓN DEL GASTO HIDRÁULICO EN UNA
TUBERÍA (MEDICIÓN DE FLUJO)

1. OBJETIVO

1.1 *Objetivo general*

Obtener el gasto hidráulico que fluye a través de una tubería y comprobar su resultado mediante la utilización del venturímetro aplicando las ecuaciones de continuidad y de Bernoulli.

1.2 *Objetivos específicos*

- 1.2.1 El alumno analizará los conceptos de gasto hidráulico y las ecuaciones de continuidad y del principio de Bernoulli.
- 1.2.2 El alumno aprenderá a medir en forma directa el gasto hidráulico “Q” llenando hasta cierta altura una probeta graduada en un tiempo determinado, simultáneamente y mediante la utilización de un venturímetro aplicará las ecuaciones de continuidad y de Bernoulli para verificar su resultado.
- 1.2.3 El alumno con el equipó denominado banco hidráulico efectuará en forma directa diversas mediciones de gasto hidráulico y comprobará sus resultados mediante la aplicación de las ecuaciones de continuidad y de Bernoulli.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1 *Introducción*

Desde los primeros intentos para llevar agua de un sitio a otro sin emplear recipientes, el hombre se interesó en la mecánica de los fluidos. Sin embargo, por siglos sus conocimientos los obtuvo a base de observaciones, tediosos tanteos y empirismo, con soluciones muy restringidas. A partir del siglo XVIII los matemáticos y físicos intentaron dar respuestas analíticas a muchos problemas del movimiento de los fluidos, que lograron gracias a una serie de suposiciones simplificadoras; sin embargo, esto condujo al caso extremo de que los resultados tuvieran poca identidad con el fenómeno real.

Los fluidos, que incluyen líquidos y gases, desempeñan un papel de gran importancia en nuestra vida diaria y particularmente en la actividad profesional del ingeniero. Los respiramos, bebemos, y un fluido vital (la sangre) circula en el sistema cardiovascular de los seres humanos. Existe el océano fluido y la atmósfera fluida. En un automóvil hay fluidos en los neumáticos, en el tanque de combustible, en las cámaras de combustión del motor, en el sistema de lubricación, en los sistemas hidráulicos (frenos y dirección) etc., en los equipos y maquinaria pesada se tienen sistemas hidráulicos (que operan con un líquido) y los grandes aviones de reacción tienen decenas de ellos.

La mecánica de los fluidos es una rama de la Física en la cual los principios fundamentales de la mecánica general se aplican en el estudio del comportamiento de los fluidos, tanto en reposo como en movimiento. Dichos principios son los de la conservación de la materia y de la energía, además las leyes del movimiento de Newton.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

La hidráulica es a su vez la rama de la mecánica de los fluidos que tiene por objeto, mediante el análisis y la experimentación, estudiar el movimiento y el equilibrio de los fluidos, especialmente el del agua.

La parte de la física que estudia a los líquidos en reposo se denomina “hidrostática”, a diferencia de la que estudia a los líquidos en movimiento “hidrodinámica”.

En este capítulo se pretende conocer la forma de medir el flujo de un fluido líquido (agua) también llamado gasto hidráulico.

2.2 Medición de flujo

El concepto “flujo” implica el movimiento o traslado de una cantidad de masa, o de un volumen de materia a través de un área a lo largo de una trayectoria.

Flujo, gasto o caudal, son sinónimos en hidráulica, e indican el volumen o la cantidad de materia que se traslada durante un intervalo de tiempo determinado. Así, el gasto se expresa en unidades de masa o de volumen por unidad de tiempo, y se designa con la letra “ Q ” teniendo la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{m}{t} \quad \left(\frac{kg_m}{s}, \frac{lb_m}{s} \right)$$

también se puede considerar el gasto volumétrico para un flujo incompresible y permanente:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \left(\frac{m^3}{s}, \frac{dm^3}{s}, \frac{pie^3}{s} \right)$$

2.2.1 Flujo laminar o estacionario

Es el flujo en donde las partículas del fluido se mueven a lo largo de trayectorias uniformes en capas o láminas, deslizándose suavemente una capa sobre la adyacente. En el flujo uniforme, la velocidad del fluido en movimiento en cualquier punto no cambia con el tiempo. En el **flujo laminar** se cumple la ley de Newton de la viscosidad, que relaciona a la tensión de cortadura τ con la velocidad angular de deformación por medio de una propiedad física del fluido llamada viscosidad.

2.2.2 Flujo turbulento

En el **flujo turbulento** las partículas del fluido se mueven en trayectorias muy irregulares, originando un intercambio de cantidad de movimiento de una porción del fluido a otra, de manera semejante al intercambio de cantidades de movimientos moleculares. Es el más frecuente en las aplicaciones prácticas de la ingeniería.

2.2.3 Fluido ideal

Un fluido ideal no tiene fricción, es incompresible y no debe confundirse con un gas ideal, la suposición de un fluido ideal es útil en el análisis de situaciones de flujo que comprenden grandes extensiones de fluidos. Un fluido sin rozamiento es el que se supone tiene viscosidad nula y que no es turbulento, por lo que no hay conversión de energía mecánica en térmica durante el movimiento.

2.2.4 Flujo permanente y no permanente

El **flujo es permanente** cuando las propiedades del fluido y las condiciones del movimiento en cualquier punto no cambian con el tiempo. La misma generalización se aplica a la densidad, presión, temperatura, etc. El **flujo es no permanente** cuando las condiciones en algún punto cambian con el tiempo. Por ejemplo, cuando se bombea agua por una tubería con caudal constante se tiene un flujo permanente. Si el agua se bombea a través de una tubería y el caudal fuese creciente con el tiempo, el flujo sería no permanente.

2.2.5 Flujo uniforme y no uniforme

Un **flujo es uniforme** cuando en cualquier punto del fluido el vector velocidad es idéntico (en magnitud, dirección y sentido) en un instante dado. En el flujo de un fluido real en un conducto abierto o cerrado, la definición anterior puede extenderse con un pequeño error en algunos casos aun cuando el vector velocidad en las paredes es siempre cero. Cuando todas las secciones rectas paralelas del conducto son idénticas (conducto prismático) y la velocidad media en cada sección recta es la misma en un instante dado, el flujo se dice que es uniforme. Un **flujo es no uniforme** cuando el vector velocidad varía en un instante dado de un punto a otro. Un líquido que se bombea a través de una tubería recta de sección uniforme es un ejemplo de flujo uniforme. Un líquido que fluye a través de una tubería de sección variable o de una tubería curvada es un ejemplo de flujo no uniforme.

2.3 Líquidos en movimiento

Para el estudio de los líquidos en movimiento debemos analizar los fundamentos analíticos y las ecuaciones de continuidad, energía y cantidad de movimiento y las principales aplicaciones en el campo de la ingeniería. El efecto de la viscosidad y la conversión de energía mecánica en térmica, el trabajo de flujo y la entalpía son conceptos que serán necesario aplicar en nuestros cálculos.

Sabemos que al movimiento de un fluido se le llama flujo y se clasifica de muchas maneras, tales como laminar, turbulento, real, ideal, isoterma, isoentrópico (adiabático reversible) permanente, no permanente, uniforme y no uniforme. En nuestro estudio del movimiento (dinámica) de los fluidos, supondremos que todos ellos presentan un flujo laminar, o un flujo turbulento.

2.4 Ecuación de continuidad

Una observación que frecuentemente realizamos desde niños, corresponde a cerrar parcialmente con el dedo pulgar la abertura de la manguera con la que regamos un jardín, incrementando con ello la velocidad de salida del agua y disminuyendo la presión.

La deducción de una expresión que relacione a la velocidad V y al área de la sección transversal de una tubería A para el flujo uniforme a régimen permanente de un fluido ideal que pasa por un tubo con sección transversal variable, en general se considera que el gasto:

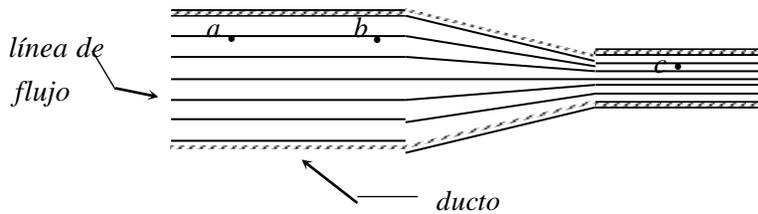
$$Q = \frac{V}{t} = \frac{lA}{t} = vA$$

en donde A es el área de la sección transversal del ducto, l es la distancia recorrida por el flujo y v su velocidad. Por lo tanto la ecuación que representa la continuidad de flujo es:

$$Q = v A$$

La mayoría de las ecuaciones que cuantifican el gasto de fluidos líquidos se aplican a sustancias cuyo movimiento es de régimen estacionario, currentilíneo o laminar.

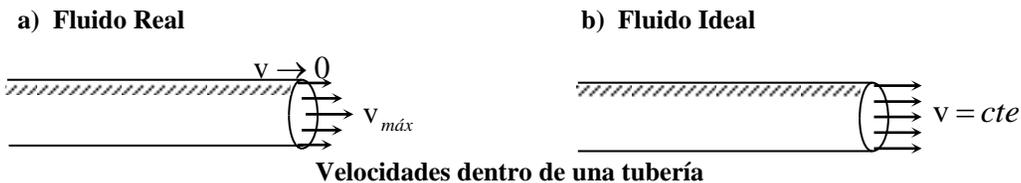
Cuando se cumplen condiciones adecuadas, el movimiento de un fluido (líquido o gas) es de un tipo relativamente sencillo, llamado **estacionario o laminar**. Si el movimiento es de este tipo, cada partícula que pasa por un punto “a”, sigue exactamente la misma trayectoria que las partículas precedentes que pasaron por dicho punto. Estas trayectorias se denominan “**líneas de flujo**” o “**líneas de corriente**” y se muestran en la siguiente figura.



Líneas de flujo o líneas de corriente

Si la sección transversal del tubo varía de un punto a otro, la velocidad de cada partícula variará a lo largo de su línea de corriente; pero, en cualquier punto fijo del tubo, la velocidad de la partícula que pasa por dicho punto es siempre la misma.

Cualquier fluido real, a causa de su viscosidad, tendrá una velocidad mayor en el centro del tubo que en las partes más alejadas de él como muestra la figura (a) pero, para los fines de nuestro estudio se considerará que la velocidad del fluido es la misma en toda la sección del tubo, tal como se indica en la figura (b) donde las flechas indican la magnitud del vector velocidad en cada punto.



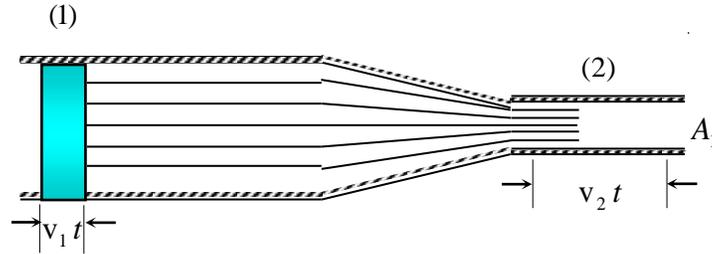
Velocidades dentro de una tubería

El movimiento de un fluido es de tipo estacionario siempre que la velocidad no sea demasiado grande y los obstáculos, estrechamientos o curvas del ducto no sean tales que obliguen a las líneas de corriente a cambiar su dirección bruscamente. Si no se cumplen estas condiciones, el movimiento es de tipo más complicado y se denomina “**flujo turbulento**”.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Debido a que el fluido es incompresible y dadas las áreas A_1 y A_2 , las velocidades v_1 y v_2 y el tiempo t se tiene que la “**ecuación de continuidad**” para el movimiento estacionario de un fluido incompresible es:

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$



Variación de la velocidad en una tubería con reducción de diámetros

La ecuación de continuidad es consecuencia del principio de conservación de la masa, el cual establece que la masa dentro de un sistema permanece constante con respecto al tiempo.

Para “ n ” secciones $Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 = \dots = v_n A_n = \text{constante}$

Una consecuencia obvia de esta ecuación es que la velocidad aumenta cuando el área de la sección transversal del ducto disminuye, e inversamente, cuando el área de la sección aumenta, la velocidad del fluido disminuye.

De la expresión de velocidad $v = \frac{l}{t}$ y para las secciones (1) y (2) de la tubería:

$$\left. \begin{array}{l} l_1 = v_1 t \\ l_2 = v_2 t \end{array} \right\} l_1 \neq l_2$$

como el volumen es constante: $V = l_1 A_1 = l_2 A_2$

Sustituyendo: l_1 y l_2

$$V = v_1 A_1 t = v_2 A_2 t$$

de la ecuación: $Q = \frac{V}{t}$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{v A t}{t} = v A$$

$\therefore Q = v A$

2.5 Gasto hidráulico, flujo a través de tubos circulares

El flujo viscoso se presenta en una gran diversidad de situaciones, como en el aceite que se desplaza por una tubería, un líquido forzado a pasar por la aguja de una jeringa hipodérmica, o la sangre que se desplaza en el sistema circulatorio humano. Por lo que es importante conocer los factores que influyen en el gasto hidráulico.

Primero es necesario mantener una diferencia de presión entre dos sitios a lo largo del tubo para que fluya el líquido. Segundo, un tubo largo ofrece mayor resistencia al flujo que uno corto, y Q es inversamente proporcional a la longitud de la tubería; las tuberías largas tienen estaciones de bombeo en diferentes sitios a lo largo de la línea para compensar la caída de presión. Tercero, los fluidos de alta viscosidad fluyen con más dificultad que los de baja viscosidad, y Q es inversamente proporcional a la viscosidad μ . Por último, el gasto volumétrico es mayor en un tubo de mayor radio, si son iguales los demás factores.

La distribución de velocidades, el caudal y la caída de presión pueden determinarse analíticamente en el caso de un tubo circular recto y un flujo laminar permanente. Si un fluido no tuviese viscosidad, podría fluir a través de un tubo a nivel sin tener que aplicar una fuerza. Debido a la viscosidad, una diferencia de presión entre los extremos de un tubo es necesaria para el flujo estacionario de cualquier fluido real, sea éste agua o aceite en un tubo, o la sangre en el sistema circulatorio de un ser humano, aun cuando el tubo esté a nivel horizontal.

Resumiendo, el gasto de un fluido en un tubo redondo depende de su viscosidad, de la diferencia de presión, y de las dimensiones del tubo. El científico francés J. L. Poiseuille (1799-1869) quien estaba interesado en la física de la circulación de la sangre (y en honor de quien el **poise** recibió su nombre) determinó cómo las variables afectan el gasto de un fluido incompresible que experimenta flujo laminar en un tubo cilíndrico. Su resultado, conocido como **ecuación de Poiseuille**, es:

$$Q = \frac{\pi R^4 (P_1 - P_2)}{8 \mu L} \quad \text{dado el radio } R \text{ de un tubo cilíndrico}$$

$$Q = \frac{\pi D^4 (P_1 - P_2)}{128 \mu L} \quad \text{dado el diámetro } D \text{ de un tubo cilíndrico}$$

donde R es el radio interior del tubo (D es el diámetro interior del tubo) L es su longitud, $P_1 - P_2$ es la diferencia de presión entre sus extremos, μ es el coeficiente de viscosidad, y Q es el gasto que en el SI tiene unidades de m^3/s . La ecuación anterior sólo se aplica a flujo laminar.

La ecuación de Poiseuille nos indica que el gasto Q es directamente proporcional al “gradiente (aumento o disminución) de presión”, $(P_1 - P_2)/L$, y es inversamente proporcional a la viscosidad del fluido. Por otra parte es muy importante el tamaño del diámetro del tubo, ya que para el mismo gradiente de presión, si el radio del tubo se reduce por ejemplo a la mitad, el gasto decrece por un factor de 16. Entonces, el gasto, o alternativamente la presión requerida para mantener un gasto dado, es fuertemente afectado por sólo un cambio pequeño en el radio del tubo. Aplicando el criterio anterior al flujo sanguíneo, aunque sólo aproximadamente por la presencia de corpúsculos y turbulencia, podemos ver cómo la reducción del radio de

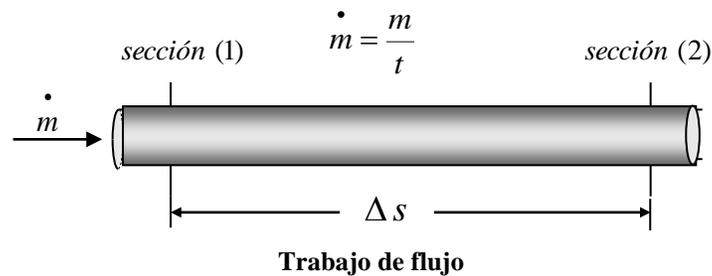
Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

una arteria por la formación de colesterol y arteriosclerosis requiere que el corazón trabaje mucho más para mantener el gasto apropiado.

2.6 Trabajo de flujo

El trabajo neto efectuado sobre el sistema por el movimiento del flujo que circula de la sección (1) a la sección (2) de la tubería que se muestra en la figura siguiente, sin tener en cuenta el trabajo externo, es:

$$W_{neto} = P_1 V_1 - P_2 V_2$$



En donde el término $P_1 V_1$ es el trabajo realizado sobre el fluido para hacerlo entrar a la tubería y $-P_2 V_2$ es el trabajo para hacer salir el fluido de la tubería. La diferencia entre estos dos términos es el trabajo neto agregado.

El trabajo expresado por PV se denomina trabajo de flujo y generalmente se le considera en forma independiente del trabajo W suministrado por elementos externos al sistema. Entonces la ecuación de energía para el proceso que pasa por los estados (1) y (2) es:

$$Q_1 + W_1 + E_1 = Q_2 + W_2 + E_2$$

que cuando se considera el trabajo de flujo para una tubería puede expresarse como:

$$Q_1 + W_1 + \underbrace{P_1 V_1}_{W_{f1}} + E_1 = Q_2 + W_2 + \underbrace{P_2 V_2}_{W_{f2}} + E_2$$

Recordemos que la convención de signos para calor y trabajo es la siguiente:

Q^+ es el calor suministrado

Q^- es el calor retirado

W^- es el trabajo suministrado

W^+ es el trabajo retirado o generado

2.7 Entalpía (*en, dentro; thálpein, calentar*)

Es una propiedad termodinámica que solo se define con relación a funciones puntuales o diferenciales exactas (no dependen de la trayectoria). La entalpía total del sistema H se define por:

$$H = PV + U$$

Este concepto se refiere a una propiedad extensiva, es decir, que depende de la masa del sistema, y nos relaciona al trabajo efectuado por el movimiento del flujo PV y a la energía interna U .

La unidad de entalpía corresponde a una unidad de energía, y en el sistema internacional de unidades es el Joule. En la entalpía, lo mismo que en la energía interna, sólo se pueden establecer diferencias y no valores absolutos. Esta propiedad no tiene sentido (vectorial) o interpretación física, y constituye meramente una agrupación de propiedades que se presentan frecuentemente en los análisis termodinámicos.

Mediante la aplicación del equivalente mecánico del calor J tenemos:

$$H = \frac{PV}{J} + U \quad (kcal, Btu)$$

Se puede también definir la entalpía específica o por unidad de masa por las ecuaciones:

$$h = \frac{H}{m} \quad \text{o} \quad h = \frac{Pv}{J} + u \quad \left(\frac{kcal}{kg_m}, \frac{Btu}{lb_m} \right)$$

La entalpía es una propiedad porque se define en términos de otras propiedades termodinámicas. Notemos que la entalpía tiene importancia y significado físico cuando se relaciona con sistemas abiertos; pero deja de tenerlo cuando se trata de sistemas cerrados puesto que en tal caso el producto PV no representa el trabajo de flujo, ya que éste no existe.

Es importante observar que cuando interviene el flujo que atraviesa una frontera, la entalpía representa energía, considerando dos clases diferentes: a) la energía interna y b) el trabajo de flujo o corriente de flujo. Un flujo o corriente ideal no deberá tener ninguna pérdida debida a las cortaduras o deslizamientos del fluido. Con la introducción de la entalpía, la ecuación general de balance energético para sistemas abiertos puede escribirse:

Si: $E = Ep + Ec + U$

$$Q_1 + W_1 + P_1 V_1 + Ep_1 + Ec_1 + U_1 = Q_2 + W_2 + P_2 V_2 + Ep_2 + Ec_2 + U_2$$

$$Q_1 + W_1 + H_1 + Ep_1 + Ec_1 = Q_2 + W_2 + H_2 + Ep_2 + Ec_2$$

Sabemos que para los procesos termodinámicos estudiados en el capítulo 3, el incremento de energía interna está dado por la ecuación:

$$\Delta U = m C_v (T_2 - T_1)$$

y de manera similar el incremento de la entalpía está dado por:

$$\Delta H = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{J} + \Delta U \quad \text{o} \quad \Delta H = \frac{m R (T_2 - T_1)}{J} + \Delta U$$

$$\Delta H = \frac{m R}{J} (T_2 - T_1) + m C_v (T_2 - T_1)$$

$$\Delta H = m (T_2 - T_1) \left(\frac{R}{J} + C_v \right)$$

si: $R = J(C_p - C_v) \Rightarrow C_p = \frac{R}{J} + C_v$

$$\therefore \Delta H = m C_p (T_2 - T_1)$$

Por lo tanto podemos decir que: **la entalpía de un gas es una función de su temperatura**

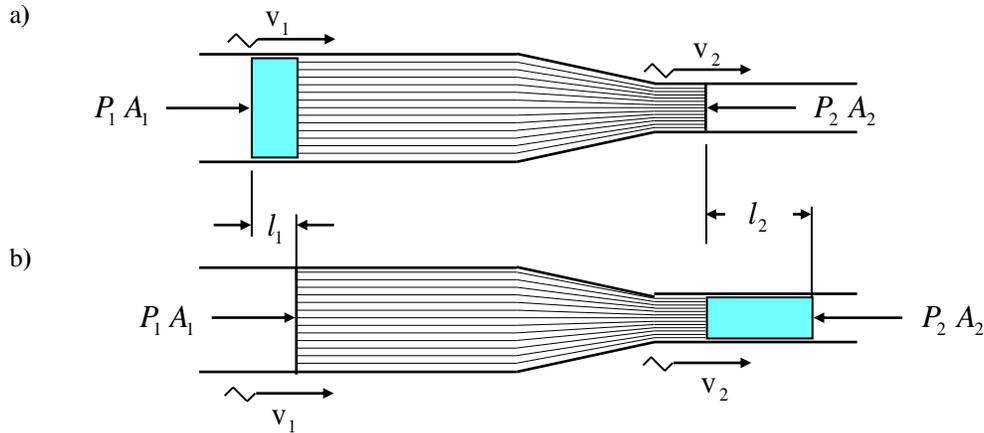
2.8 Principio de Bernoulli para flujo laminar en régimen permanente

Daniel Bernoulli (físico y matemático suizo 1700-1782) es uno de los fundadores de la hidrodinámica. Enunció el teorema que lleva su nombre sobre la conservación de la energía mecánica en una vena de un fluido perfecto.

La ecuación fundamental de la hidrodinámica es la correspondiente al **Teorema de Bernoulli**, que relaciona a la presión, a la velocidad y a la altura en los puntos situados a lo largo de una línea de corriente y que a continuación analizaremos.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

En los siguientes diagramas se representa el movimiento de un fluido incompresible desde la posición indicada en (a) a la indicada en (b):



Diagramas del movimiento de un fluido

En todos los puntos de la parte ancha del tubo la presión es P_1 y la velocidad es v_1 , y en todos los puntos de la parte estrecha la presión es P_2 y la velocidad es v_2 .

Cuando la parte izquierda del sistema (porción del fluido representada por el área sombreada con líneas oblicuas) avanza una distancia l_1 paralela a la fuerza exterior F_1 dada por el producto $P_1 A_1$, se deduce que el **trabajo** realizado sobre el sistema es:

$$W_1 = F_1 l_1 \quad \text{o también:} \quad W_1 = P_1 V_1$$

es decir: $W_1 = P_1 l_1 A_1$

La parte de la derecha avanza una distancia l_2 mientras actúa una fuerza exterior $F_2 = P_2 A_2$ en sentido opuesto, por tanto, el trabajo realizado por el sistema es:

$$W_2 = P_2 l_2 A_2$$

Para mover el sistema de la posición (a) a la (b) se tiene que realizar un trabajo por un agente exterior como puede ser una bomba acoplada a un motor eléctrico o de combustión interna, teniendo la expresión para el **trabajo exterior realizado sobre el sistema**:

$$W_1 - W_2 = P_1 l_1 A_1 - P_2 l_2 A_2 \quad \text{ecuación (1)}$$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Donde los volúmenes son constantes, es decir, $V_1 = l_1 A_1$ y $V_2 = l_2 A_2$ son iguales por tratarse de un fluido incompresible. Si m es la masa de cada porción de fluido y “ ρ ” su densidad, entonces de la ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Obtenemos el volumen de cada partícula de masa m e igual densidad por tratarse del mismo fluido:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad \text{ecuación (2)}$$

Sustituyendo la expresión de volumen (2) en la ecuación de trabajo exterior realizado sobre el sistema tenemos:

$$W = P_1 \left(\frac{m}{\rho} \right) - P_2 \left(\frac{m}{\rho} \right) = (P_1 - P_2) \left(\frac{m}{\rho} \right) \quad \text{ecuación (3)}$$

Puesto que la energía cinética de la porción sombreada con líneas horizontales no experimenta cambio alguno en el paso del sistema (a) al (b) se deduce que la variación de energía cinética de dicho sistema es sólo la variación de la energía cinética de las partes sombreadas con líneas oblicuas.

Recordemos que la variación de las energías mecánicas (cinética y potencial) están dadas por:

Variación de la energía cinética:

$$Ec_2 - Ec_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) \quad \text{ecuación (4)}$$

Variación de la energía potencial gravitatoria:

$$Ep_2 - Ep_1 = m g y_2 - m g y_1 = m g (y_2 - y_1) \quad \text{ecuación (5)}$$

En donde y_1 y y_2 son las alturas de las porciones sombreadas con líneas oblicuas por encima de un plano de referencia arbitrario.

Existe siempre alguna resistencia al movimiento de un fluido por un tubo. Si el tubo es de gran diámetro, de corta longitud, y el fluido tiene poca viscosidad fluyendo lentamente, la resistencia de rozamiento puede ser lo suficientemente pequeña para considerarla despreciable.

Si consideramos que se cumplen tales condiciones e igualamos el trabajo neto realizado sobre el sistema a la suma de los incrementos de energía cinética y potencial gravitatoria, se obtiene de las ecuaciones (3), (4) y (5):

$$(P_1 - P_2) \left(\frac{m}{\rho} \right) = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) + mg (y_2 - y_1)$$

dividiendo entre “ mg ”:

$$\begin{aligned} (P_1 - P_2) \frac{m}{\rho mg} &= \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) \frac{1}{mg} + mg (y_2 - y_1) \frac{1}{mg} \\ \frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} &= \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g} + (y_2 - y_1) \end{aligned}$$

sustituyendo la ecuación de peso específico $\gamma = \rho g$ tenemos:

$$\frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} = \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g} + (y_2 - y_1)$$

por último, agrupando y trasponiendo términos:

$$\boxed{\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + y_2}$$

ecuación (6)

y puesto que los subíndices 1 y 2 se refieren a dos puntos cualesquiera situados a lo largo del tubo, se puede escribir la ecuación (6) en forma general:

$$\boxed{\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + y = cte}$$

ecuación (7)

Cualquiera de las ecuaciones (6) o (7) pueden considerarse como la manera de representar algebraicamente el Teorema de Bernoulli, aplicable a un flujo de régimen estacionario sin pérdidas por rozamiento, en donde:

$\frac{P}{\gamma}$ se denomina “**carga de presión**”

$\frac{v^2}{2g}$ se denomina “**carga de velocidad**”

y se denomina “**carga de altura o de posición**”

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Cada uno de los términos de la ecuación anterior tiene unidades de trabajo o energía entre unidades de fuerza, es decir, en el SI, kilogrametros por kilogramo fuerza, o también simplemente unidades de longitud (metros).

Cada término tiene las dimensiones $[L]$ y en el sistema absoluto las cargas de presión y de velocidad se determinan de la siguiente forma:

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{\frac{\overline{kg}}{m^2}}{\frac{\overline{kg}}{m^3}} = \frac{\overline{kg} \times m}{\overline{kg}} = m$$

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{\frac{m^2}{s^2}}{\frac{m}{s^2}} = \frac{m^2 \times s^2}{m \times s^2} = m$$

Observación: Algunos autores de textos de mecánica de los fluidos, presentan a la ecuación de Bernoulli de la siguiente manera:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + g z = \text{constante} \quad (z = \text{altura})$$

La constante toma, en general, diferentes valores para cada línea de corriente. Esta es la ecuación de Bernoulli para flujo permanente de un fluido sin rozamiento e incompresible a lo largo de una línea de corriente.

Cada término tiene las dimensiones $(L^2 T^{-2})$ y las unidades en el SI nos indican energía mecánica por unidad de masa:

$$\frac{P}{\rho} = \frac{\frac{N}{m^2}}{\frac{kg_m}{m^3}} = \frac{N \times m^3}{kg_m \times m^2} = \frac{N \times m}{kg_m} = \frac{J}{kg_m} \quad \left(\frac{N \times m}{kg_m} = \frac{m^2}{s^2} \right)$$

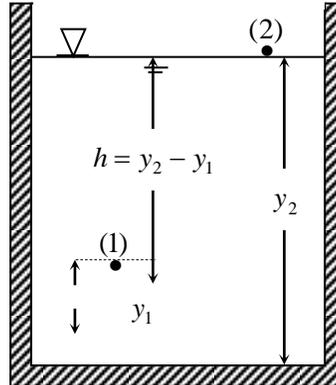
2.9 Aplicación de la ecuación de Bernoulli a la hidrostática

Las ecuaciones de la hidrostática son casos especiales del Teorema de Bernoulli, cuando la velocidad es nula en todos los puntos.

Por ejemplo, la variación de la presión con la profundidad de un fluido incompresible puede encontrarse aplicando el teorema de Bernoulli a los puntos (1) y (2) del líquido en equilibrio, es decir, no existe movimiento vertical ni horizontal de sus partículas, y por lo tanto su velocidad en cualquier punto es nula, en la siguiente figura observamos que:

$$v_1 = v_2 = 0$$

$$P_2 = P_{\text{atmosférica}}$$



Aplicación de la ecuación de Bernoulli a un fluido en reposo

La ecuación de Bernoulli puede escribirse como:

$$\frac{P_1}{\gamma} + y_1 = \frac{P_2}{\gamma} + y_2$$

$$P_1 = \left(\frac{P_{\text{atm}}}{\gamma} + y_2 - y_1 \right) \gamma$$

$$P_1 = P_{\text{atm}} + \gamma \underbrace{(y_2 - y_1)}_h$$

$$= P_2 + \gamma h$$

$$= P_2 + \rho g h$$

$$\therefore P_1 = P_2 + \rho g h$$

2.10 Aplicación de la ecuación de Bernoulli a la hidrodinámica

Para que un flujo sea estacionario requiere que no haya cambio ni en la masa ni en la energía total dentro del sistema, por lo que se establece que la energía que entra es igual a la energía que sale. En general podemos utilizar la siguiente expresión para representar a la energía total asociada con una corriente particular que cruza una frontera:

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$E = \underbrace{PV + U}_H + Ec + Ep = H + Ec + Ep$$

la ecuación de la energía para un flujo estacionario es entonces:

$$Q = W + \Delta H + \Delta Ec + \Delta Ep$$

$$Q = W + \underbrace{\Delta(PV) + \Delta U}_{\Delta H} + \Delta Ec + \Delta Ep$$

cuando se aplica a un sistema abierto de un fluido que circula por una tubería entre las fronteras o estados (1) y (2) se tiene que: $W = 0$

Un fluido incompresible en flujo sin fricción con $Q = 0$ y $W = 0$ no sufrirá cambio en su energía interna, y por lo tanto: $\Delta U = 0$

$$\Delta(PV) + \Delta Ec + \Delta Ep = 0$$

recordemos que $V = m v = m \frac{1}{\rho}$ entonces: $PV = P m \left(\frac{1}{\rho} \right) = \left(\frac{P}{\rho} \right) m$

sustituyendo: $\Delta \left(\frac{P}{\rho} \right) m + \Delta Ec + \Delta Ep = 0$

para los estados inicial y final (1) y (2) respectivamente:

$$\left(\frac{m P_1}{\rho} \right) + \frac{m v_1^2}{2} + m g y_1 = \left(\frac{m P_2}{\rho} \right) + \frac{m v_2^2}{2} + m g y_2$$

dividiendo entre mg :

$$\left(\frac{m P_1}{\rho} \right) \frac{1}{m g} + \frac{m v_1^2}{2 m g} + \frac{m g y_1}{m g} = \left(\frac{m P_2}{\rho} \right) \frac{1}{m g} + \frac{m v_2^2}{2 m g} + \frac{m g y_2}{m g}$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + y_2$$

sabemos que el peso específico se define como: $\gamma = \rho g$

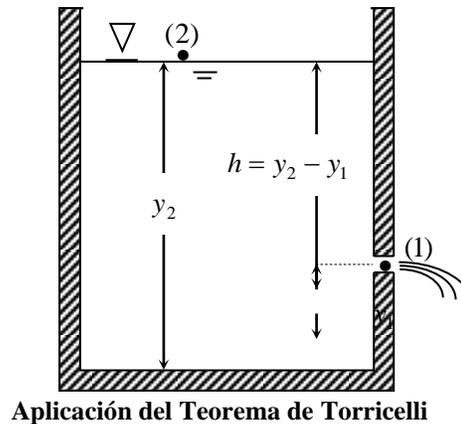
Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + y_2$$

$$\frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} + y_2 - y_1 = 0$$

2.11 Aplicación del teorema de Evangelista Torricelli

En la siguiente figura se representa un fluido que sale por un orificio practicado en un depósito a una profundidad h por debajo del espejo del líquido. Tomando un punto (1) en el orificio y un punto (2) en la superficie, la presión en ambos es la atmosférica P_{atm} ya que los dos están en contacto con la atmósfera. Si el orificio es pequeño, el nivel del líquido en el depósito descenderá lentamente y por lo tanto v_2 se considera nula. Observando la figura siguiente tenemos:



entonces:

$$\frac{P_{atm}}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_{atm}}{\gamma} + 0 + y_2$$

despejando a v_1 :

$$v_1^2 = \left[\frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_{atm}}{\gamma} + (y_2 - y_1) \right] 2g$$

$$v_1^2 = 2g(y_2 - y_1) = 2g(h)$$

$$v_1 = \sqrt{2gh}$$

La expresión anterior define al teorema de Torricelli y puede observarse que la velocidad de salida es la misma que adquiriría un cuerpo que cayese libremente partiendo del reposo desde una altura h . Esta velocidad teórica es independiente del peso específico del fluido. El volumen de fluido que sale por el orificio entonces es:

$$Q_1 = A_1 v_1$$

$$Q_1 = A_1 \sqrt{2gh}$$

2.11.1 Verificación de la expresión de Torricelli mediante las ecuaciones de caída libre

1) De las ecuaciones de caída libre:

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

$$v = g t \quad \text{elevando al cuadrado} \quad v^2 = g^2 t^2$$

2) Dividiendo entre $2g$ la ecuación: $v^2 = g^2 t^2$

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{g^2 t^2}{2g}$$

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{g t^2}{2} \quad \text{el segundo miembro es igual a:} \quad \frac{g t^2}{2} = h$$

3) Entonces obtenemos:

$$\frac{v^2}{2g} = h$$

$$v^2 = 2gh \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{2gh}$$

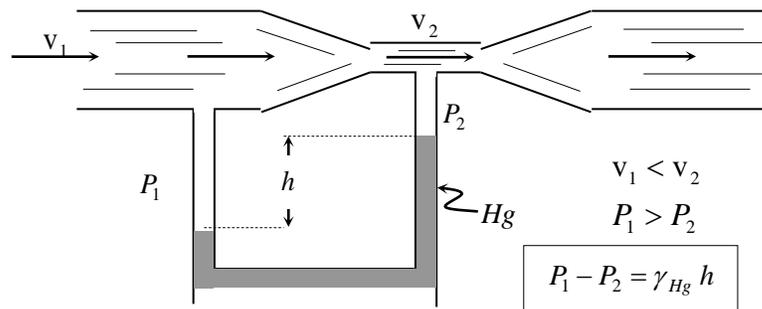
2.12 Venturímetro o tubo de venturi

El medidor de venturi (venturímetro o tubo de venturi) es usado para medir flujos o caudales que circulan por una tubería. Por lo general es una pieza fundida y consta principalmente de una parte cilíndrica del mismo diámetro de la tubería a la cual se acopla, esta parte tiene 2 o más orificios sobre un anillo de bronce, estos pequeños orificios se denominan orificios piezométricos y se utilizan para medir la presión estática del fluido en movimiento (presión en un fluido cuando no está perturbado). Después sigue una sección cónica convergente que termina en una garganta cilíndrica con anillo de bronce y orificios piezométricos, y finalmente, una sección cónica gradualmente divergente que termina con el mismo diámetro que la tubería,

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

esta forma evita la producción de remolinos internos y asegura que se mantenga un régimen estacionario. Un manómetro diferencial está conectado a los dos anillos piezométricos. El tamaño del medidor venturí se da con el diámetro de la tubería y la garganta. Para obtener resultados adecuados el medidor venturí debe ser precedido al menos por una longitud de 10 diámetros de tubería recta. En el flujo de la tubería a la garganta la velocidad aumenta mucho y la presión disminuye en forma correspondiente. Se demuestra que la magnitud de la descarga para flujo incompresible es función de la lectura del manómetro.

Las presiones en la sección corriente arriba y en la garganta son presiones reales, y las velocidades de la ecuación de Bernoulli son velocidades teóricas. Si se consideran pérdidas en la ecuación de energía entonces las velocidades serán reales.



Tubo de venturí

A partir de la ecuación de Bernoulli (sin el término de carga de altura, por estar en posición horizontal el venturímetro) es posible obtener la velocidad teórica en la garganta. Al multiplicar ésta por el coeficiente de velocidad C_v se tendrá la velocidad real, que multiplicada por el área de la garganta determina la descarga real.

De la ecuación de continuidad: $v_1 A_1 = v_2 A_2 \Rightarrow v_1 = \frac{v_2 A_2}{A_1}$

siendo: $A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4}$ y $A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4}$ en donde $D =$ diámetro de la sección

de la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + y_2$$

como el venturímetro se encuentra en posición horizontal: $y_1 = y_2$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad \text{o} \quad \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}$$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

v_1 y v_2 son las velocidades promedio en las secciones (1) y (2) respectivamente, y de la ecuación de continuidad observamos que si elevamos al cuadrado v_1 :

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$v_1^2 = v_2^2 \frac{A_2^2}{A_1^2} = v_2^2 \frac{\frac{\pi^2 D_2^4}{16}}{\frac{\pi^2 D_1^4}{16}} = v_2^2 \frac{D_2^4}{D_1^4} = v_2^2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4$$

sustituyendo en la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4$$

factorizando:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \right]$$

de esta ecuación se conocen los diámetros y la diferencia de presiones $P_1 - P_2$, despejando a v_2 :

$$v_2^2 = \frac{(P_1 - P_2) 2g}{\gamma \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \right]}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \right]}}$$

En algunas ocasiones se desprecian las pérdidas por fricción y en otras se considera que la velocidad teórica v_2 se multiplica por un coeficiente de velocidad " C_v ", según sea el material y las características de rugosidad del venturímetro.

El factor C_v oscila entre 0.95 a poco más de la unidad, pudiendo tomar como valor indicativo 0.955 para los venturís nuevos y 0.98 para los que han estado en servicio.

Así multiplicando v_2 por A_2 y por C_v , se obtendrá la fórmula definitiva que permite calcular el gasto que circula por una tubería.

$$Q = C_v A_2 \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \right]}}$$

Aplicando el teorema de Bernoulli a la parte ancha (1) y al estrechamiento del tubo (2) se tiene en función de la densidad ρ :

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + y_2$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + y_2$$

como el tubo de venturi se encuentra en posición horizontal $y_1 = y_2$, los términos y_1 y y_2 se eliminan; y multiplicando por ρg toda la expresión:

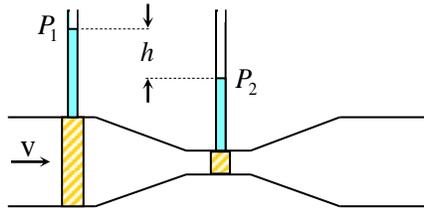
$$\frac{P_1 \rho g}{\rho g} + \frac{v_1^2 \rho g}{2g} = \frac{P_2 \rho g}{\rho g} + \frac{v_2^2 \rho g}{2g}$$

$$P_1 + \frac{v_1^2 \rho}{2} = P_2 + \frac{v_2^2 \rho}{2}$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

puesto que v_2 es mayor que v_1 , se infiere que P_2 es menor que P_1 , esto es, la presión en el estrechamiento es menor que en el resto del tubo.

La diferencia de presiones puede medirse disponiendo lateralmente tubos verticales (piezométricos) como se indica en la siguiente figura.



Si h es la diferencia de alturas entre las columnas del líquido de los tubos:

$$P_1 - P_2 = \gamma h$$

Diferencia de presiones

O bien como se indica en la figura del venturímetro por medio de un manómetro diferencial con mercurio (ver tema 1.5.6.1).

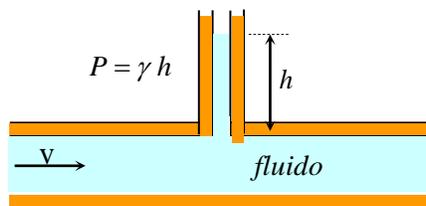
$$P_1 - P_2 = \gamma_{Hg} h$$

La disminución de la presión en un estrechamiento encuentra muchas aplicaciones técnicas. Por ejemplo podemos considerar el vapor de gasolina que penetra a la tubería de aspiración de un motor de combustión interna por la baja presión producida en el tubo de venturi al cual está conectado el carburador.

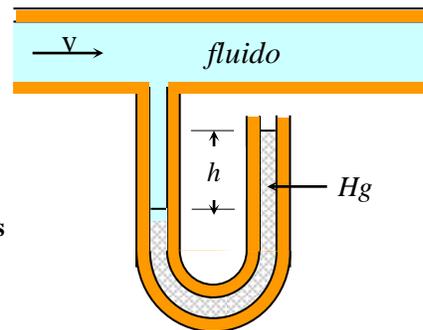
2.13 Piezómetro

El valor de la presión estática en un fluido en movimiento, es la presión en este cuando el fluido no está perturbado (no fluye de manera turbulenta) y para medirla se usa un dispositivo llamado “piezómetro abierto”, que se coloca en la tubería en forma perpendicular y libre de todo tipo de bordes, pudiendo haber dos clases.

El piezómetro de la siguiente figura (b) puede medir con más facilidad presiones mayores que el (a); pues la altura del fluido en el primero es muy grande para presiones mayores que la atmosférica.



(a)



(b)

Piezómetros

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

Para realizar la práctica se emplean los siguientes equipos y materiales:

1. 1 Venturímetro y su sistema de acoplamiento
2. 1 Válvula de gasto regulable
3. 1 Cronómetro
4. 1 Probeta de litro (1 dm^3)
5. 1 Manómetro diferencial y mercurio
6. 1 Kit de mangueras y conectores
7. 1 Banco hidráulico de pruebas

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

La práctica consiste en impulsar mediante un sistema de bombeo el volumen de 1 litro de agua (1 dm^3) midiendo el tiempo en que circula tal volumen. Simultáneamente se hace pasar el caudal por un venturímetro al que se le coloca un manómetro diferencial para medir la diferencia de presiones entre la parte ancha y la garganta del venturímetro.

La finalidad de la práctica consiste en determinar el gasto hidráulico real y compararlo con el gasto o flujo teórico que deberá calcularse con base en los datos de: diferencia de presiones, áreas de las secciones del venturímetro y el coeficiente de velocidad.

4.1 Procedimiento del experimento

Mediante el empleo de una bomba se impulsa agua a través de una tubería acoplada a un venturímetro provisto de un manómetro diferencial, se regula el gasto de manera que el flujo no tenga variaciones de presión y velocidad grandes y sea fácil de cuantificar. Se mide en varias ocasiones el tiempo en que el flujo llena una probeta de 1 litro, obteniendo con un cronómetro el tiempo t en segundos, a la vez, se mide el desplazamiento de las columnas de mercurio del manómetro diferencial anotando dicha desviación en mm de mercurio.

Lo anterior se logra prácticamente registrando la diferencia de presión en el venturímetro mediante los siguientes pasos:

1. Se abre cuidadosamente la llave del agua y se espera a que el flujo se normalice (impidiendo el paso de burbujas de aire).
2. Se inicia el llenado de la probeta registrando con un cronómetro el tiempo requerido para obtener el volumen deseado.
3. Mientras se está llenando dicha probeta registramos los cambios de nivel en el mercurio del manómetro diferencial acoplado al venturímetro, y obtenemos la diferencia de la lectura del mercurio y la registramos.



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

- Se compara el resultado del gasto hidráulico práctico obtenido en el laboratorio, con el gasto teórico obtenido mediante la ecuación de continuidad.
- Se repite el procedimiento en diversas ocasiones siguiendo los pasos 1 al 4, obteniendo diversos gastos hidráulicos.

4.2 Utilización del banco hidráulico

Es un equipo que se encuentra integrado por un depósito de agua y dispositivos (válvulas, tuberías, tubos de venturi y piezómetros) que nos permiten en forma integral obtener mediante el movimiento y circulación del fluido el gasto hidráulico real y aplicar las fórmulas de continuidad y de Bernoulli para analizar el gasto teórico, comparando la aplicación del método experimental con los valores calculados.

4.3 Descripción del empleo de un venturímetro para medición de flujo (obtención de datos)

4.3.1 Para calcular el gasto práctico (en forma directa) se tiene que:

Los guiones (___) son indicativos para que el alumno llene los espacios con los valores obtenidos al efectuar el experimento en el laboratorio.

$$V_{medido} = \text{_____} \text{ dm}^3$$

$$t_{medido} = \text{_____} \text{ s}$$

$$Q_{real} = \frac{V_{medido}}{t_{medido}} = \frac{\text{_____} \text{ dm}^3}{\text{_____} \text{ s}} = \text{_____} \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$$

Llenar Tabla 1 de resultados

4.3.2 Para calcular el gasto teórico mediante el uso del venturímetro y de la expresión $Q = C_v A_2 v_2$ se siguen los pasos que se indican a continuación:

- Obtener los diámetros de las secciones transversales de la boquilla y de la garganta del venturímetro:

$$D_1 = \text{_____} \text{ cm} ; \quad D_2 = \text{_____} \text{ cm}$$

Con objeto de tener mayor claridad en el desarrollo del experimento para calcular el flujo hidráulico Q , se pueden obtener adicionalmente las áreas de las secciones transversales de la boquilla y de la garganta del venturímetro, aunque en la expresión de gasto sólo se requiere el área de la garganta A_2 .

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{3.1426 \left(\frac{\quad}{\quad} \text{ cm} \right)^2}{4} = \quad \text{ cm}^2 = \quad \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} = \frac{3.1426 \left(\frac{\quad}{\quad} \text{ cm} \right)^2}{4} = \quad \text{ cm}^2 = \quad \text{ m}^2$$

b) Obtener la diferencia de presiones que señala el mercurio del manómetro diferencial acoplado al venturímetro (tomar lectura a partir del reposo y hasta estabilizar el flujo o fluido en movimiento):

$$P_1 - P_2 = \quad \text{ mm Hg} = \quad \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{m}^2}$$

Llenar Tabla 2 de resultados

c) A partir del valor de la diferencia de presiones $P_1 - P_2$ medida en el manómetro acoplado al venturímetro y con los diámetros de las dos secciones transversales obtenemos:

La velocidad v_2 en la garganta del venturímetro:
$$v_2 = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \right]}}$$

para el nivel del mar: $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ y $\gamma = 1,000 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{m}^3}$

para la Ciudad de México: $g = 9.78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ y $\gamma = 997 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{m}^3}$

sustituyendo en la ecuación de velocidad los valores del experimento obtenidos en la Ciudad de México:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \left(9.78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \left(\frac{\quad}{\quad} \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{m}^2} \right)}{997 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{m}^3} \left[1 - \left(\frac{\quad}{\quad} \frac{\text{cm}}{\text{cm}} \right)^4 \right]}} = \sqrt{\frac{\frac{\quad}{\quad} \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{m} \times \text{s}^2}}{997 \left(1 - \frac{\quad}{\quad} \right) \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{m}^3}}}$$

$$= \sqrt{\frac{\frac{\quad}{\quad} \frac{\overline{\text{kg}} \times \text{m}^3}{\text{kg} \times \text{m} \times \text{s}^2}}{\quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}} = \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

d) Hallar el gasto hidráulico teórico mediante la expresión: $Q = C_v A_2 v_2$

En donde como ya indicamos (ver tema 4.9.2) el coeficiente de velocidad C_v (adimensional) tomará el valor de 1.0 para los venturímetros existentes en el laboratorio; C_v oscila entre 0.955 y poco más de 1.0; A_2 es el área de la garganta del venturímetro en donde la velocidad v_2 es mayor.

El valor teórico del gasto hidráulico será entonces:

$$Q_T = C_v A_2 v_2 = (1) \left(\text{_____ m}^2 \right) \left(\text{_____ } \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = \text{_____ } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \text{_____ } \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$$

Llenar Tabla 3 de resultados

5. RESULTADOS

Tabla 1 de resultados obtenidos directamente del experimento para calcular el gasto práctico

| Experimento | V [dm ³] | t [s] | Q _{real} [dm ³ /s] |
|-------------|--------------------------|------------|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |

Tabla 2: análisis de presiones obtenidas directamente en el manómetro diferencial del venturímetro

| Experimento | P ₁ [mm Hg] | P ₂ [mm Hg] | P ₁ - P ₂ [mm Hg] | P ₁ - P ₂ [kg / m ²] |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------|--|--|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Tabla 3: variables que intervienen en el cálculo del gasto teórico Q_t

| Experimento | C _v [adimensional] | A ₂ [m ²] | v ₂ [m/s] | Q _{teórico} [m ³ /s] | Q _{teórico} [dm ³ /s] |
|-------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|---|--|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |

Nota: El alumno deberá comprobar que los valores de los volúmenes práctico y teórico sean semejantes, en caso de no serlo, mencionar las posibles razones de la diferencia en los resultados.

Aplicaciones en la Ingeniería

En las obras y construcciones de ingeniería requerimos mover fluidos tales como el agua, petróleo, gas natural, etc., bien sea para el suministro y consumo de agua potable en las grandes ciudades y posteriormente su desalojo una vez que han sido utilizadas (aguas servidas); para su uso como combustible en los hogares, y para la generación de energía (plantas hidroeléctricas y termoeléctricas).

En la práctica debemos mover grandes volúmenes de líquidos e impulsarlos mediante bombas, midiendo el tiempo en que circulan para obtener el gasto hidráulico; por tal razón en el laboratorio analizamos los experimentos y modelos o ecuaciones matemáticas haciendo pasar el caudal por un dispositivo llamado venturímetro, al que se le coloca un manómetro diferencial para obtener la diferencia de presiones entre la parte ancha y la estrecha. Al obtener con estos datos el gasto hidráulico real deberá compararse con el gasto o flujo teórico calculado que considera datos como la diferencia de presiones, las áreas de las secciones del venturímetro y el coeficiente de velocidad (por rugosidad en las paredes del venturímetro).

En las instalaciones de ingeniería se usan actualmente dispositivos de alta precisión que relacionan los valores teóricos calculados con las mediciones prácticas.

Cuestionario

1) Defina el concepto de gasto, flujo o caudal hidráulico y su clasificación.

R: El gasto hidráulico se define como el volumen de fluido que pasa a través de la sección transversal de una tubería en la unidad de tiempo. La clasificación más importante de los fluidos es la siguiente: flujo laminar o estacionario, flujo turbulento, flujo permanente y no permanente, así como flujo uniforme y no uniforme.

2) Defina el concepto de flujo laminar o estacionario.

R: Es el movimiento de un fluido en el que toda partícula del mismo sigue la misma trayectoria al pasar por un punto, que la seguida por las partículas anteriores. Las partículas del fluido se mueven a lo largo de trayectorias uniformes en capas o láminas, deslizándose suavemente una capa sobre la adyacente. En el flujo uniforme, la velocidad del fluido en movimiento en cualquier punto no cambia con el tiempo. En el flujo laminar se cumple la ley de Newton de la viscosidad, que relaciona a la tensión de cortadura τ con la

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

velocidad angular de deformación por medio de una propiedad física del fluido llamada viscosidad. En el flujo laminar la acción de la viscosidad frena la tendencia a la turbulencia. El flujo laminar no es estable cuando es pequeña la viscosidad, o grande la velocidad o el caudal y se rompe transformándose en turbulento.

3) Describa con sus palabras el principio que indica que cuando fluye un líquido por una tubería en posición horizontal, al reducir su diámetro se incrementa su velocidad y disminuye su presión.

R: Desde el punto de vista de la ecuación de Bernoulli, cuando se tiene una tubería en posición horizontal se tienen energía potencial constante y se puede eliminar la diferencia de carga de altura, quedando la ecuación solo con las cargas de presión y velocidad:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + y_2$$

como: $y_1 = y_2 \Rightarrow y_2 - y_1 = 0$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

y observamos que en el segundo miembro para que la suma de las cargas de presión se mantenga constante, si disminuye la presión aumenta la velocidad y viceversa.

Desde el punto de vista práctico, observamos que cuando un fluido al circular dentro de una tubería incrementa su velocidad, se debe a que elimina obstáculos y por lo tanto disminuye la presión a la que se encuentra confinado. La velocidad del fluido aumenta cuando éste fluye a través de una constricción o reducción de la tubería, logrando el aumento de velocidad cuando se tiene una fuerza que provoque la aceleración.

Para acelerar el líquido cuando entra por la reducción de la tubería, la fuerza de empuje de la sección transversal debe ser mayor que la fuerza de resistencia de la constricción. Un ejemplo para demostrar lo anterior, consiste en soplar aire con nuestra boca, disminuyendo el área que forman los labios para crear un orificio que debe dejar escapar aire a través de un espacio estrecho, esta acción crea un área de baja presión y permite el incremento de la velocidad: Recordemos que al aumentar la velocidad del aire en condiciones atmosféricas, se disminuye su temperatura.

4) Describa un venturímetro o tubo de venturi e indique su aplicación práctica.

R: Por lo general es una pieza fundida y consta principalmente de una parte cilíndrica del mismo diámetro de la tubería a la cual se acopla, esta parte tiene 2 o más orificios sobre un anillo de bronce, estos pequeños orificios se denominan orificios piezométricos y se utilizan para medir la presión estática del fluido. Después sigue una sección cónica convergente que termina en una garganta cilíndrica con anillo de bronce y orificios piezométricos, y finalmente, una sección cónica gradualmente divergente que termina con el mismo diámetro que la tubería, esta forma evita la producción de remolinos internos y asegura que se mantenga un régimen estacionario. Un manómetro diferencial está conectado a los dos anillos piezométricos. El tamaño del medidor venturi se da con el diámetro de la tubería y la garganta.

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

A partir de la determinación de la diferencia de presiones, es posible calcular la velocidad del agua en un tubo horizontal con un venturímetro.

5) Indique la forma en que en el laboratorio podemos obtener presión constante para disponer de flujo laminar.

R: Para obtener resultados adecuados el medidor venturi debe ser precedido al menos por una longitud de 10 diámetros de tubería recta con objeto de eliminar cualquier tipo de turbulencia, para lo cual se tiene en el laboratorio un tanque elevado de presión constante, es decir, se cuenta con un tanque elevado que tiene en su parte superior un orificio vertedor de excesos de flujo (agua) y por lo mismo siempre tendrá la misma altura o presión hidrostática. Debemos verificar que las mangueras de unión no tengan dobleces ni irregularidades a lo largo de la línea de suministro del fluido para que no se produzcan turbulencias en el flujo.

6) ¿Cuál es la razón que permite el movimiento de un fluido dentro de una tubería?

R: Como un fluido tienen masa, debe obedecer a las mismas leyes de conservación de la energía mecánica establecidas para los sólidos que dice: En ausencia de resistencia del aire u otras fuerzas disipativas, la suma de las energías potencial y cinética es una constante, siempre que ninguna energía sea añadida al sistema.

En consecuencia, el trabajo necesario para mover cierto volumen de fluido a través de un tubo debe ser igual al cambio total en energía cinética y potencial.

En dos secciones de una tubería (1) y (2) el trabajo neto debe ser la suma del trabajo realizado por la fuerza de entrada F_1 y el trabajo negativo efectuado por la fuerza de resistencia F_2 .

$$\text{Trabajo neto} = F_1 l_1 - F_2 l_2$$

7) Describa el principio de conservación de la energía en un flujo permanente de un fluido en un tubo de corriente.

R: La ecuación de la energía mecánica deducida de la integración de la ecuación del movimiento a lo largo de una línea de corriente nos permite analizar el aspecto termodinámico del flujo de un fluido. En la porción de tubo de corriente entre dos secciones (1) y (2) en la unidad de tiempo, la energía que entra, más el trabajo realizado por el fluido a la entrada, más el calor que pasa a través de los límites, más la energía mecánica añadida, debe ser igual a la energía que sale por la sección (2) más el trabajo realizado a la salida esta sección. La energía que entra en la sección (1) es potencial, cinética e interna. La energía potencial por unidad de peso es y_1 , contada a partir de su origen arbitrario; la energía cinética por unidad de peso es $v_1^2/2g$; y la energía interna U_1 es debida a la energía cinética de las moléculas y a las fuerzas moleculares entre ellas.

En los sistemas de flujo constante o estacionarios, no hay variación de la energía, ni de la masa almacenada ($m = cte$) de ahí que la ley de conservación de la energía se reduce a:

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04
energía que entra al sistema = energía que sale del sistema

Las formas de energía que atraviesan el sistema son:

1. Calor generado Q
2. Trabajo efectuado W
3. Trabajo del flujo $W_f = PV$
4. Energía potencial E_p
5. Energía cinética E_c
6. Energía interna U

Para el estado inicial (1) entran en el sistema Ep_1 , Ec_1 y U_1 como energía almacenada en el fluido, $W_{f_1} = P_1 V_1$ es el trabajo del flujo o corriente que entra en el sistema debido al trabajo hecho en la frontera (1) con una presión P_1 para obligar al fluido a entrar en el sistema. En forma similar, el trabajo del flujo o corriente en la salida $W_{f_2} = P_2 V_2$ es el necesario para obligar al fluido a salir con la presión P_2 al exterior del sistema. Como Q indica el calor que entra y W el trabajo que sale (o se produce) el Q neto será positivo cuando se añade calor y negativo cuando se rechace calor; el W neto es positivo cuando el sistema efectúa el trabajo (energía que sale) y negativo cuando se efectúa un trabajo sobre el sistema. Por tanto, la ecuación de la energía se expresa por energía que entra igual a la energía que sale. Entonces la ecuación de la energía del flujo estacionario es:

$$Q_1 + W_1 + W_{f_1} + E_1 = Q_2 + W_2 + W_{f_2} + E_2$$

del concepto de entalpía: $H = PV + U$

$$Q + H_1 + Ep_1 + Ec_1 = W + H_2 + Ep_2 + Ec_2$$

$$Q = W + (H_2 - H_1) + (Ep_2 - Ep_1) + (Ec_2 - Ec_1)$$

$$Q = W + \Delta H + \Delta Ep + \Delta Ec$$

donde todos los términos deberán estar en las mismas unidades, y cada uno queda definido de la siguiente manera:

$$Q = Q_1 - Q_2 \quad \text{Calor neto en kcal o Btu}$$

$$\frac{W}{J} = \frac{W_2 - W_1}{J} \quad \text{Trabajo neto en kcal o Btu}$$

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$H = PV + U$$

Entalpía en kcal o Btu

$$E_p = w y = m g y = \frac{m g y}{J g_c}$$

Energía potencial en kcal o Btu

$$E_c = \frac{m v^2}{2} = \frac{m v^2}{2 J g_c}$$

Energía cinética en kcal o Btu

sustituyendo las expresiones anteriores tenemos la ecuación de la energía dimensionalmente correcta:

$$Q = \frac{W}{J} + \Delta H + \frac{m g (y_2 - y_1)}{J g_c} + \frac{m (v_2^2 - v_1^2)}{2 J g_c}$$

La expresión anterior es la ecuación de energía que satisface a la **primera ley de la termodinámica** para sistemas abiertos.

8) Indique usted cuál es el la dotación hidráulica o consumo diario por persona que se tiene asignada para la población de la zona metropolitana del Valle de México.

9) Analice e indique las presiones hidráulicas más importantes que se presentan en las tuberías de su casa o domicilio relacionándolas con la altura de su tinaco (o en su caso de un tanque elevado) explicando la forma de su obtención.

10) ¿Qué cantidad de agua de su dotación diaria considera que se desperdicia y qué porcentaje aproximadamente se tira al drenaje?

6. CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones del profesor

Esta práctica es importante para conocer las principales aplicaciones de la Física en el área de la Hidráulica, la cual se conocerá más ampliamente en semestres posteriores (5° al 9°), y para nuestro curso de Física General, es interesante observar lo que sucede con un fluido en circulación (agua) dentro de una tubería, sin importar (en nuestro estudio) el material con el cual esta construida la misma; ya que pretendemos conocer las presiones, velocidades, diámetros y longitudes de circulación, para medir el gasto mediante un venturímetro, comentando los factores que lo diferencian de una tubería real, aplicando el mismo principio de Bernoulli.



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

Los resultados obtenidos del gasto hidráulico en forma práctica difieren aproximadamente entre el 10% y el 15% de los calculados mediante las expresiones de la ecuación de continuidad y del teorema de Bernoulli, ya que:

- 1) Al efectuar el experimento utilizando el sistema de mangueras y venturímetro conectados a la red hidráulica del laboratorio existen diversos problemas tanto por el suministro de flujo (no es laminar) por no tener carga de presión constante y por la instalación de mangueras y válvulas, en lugar de contar con la tubería fija que se requiere para evitar problemas con el flujo turbulento.
- 2) El banco hidráulico no tiene el mantenimiento adecuado y los resultados que se obtienen carecen de exactitud.

6.2 Conclusiones del alumno

El alumno deberá indicar en este punto sus experiencias y conclusiones, así como las aplicaciones más importantes del concepto de gasto hidráulico en obras de ingeniería.



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

7. FUENTES DE CONSULTA

El alumno, en su reporte deberá incluir una introducción teórica en referencia al objetivo de la práctica, debe anotar la bibliografía consultada señalando Autor, Título, Editorial y Edición de los libros consultados. En caso de obtener información de Internet, debe indicar el sitio consultado.

Abbott, Michael M.; Van Ness, Hendrick. *Termodinámica*, México, McGraw-Hill, Serie Schaum, 1986.

Cutnell, John D.; Johnson, Kenneth W. *Física*, México, Limusa Wiley, segunda edición, 2004.

Faires, Virgil Moring; Simmang, Clifford Max. *Termodinámica*, México, Limusa, 2004.

Giancoli Douglas C. *Física para universitarios*, volumen I, México, Prentice Hall, tercera edición, 2002.

Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. *Fundamentos de Física*, volúmenes 1 y 2, México, CECSA (Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.), sexta edición en inglés, tercera en español, 2001.

Holman, Jack. P. *Termodinámica*, México, McGraw-Hill, segunda edición, 1975.

Kadambi, V.; Prasad, Manohar. *Conversión de Energía, Termodinámica Básica*, volumen 1, México, Limusa, primera edición, 1983.

Lea, Susan M.; Burke, John Robert. *Física. La naturaleza de las cosas*, volúmenes I y II, International Thomson Editores, 1999.

Resnick, Robert; Halliday, David; Krane, Kenneth S. *Física*, volumen I, Editorial CECSA, quinta edición en español, 2000.

Reynolds, William C.; Perkins, Henry C. *Ingeniería Termodinámica*, México, McGraw-Hill, 1983.

Riley, William F.; Sturges, Leroy D.; Morris, Don H. *Mecánica de materiales*, Limusa Wiley, primera edición, 2001.

Schaum, B.S. Daniel; Van Der Merwe, Carel W. *Física general*, México, McGraw-Hill, Serie Schaum, novena edición, 2001.

Serway, Raymond A. *Física*, tomos I y II, México, McGraw-Hill, quinta edición, 2000.

Streeter, Victor L.; Wylie E., Benjamín; Bedford, Keith W. *Mecánica de fluidos*, México, McGraw-Hill, novena edición, 2000.

Tippens, Paul E. *Física. Conceptos y aplicaciones*, México, McGraw-Hill, sexta edición, 2001.

Van Wylen, Gordon J.; Sonntag, Richard E.; Borgnakke, Claus. *Fundamentos de termodinámica*, México, Limusa Wiley, segunda edición, 2003.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

**TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA**

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

HISTORIAL DE CAMBIOS

| Revisión | Sección | Descripción de la modificación | Fecha de la modificación |
|----------|---|---|--------------------------|
| 0 | Todas | Nuevo | 2013.10.24 |
| 1 | Portada | Actualización de Responsable de Gestión de la Calidad | 2016.08.19 |
| 2 | Portada | Actualización de Representante de la Dirección. | 2017.08.18 |
| 3 | Práctica 1. Sección 2 Antecedentes Teóricos. | Se acomodó la información de antecedentes teóricos que estaba fuera de este apartado, ya que se encontraba por error antes del apartado 1 Objetivo. | 2020.01.07 |
| 4 | Formato | Por ampliación de alcance se renombra FESA PIC I07 por FESA PAL IIC FI. | 2022.08.22 |

HISTORIAL DE REVISIONES

| Fecha de revisión | Responsable de realizar la revisión | Próxima fecha de revisión |
|-------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 2015.01.12 | Ing. Omar Ulises Morales Dávila | 2016.01.12 |
| 2016.01.12 | Ing. Omar Ulises Morales Dávila | 2017.01.12 |
| 2016.08.19 | Ing. Omar Ulises Morales Dávila | 2017.08.19 |
| 2017.08.18 | Ing. Omar Ulises Morales Dávila | 2018.08.18 |
| 2018.08.20 | Ing. Omar Ulises Morales Dávila | 2019.08.20 |
| 2019.08.02 | Ing. Omar Ulises Morales Dávila | 2020.08.02 |
| 2020.08.03 | Ing. Omar Ulises Morales Dávila | 2021.08.03 |
| 2021.07.30 | Ing. Omar Ulises Morales Dávila | 2022.08.02 |
| 2022.04.01 | Ing. Omar Ulises Morales Dávila | 2023.04.04 |
| 2023.04.11 | Ing. Omar Ulises Morales Dávila | 2024.04.11 |

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE FÍSICA

Código: FESA PAL IIC FI Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

| | | |
|------------|------------------------------------|------------|
| 2024.02.16 | Ing. Omar Ulises Morales Dávila | 2025.02.10 |
|------------|------------------------------------|------------|