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** | *Mtro. Alan Kistoffer Benitez Angeles* |
| | **COORDINADOR DEL PROGRAMA** | *Ing. Ricardo García Valdivia* |
| **REVISIÓN DE GC:** | **RESPONSABLE DE GESTIÓN DE LA CALIDAD** | *Esp. Fanny Maricela Bernal Herrera* |
| **AUTORIZÓ:** | **REPRESENTANTE DE LA DIRECCIÓN / COORDINADORA DE SERVICIOS ACADÉMICOS** | *Lic. Sara Luz Alvarado Aranda* |

Fecha de Emisión: 2025.02.05

**CONTENIDO**


| Número de sesión práctica | Nombre | Página |
|---|---|---|
| 1 | Gravedad Terrestre Local | 3 |
| 2 | Densidad de muestras liquidas y solidas | 33 |
| 3 | Manometría | 51 |
| 4 | Principio de la hidrostática y Principio de Arquímedes (empuje) | 95 |
| 5 | Ley de Hooke y elasticidad | 111 |
| 6 | Humedad relativa del aire | 124 |
| 7 | Prueba a tensión de un espécimen o barra metálica | 145 |
| 8 | Equivalente mecánico del calor “J“ | 171 |
| 9 | Viscosidades de un fluido | 185 |
| 10 | Medición de flujo | 207 |


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.1**
**GRAVEDAD TERRESTRE LOCAL**

**Determinar la constante de la aceleración de la gravedad terrestre local "g ", aplicando las leyes del péndulo**

# 1 OBJETIVOS

## 1.1 Objetivo general

Determinar el valor de la constante de la aceleración de la gravedad terrestre local "g" en Sta. Cruz Acatlán, Naucalpan, Estado de México, mediante un dispositivo pendular. *El objetivo de la sesión práctica.*

## 1.2 Objetivos específicos

**1.2.1 Analizar las características del Movimiento Armónico Simple (Mas)**
**1.2.2 Analizar las cuatro leyes del péndulo simple.**
**1.2.3 Mediante un péndulo compuesto, hallar el valor de la aceleración de la gravedad terrestre local**

# 2 ANTECEDENTES TEÓRICOS

## 2.1 Introducción

**Caída de los cuerpos.** Para verificar las leyes de la Física es necesaria la experimentación. El estudio de la caída de los cuerpos lo realizaremos siguiendo el método de ensayo y error mediante la observación y la comprobación en el laboratorio de las leyes del péndulo (método científico). Hace algún tiempo se creyó que las leyes que rigen a la caída de los cuerpos eran específicas y no generales, pues según las consideraciones de Aristóteles (filósofo griego nacido en Estagira, Grecia 384-322 a.C.) 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 de ave, un trozo de papel, un copo de nieve o de algodón, experimentan una serie de movimientos de vaivén 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 el siglo XVI en que dominaban las ideas Aristotélicas, surgió en Pisa, Italia, 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, matemático, físico y astrónomo italiano (1564-1642).

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.

Cuenta la Historia, que una mañana subió Galileo a la torre de Pisa, en los momentos en que pasaban por la base de la misma un grupo de catedráticos con sus discípulos que se dirigían a la Universidad, llamando la atención de éstos Galileo 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 que sus ojos debían haberles engañado, porque lo sucedido no estaba de acuerdo con lo dicho por Aristóteles, oráculo de la Edad Media, el cual nunca se equivocaba. Con estos hechos demostraba Galileo, que todos los cuerpos caen desde la misma 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. Es decir, en un lugar dado de la Tierra y en ausencia de la resistencia del aire, todos los objetos caen con la misma aceleración constante.

En el año en que moría Galileo nacía en Inglaterra, Isaac Newton, matemático, físico y astrónomo (1642-1727) cuyo legado científico aún es respetado en esta época de tanta revolución científica. 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 concluyó 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 esferas de plomo o de acero, en las cuales la acción del aire es despreciable. Los cuerpos al caer adquieren un movimiento uniformemente acelerado, porque la aceleración de la gravedad obra constantemente sobre ellos, y entre los límites en que se experimenta, se puede considerar prácticamente invariable.

Fuerza de atracción debida a la gravitación terrestre. Con esta expresión conocemos a la intensidad de la fuerza con que la Tierra atrae a los cuerpos que se encuentran en su superficie o cerca de ella llamada peso. Esta fuerza produce sobre un kilogramo masa una aceleración de 9.80665 m/s$^2$ en el nivel del mar (NM), a la latitud de 45°, siendo considerado como valor estándar. De la segunda ley de Newton de la dinámica $F = m\,a$ , y para caída libre, se convierte la ecuación en $w = m\,g$ , siendo $w$ el peso de un cuerpo.

Valor exacto de la constante de la aceleración gravitacional estándar: $g_{nm} = 9.80665\ \frac{m}{s^2}$

Valor teórico para cálculos en problemas de ingeniería: $g_{nm} = 9.81\ \frac{m}{s^2}$

Dicha aceleración de la gravedad $g$ no es constante en toda la superficie de la Tierra, por ejemplo, en la Ciudad de México tiene el valor de 9.78 m/s$^2$, mientras que en los polos es aproximadamente de 9.83 m/s$^2$ y en el ecuador es de 9.7803 m/s$^2$.

Definición: La latitud geográfica de un lugar se denominada con la letra $\lambda$ (lambda), y es el ángulo o arco de meridiano que pasa por dicho lugar y está comprendido entre éste y el Ecuador, varía de 0°
A 90°. También se puede decir latitud Norte o latitud Sur.

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.

## 2.2 Ley de la Gravitación Universal

Isaac Newton para explicar el movimiento de los planetas emitió la siguiente ley: Toda partícula en el universo, atrae a cualquier otra partícula con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Esta fuerza actúa a lo largo de la línea que une a las dos partículas.

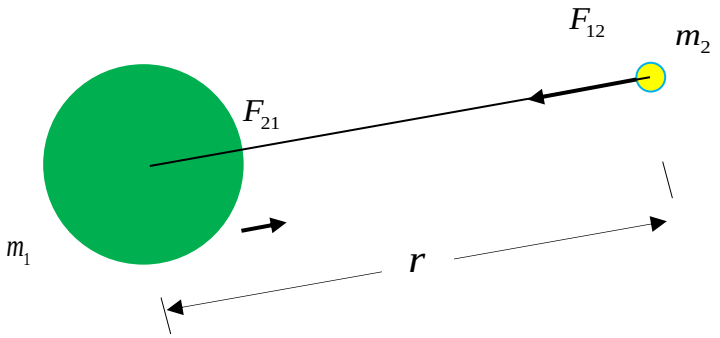
$$F \propto G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

En donde $m_1$ y$m_2$: son las masas de los dos puntos materiales a que se refiere la hipótesis de Newton, r es la distancia que los separa, y F es la fuerza de atracción. De tal manera que:

F: en Newton (N) $m_1$ y $m_2$: en $kg_m$ $r$ : en metros (m)

$$G = 6.673\,x\,10^{-11}\,\frac{N\,x\,m^2}{kg_m^2} \quad \text{o} \quad G = 6.673\,x\,10^{-11}\,\frac{m^3}{kg_m\ x\ s^2}$$

En planetas más pequeños, los cuerpos caen más lentos y, por tanto, la aceleración de éstos al caer es menor. En planetas más grandes, los cuerpos se aceleran más ver figura.




Campo gravitacional terrestre, para una partícula de masa $m_2$

La G mayúscula es una constante universal, es decir, es un valor fijo que nunca cambia en ningún lugar del Universo, y es la cantidad por la que hay que multiplicar las masas de los cuerpos para calcular la fuerza con la que se atraen.

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.

Si: $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ establezcamos la relación: $\frac{F}{m_2} = G\frac{m_1}{r^2}$ en donde $m_2$ es la masa de una partícula, entonces se llama campo gravitacional universal a la expresión $G\frac{m_1}{r^2} = g$ ..

Por lo tanto, tenemos: $\frac{F}{m_2} = G\frac{m_1}{r^2} = g$ , es decir, $\frac{F}{m_2} = g$ , considerando para caída libre que $F = w$, finalmente: $w = m\,g$

Si consideramos que la masa de la Tierra según Newton tiene el valor de $m_1 = 5.9722\,x10^{24}\,kg_m$ (prácticamente casi 6,000 trillones de toneladas) y la dimensión promedio de su radio en el ecuador es $r = 6{,}370\ km$, entonces: $g = G\frac{m_1}{r^2}$

Sustituyendo valores: $g = 6.670\,x\,10^{-11}\,\frac{m^3}{kg_m\ x\ s^2}\ x\ \frac{5.9722\,x10^{24}\,kg_m}{(6{,}370{,}000\ m)^2} = 9.81705\,\frac{m}{s^2}$

Si $F = m\,a$ , entonces la unidad principal de fuerza en el SI es:

$$\boxed{F = 1\frac{kg_m\,x\,m}{s^2} = 1\,Newton\ (1N)}$$

Si $w = m\,g$ , se tiene que: $w = 1kg_m\ x\ 9.81\frac{m}{s^2} = 9.81\,Newton = 1\overline{kg}$ (unidad del peso de un cuerpo de masa 1 kilogramo en la superficie terrestre en el nivel del mar).

Por lo tanto: $\boxed{1\,\overline{kg} = 9.81\frac{kg_m\,x\,m}{s^2} = 9.81\,Newton}$

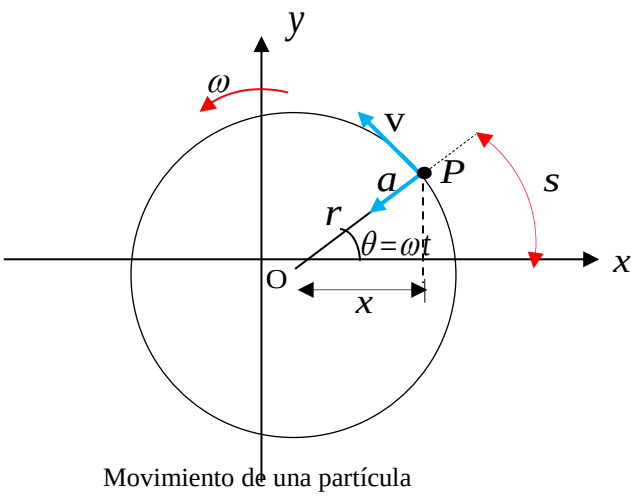
## 2.3 Movimiento Armónico Simple (MAS)

Movimiento periódico. Un movimiento periódico, es aquel, en el que un cuerpo se mueve de un lado a otro en una trayectoria fija, regresando a su posición y velocidad originales después de un intervalo de tiempo definido.

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.

Cuando un objeto se deforma al aplicarle una fuerza, aparece otra fuerza elástica de restitución que es proporcional a la deformación; de igual forma decimos que en un resorte la fuerza de restitución siempre actúa para regresar el extremo del resorte a su posición original de equilibrio en donde $F=-kx$, y en el caso de un péndulo nos referiremos a una fuerza que intentará devolverlo a esa posición original, en donde $k$ recibe el nombre de módulo o constante de rigidez, y responde a una función de la ecuación de la recta en su forma simplificada, siendo $k$ la pendiente de la ecuación lineal.

Consideremos en el plano $xy$ a un punto $P$, que se mueve sobre una trayectoria circular con una velocidad lineal constante $\mathbf{v}$, decimos entonces que $P$ experimenta un movimiento circular uniforme o uniformemente circular, con una velocidad angular $\boldsymbol{\omega}$ (omega) como se indica en la figura.




Movimiento de una partícula

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.

1) *Ecuaciones angulares*

$$s = r\theta \Rightarrow \omega = \frac{\theta}{t}$$

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

2) *Ecuaciones tangenciales*

$$s = \mathrm{v}t \Rightarrow \mathrm{v} = \omega r$$

$$a = \omega^2 r$$

En donde:

$r$: *radio de la circunferencia*

$s$: *longitud del arco de circunferencia*

$\theta$ : *desplazamiento angular* (*ángulo girado*)

$t$ : *tiempo*

v: *velocidad lineal*

$\omega$ : *velocidad angular*

$a$ : *aceleración lineal*

$\alpha$ : *aceleración angular*

$x = r\cos\theta = r\cos\omega t$

El Movimiento Armónico Simple (MAS) es el movimiento periódico en ausencia de rozamiento, y es producido por una fuerza de restitución que es directamente proporcional al desplazamiento aplicado en la misma dirección, pero de sentido contrario: Es un caso especial de movimiento rectilíneo con aceleración variable.

Si un punto $P$ se mueve con una velocidad constante sobre una trayectoria circular, observaremos que el movimiento de la proyección del punto sobre un diámetro de la circunferencia es un MAS.

En ingeniería se estudia el movimiento rectilíneo con aceleración variable, el cual es un "Movimiento Armónico Simple", que corresponde al desplazamiento de un punto $P$ en una línea recta, con una aceleración proporcional a la distancia $x$ de dicho punto $P$ a un origen fijo O. Expresamos matemáticamente esta definición como:

1 De la fuerza de restauración para un resorte: $F = -kx$

2 De la segunda ley de Newton: $F = ma$

Igualando ambas expresiones tenemos que: $-kx = ma$

Sabemos de las expresiones matemáticas de la aceleración lineal que: $a = \frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dt}\right) = \frac{d^2x}{dt^2}$

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.

Entonces: $-k\,x = m\dfrac{d^2x}{dt^2}$

Finalmente: $m\dfrac{d^2x}{dt^2} + kx = 0$ ecuación diferencial de segundo orden y primer grado

Un ejemplo de MAS es el de un peso unido al extremo inferior de un resorte helicoidal, cuyo extremo superior está fijo. También se considera el movimiento de un péndulo que se encuentra oscilando y que se aproxima mucho al MAS, si el arco que describe es pequeño. Un ejemplo en ingeniería, es el caso de los movimientos vibratorios de una estructura.

Supongamos un punto o una partícula $P$ que se mueve sobre una circunferencia de radio $r$ con una velocidad tangencial o longitudinal constante $\mathbf{V}$, y una velocidad o rapidez angular $\omega$.

Nota: En el movimiento circular uniforme, una velocidad se indica en unidades angulares (grados sexagesimales) o radianes y se denomina "velocidad angular". El espacio que recorre el punto $P$ es $s = 2\pi r$ siendo $s$ el perímetro de la circunferencia y en forma angular $s = r\theta$.

Si $r$ toma el valor de la unidad $(r = 1)$ el perímetro de la circunferencia es igual a $s = 2\pi$ radianes (en donde $2\,\pi\,radianes = 360° \therefore 1rad = 57.2956\,°$) y como $\mathbf{v}$ representa a la velocidad lineal o tangencial, se mide en unidades de longitud con respecto al tiempo, $\omega$ indica la velocidad angular, entonces para una circunferencia:

Velocidad tangencial

$$\mathrm{v} = \frac{s}{t} \quad \Rightarrow \quad \mathrm{v} = \frac{2\pi r}{t}$$

Aceleración tangencial

$$a = \frac{s}{t^2} \quad \Rightarrow \quad a = \frac{\mathrm{v}}{t}$$

Velocidad o rapidez angular

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad \Rightarrow \quad \omega = \frac{2\pi}{t}$$

Aceleración angular

$$\alpha = \frac{\theta}{t^2} \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{\omega}{t}$$

En la práctica se acostumbra a usar el número de revoluciones por cada minuto $(rpm)$ para indicar a la velocidad angular $\omega$.

Si el punto $P$ gira $n$ revoluciones por cada minuto (60 segundos), entonces habrá recorrido $n$ veces la circunferencia en un minuto, quedando las ecuaciones como sigue:

$$\mathrm{v} = \frac{2\pi r n}{60} \quad \text{y} \quad \omega = \frac{2\pi n}{60} \quad \left(\frac{radianes}{minuto}\right)$$

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.

Si $t$ es el tiempo necesario para que $P$ se mueva desde el eje $\mathrm{X}$ a su nueva posición, entonces se define a la velocidad angular instantánea $\omega$ como la razón del desplazamiento angular $\Delta\theta$ de una partícula y el intervalo de tiempo $\Delta t$ que tarda en recorrerlo, de tal forma que:

$$\omega = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$$

Así tenemos que: $\omega = \dfrac{\theta}{t} \quad \Rightarrow \quad \theta = \omega t$

Por lo tanto: $x = r\cos\theta$ también $x = r\ \cos\omega t$

De igual forma se define a la aceleración angular instantánea $\alpha$ (alfa) como la razón del cambio de velocidad angular $\Delta\omega$ con respecto del intervalo de tiempo $\Delta t$, de tal forma que:

$$\alpha = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$$

Definamos a continuación:

$f$ : Frecuencia del movimiento. Es el número de oscilaciones o vibraciones que se producen en un segundo. Su unidad en el Sistema Internacional SI es el Hertzio (Hz). $1\ Hz = 1\ oscilación$

$T$ : Periodo del movimiento. Es el tiempo que tarda en completarse una oscilación. Es la inversa de la frecuencia. Su unidad de medida es el segundo. $T = \dfrac{1}{f}$

Si $\mathrm{T}$ es el periodo o tiempo en el que $P$ recorre a la circunferencia completa, y si $P$ gira $n$ vueltas en $t$ segundos, entonces el periodo se obtiene mediante: $\mathrm{T} = \dfrac{t}{n}$ y la frecuencia (número de ciclos u oscilaciones por unidad de tiempo) es: $f = \dfrac{1}{\mathrm{T}}$

Se tiene en términos matemáticos que la velocidad de $P$ está dada por $\mathrm{v} = \dfrac{dx}{dt}$, en donde $x = r\cos\omega t$, es decir, $\mathrm{v} = \dfrac{dx}{dt} = \dfrac{d(r\cos\omega t)}{dt} = r\,\dfrac{d(\cos\omega t)}{dt}$

Como: $\dfrac{d(\cos\omega t)}{dt} = -\omega\, sen\ \omega t$ (del formulario de derivadas)

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.

También podemos escribir: $\mathrm{v} = \dfrac{dx}{dt} = r(-\omega\, sen\ \omega t) = -r\omega\, sen\ \omega t$

Por otra parte, sabemos que $y = r\, sen\ \omega t$

Entonces: $\mathrm{v} = \dfrac{dx}{dt} = -\omega y$

Y como la aceleración es: $a = \dfrac{d^2x}{dt^2}$ implica que:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d^2(r\cos\ \omega t)}{dt^2}$$

$$\frac{d^2}{dt^2}\, r\cos\omega t = \frac{d}{dt}\, r(-\omega\, sen\,\omega t) = -r\,\omega^2\cos\omega t = -\omega^2\ \underbrace{r\cos\omega t}_{x}$$ (del formulario de derivadas)

Finalmente se tiene: $\boxed{a = \dfrac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x}$

Observación: El alumno puede verificar sus operaciones algebraicas con mayor detalle en las siguientes expresiones:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d^2(r\cos\ \omega t)}{dt^2} = \frac{d(-\omega r\, sen\ \omega t)}{dt^2} = -\omega\ \frac{d(r\, sen\ \omega t)}{dt^2}$$
$$= (-\omega)\ (r)\ (\cos\ \omega t)\ (\omega) = -\omega^2 r\cos\ \omega t = -\omega^2 x$$

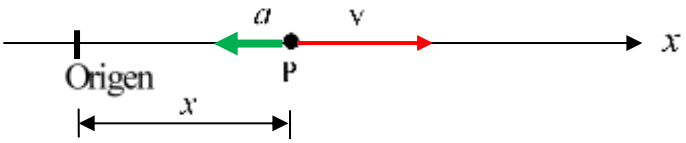
Las relaciones entre cantidades lineales o rectangulares y angulares son:

$$\mathrm{v} = \frac{dx}{dt} = r\frac{d\theta}{dt} = r\omega\ \ (\tfrac{radianes}{s}) \qquad \text{y} \qquad a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d\,\mathrm{v}}{dt} = r\frac{d\omega}{dt} = r\alpha\ (\tfrac{radianes}{s^2})$$

En ambos casos para $\mathrm{v}$ y para la aceleración $a$, el signo negativo significa que el sentido de la aceleración es opuesto al del desplazamiento $x$. Es decir, $a$ es negativa cuando $x$ es positiva, y $a$ es positiva cuando $x$ es negativa ver figura.

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.

$$v = \omega r \qquad a = -\omega^2 x$$




Gráfica de desplazamiento de un punto P

Demostración:

De la ecuación $a = \omega^2 x$ ($\omega$ es la velocidad angular) y de la expresión $\omega = \frac{2\pi}{T}$ (T periodo o duración de una oscilación completa en el MAS, también llamado ciclo).

Entonces: $\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega}$ ecuación (1)

Siendo: $a = \omega^2 x$; y para caída libre $g = \omega^2 l$ ecuación (2)

Para un péndulo compuesto podemos sustituir la ecuación (2) en (1):

Si $g = \omega^2 l \Rightarrow \omega^2 = \frac{g}{l}$ y por lo tanto $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ ecuación (3)

Sustituyendo (3) en (1), tenemos $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{l}}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

Por lo tanto: $\boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}}$ ecuación (4)

La ecuación anterior se utiliza para analizar las fuerzas que contrarrestan los vientos en una edificación y los posibles movimientos sísmicos, así como en el caso de los puentes y obras estructurales. También se estudia el comportamiento de los cuerpos que actúan como fuerzas recuperadoras (ver normas técnicas para el diseño y construcción de estructuras de concreto).

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.

Despejando de (4) la constante gravitacional $g$ tenemos:

$$\frac{T}{2\pi} = \sqrt{\frac{l}{g}} \quad ; \quad \frac{T^2}{4\pi^2} = \frac{l}{g} \quad ; \quad T^2 g = 4\pi^2 l \quad \text{y finalmente:} \quad \boxed{g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}}$$

El movimiento de un péndulo que oscila se aproxima mucho al MAS si el arco que describe es pequeño, y de igual forma sucede con el peso de un cuerpo unido al extremo inferior de un resorte helicoidal (cuyo extremo superior está fijo) al que se le permite vibrar libremente.

## 2.4 Constante de la aceleración de la gravedad "g "

La variación de la constante de la aceleración de la gravedad $g$, también llamada intensidad gravitacional o gravitatoria, se debe a que la Tierra no es esférica, ni tiene una superficie uniforme, de ahí que los lugares más cercanos a su centro, como los polos, tengan 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 éstos entre ellos mismos, por lo que concluyó que la gravitación terrestre es un caso particular de la gravitación universal.

Se representa con la letra $g$ al valor de la constante 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 estamos hablando de la gravedad terrestre; en la luna hablaríamos de la gravedad lunar, etc.

La constante de la aceleración gravitacional se mide en metros por segundo al cuadrado ($m/s^2$) y es el valor de la aceleración que adquieren los objetos cuando caen libremente al suelo. Si desde lo alto de una torre, dejáramos caer una roca, dicha caída sería cada vez más rápida, partiendo del reposo (velocidad cero) hasta el momento de alcanzar una velocidad máxima al tocar el suelo. En el planeta Tierra, si no se tuviera en cuenta el efecto del aire, todos los objetos caerían con una misma aceleración en el mismo lugar, y en el nivel del mar esa aceleración es aproximadamente de 9.81 $m/s^2$.

Recordemos entonces que en la Tierra la manifestación del peso de un cuerpo se debe a la fuerza con que un cuerpo es atraído hacia su centro en base a la ley de gravitación universal de Newton, en donde se produce una aceleración $g = 9.80665\ m/s^2$ en condiciones normales de latitud $\lambda = 45°$ y de altitud $h = 0\ m$.

Grado sexagesimal (que tiene como base al número $60$): Un grado sexagesimal es el ángulo central subtendido por un arco cuya longitud es igual a 1/360 de una circunferencia. Por lo tanto, es el ángulo que se forma al dividir la circunferencia en 360 partes iguales, cuyo arco mide $\frac{1}{360}$. De igual forma al dividir $1°$ en $60$ partes iguales, a cada parte se le llama minuto, por lo tanto un grado sexagesimal es igual a $60$ minutos sexagesimales $(60')$. Si tomamos un minuto sexagesimal $(1')$ y lo dividimos por $60$ partes iguales, a estas se les llama segundos, por lo tanto $1'$ equivale a $60$ segundos y se representan con doble comilla, es decir: $1' = 60''$.

Altitud geográfica: Es la distancia vertical de un punto de la Tierra tomando como referencia al nivel del mar. No debe confundirse con el concepto de altura, ya que éste último considera la distancia vertical existente entre dos puntos cualesquiera de la superficie terrestre.

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.

Para determinar la gravedad terrestre $g$ en un lugar determinado, es necesario aplicar la siguiente expresión empírica:

$$g = g_0\ (1+0.0053884\,sen^2\,\lambda)\ (1-0.0000003h)$$

En donde:

$g$: *aceleración de la gravedad local en* $m/s^2$,

$g_0 = 9.7803\ m/s^2$ *es el valor de la gravedad en el Ecuador*,

$\lambda$: *latitud del lugar en grados sexagesimales*,

$h$: *altitud del lugar en metros sobre el nivel del mar*.

A continuación, se presentan algunos ejemplos para encontrar el valor de la constante de la aceleración gravitacional en diferentes lugares de la Tierra:

Constante de la aceleración de la gravedad estándar en la Tierra: Se considera como valor estándar al obtenido con altitud cero, es decir, altura sobre el nivel del mar $h = 0$ metros, y latitud $\lambda = 45°$, aplicando la ecuación obtenemos $g = 9.80665\ m/s^2$, valor que usualmente se redondea a $9.81\ m/s^2$ para operaciones en que no se tiene otra información y no son de alta precisión.

$$g = 9.7803\ \tfrac{m}{s^2}\left[(1+0.0053884\,sen^2\,45°)\ (1-(0.0000003)(0\ metros))\right]$$

$$g = 9.7803\ \tfrac{m}{s^2}\left[(1+0.0026942)\ (1)\right]$$

$$g = 9.7803\ \tfrac{m}{s^2}\ (1.0026942)$$

Finalmente: $\boxed{g = 9.806650084\ \tfrac{m}{s^2}}$

Constante de la aceleración de la gravedad en el Ecuador: $h = 0$ metros y $\lambda = 0°$, aplicando la ecuación obtenemos $g = 9.7803\ m/s^2$.

Constante de la aceleración de la gravedad en la Ciudad de México: Considerando una latitud de aproximadamente $\lambda = 20°$, y la altitud sobre el nivel del mar $h = 2,240\ m$, hallar el valor de $g$.

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.

$$g = 9.7803\ \tfrac{m}{s^2}\left[(1+0.0053884\,sen^2\,20°)\ (1-(0.0000003)(2,240))\right]$$
$$g = 9.7803\ \tfrac{m}{s^2}\left[(1+0.0006303230613)\ (1-0.000672)\right]$$
$$g = 9.7803\ \tfrac{m}{s^2}\left[(1.0006303230613)\ (0.999328)\right]$$
$$g = 9.7803\ \tfrac{m}{s^2}\ (0.9999578995)$$

$g = 9.779888244\ \tfrac{m}{s^2}$ Por lo tanto, aproximadamente: $g_{CDMX} = 9.78\ \tfrac{m}{s^2}$

Constante de la aceleración de la gravedad en el municipio de Naucalpan, estado de México: Si latitud es aproximadamente $\lambda = 20°$ y la altitud sobre el nivel del mar es $h = 2,260\ m$, hallar el valor de $g$:

$$g = 9.7803\ \tfrac{m}{s^2}\left[(1+0.0053884\,sen^2\,20°)\ (1-(0.0000003)(2,260))\right]$$
$$g = 9.7803\ \tfrac{m}{s^2}\left[(1+0.0006303230613)\ (1-0.000678)\right]$$
$$g = 9.7803\ \tfrac{m}{s^2}\left[(1.0006303230613)\ (0.999322)\right]$$
$$g = 9.7803\ \tfrac{m}{s^2}\ (0.9999518957)$$
$g = 9.779829526\ \tfrac{m}{s^2}$ Por lo tanto, aproximadamente: $g_{Naucalpan} = 9.78\ \tfrac{m}{s^2}$

Peso ($w$). Si abandonamos un cuerpo en el espacio, el cuerpo cae y decimos que este fenómeno es debido a la atracción o gravedad terrestre, por lo tanto, ésta es una fuerza cuya manifestación sobre el cuerpo la 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 fuerza a toda acción que produce o tiende a producir un movimiento o a modificarlo.

Como en el Sistema Internacional de unidades $(SI)$ el Newton es la fuerza que al aplicarse sobre una masa de $1kg_m$ le produce una aceleración de $1m/s^2$. De igual forma en el Sistema Inglés de unidades, se escoge a la masa $1lb_m$, a la longitud $1\,pie$, y al tiempo $1segundo$ para producir una aceleración de $1\,pie/s^2$, como unidades básicas o fundamentales, y se han adoptado patrones para establecer las unidades derivadas.

La fuerza aparece en ellos como una unidad determinada por la relación que establece la segunda ley de Newton.

$$F = m\,a \quad \text{o} \quad w = m\,g$$

Entonces, las dimensiones de la fuerza $[F]$ se obtienen al multiplicar la masa $[M]$ por la aceleración $\left[L\,T^{-2}\right]$. 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) / tiempo$^2$, o sea $\left[M\ L\,T^{-2}\right]$.

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.

El peso $w$ es la fuerza con que un cuerpo es atraído al centro de la Tierra debido a la aceleración de la gravedad ejercida sobre él.

Por ser una fuerza, el peso se considera como un vector (con dirección vertical y sentido hacia el centro de la Tierra). La magnitud del peso se expresa en unidades de fuerza, tales como el Newton $(N)$, el kilogramo fuerza $(\overline{kg})$ o la libra fuerza $(\overline{lb})$ y sus múltiplos y submúltiplos. En ingeniería frecuentemente se usan toneladas.

Recordemos que una fuerza al estar representada por un vector, posee las propiedades axiomáticas de un elemento de un espacio vectorial (suma entre sus elementos, y multiplicación por un número real o escalar). 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, entonces la segunda ley de Newton se transforma en $w = m\,g$.

Dicho de una manera más clara, cuando se deja caer libremente un cuerpo de masa $(m)$, su aceleración es la de la gravedad terrestre local $(g)$ y la fuerza que actúa sobre él es su peso $(w)$. La segunda ley de Newton, $F = m\,a$, es aplicada a un cuerpo en su caída libre y dará como resultado $w = m\,g$. 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.

Si en el nivel del mar una muestra de materia cualquiera, colocada en uno de los platillos de una balanza empuja a éste con la misma fuerza que un gramo patrón lo hace sobre el otro platillo, podemos inferir que la masa de la muestra es igual a un gramo (masa). Entonces podríamos decir que la materia considerada pesa un gramo (fuerza). Sin embargo, siempre es importante distinguir cuidadosamente entre el peso y la masa de un cuerpo ya que la masa permanece constante en cualquier lugar del universo, pero el peso se obtiene con referencia a la gravedad del lugar en el que nos encontremos. Recordemos que una balanza nos proporciona el peso de un cuerpo, y mediante la segunda ley de Newton obtenemos la masa.

En el nivel del mar en condiciones normales a una presión igual a la de una atmósfera, con temperatura de $4°C$, y aceleración de la gravedad terrestre $g = 9.80665\ m/s^2$, podemos considerar que la masa de $1dm^3 = 1\ lt$ de agua, es de $1kg_m$, con un peso de $1\overline{kg}$.

El peso de un cuerpo por tratarse de una fuerza hemos indicado que es un vector, la masa es un escalar y la aceleración de la gravedad es otro vector, por lo tanto, la expresión vectorial formal para su estudio es:

$$\bar{w} = m\bar{g}$$

Experimentalmente, se ha encontrado que el valor de $g$ es la misma 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.

Entonces, el peso de un kilogramo masa en un lugar, donde $g$ es 9.70 m/s$^2$ es de 9.70 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

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.

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) el peso de éste depende de su posición respecto al centro de la Tierra.

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

Centro de gravedad de un cuerpo y su determinación: 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 esté en equilibrio, cualquiera que sea su posición. Podemos considerar otro punto para suspender el cuerpo, obteniendo 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.

Debemos recordar que el centro de masas depende de la distribución de la materia, mientras que el centro de gravedad depende también del centro gravitatorio. No debe confundirse con el centroide de una figura que es un concepto de geometría plana.

Reglas para fijar el centro de gravedad:

1. Si es una barra recta homogénea, su centro de gravedad está en el punto medio.
2. Si es un cuerpo homogéneo y con una superficie regular, el centro de gravedad estará en el centro de la figura (centroide) que también corresponde a su centro de masas.
3. 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 el cuerpo.
4. El centro de gravedad de un cuerpo no siempre es un punto material, como en el caso de una esfera hueca que está situado exactamente en su centro, y en el caso de una llanta sucede lo mismo.

## 2.5 Péndulo

Consideremos el concepto de MAS y apliquemos su estudio al péndulo simple o péndulo matemático, que se define como un ente o péndulo ideal constituido por una masa puntual suspendida de un hilo inextensible y sin peso, capaz de oscilar libremente en el vacío y sin rozamiento. Al separar la masa de su posición de equilibrio, oscila a ambos lados de dicha posición original, realizando un movimiento armónico simple. En la posición de uno de los extremos (en este caso el derecho) se produce un equilibrio de fuerzas según se muestra en la figura.

Considerando un punto inicial $A$ sobre una circunferencia, y su ubicación al desplazarse sobre la misma, la cual se puede medir mediante radianes (arco cuya longitud es igual a la del radio $r$). El peso de la esfera o

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.

lenteja se descompone en dos fuerzas: una primera que se equilibra con la tensión del hilo $F_T$, de manera que:

$$F_T = mg\cos\theta$$

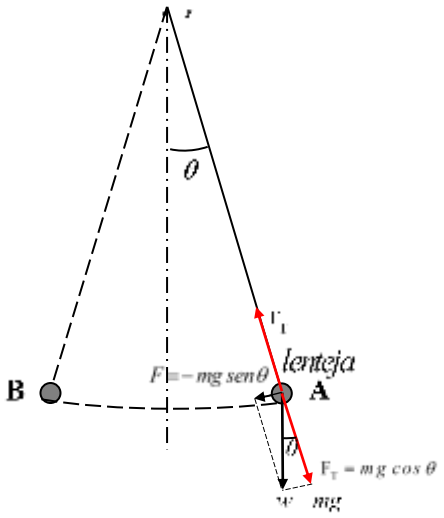
La segunda fuerza o componente $F$, perpendicular a la anterior, es la que origina el movimiento de oscilación:

$$F = -mg\,sen\,\theta$$

El péndulo compuesto se refiere a un sistema formado por un cuerpo físico de dimensiones finitas, que oscila alrededor de un eje horizontal, siendo $L$ la longitud del hilo pendular. También se define como un sólido en rotación alrededor de un eje fijo.

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 desalojan 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. En Física se da el nombre de péndulo a todo cuerpo sólido indeformable, móvil en torno de un eje (que no siempre es vertical y que no forzosamente pasa por su centro de gravedad).

Consideremos un péndulo formado con una esfera pequeña o lenteja, suspendida en el extremo de un hilo, el cual se ha fijado en un punto P (soporte). 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 esfera de A hacia B y de regreso al punto A); el movimiento de ida o el de regreso se conoce como oscilación simple o semioscilación. El tiempo que dura en efectuarse una oscilación completa se llama período del movimiento pendular $T$; el ángulo $\theta$ que forma la vertical con la posición extrema alcanzada, lleva el nombre de amplitud de la oscilación, la cual se considera positiva a la derecha y negativa a la izquierda. El movimiento ascendente del péndulo es retardado y el descendente acelerado, porque las intensidades de las componentes retardatriz y aceleratriz varían.




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.

Para que nuestro péndulo esté lo más cercano al péndulo simple, usemos esferas pequeñas de substancias 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 $2\,cm.$ de diámetro, suspendida de un hilo delgado de $100\,cm.$ de longitud. Hagamos oscilar el péndulo con pequeña amplitud (no mayor de $5°$) y midamos el tiempo que tardan en efectuarse 10 oscilaciones, tantas veces como el número de alumnos que participan en la práctica.

Observación: Consideraciones para amplitudes de ángulos pequeños para oscilaciones del péndulo según la serie de Taylor:

$$sen\ \theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \cdots$$

Recordemos que: $360° = 2\pi\ radianes \quad \Rightarrow \quad 1 radian = 57.2956°$

Por lo tanto: $\underbrace{sen\ \theta}_{\substack{grados \\ valor\ absoluto}} = \theta_{radianes}$

A continuación, se presentan algunos datos de funciones trigonométricas de ángulos:

Tabla 1. Datos de funciones angulares

| Amplitud $\theta$ en grados | Función $sen\theta$ | Ángulo $\theta$ en radianes | Diferencia $(sen\theta - \theta)$ |
|---|---|---|---|
| $\theta = 1°$ | $sen\ 1° = 0.01745$ | $1° = 0.01745\ radianes$ | 0.000000 |
| $\theta = 2°$ | $sen\ 2° = 0.03489$ | $2° = 0.03490\ radianes$ | –0.000010 |
| $\theta = 3°$ | $sen\ 3° = 0.05233$ | $3° = 0.05236\ radianes$ | –0.000030 |
| $\theta = 4°$ | $sen\ 4° = 0.06975$ | $4° = 0.06981\ radianes$ | –0.000060 |
| $\theta = 5°$ | $sen\ 5° = 0.08715$ | $5° = 0.08726\ radianes$ | –0.000110 |
| $\theta = 10°$ | $sen\ 10° = 0.17364$ | $10° = 0.17453\ radianes$ | –0.000890 |
| $\theta = 15°$ | $sen\ 15° = 0.25881$ | $15° = 0.26180\ radianes$ | –0.002990 |

### 2.5.1 Aplicación del movimiento armónico simple

Es un movimiento periódico rectilíneo de derecha a izquierda, de arriba abajo, etc., en el cual la aceleración y la fuerza recuperadora son: 1) proporcionales a la elongación, 2) de sentido contrario al desplazamiento, es decir, se dirigen hacia el centro de la trayectoria. Si un punto P describe un movimiento de rotación uniforme

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.

según una circunferencia (que se denomina de referencia) el movimiento de la proyección del punto sobre uno de los diámetros o recta cualquiera del plano del movimiento es armónico simple:

$$F = -k\,x$$

El periodo de un MAS se determina por la expresión $\mathrm{T} = 2\pi\sqrt{-\frac{x}{a}}$ como $x$ y $a$ son de sentido contrario, $-\frac{x}{a}$ es positivo.

**2.5.1.1 El periodo de un péndulo simple es:**

$\mathrm{T} = 2\pi\sqrt{\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{g}}}$ su unidad es el segundo $(s)$

**2.5.1.2 Frecuencia $(f)$:**

Es el número de oscilaciones por cada unidad de tiempo y se relaciona con el periodo $\mathrm{T}$ mediante la expresión $f = \frac{1}{\mathrm{T}}$ su unidad es la de ciclos por segundo.

### 2.5.2 Leyes del péndulo

Primera Ley (del isocronismo). Las oscilaciones de pequeña amplitud son isócronas.

Hagamos oscilar el péndulo con pequeña amplitud (no mayor de 5°) 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.

Segunda Ley (de la naturaleza de las sustancias). La duración de las oscilaciones es independiente de la sustancia de que está formada la esfera y de la masa de la misma.

Para llegar a la segunda ley, suspendamos de hilos de igual longitud, esferas de igual tamaño, pero de sustancias diferentes, como por ejemplo 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.

Tercera Ley (de las longitudes). Las duraciones de las oscilaciones son proporcionales a la raíz cuadrada de las longitudes del péndulo.
Determinemos la duración de la oscilación de un péndulo de 10 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 tenga longitudes de 40 cm., 90 cm. y 160 cm. Calculemos la duración de una

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.

oscilación simple en cada uno de los casos y dividamos uno de estos tiempos entre el tiempo más pequeño; hagamos lo mismo con las longitudes y con los datos formemos la siguiente tabla:

Tabla 2. Duración de las oscilaciones en el laboratorio

| Longitud hilo del péndulo | Número de oscilaciones en 20 segundos | Duración de una oscilación | Relación de la duración | Relación de la longitud |
|---|---|---|---|---|
| 10 cm. | 66 | 0.3 seg. | 0.3/0.3 = 1 | 10/10 = 1 |
| 40 cm. | 33 | 0.6 seg. | 0.6/0.3 = 2 | 40/10 = 4 |
| 90 cm. | 22 | 0.9 seg. | 0.9/0.3 = 3 | 90/10 = 9 |
| 160 cm. | 16 | 1.2 seg. | 1.2/0.3 = 4 | 160/10 = 16 |

Llamando $T$ a la duración en segundos de la oscilación simple para un péndulo de longitud $L$, y $T'$ para uno de longitud $L'$, la ley anterior se puede expresar por la ecuación:

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

Cuarta Ley (de la intensidad de la gravedad). 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.

Hasta el estudio de la tercera ley llegaron los trabajos de Galileo. La verdadera fórmula del péndulo fue establecida por Christian Huygens, (matemático, físico y astrónomo holandés, 1629-1695) quien a los 28 años (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 péndulo; de una manera muy ingeniosa y basándose en la Geometría llegó a establecer la siguiente fórmula del péndulo para calcular el tiempo T en segundos del periodo de una oscilación pendular completa como función de la longitud $L$ del péndulo y del valor de la gravedad local $g$:

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

En donde:

$T$ : periodo o duración de una oscilación completa o ciclo en segundos,
$\pi$ : relación de la circunferencia al diámetro de 3.1416,
$L$ : longitud del péndulo (del soporte al centro de la esfera),
$g$ : aceleración debida a la gravedad local.

Observamos que la expresión matemática del movimiento armónico simple corresponde a la ecuación que define la cuarta ley del péndulo.

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.

## 2.6 Usos del péndulo

El péndulo tiene una gran aplicación para medir el tiempo y para determinar el valor de la intensidad de la gravedad, con él se han determinado los siguientes valores de la gravedad que consideraremos como más importantes.

Tabla 3. Valor de la gravedad con relación a la longitud del hilo pendular

| Lugar | Valores de la aceleración $g$ | Longitud del hilo del péndulo que bate el segundo |
|---|---|---|
| Ciudad de México | 9.782 m/s$^2$ | 99.13 cm |
| Latitud de 45° | 9.806 m/s$^2$ | 99.32 cm |
| Polo | 9.831 m/s$^2$ | 99.61 cm |
| Ecuador | 9.780 m/s$^2$ | 99.09 cm |

Si una partícula con 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 para el experimento, debido a ello procuraremos disminuir al mínimo posible el error, dando una amplitud mínima a la oscilación, utilizando una esfera de un diámetro aproximado de 2 cm 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:

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

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.

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 $T$ .

Ejemplo: Calculemos el valor que debe tener $T$ para que obtengamos el resultado correcto al hallar la gravedad $g$ cuando nos encontramos en la Ciudad de México a una altura de 2,200 msnm (valor aproximado de la ubicación del laboratorio en Acatlán y muy cercano al valor para Naucalpan).

$$g = 9.78\ \frac{m}{s^2}$$

Con este valor de $g$ , y para una longitud del hilo del péndulo medida en el laboratorio, por ejemplo de $L = 1m$ despejamos de la ecuación de Huygens:

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

Substituyendo valores:

$$T = 2\,x\,3.1416 \sqrt{\frac{1.0\ m}{9.78\ \frac{m}{s^2}}} = 6.2832 \sqrt{0.10225\ s^2} = 6.2832\,x\,0.31976\ s = 2.00911\ s$$

También podemos calcular la longitud $L$ del hilo del péndulo que bate al segundo, es decir, la longitud que nos permite tener un valor más preciso con relación a 1 segundo que corresponde a una semioscilación o bien 2 segundos para una oscilación completa.

De la ecuación $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad \Rightarrow \quad L = \frac{g T^2}{4\pi^2}$

Entonces: $L = \frac{9.78\ \frac{m}{s^2}\ x\ (2\,s)^2}{4\ x\ (3.1416)^2} = \frac{39.12\ m}{39.4786} = 0.9909\ m$

Por lo tanto, debemos ajustar la longitud $L = 0.9909\ m$ del péndulo para tener el mejor valor práctico.

Así que, todas las lecturas menores que el valor de $T = 2.00911 s$ no se deben considerar, pues significaría que no hay fricción ni de la esfera con el aire, ni en el punto de giro o soporte del hilo pendular.

Este valor calculado de $T$ es nuestro objetivo teórico para desarrollar correctamente la práctica. Para ello emplearemos el método del dispositivo pendular que requiere de las siguientes consideraciones a fin de alcanzar la precisión máxima:

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.

1.- La lectura de la longitud del hilo del péndulo debe ser lo más correcta posible y hacerse justo desde el inicio de su movimiento, 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.- La segunda lectura a realizar es la del periodo T del movimiento pendular. En este caso, lo recomendable es obtener una lectura por cada 20 oscilaciones, de esa manera el error provocado por el arranque y paro del cronómetro se minimiza. Otro aspecto para considerar, es el hecho de que lo ideal sería 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°.

3.- Por último, es recomendable la formación de equipos de trabajo o brigadas, y la obtención del mayor número posible de mediciones, descartando (eliminando) las discrepancias respecto a la media, a fin de reducir la desviación típica estándar a valores aceptables estadísticamente.

4.- Aplicar las siguientes ecuaciones:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \qquad \text{y} \qquad g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

## 3 EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

- Péndulo compuesto.
- Cronometro.
- Linterna sorda.
- Soporte universal.
- Mesa nivelada.
- Transportador angular (goniómetro).
- Escala Graduada

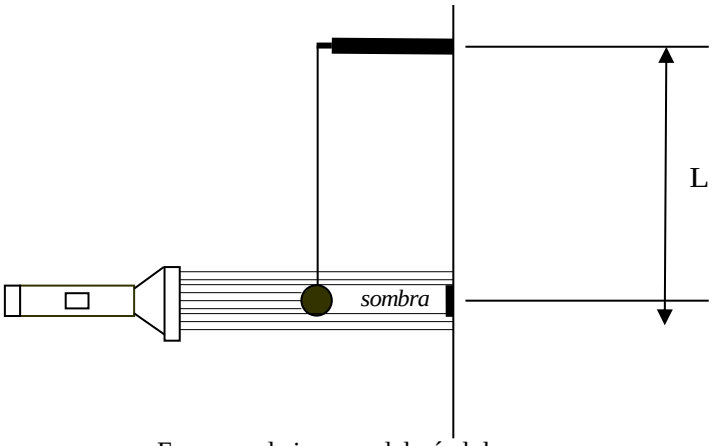
## 4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

Cada equipo formado por 2 alumnos llevará a cabo los siguientes pasos y al final se reunirá la información de todos los equipos para tener el mayor número de datos y aproximar así la media estadística al valor teórico esperado.

Primer paso. Determinar el valor de la longitud del péndulo $L$

Con ayuda del soporte universal y la mesa nivelada, se deberá colocar una linterna o lámpara sorda perpendicular al eje vertical del hilo. Al proyectar la sombra se podrá medir con precisión la longitud L del péndulo ver figura. Cada equipo deberá obtener el valor de $L$ verificándolo cuidadosamente.

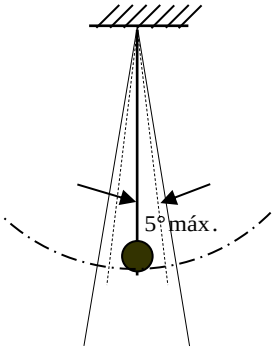
Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.




Esquema de imagen del péndulo

Segundo paso. Provocar la oscilación del péndulo

Separar el péndulo de su posición vertical un ángulo pequeño no mayor a $5°$, y dejarlo oscilar libremente, teniendo cuidado de verificar que las oscilaciones se produzcan en un plano vertical. La misma linterna nos permitirá proyectar la sombra del movimiento y si trazamos unas líneas que nos limiten el ángulo con facilidad podremos controlar la amplitud de las oscilaciones en el momento de la lectura, como lo muestra la figura.




Oscilación libre de un péndulo

Tercer paso. Obtener la lectura del periodo pendular $T$

Cuando el movimiento del péndulo sea regular, se cronometran "n" oscilaciones completas, siendo el periodo pendular $T$ el tiempo medido dividido por "n". Se repite la operación anterior varias veces con el mismo péndulo.

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. RESULTADOS

Tabla 4. Ejemplo del registro lecturas

| Lectura | Tiempo registrado para 20 oscilaciones completas $10T\ (segundos)$ | Tiempo de una oscilación completa $T\ (segundos)$ | Eliminar | Observaciones |
|---|---|---|---|---|
| 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 | eliminar | Media truncada |
| 7 | 20.04 | 2.004 | | |
| 8 | 19.79 | 1.979 | | |
| 9 | 19.59 | *1.959 | eliminar | Media truncada |
| 10 | 19.86 | 1.986 | | |
| Promedio | 19.81 | 1.981 | | |

Precaución: Antes de obtener la lectura con el cronómetro, se debe revisar que el movimiento del péndulo esté en un plano vertical y que no tenga vibración alguna con el ángulo solicitado. La vista del alumno que opera el cronómetro debe estar en el mismo eje de la lámpara en posición horizontal a fin de asegurar una debida apreciación; se activará el cronómetro y se contarán 10 oscilaciones completas como mínimo antes de detenerlo. Se anotará la lectura y se procederá a repetirla, cuidando de que las oscilaciones no hayan disminuido en amplitud, y que sea difícil apreciar el movimiento. En caso de ser así, se deberá nuevamente de iniciar el movimiento pendular modificando la amplitud como se indicó anteriormente. Se recomienda anotar los datos en una tabla como la presentada a continuación para observar las oscilaciones pendulares.

Nota: Los valores obtenidos por los observadores 6 y 9, salen de la tendencia estadística con respecto a los demás (media truncada) deben descartarse.

Cuarto paso. Calcular el valor de la aceleración de la gravedad $g$

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

$$L = 1.0\ metros$$

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.

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 los equipos de alumnos se incluirán en la siguiente tabla:

Tabla 5. Base de datos para el cálculo de $g$

| Lectura | Longitud del hilo pendular $L\ (m)$ | Periodo $T\ (segundos)$ | Valor de la gravedad local $g\ (m/s^2)$ | Observaciones |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| Promedio | | | | |

Factor de corrección en el tiempo del periodo: Recordemos que el movimiento del péndulo debería hacerse en el vacío con el fin de eliminar la fricción del aire con la esfera y el hilo, además de la fricción en el punto de giro del soporte con el péndulo. El efecto buscado es acelerar el movimiento, lo cual se puede conseguir si al tiempo del periodo le aplicamos un factor práctico de reducción equivalente al 0.2 %, lo que se obtiene si multiplicamos por $(1 - 0.002) = 0.998$

$$T = 2.00911s\ x\ 0.998 = 2.0051\ segundos$$

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

$$g = \frac{(39.4786)\ (_____\ m)}{(_____\ s)^2} = \frac{_____\ m}{_____\ s^2} = _____\ \frac{m}{s^2}$$

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.

El error lo podemos obtener de la siguiente manera:

$$\varepsilon = \frac{9.78 - _____}{9.78} = 0._____ = 0._____ \ \%$$

Nota: Es recomendable un error no mayor al 0.5 %, por lo que para este experimento con alumnos se consideró a la práctica: ***Correcta*** ◯ ; ***Incorrecta*** ◯

Aplicaciones en la ingeniería

En el análisis estructural en la rama de sismicidad, se considera a la misma forma de la ecuación pendular:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

En donde $T$ representa el periodo de vibración fundamental de la estructura, y sus propiedades dinámicas están indicadas por la masa analizada $m$, y $k$ que significa el módulo de rigidez.

## 6. CONCLUSIONES

### 6.1. Conclusiones del profesor

1) El valor teórico de la aceleración de la gravedad que debió obtenerse es: $g = 9.78 \frac{m}{s^2}$

2) La longitud teórica pendular para obtener esté resultado es: $L = 0.9909\ metros$

3) En caso de no haber obtenido el valor exacto de la aceleración de la gravedad las causas fueron:

1 Las condiciones físicas del equipo: _____
_____

2 Vibraciones al iniciar las oscilaciones del péndulo: _____
_____

3 Variaciones en las lecturas: _____
_____

4 Otras (especifique): _____
_____

En el área de conocimiento de estructuras, es necesario conocer las características, propiedades y ecuaciones del péndulo, para disminuir la resonancia a determinada frecuencia con objeto de evitar que las edificaciones oscilen, siendo dicha resonancia el fenómeno que se produce cuando un cuerpo que es capaz de vibrar, es sometido a la acción de una fuerza periódica. De inmediato observamos como ejemplo, que la plomada utilizada

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.

en las obras constructivas no es un péndulo, debido a que se encuentra en condiciones de equilibrio estático o de reposo, y en cambio los péndulos deben oscilar con un movimiento armónico simple.

La práctica es de gran interés para cualquier persona que se encuentre estudiando ingeniería, ya que por medio de un experimento sencillo e ingenioso se puede explicar el fenómeno de la atracción terrestre.

## 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.

Cuestionario

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

1) ¿Cuál es la definición de péndulo simple?

Solución: El péndulo simple, también conocido como péndulo matemático o péndulo ideal, se define como un ente ideal constituido por una masa puntual suspendida de un hilo inextensible y sin peso, capaz de oscilar libremente en el vacío y sin rozamiento

2) ¿Cómo se define la longitud de un péndulo?

Solución: Es la distancia $L$ entre el punto de suspensión y el centro de gravedad de la lenteja del péndulo.

3) El movimiento de un péndulo es oscilatorio y periódico, explique por qué?

Solución: El movimiento de un péndulo es oscilatorio porque se realiza en torno a un punto de equilibrio estable, es decir, su desplazamiento da lugar a la aparición de una fuerza restauradora que devuelve a la partícula hacia su punto de equilibrio. Y es periódico porque la posición y su velocidad angular se repiten en función del tiempo.

4) ¿Bajo qué condiciones se puede considerar al péndulo con movimiento armónico simple, es decir, como oscilador armónico?

Solución: Un péndulo físico se considera como un oscilador armónico cuando oscila con amplitudes pequeñas, en donde la fuerza restauradora o fuerza componente tangencial del peso y la aceleración debida a la gravedad terrestre de la esfera pendular es proporcional al desplazamiento, pero en sentido contrario. La aceleración depende de la distancia a la posición de equilibrio.

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) ¿Cuáles son las fuerzas que intervienen en el movimiento del péndulo?

Solución: Intervienen la fuerza vertical debida a la aceleración $(w=m\,g)$, y sus dos componentes: la fuerza de tensión en la dirección radial $(F_T = mg\cos\theta)$ y la fuerza tangencial o restauradora $(F = -mg\,sen\,\theta)$ .

6) ¿De qué depende el periodo del péndulo?

Solución: Únicamente de la longitud del hilo pendular, pero no depende de la masa de la lenteja del péndulo.

7) ¿Por qué al disminuir la amplitud del movimiento de un péndulo simple, no cambia el periodo, ni la frecuencia?

Solución: Porque el periodo y la frecuencia de un péndulo simple no dependen de la masa de la lenteja del péndulo, así como el periodo no depende de la amplitud, siempre que la amplitud $\theta$ sea pequeña.

8) ¿Qué le sucede a la frecuencia en el movimiento de un péndulo cuando se cuadruplica la longitud del hilo pendular? Justificar algebraicamente su respuesta.

Solución: La frecuencia se divide por dos.

9) En el caso de que un péndulo estuviera en un lugar en donde la aceleración de la gravedad es la mitad de la del nivel del mar en la Tierra, que le sucede al periodo $\mathrm{T}$. Justificar su respuesta.

Solución: El periodo $\mathrm{T}$ se multiplica por raíz de dos.

10) ¿Cuál es la función geométrica que relaciona al periodo de un péndulo $\mathrm{T}$ y a la longitud $\mathrm{L}$ del hilo pendular? explique el proceso algebraico.

Solución: La ecuación de una línea recta que pasa por el origen es.

$$\mathrm{T} = 2\pi\sqrt{\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{g}}} \quad ; \quad \mathrm{T}^2 = 4\pi^2\left(\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{g}}\right) \quad ; \quad \frac{\mathrm{T}^2}{4\pi^2} = \left(\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{g}}\right) \quad ; \quad \therefore \quad \frac{1}{4\pi^2}\mathrm{T}^2 = \frac{1}{g}\mathrm{L}$$

Siendo, $m = \dfrac{1}{g}$ $(pendiente)$ y $x = \mathrm{L}$, tenemos una recta de la forma: $y = m\,x$

En donde: 1) $y = \dfrac{1}{4\pi^2}\mathrm{T}^2$ o 2) $y = \dfrac{1}{g}\,\mathrm{L}$

Ejemplo: Para el caso de Naucalpan tenemos que:

$$1)\ y = \frac{1}{4\pi^2}\mathrm{T}^2 = 0.02533017744\,\mathrm{T}^2$$

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.

2) $y = \frac{1}{g} \text{ L} = \frac{1}{9.78 \frac{m}{s^2}} \text{ L} = 0.1022494888 \text{ L}$

Como $g \approx 9.78 \frac{m}{s^2}$

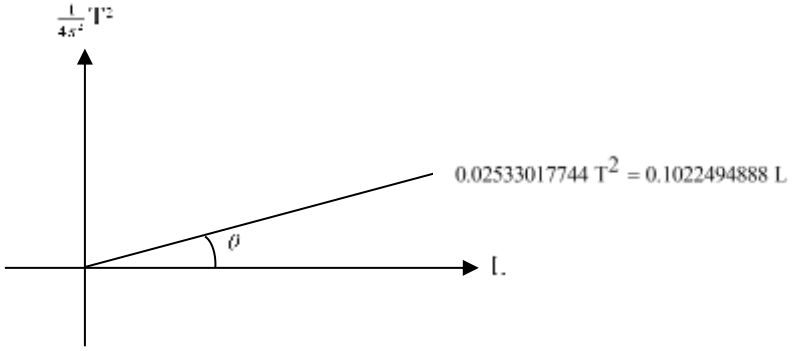
Entonces la pendiente $m = \frac{1}{9.78} = 0.1022494888$, es decir, es la pendiente o tangente trigonométrica del ángulo de inclinación $\theta$ de la recta, es decir:

Si: $m = \tan\theta$ entonces $\theta = \text{ang}\tan m$

$\theta = \text{ang}\tan 0.1022494888 = 5.838174625°$

Por lo tanto, la ecuación de la recta en forma simplificada que pasa por el origen tiene la forma:

$$0.02533017744 \text{ T}^2 = 0.1022494888 \text{ L}$$




Así, para una longitud del hilo pendular $\text{L} = 1m$, tenemos un periodo:

$$\text{T} = \sqrt{\frac{0.1022494888 \; x1}{0.02533017744}} = \sqrt{4.036666898} = 2.009145813 \; \textit{segundos}$$

## *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 y autor 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.

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.

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.

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

Valera Negrete, José Pedro Agustín, Apuntes de Física General, México, Ediciones Acatlán, UNAM, primera edición, 2005

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

La que indique el profesor

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.2**
**DENSIDAD DE MUESTRAS LIQUIDAS Y SOLIDAS**

**Determinar la densidad o masa de diversas muestras de líquidos y sólidos, utilizando una probeta graduada para el segundo caso, un picnómetro de volumen conocido para el primer caso.**

# 1 OBJETIVO

## 1.1 Objetivo general

Determinar la densidad $\rho$ de diferentes muestras de líquidos y sólidos, empleando un picnómetro de volumen conocido y una probeta graduada.

Definición etimológica. - Picnómetro: pyknós = densidad; metron = medida

## 1.2 Objetivos específicos

**1.2.1 Aplicando la segunda ley de Newton establecer la diferencia de los conceptos 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 substancias liquidas, de cuerpos de solidos regulares (con forma geométrica, y de cuerpos solidos irregulares.).**

**1.2.3 Obtener la densidad de diversas muestras liquidas y sólidas.**

**1.2.4 Obtener la densidad de muestras liquidas utilizando un areómetro o densímetro.**

# 2 ANTECEDENTES TEÓRICOS

## 2.1 Introducción

El arquitecto romano Marco Vitruvio Polión (80-70 a.C. – 15 a.C.), 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 las 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 o substancia puede ser más pesado que otra pieza más grande de otro material diferente, por lo que la distinción entre ellos se observará mediante la determinación de sus masas (cantidad de materia que posee un cuerpo) por la unidad de volumen de dichos materiales o substancias, las cuales reciben el nombre de densidades.

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

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.

Esta propiedad de los cuerpos la podemos comprender mejor imaginando una serie de cubos de un centímetro por lado, es decir, 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. Masa especifica o densidad absoluta ($\rho$)

La masa específica o densidad absoluta de un material o de una substancia, se define como la relación de su masa con respecto al volumen que ocupa, en el sistema $cgs$ la masa específica está dada en gramos, y el volumen en $cm^3$.

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

Y se representa como: $\rho = \dfrac{m}{V}$

En el sistema internacional de unidades (SI) la densidad se define en: $\dfrac{kg_m}{m^3}$

## 2.3. Densidad relativa

La densidad relativa es la relación que existe entre las masas de volúmenes iguales de dos sustancias o cuerpos diferentes. Se ha aceptado para el caso de líquidos y sólidos tomar como unidad al agua y para los gases al aire. Las cantidades que representan las densidades de los líquidos y de los sólidos, indican las veces que estas sustancias contienen mayor o menor cantidad de masa que el agua, a 4°C se tiene que:

$$\rho_{agua} = 1{,}000\ \frac{kg_m}{m^3}$$

. La densidad relativa es una cantidad adimensional que tiene la siguiente ecuación:

$$\rho_{rel} = \frac{\rho_{substancia}}{\rho_{agua}} \quad \text{(adimensional)} \Rightarrow \rho_{substancia} = \rho_{rel}\ x\ \rho_{agua}$$

En general en el laboratorio y en el nivel del mar: $\rho_{agua} = 1\ \dfrac{kg_m}{dm^3}$

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.

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

| Sustancia | Densidad ρ ( $g_m / cm^3$ ) | Densidad ρ ( $kg_m / m^3$ ) |
|---|---|---|
| 1.1.1.1 Sólidos | | |
| Madera | 0.5 a 0.8 | 500 a 800 |
| Hielo | 0.92 | 920 |
| Concreto | 2.30 | 2,300 |
| Vidrio | 2.60 | 2,600 |
| Aluminio | 2.70 | 2,700 |
| Mármol | 2.70 | 2,700 |
| Zinc | 7.10 | 7,100 |
| Fierro | 7.40 | 7,400 |
| Hierro y acero | 7.80 | 7,800 |
| Bronce | 8.50 | 8,500 |
| Latón | 8.70 | 8,700 |
| Cobre | 8.90 | 8,900 |
| Plata | 10.50 | 10,500 |
| Plomo | 11.30 | 11,300 |
| Oro | 19.30 | 19,300 |
| Platino | 21.40 | 21,400 |
| | | |
| | | |
| | | |

| Sustancia | Densidad ρ ( $g_m / cm^3$ ) | Densidad ρ ( $kg_m / m^3$ ) |
|---|---|---|
| 1.1.1.2 Líquidos | | |
| Éter | 0.713 | 713 |
| Gasolina | 0.700-0.745 | 700 a 745 |
| Acetona | 0.792 | 792 |
| Alcohol etílico | 0.789 | 789 |
| Aguarrás | 0.870 | 870 |
| Benceno | 0.878 | 878 |
| Aceite de olivo | 0.916 | 916 |
| Agua (4°C) | 1.000 | 1,000 |
| Agua de mar | 1.029 | 1,029 |
| Leche | 1.029 | 1,029 |
| Glicerina | 1.264 | 1,264 |
| Mercurio | 13.600 | 13,600 |
| | | |
| 1.1.1.3 Gases | ( $g_m / cm^3$ ) | ( $kg_m / m^3$ ) |
| Hidrógeno | 0.000090 | 0.090 |
| Helio | 0.000178 | 0.178 |
| Nitrógeno | 0.001260 | 1.260 |
| Aire | 0.001290 | 1.290 |
| Oxígeno | 0.001430 | 1.430 |

## 2.4. Peso específico o peso volumétrico

El peso específico o peso volumétrico de un material o 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 $cm^3$ de la sustancia y en el sistema cgs se expresa en $dinas/cm^3$ o en $\overline{g}/cm^3$. Cuando la unidad de peso empleada es el gramo; el peso específico del agua destilada, a la temperatura de 4°C es $1\overline{g}/cm^3$ y en el sistema internacional (SI) el peso específico se expresa en $\overline{kg}/m^3$.

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.

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 los Suelos al peso específico "$\gamma$ "se le denomina, peso volumétrico.

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

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

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

## 2.5. Volumen especifico

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).

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

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 lo tanto, la definición del volumen específico se refiere a dicha propiedad de la sustancia en un punto de un sistema.

Las propiedades serán intensivas (independientes de la masa del cuerpo o del sistema) o extensivas (dependientes de la masa del cuerpo o del sistema). 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** ).

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.

## 2.6. 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 " $\gamma$ " 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 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

- Muestras de diversos materiales
- a) Líquidos: agua, aceite, acetona, glicerina, alcohol, mercurio, etc.,
- b) Sólidos: aluminio, fierro, cobre, plomo, roca (grava) etc.,
- Balanza de precisión,
- Picnómetro y probetas graduadas,
- Termómetro,
- Vasos de precipitado de volúmenes diversos (juego de 50, 100, 200, 500 y 1000 $cm^3$),
- Probetas graduadas de volúmenes diversos (juego de 200, 500 y 1000 $cm^3$),
- Calibrador con vernier y escala (regla) graduada en cm. y mm,
- Areómetros o densímetros,
- 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, y mediante la segunda ley de Newton para la caída libre de un cuerpo:

a) Si el peso $w$ se obtiene en $\overline{kg}$, y el valor de la gravedad local es $g = 9.78\ \frac{m}{s^2}$:

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

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.

Observando la expresión de la constante gravitacional: $g_c = 9.81 \frac{kg_m \ x \ m}{\overline{kg} \ x \ s^2}$, tenemos:

$$1 \ \overline{kg} = 9.81 \frac{kg_m \ x \ m}{g_c \ x \ s^2} = 9.81 \frac{kg_m}{g_c} x \frac{m}{s^2}$$

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

Por lo tanto: $m = \frac{w \, g_c}{g_{local}}$ o $m = w \frac{g_c}{g_{local}}$

Entonces: $m = w \ (\overline{kg}) \ x \ \frac{9.81 \frac{kg_m \ x \ m}{\overline{kg} \ x \ s^2}}{9.78 \frac{m}{s^2}} = w \ (\overline{kg}) \ x \ 1.003 \frac{kg_m}{\overline{kg}} = 1.003 \ w \ (kg_m)$

b) Si el peso se proporciona en gramos fuerza "$\overline{g}$" entonces: $m = \frac{w \, g_c}{g}$

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

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:

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

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

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.

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.

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: $m = w\,(\bar{g})\left(\dfrac{981\ \dfrac{g_m\ x\ cm}{\bar{g}\ x\ s^2}}{978\ \dfrac{cm}{s^2}}\right) = w\,(\bar{g})\left(1.003\ \dfrac{g_m}{\bar{g}}\right)$

1 Para la muestra líquida de agua:

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

masa del agua: $m =$ _____ $\bar{g}\ x\ 1.003\dfrac{g_m}{\bar{g}} =$ _____ $g_m$

2 Para la muestra líquida de acetona:

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

masa de la acetona: $m =$ _____ $\bar{g}\ x\ 1.003\dfrac{g_m}{\bar{g}} =$ _____ $g_m$

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

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

masa del plomo: $m =$ _____ $\bar{g}\ x\ 1.003\dfrac{g_m}{\bar{g}} =$ _____ $g_m$

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

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

masa del cobre: $m =$ _____ $\bar{g}\ x\ 1.003\dfrac{g_m}{\bar{g}} =$ _____ $g_m$

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

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

masa de la roca: $m =$ _____ $\bar{g}\ x\ 1.003\dfrac{g_m}{\bar{g}} =$ _____ $g_m$

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.

## 4.2 Determinación de la densidad de sustancias liquidas mediante el picnómetro, y otros instrumentos de medición (probetas y vasos de precipitado)

### 4.2.1 Actividades propuestas.

El profesor 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 de utilizará una probeta graduada o un vaso de precipitados).

.

### 4.2.3 Desarrollo del experimento mediante el uso del picnómetro, vaso de precipitados y/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 utilicemos 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 $m_2 - m_1$ y hallamos la densidad de la sustancia seleccionada mediante la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \qquad \left(\frac{g_m}{cm^3}\right)$$

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

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.

### 4.2.4. Resultados y análisis de muestras liquidas

Tabla 1: Se obtienen a partir de la definición de densidad mediante el uso del picnómetro, o de probetas graduadas y vasos de precipitado

| Líquido | Peso de la probeta vacía $w_1 \, en \, \bar{g}$ | Peso de la probeta llena $w_2 \, en \, \bar{g}$ | Peso del líquido $(w_2 - w_1)$ $en \ \bar{g}$ | Masa de la probeta llena $m_2 \, en \, g_m$ | Masa del líquido en $g_m$ $m = \frac{w g_c}{g}$ | Volumen $V$ en $cm^3$ | Densidad $\rho$ en $g_m / cm^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Agua | | | | | | | |
| Acetona | | | | | | | |
| Glicerina | | | | | | | |
| Otro | | | | | | | |

Tabla 2: Comparación entre valores teóricos y calculados

| Muestra | Temperatura en °C | Densidad teórica $\rho_t$ $g_m / cm^3$ | Densidad calculada $\rho_c$ $g_m / cm^3$ | Diferencia $\rho_t - \rho_c$ $g_m / cm^3$ | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| Agua | | | | | |
| Acetona | | | | | |
| Glicerina | | | | | |
| Otro | | | | | |

### 4.2.5. Procedimiento mediante el uso del densímetro para muestras liquidas

Los densímetros también llamados aerómetros, son instrumentos que se utilizan para medir la densidad relativa de los líquidos sin necesidad de calcular la masa y el volumen de la substancia. Generalmente están fabricados con vidrio y consisten en un cilindro hueco con un bulbo pesado y calibrado en su extremo inferior con objeto de que flote cuando se encuentre en posición vertical. Su funcionamiento se basa en el principio de Empuje de Arquímedes.

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.

Para su utilización se deben seguir los siguientes pasos:

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 señalada en el densímetro.
4 Comprobar los resultados obtenidos con las tablas de datos teóricos.

Tabla 3: Comparación entre valores teóricos y calculados para muestras líquidas

| Muestra | Temperatura °C | Densidad teórica $\rho_t$ $g_m/cm^3$ | Lectura densímetro $\rho_d$ $g_m/cm^3$ | Diferencia $\rho_t - \rho_d$ $g_m/cm^3$ | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| Agua | | | | | |
| Acetona | | | | | |
| Glicerina | | | | | |
| Otro | | | | | |

## 4.3 Determinación de la densidad de substancias solidas

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 se encuentre 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 precipitados 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 una muestra de grava se podrá humedecer obteniendo su volumen real por desplazamiento.

Conociendo el volumen y la masa se aplica: $\rho = \frac{m}{V} \quad \left( \frac{g_m}{cm^3} \right)$

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.

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.

**4.3.1 Procedimiento**

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

## 5. RESULTADOS

Tabla 4: Muestras de materiales sólidos de forma regular (cúbica)

| Muestra | Símbolo | Peso $w$ en $\bar{g}$ | Masa $m$ en $g_m$ | Cálculo del volumen en $cm^3$ | | | | $\rho$ $g_m/cm^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Largo (cm) | Ancho (cm) | Grueso (cm) | Volumen $cm^3$ | |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |

Tabla 5: Muestras de materiales sólidos de forma cilíndrica

| Muestra | Peso $\bar{g}$ | Masa $g_m$ | Cálculo del volumen en cm$^3$ ($\pi r^2 l$) | | | | | $\rho$ $g_m/cm^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | diámetro | radio | r$^2$ | altura | volumen | |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |

Tabla 6: Muestras de materiales sólidos de forma irregular

| Muestra | Peso $\bar{g}$ | Masa $g_m$ | Volumen $cm^3$ | $\rho$ $g_m/cm^3$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

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.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 4 | | | | |

Tabla 7: Resumen de muestras sólidas

| Muestra | Temp °C | Peso $\bar{g}$ | Masa $g_m$ | Volumen $cm^3$ | Densidad teórica $g_m/cm^3$ | Densidad calculada $g_m/cm^3$ | Diferencia $g_m/cm^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |

Aplicaciones en la Ingeniería

La determinación de la masa de un cuerpo es importante en el campo de la Física para determinar la densidad de este, 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 efectuamos el análisis de pesos específicos para el estudio de diferentes materiales sujetos e esfuerzos de tensión, compresión y cortante, y en mecánica de suelos e hidráulica estudiamos sus pesos volumétricos.

# 6 CONCLUSIONES

## 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: $0.792\ g_m/cm^3$ , y en el experimento se obtuvo $0.882\ g_m/cm^3$ , 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 con cuales estará en contacto el Ingeniero Civil en sus procesos constructivos, tales como el PVC, la grava y la varilla corrugada, etc.

Debe hacerse notar que el peso de un cuerpo se afecta por la aceleración de la gravedad local cuyo valor teórico es: $g = 9.78\ \frac{m}{s^2}$

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.

## 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.

Cuestionario

1) Explique con sus palabras la diferencia entre la masa y el 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 la aceleración de la gravedad terrestre es $g = 9.80665\ m/s^2$, hasta la Ciudad de México en dónde $g = 9.78\ m/s^2$. 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 $10\,m \times 10\,m \times 3\,m$ si cada metro cúbico pesa $1.293\ \overline{kg}$.

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.

A partir de las definiciones de presión $P = \frac{F}{A}$ y para caída libre $P = \frac{w}{A}$ siendo $w$ el peso del cuerpo, así como de la expresión de peso específico $\gamma = \frac{w}{V} \Rightarrow w = \gamma V$, sustituimos en la ecuación de presión teniendo: $P = \frac{w}{A} = \frac{\gamma V}{A} = \frac{\gamma A h}{A} = \gamma h$

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

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

Solución:

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.

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

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

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: $g_c = 9.80665\ \frac{kg_m\ x\ m}{\overline{kg}\ x\ s^2} = 980.665\ \frac{g_m\ x\ cm}{\bar{g}\ x\ s^2}$

e) Como la masa de la muestra se obtiene de la expresión: $m = \frac{w\,g_c}{g}$ sustituyamos los valores de $g$ y de $g_c$

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

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

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

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

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

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

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

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.

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

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

7) Si la densidad del agua es igual a $1\ kg_m / dm^3$, obtenga su valor en $lb_m / pie^3$.

Solución:

$$\rho_{agua} = 1\ \frac{kg_m}{dm^3}\ x\ \frac{2.2046\ lb_m}{1\ kg_m}\ x\ \frac{(3.048\ dm)^3}{1\ pie^3} = 62.427\ \frac{lb_m}{pie^3}$$

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

1.1.1.4 Datos:

$m = 5.98\ x\ 10^{24}\ kg_m$

$r = 6.38\ x\ 10^6\ m$

$\rho = ?\quad (\frac{g_m}{cm^3}\ ,\ \frac{lb_m}{pie^3})$

Fórmulas y ecuaciones:

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

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

Solución:

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

$$V = \tfrac{4}{3}(3.1416)(6.38\ x\ 10^6\ m)^3 = 1.0878\ x\ 10^{21}\ m^3$$

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

$$\rho = \frac{5.98\ x\ 10^{24}\ kg_m}{1.0878\ x\ 10^{21}\ m^3}\ x\ \frac{1{,}000\ g_m}{1\ kg_m}\ x\ \frac{1\ m^3}{1{,}000{,}000\ cm^3} = 5.497\ \frac{g_m}{cm^3}$$

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 $0.2\ \overline{kg}$ estando en equilibrio. Al retirar la pesa, el cubo se eleva $2\ cm$. Calcular la longitud de la arista de dicho cubo.

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.

Solución:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$l = 10\ cm$$

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.

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.

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). Las 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.

## 7. FUENTES DE CONSULTA

Documentos que tengan relación con el contenido de la sesión práctica como libros, normas, reglamentos, manuales del fabricante**.**

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 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.

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.

Valera Negrete, José Pedro Agustín, Apuntes de Física General, México, Ediciones Acatlán, UNAM, primera edición, 2005

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

La que indique el profesor

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.3**
**MANOMETRÍA**

**Determinar el valor de las presiones: atmosférica local, relativa y absoluta**

## 1. OBJETIVO

### 1.1 Objetivo general

Mediante dispositivos de medición, determinar el valor de la presión atmosférica local y de la presión relativa de un fluido (líquido y de un gas), obteniendo para cada caso la presión absoluta.

### *1.2* Objetivos específicos

**1.2.1 Analizar el concepto físico de presión y de presión atmosférica obteniendo las expresiones matemáticas que definen su variación y su equivalencia en una columna de agua.**

**1.2.2 Describir el funcionamiento del barómetro de Torricelli o de cubeta y del barómetro aneroide, obteniendo la presión atmosférica local en ambos casos, comparando los valores obtenidos.**

**1.2.3 Analizar los conceptos de la presión relativa (manométrica y de vacío), así como de la presión absoluta, indicando las unidades en las que se miden o evalúan.**

**1.2.4 Describir el funcionamiento del manómetro diferencial y de los tubos piezometricos del banco de flujo, aplicándolos a un caso práctico. Utilizar el manómetro de caratula o de Bourdon conectado a tuberías.**

## 2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

### 2.1 Introducción

Mientras la palabra atmósfera (masa de aire) se aplica a toda la envoltura o capa gaseosa que rodea a la Tierra, el término aire (fluido gaseoso: del griego air, movimiento hacia arriba) 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 de la naturaleza por los antiguos alquimistas griegos, junto con la tierra, el fuego y el agua.

La parte baja de la atmósfera, es la que nos rodea directamente, y coloquialmente la llamamos aire. La atmósfera es la región gaseosa alrededor de la Tierra, la más externa y menos densa del planeta. Está subdividida en tropósfera, estratósfera, mesósfera, ionósfera o termósfera, exósfera y magnetósfera. Esta última es de todas aún la menos densa y tan tenue que su mayor parte se confunde con el espacio exterior. La atmósfera, medida desde la superficie marina hasta el comienzo de la exósfera tiene un espesor de entre 600 y 800 km. De estos, a la tropósfera le corresponden apenas entre 10 y 12 km de grosor, es decir, menos del 2%. Sin embargo, en esa estrecha bóveda se concentra toda la vida terrestre y aérea del planeta. Las tres cuartas partes de la masa atmosférica corresponden a la tropósfera en virtud de la fuerza en caída libre debida a la aceleración de la gravedad de la Tierra (peso).

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.

## 2.2 Atmosfera

Se llama presión atmosférica (del griego: atmós = vapor; sphaira = esfera) o barométrica (barós = peso; métron = medida) a la fuerza $F$ por unidad de área $A$ 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.

$$\textit{Atmósfera}\begin{cases} 1.-\textit{Tropósfera}\ (0-12\ km) \begin{cases} a)\ \textit{Biósfera}\ (0-3\ km) \\ b)\ \textit{Tropopausa}\ (3-12\ km) \end{cases} \\ 2.-\textit{Estratósfera}\ (12-50\ km) \begin{cases} a)\ \textit{Ozonósfera}\ (12-40\ km) \\ b)\ \textit{Estratopausa}\ (40-50\ km) \end{cases} \\ 3.-\textit{Mesósfera}\ (50-90\ km) \\ 4.-\textit{Ionósfera}\ (90-500\ km) \\ 5.-\textit{Exósfera}\ (500-1{,}000\ km) \\ 6.-\textit{Magnetósfera}\ (\textit{más de}\ 1{,}000\ km) \end{cases}$$

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 tropósfera (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 tropósfera, hasta los 3,000 m de altura, se denomina biósfera, y está sometida a la acción de los vientos. La tropósfera 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 tropósfera denominada tropopausa la temperatura comienza a estabilizarse.

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.

La estratósfera 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 estratósfera, se encuentra la ozonósfera, 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 estratósfera se sitúa una nueva capa, la mesósfera, 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 mesósfera y separada de ésta por la mesopausa, se inicia la ionósfera, que llega aproximadamente hasta los 500 km de altitud. La exósfera 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 micro meteoritos del espacio exterior. Una última capa, de límite impreciso, es la magnetósfera, 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 magnetósfera no constituye propiamente un estrato atmosférico.

**La Tierra vista desde el espacio**

## 2.3 Componentes del aire y su peso

En general 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, el dióxido de carbono y el agua aproximadamente en la siguiente proporción:

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.

Clasificación de los componentes del aire

| 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 |
| | ---------- | ---------- |
| Total: | 100.00000 | 100.000000 |

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

En la tropósfera (situada entre el suelo y la parte inferior de la estratósfera - biósfera y tropopausa), se encuentran las nubes, y se presentan las lluvias, las nevadas y la casi totalidad de los fenómenos meteorológicos, además, se realizan los vuelos comerciales. Posee la capa de ozono que nos protege del 90% de la radiación ultravioleta. También es el lugar donde ocurre el efecto invernadero natural y artificial de la Tierra. En ella se encuentra gran parte de la biósfera, o esfera de la vida, donde habitamos y tomamos el aire casi todas las especies de la Tierra. Los primeros 500 metros de la atmósfera algunos autores la llaman la “capa sucia” porque en ella se concentra la contaminación, el polvo procedente de los desiertos y los volcanes.

Los componentes del aire pueden subdividirse 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 o 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 en lugares de bajas temperaturas ambientales.

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.

El aire lleva siempre en suspensión partículas sólidas llamadas “polvo”. Estas partículas se componen de diversas substancias, como arcilla, sales, hollín, fibras vegetales y restos animales. Las partículas de polvo transportan bacterias de un sitio a otro; algunas son agentes patógenos 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.

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, bacterias, etc., en proporciones que dependen de diversos 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 %* | *Nitrógeno* | 78.03 |
| | *Oxígeno* | 20.99 |
| | *Argón* | 0.94 |
| | *Dióxido de carbono* | 0.03 |
| | *Hidrógeno*, *Xenón*, *Kriptón*, *Otros* | 0.01 |

*Impurezas*
- *Humos de sulfuros*
- *Humos de ácidos*
- $CO_2$ (*bióxido de carbono*)
- *Polvo*
- *Cenizas*
- *Minerales*
- *Vegetales*
- *Animales*
- *Microorganismos*

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.

El primero que midió el peso del aire fue el ingenioso sabio de Pisa, Italia, Galileo Galilei (1564-1642); 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, el alemán Otto de Guericke, (1602-1686), 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 vació 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 baróscopo o baroscopio (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 de este, 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 metros 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:

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

Un litro de gas carbónico, sustancia que se desprende de la combustión del carbón y de muchos otros combustibles, pesa 1.977 gramos; su densidad se obtiene dividiendo este número entre 1.293 peso de un litro de aire (1 $dm^3$). 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 $\gamma \left( \frac{\overline{g}}{cm^3} \right)$ | Densidad Relativa $\rho_{rel} = \frac{\rho_{gas}}{\rho_{aire}}\ adimensional$ |
|---|---|---|
| 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 |

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.

## 2.4 Peso específico o peso volumétrico

Construyamos un cubo de 1 cm. de arista (por lado) para cada una de las siguientes substancias: corcho, madera, yeso, mármol, aluminio, hierro y plomo. Cada cubo representará un volumen de 1 $cm^3$. Con un dinamómetro o una balanza de precisión, se determinan los pesos de estos cubos; al compararlos entre ellos mismos, encontraremos que cada uno tiene un valor diferente, pero si determinamos el peso de tres cubos de 1 $cm^3$ 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 substancia, se ha aceptado en llamarle peso específico, en mecánica de suelos se le denomina peso volumétrico.

El peso específico $\gamma$ (gamma) de una substancia o de un cuerpo se define como la relación de su peso con respecto al volumen total que ocupa:

$$\gamma = \frac{Peso\ total\ del\ cuerpo\ (w)}{Volumen\ total\ que\ ocupa\ (V)} \quad \Rightarrow \quad \gamma = \frac{w}{V}$$

El peso específico es entonces en el sistema $cgs$, el peso de 1 $cm^3$ de la sustancia y se expresa generalmente en gramos fuerza por $cm^3$. 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 fuerza por cada $cm^3$ (en el nivel del mar) 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 la letra del alfabeto griego $\gamma$, y las unidades más frecuentemente usadas son:

$$Sistema\ Absoluto\ cgs: \quad \frac{\overline{g}}{cm^3}$$

$$Sistema\ Absoluto\ MKS: \quad \frac{\overline{kg}}{dm^3}$$

$$Sistema\ Inglés\ LPS: \quad \frac{\overline{lb}}{pulg^3}$$

El peso específico $\gamma$ también se puede definir como la densidad del líquido por la aceleración de la gravedad, debido a que el peso es igual a la masa por la aceleración de la gravedad, y el volumen divide a ambos, de manera que la expresión de peso específico es:

$$\text{Si} \quad \gamma = \frac{w}{V} \quad \Rightarrow \quad \gamma = \frac{w}{V} = \frac{m\,g}{V} = \frac{m}{V}g = \rho\,g \quad \therefore \quad \gamma = \rho\,g$$

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.

## 2.4 Manometría

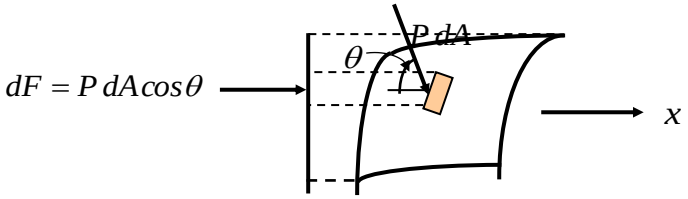
En la ingeniería es muy importante conocer los conceptos de presión (en sólidos, en líquidos y en gases), así como su aplicación en diversos campos de la Física, y aunque en rigor su estudio se basa principalmente en el análisis de la presión relativa medida con aparatos llamados manómetros aplicados a fluidos líquidos y gaseosos, por la diversidad de los mismos según sea su uso, todos ellos analizan el concepto de presión positiva o manométrica y/o de vacío o vacuométrica, y en general los hemos considerado en este apartado al que nos referiremos como "manometría" o estudio de la presión.

Debemos recordar que el concepto de presión en sólidos se analiza en los cursos de mecánica de materiales y se le denomina esfuerzo (de tensión, compresión y cortante).

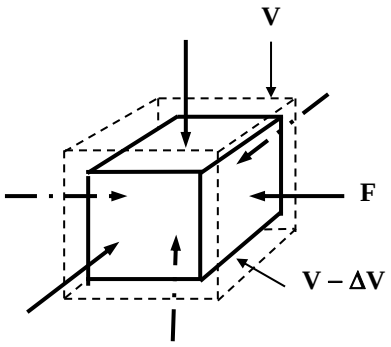
## 2.5 Presión

En un sistema físico, llamamos presión a la acción o fuerza que actúa directamente y en forma normal (perpendicular) contra la unidad de superficie o área y se expresa como la relación:

$$Presión = \frac{Fuerza}{Área} \quad \Rightarrow \quad \boxed{P = \frac{F}{A}}$$




Componente horizontal de la fuerza sobre una superficie curva




Cubo que se comprime en todos los lados por medio de fuerzas normales a sus seis caras

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.

El valor de la presión depende de los módulos de la componente perpendicular del vector fuerza y de la superficie sobre la que actúa.

En caída libre se puede obtener la expresión: $Presión = \frac{peso}{Área} \quad \Rightarrow \quad P = \frac{w}{A}$

Ahora multipliquemos numerador y denominador por una misma altura $h$ :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F\,h}{A\,h} = \frac{F\,h}{V}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior el peso $w$ en lugar de la fuerza $F$, para caída libre tenemos de igual forma:

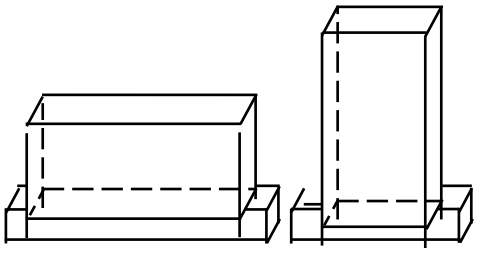
$$P = \frac{wh}{V} = \frac{w}{V}\,h$$

De la ecuación de peso específico sabemos que: $\gamma = \frac{w}{V}$

Por lo tanto, tenemos que la expresión para medir la presión en columnas de líquidos es:

$$\boxed{P = \gamma\,h}$$

Hay diferencias sobre la manera en que una fuerza superficial actúa sobre un sólido, y también sobre un fluido (líquido o gas). En dicho 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 de un sitio a otro (viscosidad).



Efectos de la presión

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.

La manometría (gr. manos, ligero o poco denso; metría de metron, medida) se define como una rama de la Física que estudia la forma de medición de la presión en los sólidos y fluidos (líquidos y gases) mediante el dispositivo llamado manómetro. Para tener una idea clara sobre el concepto de presión, analicemos el siguiente hecho: si colgamos de un dinamómetro apropiado, un trozo de hierro de forma prismática rectangular, cuyas tres dimensiones sean 40, 50 y 100 cm respectivamente; el dinamómetro nos indicará el peso de este cuerpo. Supongamos que dicho peso sea de 160 kilogramos, el cual ya sabemos es una fuerza vertical. Imaginemos que este prisma de hierro se coloca sobre una superficie deformable, como una lámina gruesa de hule; 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.

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

Representando por $P$ a la presión, por $F$ a la fuerza y por $A$ el área de la superficie, la expresión anterior se escribe como sigue:

$$\boxed{P = \frac{F}{A}} \qquad \left( \frac{N}{m^2}, \frac{\overline{kg}}{cm^2}, \frac{\overline{lb}}{pulg^2}, \frac{\overline{lb}}{pie^2} \right)$$

En caída libre:

$$P = \frac{w}{A} = \frac{w\,h}{Ah} = \frac{w}{V} h = \gamma\, h = \rho\, g\, h$$

$$\boxed{\begin{aligned} P &= \gamma\, h \\ P &= \rho\, g\, h \end{aligned}}$$

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

$$\begin{aligned} 1\,baria &= 1\,\frac{dina}{cm^2} \\ 1\,bar &= 10\,\frac{newton}{cm^2} = 1{,}000{,}000\,barias \\ 1\,Pascal &= 1\,\frac{newton}{m^2} \quad (1\,Pa) \end{aligned}$$

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.

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

$$\frac{\overline{Ton}}{m^2}, \frac{\overline{Ton}}{cm^2}, \frac{\overline{kg}}{cm^2}, \frac{\overline{lb}}{pulg^2}, atm, mmHg, pulg\,Hg, kPa\left(kiloPascal\right), hPa\,(hectoPascal),$$

$$MPa\left(MegaPascal\right)\ y\ mb\,(milibar)$$

Las equivalencias entre las unidades del sistema internacional e inglés para la presión son:

1 atmósfera = 760 mm de Hg = 10.332 m de $H_2O$ = 29.92 pulg de Hg

$$= 1.0332\ \frac{\overline{kg}}{cm^2} = 1013.25\ hPa = 14.69\ \frac{\overline{lb}}{pulg^2} = 1013.25\ mb$$

La presión atmosférica en un sitio determinado puede variar dependiendo de las características meteorológicas, así en la Ciudad de México con una altitud de 2,240 m sobre el nivel del mar, su valor oscila entre $585\ y\ 586\ mmHg$ es decir entre $779.935\ y\ 781.26\ hPa$. Por lo tanto, si la FES Acatlán se encuentra en el municipio de Naucalpan a una altitud sensiblemente igual a la de la CDMX tendrá en función de su temperatura y humedad relativa prácticamente la misma presión atmosférica.

## 3.2 Presión atmosférica, presión relativa y presión absoluta

Cuando tratamos con líquidos y gases nos referimos ordinariamente a su presión; y con sólidos usamos el término esfuerzo.

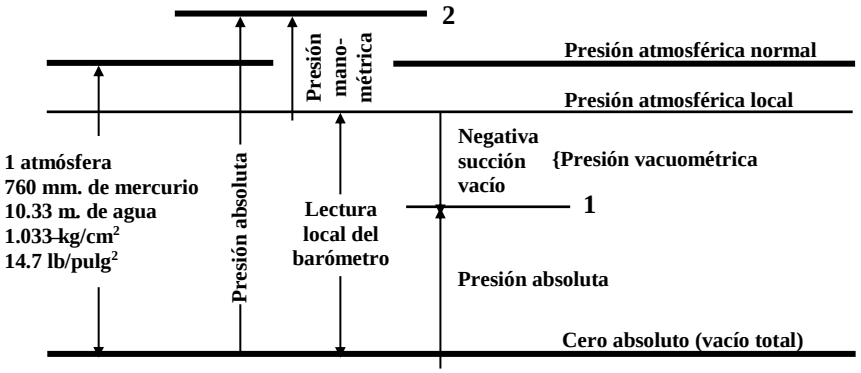
Las presiones pueden expresarse con referencia a un origen, siendo los más comunes el vacío absoluto y la presión atmosférica local, por lo que reciben el nombre de presión absoluta y presión atmosférica, respectivamente.

Como indicamos, las unidades de presión más frecuentemente utilizadas en Física son él $\frac{\overline{kg}}{m^2}$ y $\frac{\overline{lb}}{pie^2}$, sin embargo, en la industria se expresa la presión en $\frac{\overline{kg}}{cm^2}$ y $\frac{\overline{lb}}{pulg^2}$

También se acostumbra representar en algunos casos a la presión por la altura que alcanza un líquido determinado, este modo de expresar las presiones nos sirve para interpretar con claridad la unidad llamada "atmósfera", que es igual a la presión que produce una columna de mercurio de una altura de 760 mm; columna que equilibra a la presión atmosférica en el nivel del mar (experimento de Evangelista Torricelli, matemático y físico italiano 1608-1647). Dicha presión se obtiene por medio de un barómetro (baros, peso, y metron, medida).

El peso específico del aire es: $\gamma = 1.293\ \frac{\overline{g}}{dm^3}$

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.




Unidades y escalas de medida de la presión

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

Considerando que la presión relativa puede ser manométrica o vacuométrica, la figura anterior nos permite ilustrar los conceptos de presión absoluta, presión relativa y vacío.

Es frecuente indicar las presiones relativas y absolutas en el sistema inglés de la siguiente forma:

$$1\ psi = 1\ \frac{\overline{lb}}{pulg^2}\ relativa \quad \text{y} \quad 1\ psia = 1\ \frac{\overline{lb}}{pulg^2}\ absoluta$$

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:

$$Fuerza = Presión\ x\ Área\ de\ la\ superficie$$

$$F = PA$$

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.

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 ( $pulg^2$ ).

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

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. Esta capa gaseosa que rodea a nuestro planeta y cuyo espesor se considera alrededor de 1,000 km. lleva el nombre de atmósfera, estando constituida por el aire, este gas como indicamos anteriormente 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 (100 Pascales) y también en atmósferas, en donde una atmósfera equivale a 1,013.25 milibares.

Demostración:

a) $1\ bar = 10\ \frac{N}{cm^2}\ x\ \frac{10{,}000\ cm^2}{1\ m^2} = 100{,}000\ \frac{N}{m^2}$ $\quad \therefore\ 1\ mb = 100\ \frac{N}{m^2}$

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

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

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

El valor máximo de la presión atmosférica se alcanza en el nivel del mar, al existir mayor masa de aire por encima del mismo. 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 de altura. La disminución de la presión atmosférica se acompaña a grandes altitudes de la rarificación 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.

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.

La temperatura del aire de la atmósfera influye en el valor de la presión por deducción inmediata de las 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.

## 2.6 Acción de la presión sobre sólidos, líquidos y gases

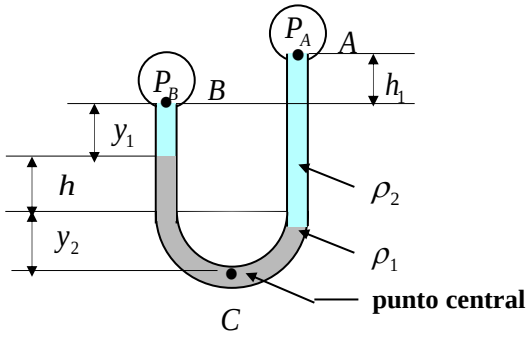
Si colocamos en un recipiente un trozo de plomo, este cuerpo conservará su forma, mientras no se ejerza sobre de él una presión muy grande que lo obligue a tomar la forma del recipiente. Si colocamos, en lugar del trozo de plomo, un poco de agua, este líquido se adapta inmediatamente a la forma del recipiente que lo contiene, fenómeno que se observa con cualquier líquido.

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.

Otra característica de los líquidos es la de su poca compresibilidad, es decir, que sus volúmenes varían muy poco cuando son comprimidos; esta propiedad se determina en el laboratorio por medio de dispositivos llamados piezómetros.

## 2.7 Manómetro diferencial

Para los gases, la densidad $\rho$ es relativamente pequeña y de ordinario es insignificante la diferencia de presión entre dos puntos; por ejemplo, en un depósito que contiene gas se puede admitir que la presión es la misma en todos los puntos, sin embargo, si la diferencia de alturas es muy grande, la presión sufrirá variaciones considerables.




Manómetro diferencial

Un dispositivo llamado manómetro diferencial, que consiste en un tubo en forma de U lleno de dos líquidos que no se mezclan, como se muestra en la figura, sirve para medir la diferencia de presiones entre los puntos A y B. Uno de los líquidos tiene una densidad $\rho_1$ y el otro $\rho_2$, para determinar la diferencia de presiones $P_A - P_B$ se hacen las mediciones $h$ y $h_1$.

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.

La presión en el punto central C puede calcularse por dos caminos diferentes según el principio fundamental de la hidrostática.

$$P_C = P_B + \left[ \rho_2 y_1 + \rho_1 h + \rho_1 y_2 \right] g \qquad \text{por la izquierda}$$

$$P_C = P_A + \left[ \rho_2 h_1 + \rho_2 y_1 + \rho_2 h + \rho_1 y_2 \right] g \qquad \text{por la derecha}$$

igualando las ecuaciones y simplificando: $P_A - P_B = \left[ \rho_1 h - \rho_2 \left( h - h_1 \right) \right] g$

La presión es una cantidad escalar no vectorial, que también se puede expresar en Mecánica de los Fluidos como una función del peso específico de la substancia considerada $P = \gamma h$ o de su densidad $P = \rho g h$.

## 2.8 Unidades de presión y equivalencias

En el Sistema Internacional de medidas (SI) $cgs$, la unidad de presión es la $baria,$ y corresponde a una fuerza de intensidad de $1\ dina$, aplicada a una superficie de $1\ cm^2$.

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

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

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

$$1\ bar = 10\ x\ \frac{100,000\ dinas}{cm^2} = 10^6\ \frac{dinas}{cm^2} = 10^6\ barias = 1,000,000\ barias$$

En la industria se expresa la presión en $\overline{kg}$ por cada $cm^2$ $\left( \overline{kg} / cm^2 \right)$ o bien para el sistema inglés aún en uso, en $\overline{lb}$ por cada $pulg^2$ $\left( \overline{lb} / pulg^2 \right)$.

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.

No debemos olvidar que un $\overline{kg}$ por cada $cm^2$ equivale a una presión de $981,000\ barias,$ considerando el valor de la aceleración de la gravedad terrestre en el nivel del mar de $9.81\ m/s^2$.

$$1\ \frac{\overline{kg}}{cm^2} = 981,000\ barias = 0.981\ bar$$

$$1\ \frac{\overline{kg}}{cm^2} = 9.81\ \frac{N}{cm^2} = 98,100\ \frac{N}{m^2}\ (Pa)$$

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 760 mm de altura, con una base de 1 cm$^2$, que equivale a la presión atmosférica al nivel del mar a una temperatura de 0°C, determinada por Evangelista Torricelli.

$$\begin{aligned} 1\ atmósfera &= 760\ mmHg \\ &= 1.033\ \frac{\overline{kg}}{cm^2} \\ &= 101,325\ Pa \end{aligned}$$

En el Sistema Internacional (SI) la unidad para la presión es el $Pascal$ (abreviado $Pa$ ) en honor al científico francés Blaise Pascal (1623-1662).

$$1\ Pascal\ (Pa) = 1\ \frac{N}{m^2}$$

La presión es una cantidad escalar porque tiene una magnitud que es independiente de la dirección en que en actúa, su unidad en el Sistema Internacional "SI" es el Pascal (que se abrevia $Pa$ ). 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 $cm^2$ (mencionada anteriormente).

Actualmente en meteorología se mide la presión atmosférica usando como unidad internacional el bar, que equivale a: $1bar = 1\ x\ 10^6\ barias = 1,000,000\ barias$

2 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 dicha altura, sino que también varía para el mismo lugar con el tiempo y en función de la temperatura y la humedad.

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.

## 2.9 Presión en los líquidos

Como los líquidos que existen en la naturaleza tienen un peso, la presión en cada nivel de profundidad se considera que corresponde 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 establecer que la presión varía con la profundidad o distancia del punto considerado a la superficie del líquido, se usa un dispositivo que consiste en un tubo en forma de U que contiene una pequeña cantidad de mercurio y como indicamos se denomina manómetro diferencial, en él se introduce mercurio de tal forma que en las dos columnas se tiene el mismo nivel, y a medida que se introduce el segundo líquido (por ejemplo agua), se produce un desnivel originado por la presión ejercida; cada cm de desnivel del mercurio es equivalente a $13.6\ \bar{g}/cm^2$. En nuestro curso hemos eliminado esta demostración por el uso del mercurio, y hemos considerado el valor obtenido por el barómetro de Torricelli de 1 atmósfera igual a 760 mm de mercurio.

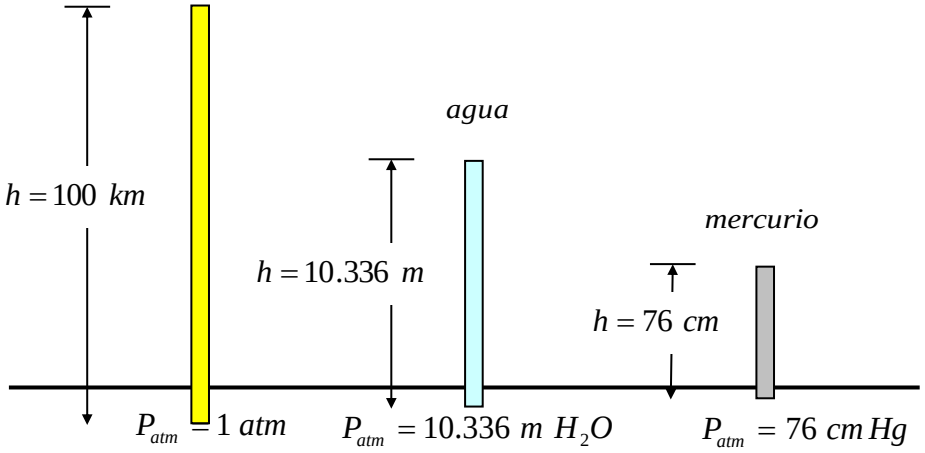
La medida e incluso el registro continuo de presiones es muy frecuente tanto en los laboratorios como en la industria para la verificación de procesos industriales, determinando junto con la temperatura el estado físico de un fluido a la salida y entrada de diversas máquinas (calderas, recipientes de presión, tomas de agua de bomberos, etc.), verificando el correcto funcionamiento de los equipos para preservar la seguridad de las personas. Por ejemplo, la prueba de compresión que se efectúa en el diseño de tuberías hidráulicas.

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 ( $pulg^2$ ), también llamada $psi$ .

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

También se acostumbra 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 760 mm de altura con una base de 1 $cm^2$, y que equivale a la presión atmosférica al nivel del mar a una temperatura de 0°C.

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.




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

Del experimento de Evangelista Torricelli (físico y matemático italiano 1608-1647), la columna de mercurio que equilibra a la presión atmosférica en el nivel del mar tiene una altura $h = 760\ mm\ de\ Hg$ .

Es decir: $P_{atmosférica} = 1\ atmósfera =$ $\boxed{760\ mm\,Hg}$

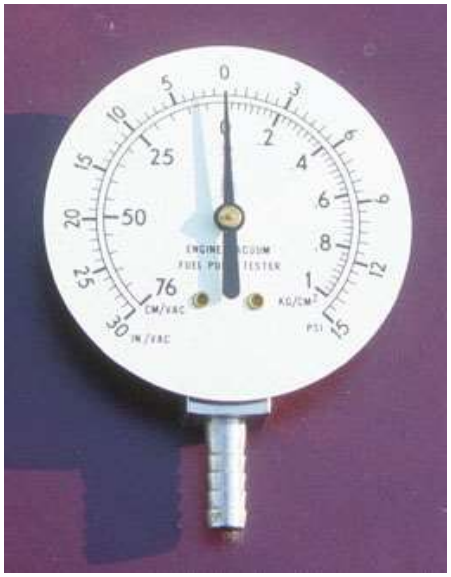
$$P_{atmosférica} = 760\ mm\,Hg\ x\ \frac{1\ pulg}{25.4\ mm} = \boxed{29.921\ pulg\,Hg}$$

Si $\gamma_{Hg} = 13.6\ \frac{\overline{kg}}{dm^3}$ (en el nivel del mar) tenemos que:

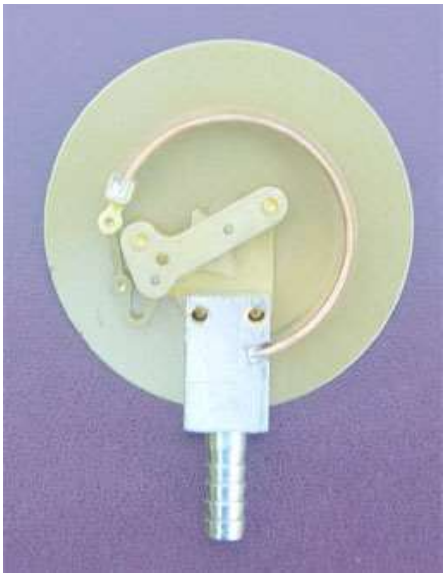
$$P_{atmosférica} = 13.6\ \frac{\overline{kg}}{dm^3}\ x\ 7.6\ dm\,Hg = 103.36\ \frac{\overline{kg}}{dm^2} = \boxed{1.0336\ \frac{\overline{kg}}{cm^2}}$$

Observación: Debido a la contaminación provocada por el uso del mercurio en procesos industriales como por ejemplo las lámparas para alumbrado público de vapor de mercurio, está prohibido su uso, solo utilizaremos el barómetro de cubeta o de mercurio (confinado) para impartir la práctica al medir la presión atmosférica local. En el caso de la medición de la presión en líquidos como el agua, algunos aceites y la glicerina, utilizaremos los piezómetros del banco hidráulico y el manómetro diferencial, así como para medir la presión del aire comprimido usaremos un manómetro de tubo, de carátula o de Bourdon (ingeniero francés Eugene Bourdon 1808-1884).

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.



Frente de un manómetro de Bourdon



Interior de un manómetro de Bourdon

Para el caso del agua, para la presión atmosférica obtenemos una columna con una altura de $10.336\ m$, que corresponde a la presión atmosférica en el nivel del mar. Por lo tanto, a partir de las expresiones:

1) $P = \dfrac{F}{A} \Rightarrow F = PA$ expresión (1)

2) $\gamma = \dfrac{F}{V} \Rightarrow F = \gamma V$ expresión (2)

Igualando las expresiones (1) y (2) tenemos: $PA = \gamma V \Rightarrow P = \dfrac{\gamma V}{A} = = \dfrac{\gamma h A}{A}$

$$\therefore\ P = \gamma h$$

Por lo tanto, para obtener la altura de la presión del agua equivalente a la presión atmosférica tenemos que:

$$h = \frac{P}{\gamma_{agua}}$$

$$h = \frac{1.0336\ \frac{\overline{kg}}{cm^2}}{1\ \frac{\overline{kg}}{dm^3}\ x\ \frac{1\ dm^3}{1{,}000\ cm^3}} = 1{,}033.6\ cm = \boxed{10.336\ m H_2O}$$

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.

También podemos obtener la equivalencia en otras unidades:

$$P_{atmosférica} = 1.0336 \frac{\overline{kg}}{cm^2} \; x \; \frac{9.80665 \; N}{1 \; \overline{kg}} \; x \; \frac{(100 \; cm)^2}{(1 \; m)^2} = 101{,}361.53 \frac{N}{m^2} = \quad 101.361 \; kPa$$

$$P_{atmosférica} = 1.0336 \frac{\overline{kg}}{cm^2} \; x \; \frac{2.2046 \; \overline{lb}}{1 \; \overline{kg}} \; x \; \frac{(2.54 \; cm)^2}{(1 \; pulg)^2} = \quad \boxed{14.701 \frac{\overline{lb}}{pulg^2}}$$

## 2.10 Principales equivalencias en unidades de presión

$1 \; atmósfera = 760 \; mm \, Hg$
$760 \; mm \, Hg = 1{,}013.25 \; hPa$
$= 29.921 \; pulg \, Hg$
$= 10.332 \; m \, H_2O$
$= 1.0332 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$
$= 101.325 \; kPa$
$= 14.695 \frac{\overline{lb}}{pulg^2}$
$= 1{,}013.25 \; mb$

$58.6 \; cm \, Hg = 7.9718 \; m \, H_2O$
$586 \; mm \, Hg = 781.269 \; hPa$
$1 \; hPa = 0.02953 \; pulg \, Hg$
$1 \; hPa = 0.075 \; mm \, Hg$
$1 \; mm \, Hg = 1.3332 \; hPa$
$1 \; mm \, Hg = 0.03937 \; pulg \, Hg$
$1 \; pulg \, Hg = 33{,}864 \; hPa$
$1 \; pulg \, Hg = 25.4 \; mm \, Hg$
$1 \; mb = 1 \; hPa$

Los medidores de presión son variados, ya que miden presiones desde un vacío absoluto hasta presiones muy altas, requiriendo un mayor grado de precisión. Los manómetros se clasifican en tubos piezométricos, manómetros de columna líquida, manómetros metálicos o aerómetros, manómetros de tubo de Bourdón, etc. 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, aerómetros y altímetros (analógicos o digitales que miden la presión atmosférica).

Los manómetros para medir la presión de vacío o manómetros de carátula 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.

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.

## 2.11 Ludion o diablillo de descartes

Como resultado de la acción de dos fuerzas verticales sobre un cuerpo colocado en un líquido, los tres fenómenos de flotación (cuando el cuerpo flota, cuando el cuerpo se hunde, y cuando se mantienen sumergido sin hundirse) se pueden observar con el Ludión o diablillo de Descartes, ya que únicamente con oprimir la membrana que cubre el recipiente, el ludión bajará debido al fenómeno que ocurre por la penetración del líquido en la esferita flotadora, al variar la presión.

Ludión o diablillo de Descartes

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 o centro de empuje es el centro de gravedad del volumen de agua desplazado por un flotador, para una condición dada, en donde recibe el empuje ascendente que debe ser mayor al peso gravitatorio del objeto.

## 2.12 Barómetros aneroides y altímetros

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, y es un dispositivo en donde el tubo que contiene al mercurio y la cubeta están fijos en una columna o 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 (aguja o 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.

### 2.12.1 Altímetro

Es un instrumento de medición que indica la diferencia de altitud entre el punto donde se encuentra localizado y un punto de referencia; habitualmente se utiliza para conocer la altura sobre el nivel del mar de un punto y consecuentemente la presión atmosférica local.

La unidad más común para la calibración de altímetros en todo el mundo es la de hectopascales (hPa), excepto en Norteamérica (aparte de Canadá) y Japón, donde se utilizan pulgadas de mercurio (pulg. Hg). Para obtener una lectura precisa de la altitud, ya sea en pies o en metros, la presión barométrica local debe calibrarse correctamente utilizando la fórmula barométrica.

La mayor utilización se hace en aeronáutica, como un elemento de seguridad más, formando parte de los instrumentos de vuelo más importantes del avión. En deportes o actividades en los que se sufren grandes desniveles, cómo el montañismo, trekking (excursionismo), ciclismo, esquí, escalada, paracaidismo, trail running (carrera a pie), etc., se utiliza para conocer los desniveles que se están superando. Como curiosidad, algunos de los más modernos velocímetros para bicicleta integran un altímetro pudiendo generar perfiles de la jornada con ayuda de una computadora. Los principios científicos en los que se basa el altímetro fueron escritos por primera vez por el Reverendo Alexander Bryce (astrónomo escocés 1713-1786) que se dio cuenta de que los principios de un barómetro podían ajustarse para medir la altura.

El altímetro barométrico es el más común de todos; su funcionamiento está basado en la relación entre presión y altitud, la presión atmosférica desciende con la altitud, aproximadamente, 1 hPa por cada 27 pies (8.2 metros) de altitud. Tomando como base de referencia el nivel del mar, pero su funcionamiento está condicionado a los cambios meteorológicos, por lo que un altímetro de cierta calidad debería permitir compensar las variaciones de presión provocadas por el clima.

Por otra parte, como el nivel del mar no es uniforme en todo el mundo, la base para medir la presión también puede variar según las latitudes en las que nos encontremos. O dicho, en otros términos, si utilizamos el mismo altímetro en distintos países, los resultados pueden variar si no ajustamos la altura base (nivel del mar que sirve de referencia).

### 2.12.2 Uso del calibrador, vernier o calibrador con vernier (pie de rey)

Para ajustar las medidas de longitud obtenidas en el laboratorio mediante un calibrador, se requiere precisar las dimensiones obtenidas en milímetros o en pulgadas. Lo anterior se resuelve mediante la adaptación de un pequeño dispositivo a una regla o aparato de medición, que permite apreciar con mayor exactitud las fracciones de las divisiones más pequeñas de dicha regla o de un arco goniómetro empleados, cuando la magnitud medida no contiene en forma entera a la unidad usada, este instrumento recibe el nombre de vernier.

Cuando el vernier adaptado a la regla para medir tiene más de 10 divisiones en el sistema internacional, se pueden obtener medidas tan pequeñas como la décima parte de las divisiones de la regla, si ésta está graduada en mm, entonces se obtienen lecturas de décimas de mm.

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.

Calibrador con vernier o calibrador vernier

No debe confundirse el calibrador con el vernier, aunque estos son complementarios, y sirven para medir la longitud, o el espesor de un cuerpo, así como para determinar el diámetro interior de un tubo y en ocasiones su profundidad. El calibrador lleva un vernier de 10 divisiones, que equivalen a 9 de la regla, es decir, si las divisiones de la regla están dadas en mm, entonces las 10 divisiones iguales del vernier corresponden a 9 mm; concluyendo que cada división del vernier tiene un tamaño de 9/10 de milímetro.

Debemos observar que las divisiones del vernier y de la regla coinciden, pero existe una diferencia entre el tamaño de la división de la regla y la del vernier, ésta diferencia es igual a un décimo de mm, porque se obtiene al restar a una división de la regla (un mm), una división del vernier cuya magnitud es de 9/10 de mm; por consiguiente, esa diferencia es la mínima magnitud que se puede medir con el aparato mencionado, es decir, en su aproximación. A la lectura directa de la regla se le debe sumar la lectura obtenida con el vernier.

El calibrador que usamos en el laboratorio lleva también un vernier graduado en 8 divisiones, adaptado a una regla en unidades inglesas, cuyas divisiones más pequeñas son dieciseisavos de pulgada. Actualmente los hay analógicos, digitales y electrónicos.

## 3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

- 1.- Barómetro de cubeta o de Torricelli,
- 2.- Escala graduada en cm y mm (flexómetro),
- 3.- Vernier dibujado en papel cascarón,
- 4.- Barómetro aneroide,
- 5.- Manómetro diferencial conteniendo agua y aceite,
- 6.- Tubos piezométricos del banco de flujo hidráulico,
- 7.- Manómetro de Bourdón acoplado al tanque de aire comprimido,
- 8.- Termómetro

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.

# 4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

## 4.1. Determinación de la presión atmosférica local mediante el barómetro de Torricelli o barómetro de cubeta

1. El uso del barómetro de Torricelli o de cubeta, requiere conocer el manejo del vernier adjunto al barómetro,
2. Se procede a tomar la lectura de la temperatura del medio ambiente en °C,
3. Nivelar el indicador metálico (aguja o punzón) con la superficie del mercurio contenido en la cubeta del barómetro,
4. Se indica con el calibrador metálico la altura de la columna del mercurio contenida en el tubo capilar hasta su menisco.
5. Obtener directamente la lectura con ayuda del vernier en centímetros y/o pulgadas de la columna de mercurio.
6. Efectuar las conversiones de unidades convenientes.

Barómetro de Torricelli o de cubeta

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.

Tabla de factores de corrección por temperatura a las lecturas del barómetro en mmHg
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 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.13 | 0.13 |
| 2 | 0.20 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.26 |
| 3 | 0.30 | 0.31 | 0.31 | 0.32 | 0.32 | 0.33 | 0.33 | 0.34 | 0.34 | 0.35 | 0.35 | 0.36 | 0.36 | 0.37 | 0.37 | 0.38 | 0.38 | 0.39 |
| 4 | 0.40 | 0.41 | 0.42 | 0.42 | 0.43 | 0.44 | 0.44 | 0.45 | 0.46 | 0.46 | 0.47 | 0.48 | 0.48 | 0.49 | 0.50 | 0.50 | 0.51 | 0.52 |
| 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 | 0.61 | 0.62 | 0.63 | 0.64 | 0.65 | 0.66 | 0.67 | 0.68 | 0.69 | 0.70 | 0.71 | 0.71 | 0.72 | 0.73 | 0.74 | 0.75 | 0.76 | 0.77 |
| 7 | 0.71 | 0.72 | 0.73 | 0.74 | 0.75 | 0.77 | 0.78 | 0.79 | 0.80 | 0.81 | 0.82 | 0.83 | 0.85 | 0.86 | 0.87 | 0.88 | 0.89 | 0.90 |
| 8 | 0.81 | 0.82 | 0.84 | 0.85 | 0.86 | 0.87 | 0.89 | 0.90 | 0.91 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 1.01 | 1.02 | 1.03 |
| 9 | 0.91 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.97 | 0.98 | 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 |

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.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 |

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.

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

$$Presión = \gamma h$$

En donde $\gamma$ es el peso específico del líquido empleado (en el barómetro de Torricelli), en el sistema $cgs$ se tiene gramos fuerza por cm$^3$ ( $\bar{g}/cm^3$ ) y $h$ la altura de la columna líquida en $cm$ que equilibra a la presión atmosférica. En el caso del agua para la Ciudad de México, obtenemos los siguientes valores:

*Para el mercurio* $(Hg)$:

$$\gamma_{NM} = 13.6 \frac{\bar{g}}{cm^3}\ ;\ \gamma_{CDMX} = 13.56 \frac{\bar{g}}{cm^3}$$

*Para el agua* $(H_2O)$:

$$\gamma_{NM} = 1.0 \frac{\bar{g}}{cm^3}\ ;\ \gamma_{CDMX} = 0.997 \frac{\bar{g}}{cm^3}$$

## 4.2 Barómetro aneroide

Es un barómetro preciso y práctico en donde la presión atmosférica deforma la pared elástica de un cilindro en el que se ha hecho un vacío parcial, lo que a su vez mueve una aguja. Fue inventado en 1843 por el científico Lucien Vidie (físico francés 1805-1866). Utiliza una pequeña caja de metal flexible que se llama célula de aneroide (cápsula), que está hecha de una aleación de berilio y cobre.

Tiene una cápsula de evacuación que evita el colapso por un muelle fuerte. Pequeños cambios en la presión externa del aire hacen que la célula se expanda o se contraiga. Esta expansión o contracción impulsa una palanca mecánica, de tal manera que los pequeños movimientos de la cápsula se amplifican y se muestran en la cara del barómetro aneroide. Muchos modelos incluyen una aguja de acción manual que se utiliza para marcar la medición deseada, por lo que un cambio puede ser visto fácilmente. Además, el mecanismo se hace deliberadamente "duro", de modo que al tocar el barómetro revela si la presión está aumentando o disminuyendo a medida que el puntero o aguja se desplaza. Las unidades de medida para la conversión están dadas por:

1 atmósfera = 760 mm Hg = 1013.25 hPa

1 mm Hg = 1.3332 hPa

Barómetro Aneroide

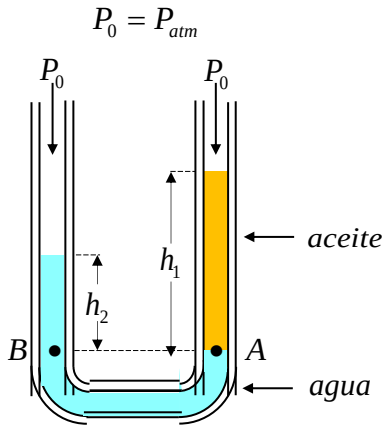
Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

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

| Lectura | Temperatura °C | FES Acatlán Altura "h" de la columna de mercurio en cm | Presión = γh $\bar{g}/cm^2$ | Otras unidades | | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *hPa* | *mb* | |
| (1) Barómetro Torricelli | | | | | | |
| (2) Barómetro Torricelli | | | | | | |
| (3) Barómetro aneroide | | xxxxxxx | xxxxxx | | | |
| Promedio | | | | | | |

## 4.3 Manómetro diferencial conteniendo agua y aceite

El más sencillo de estos manómetros es el de tubo abierto o manómetro diferencial que consiste en un tubo en forma de U que contiene dos líquidos diferentes (agua y aceite) y que en ambas ramas se encuentran a la misma presión absoluta $(P_{absoluta})$, como lo muestra la figura siguiente:




Manómetro diferencial (tubo en forma de U) con agua y aceite

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.

Lecturas obtenidas en el laboratorio con el manómetro diferencial (tubo en forma de U)
agua - aceite

| Lectura | Temperatura °C | CDMX Peso específico del agua | Altura de las columnas de agua y de aceite **h = cm** | Presión = γ h ( $\bar{g}/\mathbf{cm^2}$ ) | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| Agua (1) | | $\gamma_{agua}$ **= 0.997** $\bar{g}/\mathbf{cm^3}$ | $h_{agua}$ = | | |
| Aceite (1) | | $\gamma_{aceite}$ **= 0.920** $\bar{g}/\mathbf{cm^3}$ | $h_{aceite}$ = | | |

La presión es una cantidad escalar no vectorial, que también se puede expresar en Mecánica de los Fluidos como una función del peso específico de la substancia considerada $P=\gamma h$ o de su densidad $P=\rho g h$.

## 4.4 Tubos piezometricos o medidores de presión en líquidos

Utilizando el banco de flujo hidráulico, obtener la presión en tubos piezométricos localizados en el marco de presiones.

El piezómetro o manómetro es un tubo en el que estando conectado por uno de los lados a un recipiente en el cual se encuentra un fluido, el nivel se eleva hasta una altura equivalente a la presión del fluido en el punto de conexión u orificio piezométrico, es decir hasta el nivel de carga del mismo. Es decir, el piezómetro o tubo piezométrico es equivalente a un manómetro de carátula utilizado en tuberías y en donde se requiere establecer la equivalencia entre una columna de agua y la presión hidrostática respectiva.

Los piezómetros sirven para medir la presión en un líquido cuando es superior a la presión atmosférica local. Se construye con un tubo de cristal o de policarbonato vertical que se conecta con el interior de un recipiente, en donde el líquido se eleva hasta alcanzar el equilibrio. Un piezómetro no es apropiado para presiones manométricas negativas, salvo que esté construido para tal efecto. De igual forma un tubo piezómetrico no se utiliza para presiones grandes, ya que se obligaría a que el tubo de cristal fuera muy largo.

Utilizando el banco de flujo hidráulico, obtener la presión en tubos piezométricos localizados en el marco de presiones.

## 4.5 Banco hidráulico modelo F1-21 y uso del agua

### 4.5.1 Banco hidráulico para pruebas de Mecánica de los Fluidos o banco de servicios comunes.

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 la circulación del fluido el gasto hidráulico real y aplicar las fórmulas de continuidad y del principio de Bernoulli para analizar el gasto teórico, comparando la aplicación del método experimental con los valores calculados.

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.

El banco hidráulico está diseñado como módulo de servicio portátil y autónomo para la instalación de una gama importante de accesorios que son de uso en el estudio de la Mecánica de los Fluidos y particularmente para los cursos de Hidráulica (tuberías y canales). Este banco está fabricado en plástico de baja densidad, resistente a la corrosión, y las ruedas en las que está montado le permiten movilidad. Además, la parte superior del banco incorpora un canal abierto con canales laterales que sirven de apoyo al accesorio que se está ensayando (información del proveedor).

Para la demostración del principio de Bernoulli, debemos conocer los tubos piezométricos o manómetros diferenciales, que nos indican una altura equivalente a la presión hidrostática del fluido en circulación en sus puntos de conexión, recordando la expresión:

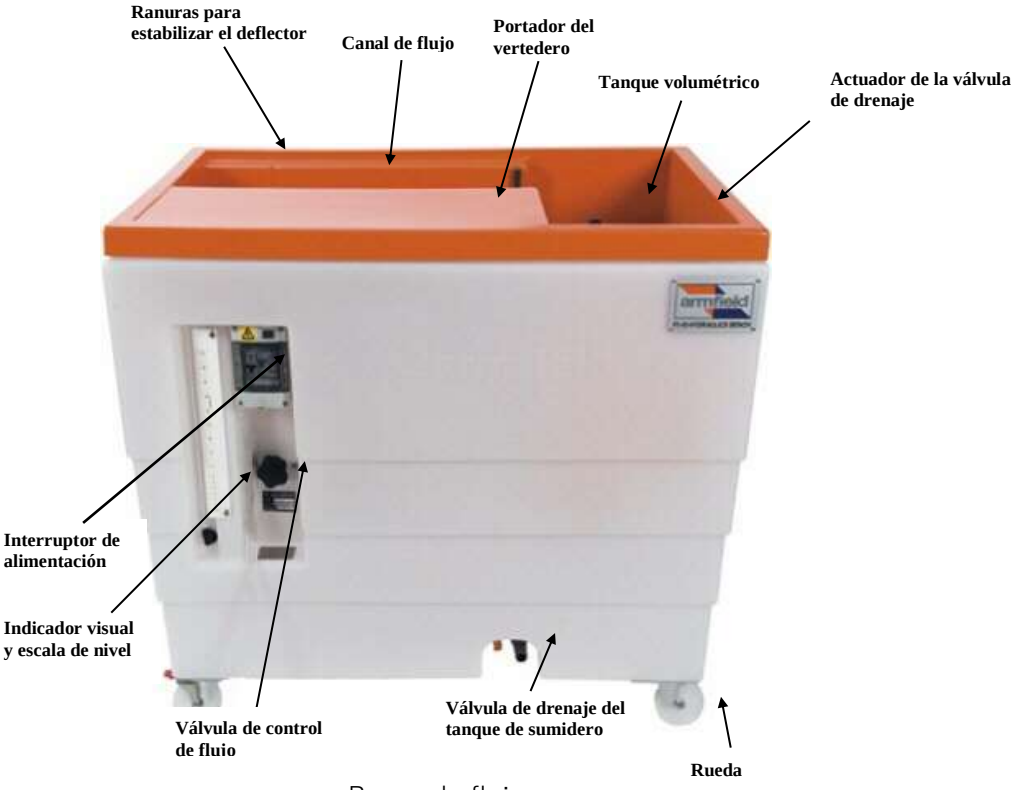
$$P_{relativa\ del\ agua} = \gamma_{agua}\, h_{agua} \quad \text{o bien} \quad P_{relativa\ del\ agua} = \rho_{agua}\, g_{local}\, h_{agua}$$

La sección de prueba consta de un venturímetro clásico o tubo de Venturi (ver práctica 10) en material acrílico transparente, y una serie de orificios conectados con tubos piezométricos en la pared de control que permiten la medición de la distribución de la presión estática a lo largo del conducto convergente, el cual se encuentra conectado a un tubo de presión total para pasar a través de la línea central a la sección de prueba. El agua es alimentada mediante un conector de manguera y controlada por una válvula reguladora de flujo situada en la salida de la sección de la prueba.

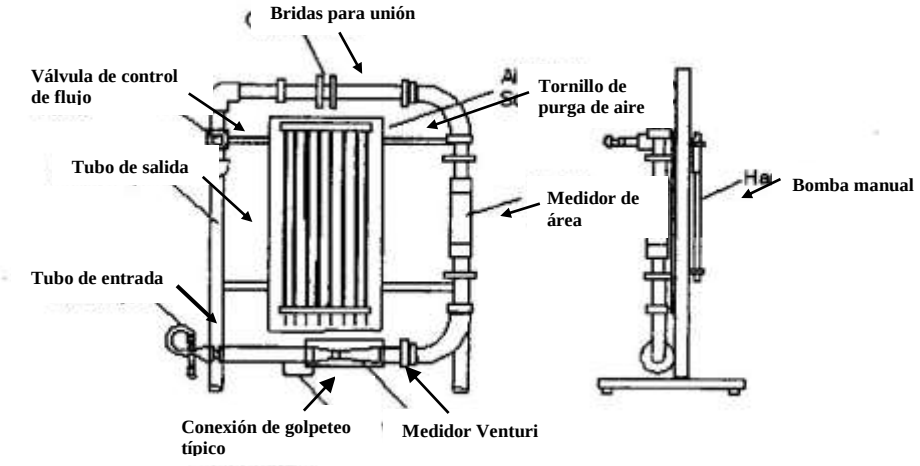
El banco hidráulico de pruebas (con flujo de agua), nos permite demostrar en forma directa y también mediante el tubo Venturi (como método de medición del caudal o gasto) que es posible determinar el coeficiente de descarga.

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.

### 4.5.2 Consideraciones generales del Banco Hidráulico




Banco de flujo



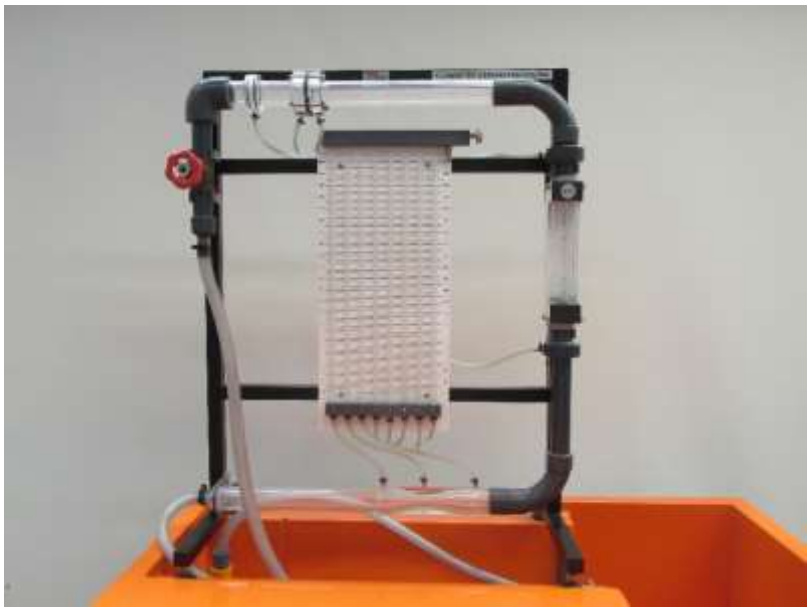

Marco de presiones (o de tubos piezométricos) para la medición de presiones

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.

El accesorio está diseñado para colocarse en los canales laterales del canal hidráulico.

El flujo a través de la sección de prueba se regula mediante una válvula de control de flujo. Esto junto con la válvula de control del banco permite la variación de la presión estática del sistema.

Las tomas de presión en el circuito están conectadas a un manómetro de ocho piezómetros que incorpora una válvula de entrada / salida de aire en el colector con instalaciones para conectar una bomba manual. Esto permite que los niveles en el banco de manómetros se ajusten a un nivel conveniente para adaptarse a la presión estática del sistema. Las tomas de presión para los manómetros están dispuestas para dar un conjunto de lecturas alrededor de los medidores de flujo del sistema.



Marco de presiones del banco hidráulico

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.

### 4.5.3 Características técnicas (datos del proveedor del banco hidráulico F1-21)

Fotografía de la pared de control en donde están los tubos piezométricos del banco hidráulico

Datos generales del Banco hidráulico:

- Intervalo de medición de los manómetros o piezómetros de agua: 0 a 300 mm,
- Multimanómetro o piezómetros multipunto de 8 tubos,
- Diámetro mayor del tubo de Venturi = 0.03175 m
- Área de la sección transversal mayor = $7.92 \times 10^{-4}$ $m^2$
- Diámetro menor del tubo de Venturi (garganta) = 0.015 m
- Área de la sección transversal menor = $1.77 \times 10^{-4}$ $m^2$

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. RESULTADOS

Tabla de lecturas obtenidas en el laboratorio con los tubos de presión (piezómetros)

| Lectura | Temperatura °C | CDMX Peso específico del agua $\gamma = 0.997\ \bar{g}/\mathbf{cm^3}$ | Altura de la columna de agua h = cm | Presión = γ h ( $\bar{g}/\mathbf{cm^2}$ ) | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.- | | | | | |
| 2.- | | | | | |
| 3.- | | | | | |
| Promedio | | | | | |

Ejercicio:

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

De la expresión: $\gamma = \frac{w}{V} = \frac{m\,g}{V\,g_c}$

$$\gamma_{Hg} = \frac{1kg_m\ x\ 9.80665\ \frac{m}{s^2}}{1\ dm^3\ x\ 9.80665\ \frac{kg_m\ x\ m}{\overline{kg}\ x\ s^2}} = \frac{1\ x\ 9.80665\ \frac{kg_m\ x\ m}{s^2}}{9.80665\ \frac{kg_m\ x\ m\ x\ dm^3}{\overline{kg}\ x\ s^2}}$$

$$= 1\ \frac{kg_m\ x\ m\ x\ \overline{kg}\ x\ s^2}{kg_m\ x\ m\ x\ dm^3\ x\ s^2} = 1\ \frac{\overline{kg}}{dm^3}$$

Entonces: $\gamma_{agua\ en\ el\ nivel\ del\ mar} = 1\ \frac{\overline{kg}}{dm^3}$

2) En la Ciudad de México (similar a Naucalpan): $1\ dm^3$ de agua tiene una masa $m_{agua} = 1kg_m$ y un peso de $w = 0.997\ \overline{kg}$ con una aceleración $g = 9.7816\ \frac{m}{s^2}$ por lo tanto: $\gamma = \frac{w}{V} = \frac{m\,g}{V\,g_c}$

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.

$$\gamma_{Hg} = \frac{1 kg_m \ x\ 9.7816 \frac{m}{s^2}}{1\ dm^3\ x\ 9.80665 \frac{kg_m\ x\ m}{\overline{kg}\ x\ s^2}} = \frac{9.7816 \frac{kg_m\ x\ m}{s^2}}{9.80665 \frac{kg_m\ x\ m\ x\ dm^3}{\overline{kg}\ x\ s^2}}$$

$$= 0.997 \frac{kg_m\ x\ m\ x\ \overline{kg}\ x\ s^2}{kg_m\ x\ m\ x\ dm^3\ x\ s^2} = 0.997 \frac{\overline{kg}}{dm^3}$$

Entonces: $\gamma_{agua\ en\ la\ Ciudad\ de\ México\ (similar\ a\ Naucalpan)} = 0.997 \frac{\overline{kg}}{dm^3}$

Por lo que la presión atmosférica para dicho lugar es: $P_{atm} = \gamma_{agua}\, h_{agua}$

$$Presión\ atmosférica\ en\ la\ CDMX\ \ usando\ agua = 0.997 \frac{\overline{g}}{cm^3}\ x\ 797.3\ cm\,H_2O = 794.9 \frac{\overline{g}}{cm^2}$$

$$Presión\ atmosférica\ en\ Naucalpan\ usando\ Hg = 13.565 \frac{\overline{g}}{cm^3}\ x\ 58.6\ cm\,Hg = 794.79 \frac{\overline{g}}{cm^2}$$

Si se usa agua en la Ciudad de México cuya $\gamma = 0.997\ \overline{kg}/dm^3$ siendo $g = 9.7816\ m/s^2$, entonces la altura de la columna líquida que equilibra a la atmosférica es de $h_{H_2O} = 797.3\ cm$ (obtenida del manómetro diferencial, ver abajo). 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.

Operaciones: $Presión_{atm.CDMX} = 58.6\ cmHg = 796.6 \frac{\overline{g}}{cm^2}$ y $\gamma_{H_2O\ CDMX} = 0.997 \frac{\overline{g}}{cm^3}$

De $P_{atm} = \gamma_{H_2O}\, h_{H_2O} \quad \Rightarrow \quad h_{H_2O} = \frac{P_{atm}}{\gamma_{H_2O}}$

Entonces: $h_{H_2O} = \frac{794.9 \frac{\overline{g}}{cm^2}}{0.997 \frac{\overline{g}}{cm^3}} \approx 797.3\ cm\,H_2O$

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.

3) Conversión de unidades de la presión atmosférica en la Ciudad de México, de mm de mercurio a hectoPascales.

Sabiendo que: $\gamma_{Hg} = 13.565 \frac{\overline{g}}{cm^3}$ y $h_{Hg} = 58.6\, cm$

1) $P = 13.565 \frac{\overline{kg}}{dm^3}\ x\ 5.86\ dm = 79.49 \frac{\overline{kg}}{dm^2}\ x\ \frac{1\ dm^2}{100\ cm^2} =$ $\boxed{0.7949 \frac{\overline{kg}}{cm^2}}$

2) $P = 0.7949 \frac{\overline{kg}}{cm^2}\ x\ \frac{2.2046\ \overline{lb}}{1\ \overline{kg}}\ x\ \frac{(2.54\ cm)^2}{(1\ pulg)^2} =$ $\boxed{11.306 \frac{\overline{lb}}{pulg^2}}$

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

$$h = \frac{0.7949 \frac{\overline{kg}}{cm^2}\ x\ \frac{100\ cm^2}{1\ dm^2}}{\frac{1 \frac{kg_m}{dm^3}\ x\ 9.7816 \frac{m}{s^2}}{9.80665 \frac{kg_m\ x\ m}{\overline{kg}\ x\ s^2}}} = \frac{79.49 \frac{\overline{kg}}{dm^2}}{0.9974 \frac{\overline{kg}}{dm^3}} = 79.697\ dm =$$ $\boxed{7.9697\ m\ de\ agua}$

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

5) $P = 0.79479 \frac{\overline{kg}}{cm^2}\ x\ \frac{9.80665\ N}{1\ \overline{kg}}\ x\ \frac{10{,}000\ cm^2}{1\ m^2} = 77{,}942.273 \frac{N}{m^2} =$ $\boxed{779.42273\ hPa}$

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

Utilización del compresor de aire

Obtener la presión del aire comprimido (compresora ubicada en el patio de pruebas) mediante un manómetro de carátula o de Bourdon.

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: Física, Mecánica de Materiales, Hidráulica, Mecánica de Suelos, Termodinámica, etc.; ya que los esfuerzos (tensión, compresión y cortantes) 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. Determinar la presión atmosférica permite al diseñador estimar las fuerzas actuantes de viento que inciden sobre las estructuras.

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.

# 6. CONCLUSIONES

## 6.1 Conclusiones del profesor

1) El valor teórico de la presión en la FES Acatlán que debió obtenerse es: $P = 794.6 \frac{\bar{g}}{cm^2}$

2) La altura teórica para obtener esté resultado en el barómetro es: $h = 58.6\ cm = 781.255\ hPa$

3) 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 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.

4) La presión que un líquido ejerce sobre otro no está en función del diámetro del tubo, sino que se encuentra en función de la altura de líquido 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.

5) 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 relativa, la cual nos ayuda a obtener presiones absolutas a su vez. Es una práctica experimental interesante y divertida que le permite al alumno manipular líquidos 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.

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.

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 $\gamma\ (\bar{g}/cm^3)$ |
|---|---|
| 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 $\rho\ (g_m/cm^3)$ |
|---|---|
| Hidrógeno | 0.070 |
| Oxígeno | 1.105 |

$$\rho_{oxígeno} = x\ (\rho_{hidrógeno}) \quad \Rightarrow \quad x = \frac{\rho_{oxígeno}}{\rho_{hidrógeno}}$$

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

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

Solución: Otto de Guericke 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.

a) Dinamómetros. - Basado en el principio de elasticidad, son resortes o muelles de acero templado que se deformen pasajeramente mientras accionan las fuerzas.

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.

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.

Solución: La presión es una propiedad intensiva, es decir, es una propiedad independiente de la masa, al igual que la temperatura y la densidad y se indica con cantidades escalares.

6) ¿Cuál es el valor de la presión atmosférica, en barias $(dina/cm^2)$ en 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 $dm^3$ del mercurio en el nivel del mar:

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

Entonces $$m = \frac{13.6\ \frac{\overline{kg}}{dm^3}\ x\ 1dm^3\ x\ 9.81\ \frac{kg_m\ x\ m}{\overline{kg}\ x\ s^2}}{9.81\ \frac{m}{s^2}} = 13.6\ kg_m$$

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

Por lo tanto $$\gamma = \frac{13.6\ kg_m\ x\ 9.78\ \frac{m}{s^2}}{1\ dm^3\ x\ 9.81\ \frac{kg_m\ x\ m}{\overline{kg}\ x\ s^2}} = 13.5584\ \frac{\overline{kg}}{dm^3}$$

Comprobación:

Comprobemos el resultado anterior aplicando la ecuación: $w = \frac{m\,g}{g_c}$

$$w = \frac{13.6\ kg_m\ x\ 9.78\ \frac{m}{s^2}}{9.81\ \frac{kg_m\ x\ m}{\overline{kg}\ x\ s^2}} = 13.5584\ \overline{kg}$$

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.

Obtengamos el peso específico en el lugar solicitado: $\gamma = \frac{w}{V}$

$$\gamma = \frac{13.5584\ \overline{kg}}{1\ dm^3} = 13.5584\ \frac{\overline{kg}}{dm^3}$$

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

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

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

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

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

Solución:

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 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

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.

Solución: 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 re laja 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.

Solución: 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 o de vacío). La expresión que se usa para hallar la presión absoluta es:

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

Por lo 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 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 $cm^2$. ¿Explique en qué afecta la diferencia de pesos ya que no se encuentra en equilibrio?

Solución:

10.1) Presión en la Ciudad de México $P = 58.6\ cm\,Hg = 0.7966727\ \frac{\overline{kg}}{cm^2}$

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

Si: $P_{atm} = 0.7966727\ \frac{\overline{kg}}{cm^2}$ y $A = 140\ cm^2$

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.

Entonces: $w = 0.7966727 \frac{\overline{kg}}{cm^2} \; x \; 140 \; cm^2 = 111.534178 \; \overline{kg}$

10.2) Presión en el nivel del mar: $P = 76 \; cm\,Hg = 1.033227 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$

Si: $P_{atm} = 1.033227 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$ y $A = 140 \; cm^2$

Entonces: $w = 1.033227 \frac{\overline{kg}}{cm^2} \; x \; 140 \; cm^2 = 144.65178 \; \overline{kg}$

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

$$Diferencia \; de \; pesos: 144.65178 \; \overline{kg} - 111.534178 \; \overline{kg} = 33.117602 \; \overline{kg}$$

11) ¿Cuáles son los principales contaminantes del aire?

A la tropósfera enviamos emisiones masivas de gases y partículas. Entre éstas, monóxido y dióxido de carbono, dióxido y trióxido de azufre, óxidos nítricos y nitrosos, dióxido de nitrógeno, metano y gas freón. Las partículas corresponden a polvos, humos, nieblas y aerosoles. Los polvos de origen industrial contienen metales pesados como hierro, zinc y plomo. Los que proceden de suelos erosionados tienen partículas minerales, desechos animales y vegetales secos. Los humos y nieblas son conjuntos de gases que arrastran consigo diversas partículas. Los aerosoles originan nubes de corpúsculos líquidos o sólidos suspendidos en la atmósfera. Algunos de estos contaminantes permanecen en el aire por años y otros vuelven a tierra mediante lluvias ácidas.

12) Describa el efecto invernadero.

Es un aumento de temperatura de la atmósfera que produce concentración de los gases que la forman. Las emisiones de dióxido de carbono y metano modifican el efecto invernadero natural de la Tierra, causando incrementos progresivos de la temperatura en el planeta. El calentamiento global trae como consecuencia el cambio climático. Si no se logran alcanzar los objetivos y acciones contenidas en el Acuerdo de París (diciembre de 2015) tratando de evitar que el incremento de la temperatura media global del planeta supere los 2°C respecto a los niveles preindustriales, y además buscar promover esfuerzos adicionales haciendo posible que el calentamiento global no supere loa 1.5°C, podemos esperar graves daños a la Tierra, según estiman la mayoría de los científicos.

13) ¿Cuáles son los contaminantes más peligrosos del aire?

Los compuestos catalogados como contaminantes peligrosos son aquellos que pueden causar efectos serios e irreversibles en la salud. Entre estos el tetracloruro de carbono, cloro, óxido de etileno, cadmio y manganeso. En Estados Unidos se han fijado normas de emisiones para ocho contaminantes peligrosos: asbesto, cloruro de vinilo, benceno, arsénico, berilio, mercurio, radón y radio nucleídos (cada una de las posibles agrupaciones de protones y neutrones).

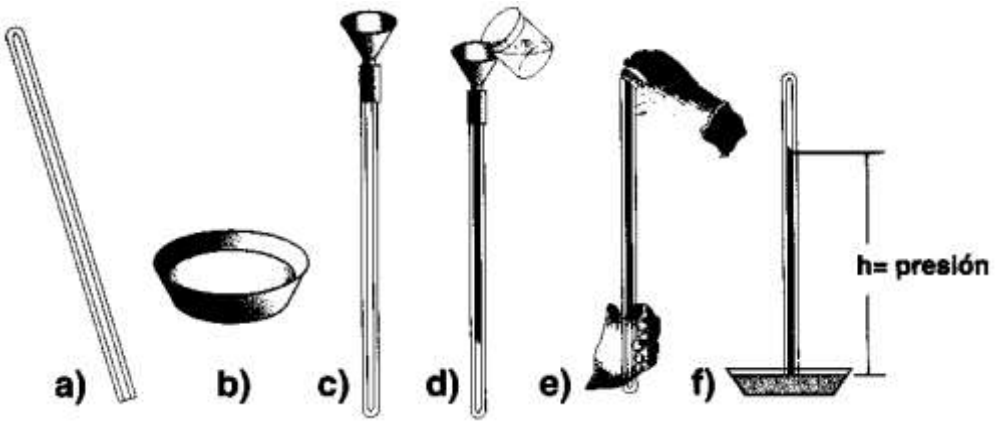
Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

14) ¿Cuáles son las enfermedades causadas por la contaminación del aire?

Conjuntivitis, o inflamación del tejido ocular. Dermatitis, o inflamación cutánea. Salpullido, o ronchas en la dermis. Deterioro prematuro de la piel. Resfriados, o infecciones en las vías respiratorias. Bronquitis, o inflamación de los bronquios. Faringitis y laringitis. Sinusitis, u obstrucción de los senos paranasales. Otitis, o inflamación de los oídos. Neumonía o pulmonía, o infecciones graves de los pulmones. Cáncer pulmonar, que puede ser ocasionado por la inhalación de humo producido por combustibles.

ANEXO: Referencia Histórica - Experimento de Evangelista Torricelli
(no se analiza en el curso)

Los detalles del experimento de Torricelli se inician cuando Otto de Guericke efectuó sus experimentos en Ratisbona (Alemania Oriental) y le fue mostrado el tubo de Torricelli por el capuchino Valeriano Magno, quien se decía ser el autor; más tarde el inventor de la 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 más de un metro 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 760 mm, quedando un vacío en la parte superior del tubo. 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**

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.

## 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.

Valera Negrete, José Pedro Agustín, Apuntes de Física General, México, Ediciones Acatlán, UNAM, primera edición, 2005

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

La que indique el profesor

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.4**
**PRINCIPIO DE LA HIDROSTATICA Y PRINCIPIO DE ARQUIMEDES (EMPUJE)**

# 1 OBJETIVO

## 1.1 Objetivo general

Analizar el fenómeno de la variación de la presión en los fluidos en reposo a diferentes profundidades como consecuencia de su peso específico. Aplicar el principio de Arquímedes o de empuje hidrostático.

## 1.2 Objetivos específicos

**1.2.1 Determinar el modelo matemático que relaciona la variación de la presión de un elemento de fluido con respecto a su profundidad en un líquido en reposo:** $P_{absoluta} = P_{atmosférica} + P_{relativa\ o\ manométrica}$

**1.2.2 Determinar la presión hidrostática del agua que circula en una tubería del banco hidráulico, mediante tubos piezométricos o piezómetros.**

**1.2.3 Obtener mediante el principio de Arquímedes el empuje que ejerce el agua sobre un cuerpo sólido sumergido.**

**1.2.4 Obtener el empuje hidrostático** $E$ **que actúa sobre una superficie plana sumergida parcial o totalmente en el agua (balanza hidrostática).**

# 2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

## 2.1 Introducción

Iniciaremos el estudio de la mecánica de los líquidos o fluidos en reposo, que recibe 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 propiedades que caracterizan a los líquidos, considerando entre ellas a las que se refieren a su volumen, densidad y peso específico, y cuya forma puede variar de acuerdo con el recipiente que lo contiene.

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 a la superficie siempre dirigida perpendicularmente 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 incapacidad de los fluidos para resistir dichas fuerzas tangenciales (o esfuerzos cortantes) lo que les permite cambiar su forma o fluir.

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.

## 2.2 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.

## 2.3 Cuerpos sumergidos y cuerpos flotantes

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, fuerza dirigida hacia arriba, de intensidad igual al peso del líquido desalojado (agua) y aplicado en el centro de presiones o metacentro. Como resultado de la acción de estas fuerzas se puede tener:

a) 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.

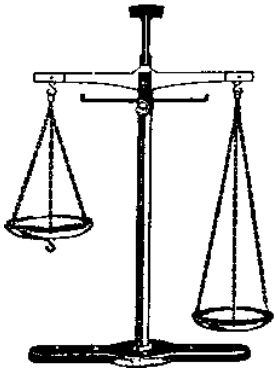
b) Si colocamos un trozo de hierro en el agua se hunde, esto sucede porque el peso del cuerpo es mayor que el empuje que experimenta.

c) 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 esté 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.

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 representa 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.

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.



**Balanza hidrostática**

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.
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 llamada empuje sobre el cuerpo sumergido, 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.

## 2.4 Principio fundamental de la hidrostática

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 diferencial 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 estará en equilibrio.

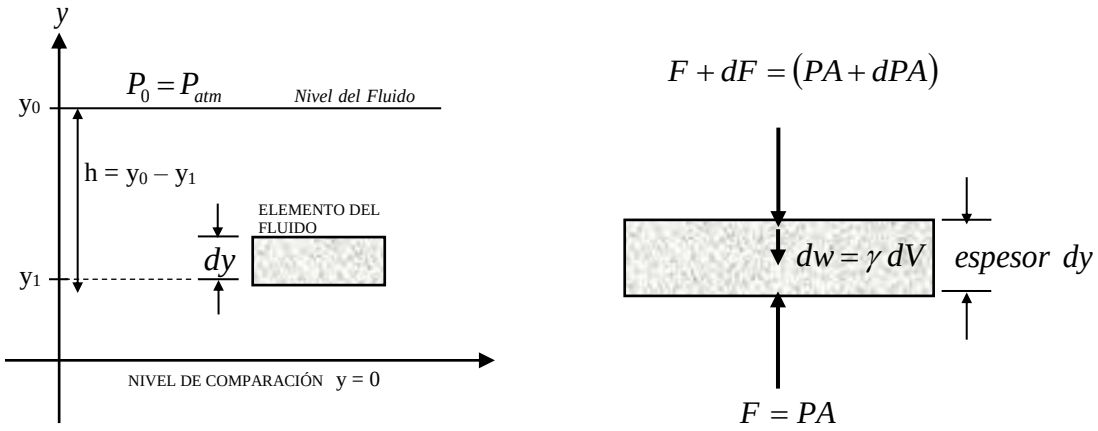



Diagrama de cuerpo libre para fuerzas verticales actuando sobre un elemento de fluido

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.

En toda la superficie lateral del elemento del fluido 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.

Consideremos un recipiente en el que se encuentra contenido un líquido en reposo, que tiene una densidad $\rho$ . Por estar en equilibrio el fluido, todas sus partículas también lo estarán. Si establecemos un sistema coordenado como el que se muestra en la figura, podemos representar en el eje vertical la altura, y en el eje horizontal las condiciones de equilibrio. Cuando representamos al objeto como una partícula aislada del resto del Universo y libre de moverse a causa de las fuerzas que se ejercen sobre ella, al diagrama se le denomina de "cuerpo libre".

1. La fuerza horizontal resultante es cero porque el elemento no tiene aceleración horizontal, las fuerzas horizontales son debidas únicamente a la presión del fluido y por simetría la presión debe ser igual en todos los puntos dentro de un plano horizontal.

2. La fuerza vertical resultante es cero pues no existe aceleración vertical, y por la tercera ley de Newton debe existir el equilibrio de fuerzas verticales.

$$F = F + dF + dw$$

$$PA = PA + dPA + dw$$

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

Por lo tanto, despejando el peso: $w = \gamma V = \rho g V = \rho g A y$

Observando que el espesor del elemento de fluido es $dy,$ su peso es:

$$dw = \gamma \, dV = \rho g \, A dy$$

Substituyendo en la ecuación de equilibrio de fuerzas: $F = F + dF + dw$

$$PA = PA + dP\,A + \rho g \, A dy$$
$$P = P + dP + \rho g \, dy$$
$$P - P = dP + \rho g \, dy$$
$$0 = dP + \rho g \, dy$$
$$dP = - \rho g \, dy$$
$$- \rho g = \frac{dP}{dy}$$

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.

Esta ecuación nos indica la forma de variación de la presión con respecto a la altura sobre algún nivel de referencia en un fluido en equilibrio. Conforme aumenta la altura (dy positivo) disminuye la presión (dP negativo).

Para los líquidos $\rho$ es prácticamente constante, porque éstos son casi incompresibles, por lo que si llamamos $P_0$ a la presión atmosférica a la altura $y_0$, y $P_1$ a la presión a la altura $y_1$ podemos tener la integral definida:

$$\int_{P_1}^{P_0} dP = \int_{y_1}^{y_0} -\rho g \, dy$$

$$\left[ P \right]_{P_1}^{P_0} = -\rho g \left[ y \right]_{y_1}^{y_0}$$

$$P_0 - P_1 = -\rho g \underbrace{\left( y_0 - y_1 \right)}_{h}$$

$$\boxed{P_1 = P_0 + \rho g h}$$

Siendo $h$ la altura a la que se encuentra la partícula del líquido en reposo, medida desde la superficie.

La ecuación del principio de la hidrostática, también es frecuente verla expresada en función del peso específico del líquido multiplicado por la altura del mismo.

$$\boxed{P_1 = P_0 + \gamma h}$$

## 2.5 Principio de Arquímedes (Empuje)

Colguemos de un dinamómetro un trozo de material sólido, por ejemplo, una pequeña 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 el tubo lateral y se recibe en otro vaso pequeño, el cual ha sido previamente pesado; a continuación el vaso con el líquido que desplazó el cuerpo se pesa y 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 (fuerza de equilibrio hidrostático con dirección hacia arriba, ejercida sobre el fondo del cuerpo sumergido por el agua). Este hecho muestra el principio de Arquímedes, matemático griego (287-212 a.C.), el cual se enuncia como sigue:

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.

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

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 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 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 la fuerza de empuje del líquido.

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, uniforme y completamente sumergido se llama “metacentro”.

De la expresión de peso específico:

$$\gamma_{cuerpo} = \frac{w_{cuerpo}}{V_{cuerpo}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{w_{cuerpo} = \gamma_{cuerpo} V_{cuerpo}}$$

Si llamamos empuje $E$ a este peso $w$ del líquido desalojado (agua), tenemos: $\boxed{E_{agua} = \gamma_{agua} V_{agua}}$

En donde: $V_{cuerpo} = V_{agua}$

Ejemplo: Consideremos un cuerpo en el nivel del mar, que en el aire tiene un peso $w_{cuerpo} = w_1$, por lo que se encuentra sujeto a la expresión $w_1 = \gamma_{cuerpo} V$ en dónde $V = constante$.

Por otra parte, el mismo cuerpo lo introducimos en un recipiente con agua y observamos que su peso disminuye hasta el valor $w_2$, tenemos entonces por el principio de Arquímedes $w_1 - w_2 = E \ (empuje)$, entonces tenemos que $E_{agua} = \gamma_{agua} V_{agua}$, es decir: $V_{agua} = \frac{E_{agua}}{\gamma_{agua}}$

Recordemos que el peso específico del agua en el nivel del mar es $\gamma_{agua} = 1 \frac{\overline{kg}}{dm^3}$, entonces $\gamma_{cuerpo} = \frac{w_1}{V}$

## 2.6 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 definió de 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”.

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.

**Principio de Pascal**

En general podemos decir que: la presión aplicada a un fluido incompresible confinado se transmite íntegramente a todas las partes del fluido y a las paredes del recipiente que lo contiene.

La mayor parte de los dispositivos que miden la presión directamente, miden en realidad la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica. El resultado se llama presión relativa y puede ser manométrica (positiva) o vacuométrica (negativa o de vacío).

Este principio se comprueba con dispositivos tales como la prensa hidráulica (frenos hidráulicos de un automóvil y gatos hidráulicos) y el ascensor hidráulico (elevadores de automóviles y elevadores de carga para sistemas hidráulicos en maquinaria).

La atmósfera de la Tierra ejerce una presión sobre todos los objetos con los que está en contacto, incluyendo a otros fluidos; el aire en condiciones atmosféricas puede ser tomado para ser inyectado en recipientes que a su vez contienen fluidos líquidos:

1. Si en particular este aire se inyecta a un sistema de tuberías hidráulicas en edificaciones, estaremos en términos de la llamada prueba hidrostática para determinar la hermeticidad de dicha tubería,

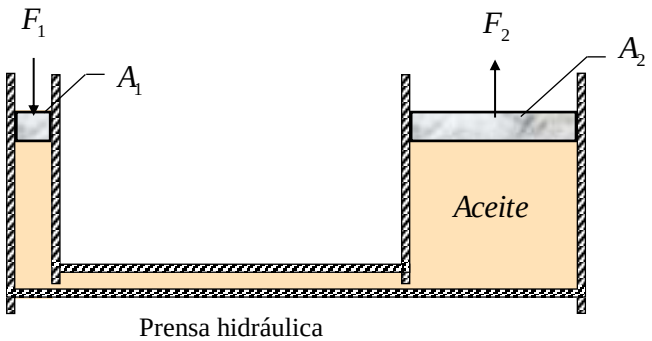
2. Si el aire se inyecta a un depósito (tanque) que contiene agua, entonces nuestro sistema constituye un hidroneumático que nos permitirá suministrar agua a presión constante en la edificación.

### 2.6.1 Prensa Hidráulica

El principio establecido en 1658 por Pascal sobre la trasmisión 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 las técnicas de la construcción y a la industria automotriz.

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$




Prensa hidráulica

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.

La prensa hidráulica consiste en dos cuerpos de bomba de diámetros distintos, en donde se mueven los émbolos correspondientes. La figura muestra cómo el principio de Pascal puede ser la base de una palanca hidráulica. En la operación, sea una fuerza externa de magnitud $F_1$ dirigida hacia abajo sobre el émbolo izquierdo (entrada) cuya área es $A_1$. Un líquido incompresible en el dispositivo produce entonces una fuerza de magnitud $F_2$ hacia arriba sobre el émbolo derecho (o de salida) cuya área es $A_2$. La fuerza $F_1$ aplicada a la izquierda y la fuerza $F_2$ a la derecha, producen un cambio en la presión del líquido que está dada por la ecuación:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Generalmente la fuerza $F_1$ se aplica por medio de una palanca hidráulica (o mediante un compresor) incrementando la fuerza de aplicación mediante una distancia dada, transformando la fuerza en otra más grande $F_2$, aunque el recorrido del émbolo sea menor. Un dispositivo denominado gato hidráulico nos permite levantar grandes pesos moviendo repetidamente una palanca acoplada para obtener la fuerza deseada.

La fuerza aplicada en el émbolo o pistón (1) es multiplicada en función de la relación de superficies por el émbolo o 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).

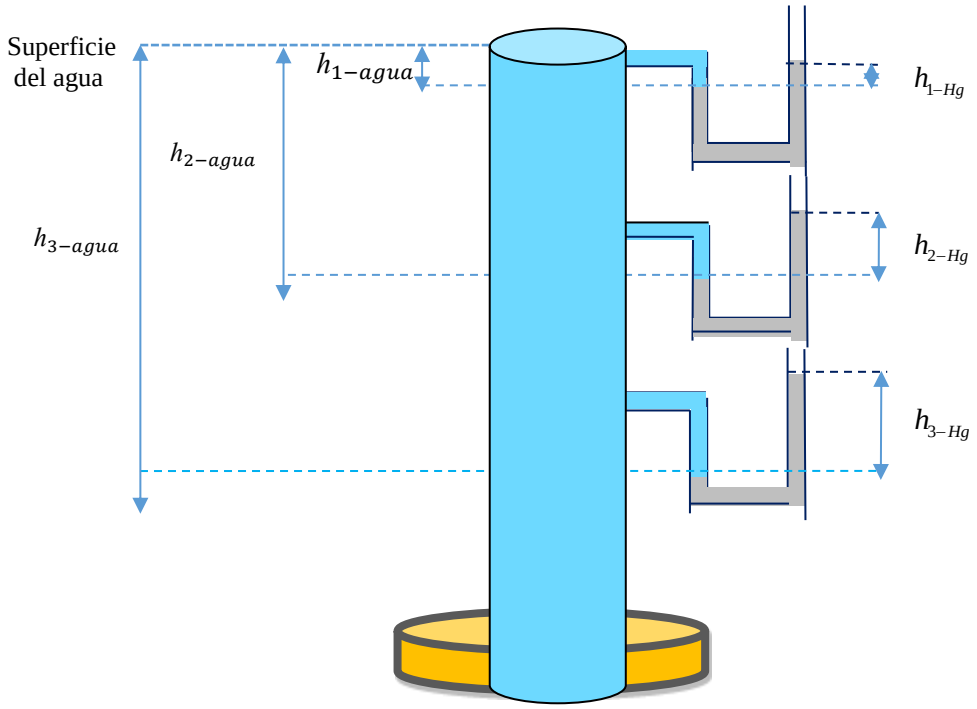
## 3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

- Balanza hidrostática acoplada al banco hidráulico (F1-12 completa),
- Escalímetro metálico y/o flexómetro,
- Dinamómetro de 1 a 5 Newton,
- Vaso de precipitados de 1 litro graduado,
- Probeta de vidrio de 1 litro graduada,
- Balanza de precisión,
- Juego de muestras de diferentes materiales.

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.

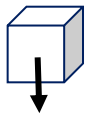
# 4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

## 4.1 Presión en líquidos



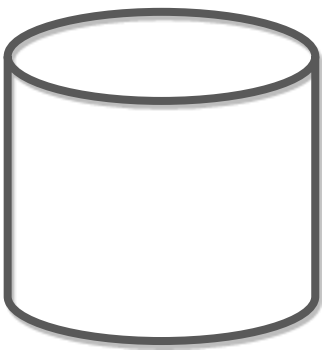

Manómetros diferenciales a diferentes alturas (sin escala)

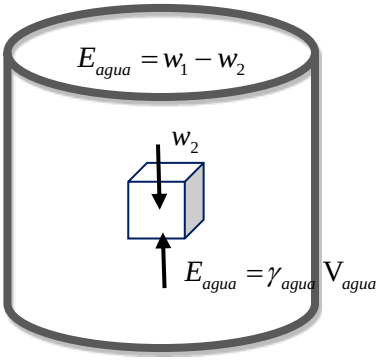
## 4.2 Principio de Arquímedes y empuje (practica realizada con un dinamómetro)



$$\gamma_{cuerpo} = \frac{w_{cuerpo}}{V_{cuerpo}}$$

$$\therefore \; w_{cuerpo} = w_1 = \gamma_{cuerpo} V_{cuerpo}$$






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.

## 4.3 Balanza hidrostática, obtención del empuje hidrostático y cálculo de la presión

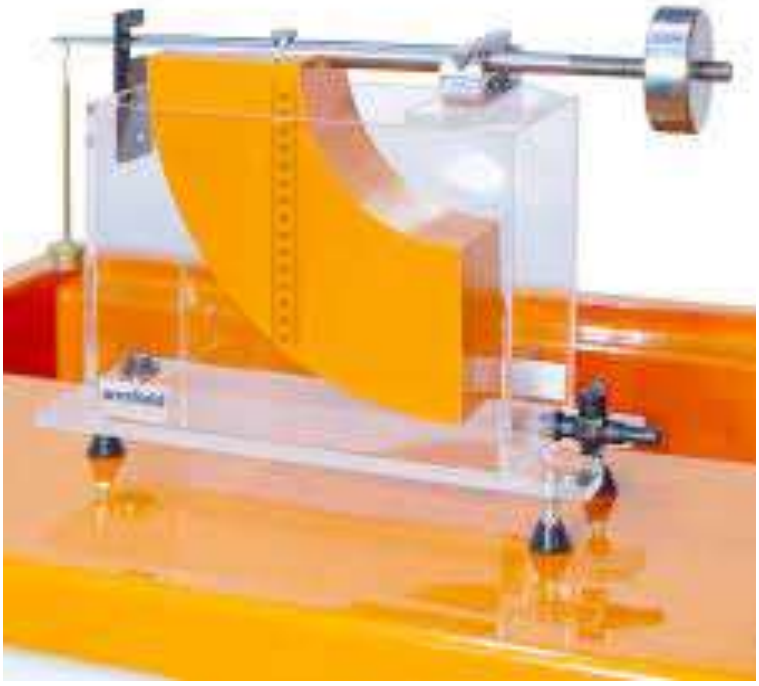
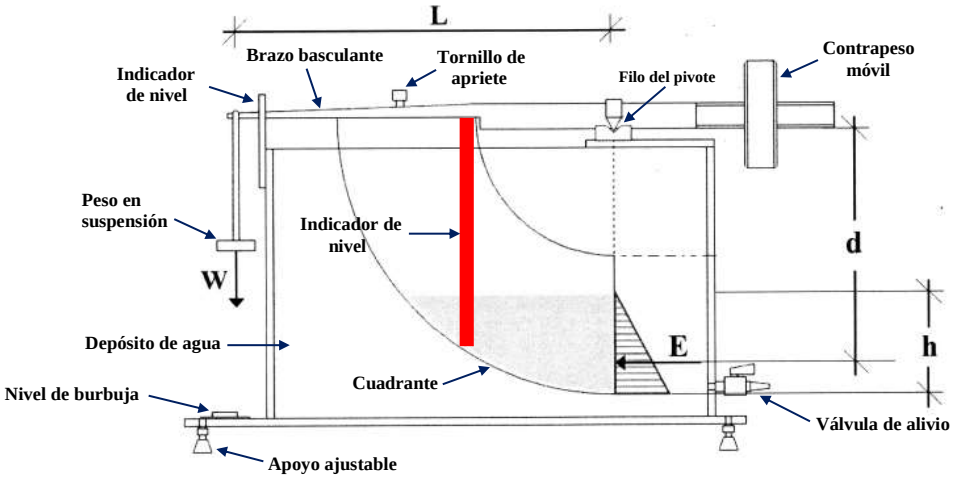


Diagrama de la balanza hidrostática acoplada al banco hidráulico (sin agua)




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.

Diagrama de la balanza hidrostática

Partes que integran a la balanza hidrostática:

1) Platillo para pesas (peso en suspensión iniciar con 50 g),
2) Indicador de nivel con escala graduada en cm,
3) Brazo basculante o brazo de la balanza,
4) Tornillo de apriete,
5) Filo del indicador del pivote,
6) Contrapeso móvil,
7) Nivel de burbuja,
8) Patas regulables,
9) Cuadrante,
10) Válvula de desagüe.

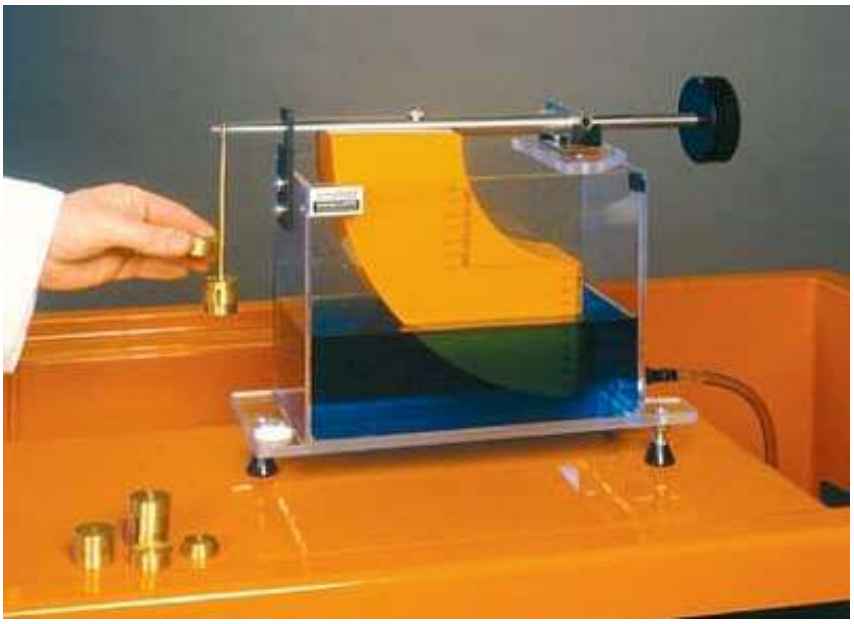


Diagrama de la balanza hidrostática acoplada al banco hidráulico (con agua)

Nota: La pared lateral de la balanza hidrostática recibe una fuerza de la presión ejercida al estar sumergida en el agua. Esta fuerza hay que equilibrarla con los pesos (w) en el brazo opuesto de dicha balanza.

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.

## 4.4 Desarrollo experimental de la práctica

1) Nivelar el depósito mediante el nivel de burbuja ajustando los 3 soportes.
2) Mover el contrapeso hasta hacer coincidir el brazo basculante con el indicador de nivel en posición horizontal.
3) Anotar la longitud del brazo basculante desde: (1) la pesa en suspensión hasta (2) el filo del pivote (distancia L=27.3 cm).
4) Con el cuadrante en su posición de equilibrio, anotar la cota vertical o altura del cuadrante de color naranja (20 cm).
5) Colocar la primera pesa con valor de 50 gramos en el extremo del brazo sobre el portapesas, descansando el brazo basculante sobre el apoyo.
6) Cerrar la espitia o válvula de drenaje.
7) Agregar lentamente agua al tanque de prueba hasta que el sistema se equilibre y el brazo basculante quede en posición horizontal y coincida con la marca del indicador de nivel. En caso de sobrepasar la cantidad de agua, se abrirá lentamente la válvula de alivio para eliminar el agua sobrante.
8) Se anotará la altura $h$ del diagrama de presiones del agua o triangulo de presiones, y posteriormente de la base del triángulo hacia arriba se considerará $\frac{1}{3}h$, de tal forma que se obtenga la altura $d = 20 - \frac{1}{3}h$ que corresponde a la posición de la incidencia horizontal del Empuje Hidrostático ( $E_{experimental}$ ).
9) Se repetirá el experimento varias veces considerando el mismo procedimiento aumentan-do el peso en suspensión para cada caso.
10) El alumnado llenará los valores de cada experimento en la tabla respectiva.
11) Limpiar y retirar las pesas abriendo la válvula de drenaje.

Una fuerza se define como la acción que modifica el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo, y para hallarla se aplica la segunda ley de Newton de la Dinámica.

Por otra parte, el momento de una fuerza $F$ con respecto a un punto (o momento de torsión) se define como la capacidad de dicha fuerza para modificar el movimiento de rotación o de giro.

Intervienen la magnitud de la fuerza $F$ y la longitud del brazo de palanca $x$ sobre la que actúa, entonces:

*Momento de una Fuerza = Fuerza x distancia*

Entonces: $wL = E_{exp}\, d$

Por lo tanto: $E_{exp} = \frac{wL}{d}$

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.

Considerando que:

$w =$ *peso en suspensión*

$L =$ *longitud del punto de apoyo al punto de aplicación de la fuerza* (*del brazo vasculante*)

$d =$ *posición del punto de aplicación de la fuerza resultante de la distribución de presiones* (*Empuje*)

$E_{\exp} =$ *Empuje experimental* (*a* $2/3$ *de la superficie del líquido en el diagrama de presiones*)

Observación: Los conceptos anteriores se refieren al tema de "trabajo mecánico"

## 5. RESULTADOS

Tabla para hallar los valores de la presión hidrostática mediante la balanza respectiva

| Lectura | Peso en suspensión $w = \bar{g}$ | Longitud del brazo vasculante $L = cm$ | Altura del diagrama de presiones $h = cm$ | Altura del empuje $\frac{1}{3}\ h = cm$ | Altura real $d = 20 - \frac{1}{3}h$ $d = cm$ | $E_{\exp} = \frac{wL}{d}$ $E_{\exp} = \bar{g}$ | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 50 | 27.3 | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

Aplicaciones a la ingeniería

Dos aspectos son muy importantes en los procesos de construcción dentro de las obras de edificación y/o de tipo industrial, por una parte conocer el dimensionamiento de las instalaciones hidráulicas con objeto de disponer de tanques presurizados llamados hidroneumáticos o bien de tanques similares a la función que desempeñan los tinacos y que reciben el nombre de "tanques elevados" los que trabajan por medio de la transformación de la energía potencial en energía cinética que adquiere el agua en las viviendas o bien en las construcciones industriales en donde se requieren tanques con cargas contantes hidráulicas.

Un segundo aspecto de aplicación corresponde a la prueba de hermeticidad o prueba hidrostática de las instalaciones hidráulicas existentes en casas habitación hasta la más compleja instalación industrial, la cual se lleva a cabo llenando la tubería con agua e incrementando mediante una bomba hidroneumática la presión

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.

interna de la tubería, la que deberá permanecer sin cambio alguno por algunas horas y que estará controlada por un manómetro de carátula.

# 6. CONCLUSIONES

## 6.1 Conclusiones del profesor

Una de las conclusiones es la de verificar que la presión hidrostática no depende de su diámetro o ancho de un vaso (área del recipiente), sino de la profundidad a la cual se está trabajando, ya que como se puede observar en los resultados, aun cuando se tratara de recipientes diferentes, los valores de las presiones teóricamente deben ser los mismos a la misma profundidad, de manera que la presión está en función de la profundidad a la cual se le mide, y no a la cantidad o volumen del líquido. Esta propiedad de la presión hidrostática solo sucede con los líquidos, ya que como se sabe, los gases ejercen una presión igual en todas las paredes que se encuentran en contacto con dicho gas (principio de Pascal y ley de Dalton).

## 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.

Cuestionario

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

1) ¿Qué entiende por hidrostática?

Solución: Es una rama de la mecánica de los fluidos que estudia el comportamiento de los líquidos en reposo o en estado de equilibrio.

2) ¿En forma sencilla qué entiende por un fluido?

Solución: Es una substancia que carece de rigidez y de elasticidad por lo que cede a las fuerzas de tensión superficial causando su deformación. Los fluidos pueden ser líquidos o gases y pueden adoptar la forma del recipiente que los contiene.

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.

3) ¿Indique cuáles son las principales propiedades de un fluido?

Solución: Densidad, peso específico, volumen específico, presión, temperatura, energía interna, calor específico, tensión superficial, capilaridad y viscosidad entre otras.

4) Mencione los dos principios fundamentales en el estudio de la hidrostática.

Solución: El principio de Arquímedes y el principio de Pascal.

5) Indique cuál es la definición del principio de Arquímedes relacionándolo con el empuje de un líquido.

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

6) Indique cual es la definición del principio de Pascal relacionándolo con la prensa hidráulica

Solución: La presión aplicada a un fluido incompresible confinado en un recipiente (prensa hidráulica) se trasmite íntegramente a todas las partes del fluido y a las paredes del recipiente que lo contiene.

7) ¿Qué ocasiona la presión atmosférica?

Solución: Debido a la presión que ejerce el peso de la atmósfera sobre la capa terrestre y en función de su altura, en el nivel del mar se considera de 760 mmHg, y se obtiene directamente mediante un barómetro.

8) Defina los conceptos de presión relativa y de presión absoluta.

Solución: Es la presión que ejerce un fluido (líquido o gas) sobre una superficie y corresponde al valor de sobrepresión que existe sobre el valor de la presión atmosférica. Al considerar la suma de la presión atmosférica local más la presión relativa, obtenemos la llamada presión absoluta.

9) Defina el principio de la hidrostática.

Solución: Establece que la presión en un punto interior de un fluido (presión hidrostática) es directamente proporcional a su densidad, a la profundidad en que se encuentra una partícula del fluido y al valor de la aceleración de la gravedad terrestre del sitio en el que se encuentra dicho fluido.

10) ¿Cuál es la fórmula que se aplica para calcular la presión hidrostática?

Solución: $P = \rho g h$ o $P = \gamma h$

- **FUENTES DE CONSULTA**

El alumno en su reporte deberá incluir una introducción teórica en referencia al objetivo de la práctica, anotando la bibliografía consultada señalando autor, título, editorial y fecha de edición de los libros consultados. En caso de obtener información de Internet, debe indicar el sitio consultado.

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

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.

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.

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.

Valera Negrete, José Pedro Agustín, Apuntes de Física General, México, Ediciones Acatlán, UNAM, primera edición, 2005

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

Young D., Hugh. Física Universitaria, traducción de Rodolfo Hernández, México, Editorial Iberoamericana, sexta edición, 2003.

La que indique el profesor

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.5**
**LEY DE HOOKE Y ELASTICIDAD**

# Determinar el coeficiente o módulo de rigidez de un resorte

## 1. OBJETIVO

### 1.1 Objetivo general

Analizar los conceptos de la ecuación de una recta en forma simplificada, ley de Hooke, elasticidad y módulo de rigidez de un resorte.

### 1.2 Objetivos específicos

**1.2.1 Analizar las expresiones matemáticas y físicas del comportamiento de un resorte cuando se le aplica una fuerza o carga.**

**1.2.2 Analizar les expresiones de la ley de Hooke para la deformación de un resorte y de su comportamiento elástico al aplicar una fuerza.**

**1.2.3 Hallar el módulo de rigidez de un resorte sujeto a una fuerza o carga para verificar la ley de Hooke.**

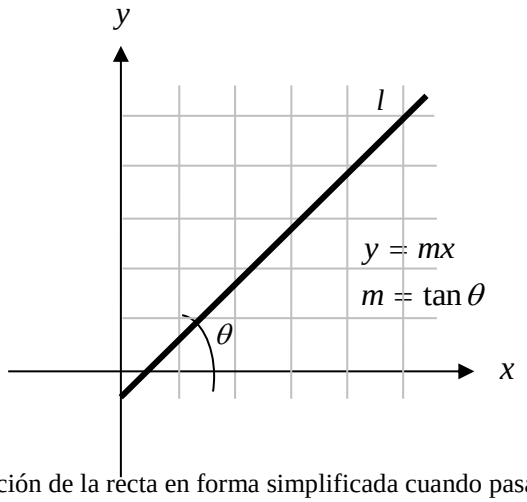
## 2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

### 2.1 Introducción

La Mecánica de Materiales es una rama de la Física que estudia el comportamiento de los cuerpos sólidos sometidos a diversos tipos de cargas. Generalmente su objetivo primordial, se refiere a la determinación de esfuerzos, alargamientos y deformaciones producidas por la aplicación de fuerzas hasta llegar a valores de rotura. Dentro del campo de aplicación en la Ingeniería Civil, se analizan conceptos básicos como: cargas, reacciones, equilibrio de fuerzas, esfuerzos (a tensión, a compresión y a cortante), deformaciones, módulo de rigidez y módulo de elasticidad, adquiriendo una mayor comprensión de la ley de Hooke.

El científico inglés Robert Hooke (1635-1703) fue el primero en investigar las propiedades elásticas de diversos materiales tales como: metales, madera, piedra, hueso, etc., y en el caso de alambres, midió su alargamiento (deformación) cuando soportaban pesos en sus extremos, observando que estos cambios de longitud "siempre mantienen las mismas proporciones entre sí, de acuerdo con los pesos que los ocasionan".
Antes de iniciar el análisis de los principales materiales utilizados en la construcción, recordemos algunos conceptos de la Geometría Analítica, como es el caso de la ecuación de una recta $l$ en forma simplificada $y = mx + b$; en donde $b$ es la ordenada al origen y $m$ es la tangente trigonométrica del ángulo de inclinación de dicha recta, también llamada pendiente. Cuando la recta pasa por el origen O ver figura, entonces $l$ toma la forma $y = mx$, que nos será de mucha utilidad para comprender los conceptos de módulo de rigidez de un resorte y de módulo de elasticidad de una barra prismática (miembro estructural recto con sección transversal constante a lo largo de su longitud).

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.

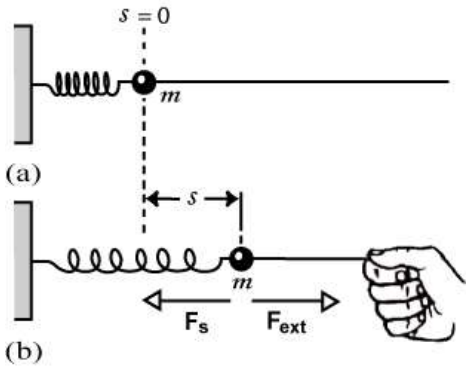



Gráfica de la ecuación de la recta en forma simplificada cuando pasa por el origen

## 2.2 Ley de Hooke

En 1676, Hooke, enunció la ley sobre la elasticidad y la expresó en la siguiente forma: las deformaciones o alargamientos experimentados por un cuerpo, entre los límites de una elasticidad perfecta o lineal, son directamente proporcionales a las fuerzas que lo producen. En términos generales, encontró que una fuerza $F$ que actúa sobre un resorte produce un alargamiento o elongación $s$ que es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza. La ley de Hooke puede escribirse como se presenta en la figura:

$$F = k\,s$$




$en\ donde:$
$F = fuerza$
$k = módulo\ de\ rigidez$
$s = alargamiento\ o\ elongación$

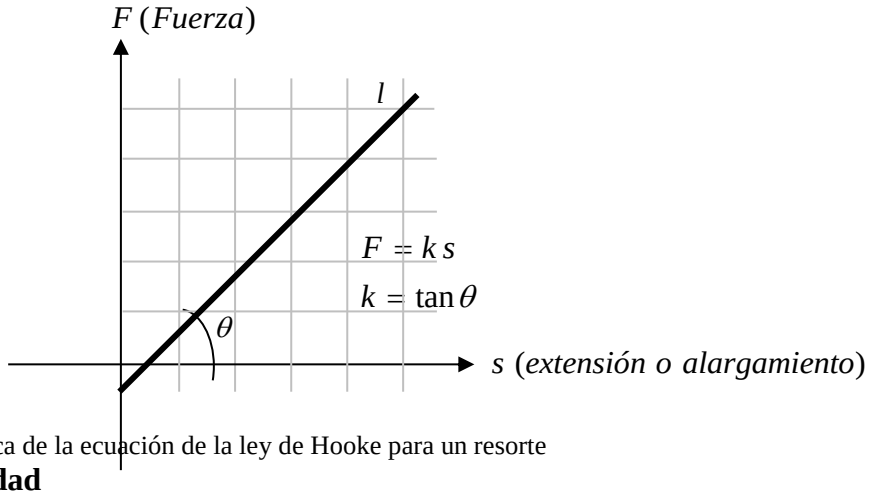
Elongaciones producidas por una Fuerza en un resorte

a) Una partícula de masa $m$ está unida a un resorte.

b) La partícula se desplaza una distancia $s$ donde hay dos fuerzas que actúan sobre ella, el jalón de un agente externo y la fuerza de restitución (fuerza que se opone a la dirección del desplazamiento de la carga).

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.

La expresión $F = k\,s$ es una recta en forma simplificada y se grafica según la siguiente figura:




Gráfica de la ecuación de la ley de Hooke para un resorte

## 2.3 Resortes y elasticidad

### 2.3.1 Extensión de un Resorte

La extensión de un resorte es directamente proporcional a la fuerza ejercida sobre él. Si se elabora una gráfica de la fuerza respecto a la extensión, ésta mostrará una línea recta que pasa por el origen. Se puede representar con la siguiente expresión:

$$F = ks$$

$En\ donde:$

$F = fuerza\ [en\ Newton]$,

$k = constante\ de\ proporcionalidad,\ o\ constante\ del\ resorte\ [en\ Newton\,x\,metro]$,

$s = extensión\ [en\ metros]$.

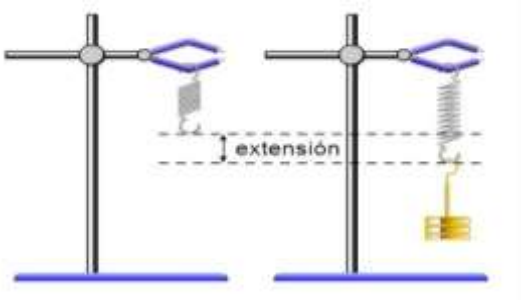
En algunos textos, se indica a la ecuación anterior considerando un signo negativo $F = -k\,s$, lo cual significa que la fuerza ejercida por el resorte siempre está dirigida en sentido opuesto al desplazamiento, el signo menos nos advierte que la dirección de la fuerza ejercida por el resorte se opone siempre a la dirección del desplazamiento de la carga, como se observa en la figura (2).

En la figura siguiente se presenta un resorte cargado con una fuerza vertical $F$ representada simbólicamente por una pesa.

En algunos textos, se indica a la ecuación anterior considerando un signo negativo $F = -k\,s$, lo cual significa que la fuerza ejercida por el resorte siempre está dirigida en sentido opuesto al desplazamiento, el signo menos nos advierte que la dirección de la fuerza ejercida por el resorte se opone siempre a la dirección del desplazamiento de la carga, como se observa en la figura (2).

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.

En la figura siguiente se presenta un resorte cargado con una fuerza vertical $F$ representada simbólicamente por una pesa.

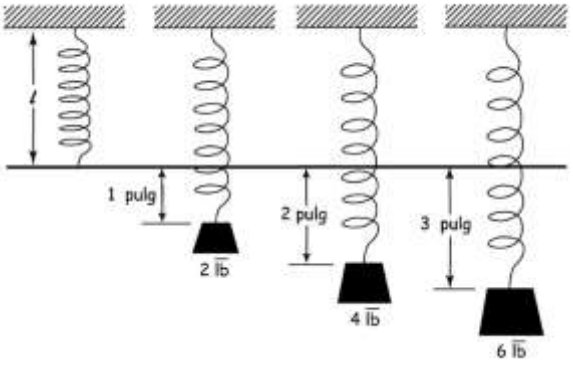



Representación de la extensión de un resorte

### 2.3.2 Constante de un resorte o módulo de rigidez (k)

La constante de proporcionalidad $k$, varía de acuerdo con el tipo de material y recibe el nombre de constante del resorte, módulo o coeficiente de rigidez.

Analicemos el siguiente ejemplo: Un peso de $2\,\overline{lb}$ alarga el resorte $1\,pulgada$, un peso de $4\,\overline{lb}$ lo alarga $2\,pulgadas$, y un peso de $6\,\overline{lb}$ alarga el resorte $3\,pulgadas$. Es evidente que existe una relación directa entre el alargamiento del resorte y la fuerza aplicada, según lo muestra la figura.




Alargamientos proporcionales de un resorte

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.

Para el caso del ejemplo descrito la constante del resorte es:

$$k = \frac{F}{s}$$

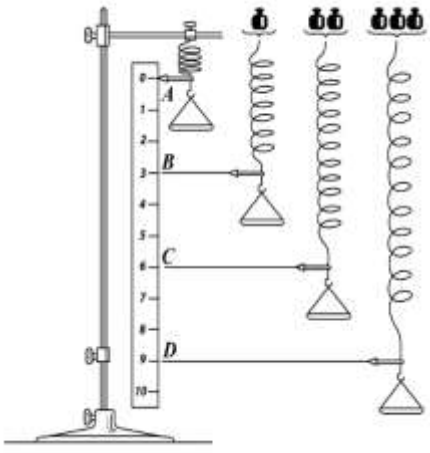
Por lo que: $k = \dfrac{2\ \overline{lb}}{1\ pulg} = \dfrac{4\ \overline{lb}}{2\ pulg} = \dfrac{6\ \overline{lb}}{3\ pulg} = ...\ etc. \quad \therefore \quad k = 2\ \dfrac{\overline{lb}}{pulg}$

Para hacer que la ley de Hooke sea de aplicabilidad general, es conveniente definir los términos de esfuerzo y de deformación. El esfuerzo se refiere a la causa de una deformación elástica, mientras que deformación es el efecto, es decir, la deformación misma.

La ley de Hooke no está limitada a resortes, este es un caso particular de la teoría de la elasticidad que, junto con la resistencia de materiales, analizan de forma paralela con base a sus objetivos y principios de estudio la deformación de los cuerpos, por lo que, la teoría de la elasticidad afronta el problema mecánico en su forma muy general en cuanto a las geometrías, condiciones externas e internas y tipos de acciones consideradas, mientras que, la Resistencia de Materiales está enfocada al estudio de ciertos tipos de elementos estructurales como vigas y columnas en condiciones de apoyo (simple, articulado, etc.), sometido a diferentes tipos de acciones y cargas como fuerzas puntuales, uniformes, etc., que producen esfuerzos y deformaciones en elementos estructurales y que comentaremos más adelante.

### 2.3.3 Elasticidad

Un cuerpo elástico se define como aquel que puede recuperar su forma y tamaño originales cuando la fuerza que lo deformó deja de actuar sobre él. Esta propiedad que poseen algunos cuerpos, por la cual vuelven a su forma original, se llama elasticidad. Las ligas de hule, pelotas y resortes son ejemplos comunes de cuerpos elásticos. La plastilina y las arcillas son ejemplos de cuerpos inelásticos. Para todos los cuerpos elásticos es necesario establecer relaciones de causa - efecto entre las fuerzas deformantes y las deformaciones producidas. Consideremos un resorte de longitud $l$ (ilustrado en la figura). Podemos analizar su elasticidad añadiendo peso sucesivamente y observando el aumento de su longitud.




Elongación uniforme de un resorte

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.

Así, Hooke estableció la relación lineal que existe entre la carga aplicada y el alargamiento resultante, es decir, entre las fuerzas que se aplican a un resorte y las deformaciones que le producen, encontrando en sus experimentos que "la magnitud de la deformación que sufre un cuerpo elástico es proporcional a la fuerza aplicada, siempre que no llegue al límite elástico".

El límite elástico de un material es el esfuerzo máximo que se le puede producir sin que experimente deformación plástica alguna (deformación permanente en que el material no regresa a su forma original después de retirar la carga aplicada), también se puede entender como el punto en que una carga mínima le produce una deformación permanente.

## 2.4 Resistencia y rigidez

### 2.4.1 Resistencia

Un concepto frecuentemente utilizado en el estudio de los materiales se refiere a su resistencia, la cual se define como: la capacidad de un material para oponerse a la deformación producida por la acción de las fuerzas externas.

### 2.4.2 Rigidez

Es la propiedad que tiene un material para resistir deformaciones, también podemos decir que es la medida cualitativa de la deformación elástica producida en un material. Un material rígido tiene un alto módulo de elasticidad, es decir, la rigidez o inelasticidad es la oposición a la elasticidad.

En general los materiales, y en particular los metales o cualquier aleación, experimentan primero una deformación elástica, la cual desaparece al suprimir la carga que actúa sobre de él, después se produce una deformación plástica o permanente y finalmente la rotura. La mayor o menor extensión en que estas deformaciones se producen para una mayor o menor fuerza aplicada (referida a la unidad de superficie) caracteriza al metal y la posibilidad de empleo para distintas finalidades mecánicas.

Las propiedades mecánicas analizadas en ingeniería se determinan mediante pruebas efectuadas sobre muestras pequeñas del material analizado (especímenes). Las pruebas se realizan en laboratorios de materiales dotados con equipos capaces de cargar dichos especímenes de diversas maneras, incluso carga estática y dinámica a tensión y a compresión.

Las propiedades físico-químicas más importantes de los materiales son las de tipo general consideradas en cualquier sustancia, tales como la densidad, los puntos de fusión y de ebullición, el calor específico, la conductividad calorífica, la resistencia eléctrica, los coeficientes de dilatación y de compresibilidad, su estructura cristalina, las fuerzas de enlace, etc., y las propiedades de tipo mecánico, de gran interés técnico, expresan la resistencia ofrecida por el material a las distintas clases de esfuerzos a los que se encuentra sometido. Las propiedades mecánicas más importantes son las correspondientes a esfuerzos de tensión, compresión, cortante (flexión y torsión), así como la dureza o capacidad de penetración, entre otras.

Un análisis de la resistencia de materiales consiste en desarrollar matemáticamente la relación entre cargas externamente aplicadas y los efectos internos, fuerzas y deformaciones producidas en el cuerpo que se encuentra sujeto a estas cargas. Esto forma una base para entender problemas de diseño y solución en un modo fundamental, y proporciona los cimientos para un trabajo de diseño seguro y económico. Una vez que el estudiante domina estos fundamentos, puede expandirse y crecer; sin estos fundamentos, está por siempre limitado. Un estudio de la forma en que los materiales reaccionan ante los esfuerzos es fundamentalmente necesario para entender el modo como se construyen, se refuerzan y se utilizan.

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.

El conocimiento de las propiedades de los materiales nos es comprensible sólo después de que se han realizado experimentos adecuados en el laboratorio. Asimismo, muchos problemas de importancia en Ingeniería no pueden manejarse eficientemente por medios teóricos, por lo tanto, las mediciones experimentales han llegado a ser una necesidad práctica. El desarrollo histórico de la mecánica de materiales es una combinación fascinante de la teoría y el experimento, en donde los laboratorios señalan el camino para llegar a resultados útiles en la mayoría de los casos, y la teoría hace lo propio en otros. Hombres tan famosos como Leonardo da Vinci (1452-1519) y Galileo Galilei (1564-1642), efectuaron experimentos para determinar la resistencia de alambres, barras y vigas, aunque no elaboraron ninguna teoría adecuada para explicar sus resultados experimentales.

La importancia de la combinación de las deducciones teóricas con las propiedades de los materiales determinadas experimentalmente se evidenciará a medida que se avance en el estudio de la materia.

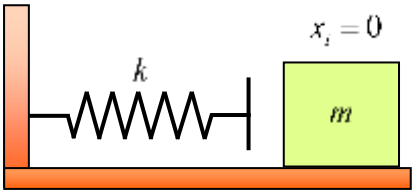
## 2.5 Energía potencial elástica ( $Ep_{elástica}$ )

La energía potencial elástica es aquella asociada con materiales elásticos, es decir, es la energía que posee un objeto en virtud de su posición sobre un resorte. Para un resorte ideal cuya constante sea $k$ y se estire o comprima una longitud $x$ con respecto a su longitud sin deformar, la energía potencial elástica es:

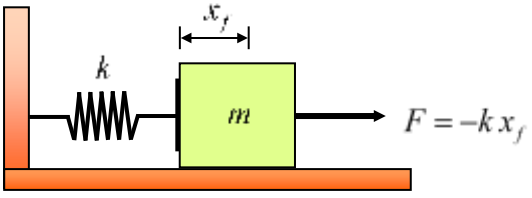
$$Ep_{elástica} = \tfrac{1}{2} k\, x^2$$

La energía potencial elástica, puede considerarse como la energía almacenada en el resorte deformado.

Consideremos un resorte que tiene energía potencial en posición comprimida (o estirada), ya que cuando es liberado puede efectuar trabajo sobre un objeto. Igual que otros materiales elásticos, un resorte es descrito por la ley de Hooke, siempre que el desplazamiento "$x$" no sea muy grande.

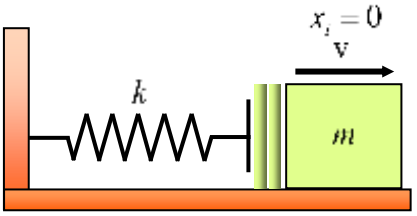



Resorte sin deformar sobre una superficie horizontal sin fricción




Un bloque de masa $m$ se empuja contra el resorte, comprimiéndolo una distancia $x$

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.




El bloque se suelta desde el reposo y la energía potencial elástica almacenada en el resorte se transfiere al bloque en la forma de energía cinética

Podemos considerar que el objeto se mueve desde la posición inicial $x_i$ hasta la posición final $x_f$, y la fuerza del resorte $F = -k\,x$ realiza trabajo $W$ sobre el objeto. Recordemos que el signo negativo aparece porque la fuerza $F$ está dirigida en sentido opuesto al desplazamiento $x$, figuras 7 (a, b, c).

Para hallar el cambio correspondiente en la energía potencial elástica del sistema que los forman el objeto y el resorte, sustituimos en la ecuación:

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F\,(x)\; dx$$

Considerando que la energía potencial elástica es: $Ep_{elástica} = -\,W$

Recordando que, al mover el objeto en un sentido, la fuerza del resorte actúa en sentido contrario y realiza trabajo negativo sobre el objeto, transfiriendo la energía cinética del objeto a la energía potencial elástica del resorte, entonces tenemos:

$$Ep_{elástica} = -\int_{x_i}^{x_f} F\,(x)\; dx = -\int_{x_i}^{x_f} (-k\,x)\; dx = k\int_{x_i}^{x_f} x\; dx = k\left[\tfrac{1}{2}\,x^2\right]_{x_i}^{x_f}$$

$$Ep_{elástica} = \tfrac{1}{2}\,k\,x_f^2 - \tfrac{1}{2}\,k\,x_i^2$$

Si suponemos que el objeto esté en $x_i = 0$ y el resorte en su longitud relajada (posición no comprimida), la energía potencial elástica es cero, es decir, $Ep_i = 0$ y la ecuación de energía es:

$$Ep_{elástica} = \tfrac{1}{2}\,k\,x_f^2 \;-\; 0 = Ep_f - 0$$

Que se simplifica como: $Ep_{elástica} = \tfrac{1}{2}\,k\,x^2$

La unidad en el SI de la energía potencial elástica es el $Joule = Newton\,x\,metro$

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.

## 3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

- Marco de carga,
- Dos resortes cuando menos,
- Kit de pesas,
- Tabla cuadriculada con papel milimétrico,
- Flexómetro y calibrador con vernier,
- Calculadora.

## 4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

Tabla 1. Marco de carga - Registro de lecturas de la carga sobre el resorte No. 1

| Lecturas | Longitud original del resorte sin carga $L_0\ (en\ mm)$ | Fuerza o carga $F\ (en\ \bar{g})$ | Longitud final del resorte con carga $L_f\ (en\ mm)$ | Incremento de longitud $s = L_f - L_0$ | Módulo de rigidez $k = \frac{F}{s}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |

## 5. RESULTADOS

Tabla 2. Marco de carga - Registro de lecturas de la carga sobre el resorte No. 2

| Lecturas | Longitud original del resorte sin carga $L_0\ (en\ mm)$ | Fuerza o carga $F\ (en\ \bar{g})$ | Longitud final del resorte con carga $L_f\ (en\ mm)$ | Incremento de longitud $s = L_f - L_0$ | Módulo de rigidez $k = \frac{F}{s}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |

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 | | | | | |

Aplicaciones

La prueba de tensión es uno de los medios más útiles que se emplean para determinar las propiedades mecánicas importantes de materiales de ingeniería. Así también, todos los conceptos analizados en esta práctica son básicos para ingeniería y serán tomados en cuenta durante la mayor parte de la carrera, principalmente en las asignaturas de Mecánica de Materiales.

# 6. CONCLUSIONES

## 6.1 Conclusiones del profesor

Los materiales en su totalidad se deforman cuando son sometidos a una carga externa. Se sabe además que hasta cierta carga límite el sólido recobra sus dimensiones originales cuando se le descarga. La recuperación de las dimensiones originales al eliminar la carga es lo que caracteriza al comportamiento elástico. La carga límite, por encima de la cual ya no se comporta elásticamente es el límite elástico.

Al sobrepasar el límite elástico, el cuerpo sufre cierta deformación permanente al ser descargado, se dice entonces que ha sufrido deformación plástica. El comportamiento general de los materiales bajo carga se puede clasificar como dúctil o frágil, según que el material muestre o no capacidad para sufrir deformación plástica. Los materiales dúctiles exhiben una curva esfuerzo-deformación que llega a su máximo en el punto de resistencia a la tensión. En materiales más frágiles, la carga máxima o resistencia a la tensión ocurre en el punto de falla. En materiales extremadamente frágiles, como los cerámicos, el esfuerzo de fluencia, la resistencia a la tensión y el esfuerzo de rotura son iguales.

## 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.

2.1 Cuestionario

1. Indique el comportamiento de la longitud del resorte colocado en el marco de carga cuando estuvo sujeto a diferentes pesos.

Solución: Cuando el resorte está a tensión, comienza a incrementar su longitud original, al mismo tiempo, ya que se presenta el efecto del estiramiento. No debemos exceder la fuerza aplicada ya que podemos generar una deformación permanente y posteriormente su rotura. En general el alargamiento longitudinal simultáneamente está acompañado de una deformación negativa en el grosor del resorte.

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.

2. ¿En qué paso pudo observar y comprobar la Ley de Hooke?

Solución: Básicamente en el proceso de carga cuando se alarga el resorte y al descargar recupera su forma original sin exceder su límite elástico.

3. Mencione con sus propias palabras la Ley de Hooke.

Solución: Las deformaciones o alargamientos experimentados por un cuerpo, entre los límites de una elasticidad perfecta o lineal, son directamente proporcionales a las fuerzas que lo producen.

4. ¿Cuál es la función que desempeña en un laboratorio el marco de carga?

Solución: Proporcionar información mediante cargas de tensión para controlar la deformación de los materiales que constituyen a los resortes, con esta información podemos determinar lo elástico o plástico del comportamiento de un material bajo la acción de una fuerza axial (sobre su eje) actuando sobre él

6. Defina brevemente los conceptos de módulo de rigidez de un resorte y de módulo de elasticidad para un espécimen.

Solución: Módulo de rigidez de un resorte (k): Es la relación directa entre el alargamiento de un resorte y la fuerza aplicada, varía de acuerdo con el tipo de material y caracterizan su deformabilidad en función de su geometría y del propio material.

Módulo de elasticidad (E): Es la pendiente en el diagrama esfuerzo - deformación de la región linealmente elástica, y su valor depende del material particular que se utilice.

1. Describa brevemente el comportamiento de un espécimen sujeto a tensión mediante el diagrama esfuerzo-deformación.

2. ¿Qué relación existe entre la elasticidad lineal y la ley de Hooke?

Analizar y estudiar de forma paralela la deformación de los cuerpos; la teoría de la elasticidad afronta el problema mecánico en su forma muy general en cuanto a las geometrías, condiciones externas e internas y tipos de acciones consideradas, mientras que, la Resistencia de Materiales está enfocada al estudio de ciertos tipos de elementos estructurales como vigas y columnas en condiciones de apoyo (simple, articulado, etc.), sometido a diferentes tipos de acciones y cargas como fuerzas puntuales, uniformes, etc., éstos producen esfuerzos y deformaciones en elementos estructurales.

7. ¿Cómo es la forma de la gráfica abajo del límite de proporcionalidad?

Solución: El límite de proporcionalidad es el mayor esfuerzo en el cual la curva en un diagrama esfuerzo-deformación (para un resorte se tiene fuerza-deformación longitudinal) que es una línea recta. Esa zona de la gráfica es la región lineal.

8. ¿Cómo se pudo comprobar durante la práctica que la carga que estaba actuando en el resorte se encontraba abajo del límite elástico?

Solución: Porque no se deformaba el resorte.

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.

9. De la gráfica obtenida en la prueba, obtenga una copia e indique el límite de proporcionalidad, el límite elástico, zona elástica y zona plástica.

10. Investigue y mencione en donde se puede presentar la ley de Hooke, cite algunos ejemplos.

## 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.

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

Egor P. Popov. Introducción a la mecánica de sólidos, Editorial Limusa, México, D.F., última edición.

Ferdinand P. Beer y E. Russell Johnston, Jr., Mecánica de materiales, McGraw Hill, México D.F. 2013

Fred b. Seely. James O. Smith, Resistencia de materiales, Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana, S.A. de C.V., México, 1979

Gere -Timoshenko, Mecánica de materiales, última edición, Grupo Editorial Iberoamérica México, D.F.1998.

Giancoli Douglas C. Física para universitarios, volumen I, México, Prentice Hall, tercera edición, 2008.

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

John N. Cernica, Resistencia de materiales, Compañía Editorial Continental, S. A. México, D.F. 1982.

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

Lehmann, Charles H. Geometría Analítica, Editorial LIMUSA, México, 2008.

Peter A. Thornton/Vito J. Colangelo, Ciencia de materiales para ingeniería, Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.

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.

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

Serie Schaum. William A. Nash, Resistencia de materiales, McGraw-Hill, México, D.F.

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

Valera Negrete J. P. Agustín, Apuntes de Física General, Ediciones Acatlán, México, Primera edición, 2005.

La que indique el profesor

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.6**
**HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE**

# Determinar la humedad relativa del aire ($\phi$) en la FES Acatlán, utilizando un psicrómetro

## 1. OBJETIVO

### 1.1 Objetivo general

Determinar la humedad relativa del aire existente en el laboratorio de Física General, a partir de las temperaturas de bulbo seco $(tbs)$ y de bulbo húmedo $(tbh)$ empleando para ello un psicrómetro.

### 1.2 Objetivos específicos

**1.2.1 El alumno analizará los conceptos de calor sensible, calor latente, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo y temperatura de rocío.**

**1.2.2 El alumno aprenderá el manejo del psicrómetro (gr. psychrós, húmedo o frío; métron, medida) y a partir de las temperaturas de bulbo seco $(tbs)$ y de bulbo húmedo $(tbh)$, y mediante tablas de presión obtendrá la humedad relativa del aire $\phi$, obteniendo la relación de la presión parcial del vapor de agua en el aire, con respecto a la presión de saturación del vapor de agua en el medio ambiente.**

**1.2.3 El alumno verificará los valores de la humedad relativa del aire $\phi$, mediante la aplicación de la carta psicométrica, utilizando las lecturas de temperatura de bulbo seco $(tbs)$ y temperatura de bulbo húmedo $(tbh)$. De igual manera comprobará su resultado mediante el higrómetro.**

## 2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

### 2.1 Introducción

El aire en la atmósfera se considera como una mezcla de gases y agua, que dependiendo el lugar en el que nos encontremos sobre la tierra, y en virtud de su altitud y latitud, presenta en promedio la siguiente composición.

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.

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 |
| | 100.00000 | 100.000000 |

Referencia. Práctica relativa a la determinación de la presión atmosférica local

Entre los espacios intermoleculares se aloja el vapor de agua en mayor o menor cantidad dependiendo de la temperatura y de la presión atmosférica. La humedad relativa en el aire $\phi$ 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, y es requisito para el acondicionamiento del aire en viviendas, oficinas, laboratorios, centros de cómputo, etc.

## 2.2 Higrometría

En el estudio especializado de la medición de la humedad del aire, los aparatos empleados se conocen como higrómetros que se calibran de 0 a 100% y nos indican la humedad relativa del aire denominada con la letra griega $\phi$ (fi).

La humedad relativa mide la cantidad de agua que existe en el aire de un lugar seleccionado y que se encuentra en forma de vapor, se compara con la cantidad máxima de agua que puede ser mantenida a una temperatura dada. Por ejemplo, si la humedad es del $50\%$ a $23°C$, esto implicaría que el aire contiene $50\%$ del nivel máximo de vapor de agua que puede mantenerse a $23°C$. El $100\%$ de humedad relativa, indica que el aire está en la máxima saturación. Cuando el aire húmedo entra en contacto con el aire más fresco, o con una superficie más fría, el vapor de agua se convertirá en gotas de agua. Cuando esto ocurre en una superficie, se conoce como el "Punto de Rocío". El ingeniero debe considerar, por ejemplo, que no debe aplicar pintura sobre una superficie, si se tiene una humedad relativa del $85\%$ o mayor, ya que a ese nivel se llega rápidamente al punto de rocío, independientemente de la temperatura circundante. La humedad relativa se puede obtener indirectamente mediante un psicrómetro, y directamente con un higrómetro, o bien con un termómetro-higrómetro que mide la temperatura y la humedad relativa simultáneamente. Es importante considerar la humedad relativa del lugar cuando efectuamos un proceso de colado de mezclas de concreto, por la capacidad de fraguado (endurecimiento de un material). Un valor promedio para estar en sensación agradable es entre el 45 y 50% de humedad relativa.

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.

## 2.3 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, y en zonas industriales los productos de la combustión de calderas):

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

## 2.4 Acondicionamiento del aire

Acondicionar el aire es controlar su temperatura, humedad relativa, cantidad, 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.

Lograr acondicionar el aire de un determinado lugar como los mencionados, requiere conocer varias características teniendo entre ellas a la temperatura y a la humedad principalmente, teniendo como ejemplo un centro de computación. Por otra parte, bajo diferentes circunstancias en una construcción, cuando se hace un colado de concreto hidráulico, no se pretende controlar a la temperatura y a la humedad del medio ambiente, sino conocerlas a fin de adoptar el procedimiento adecuado para que la proporción de la mezcla y el curado de la misma permitan alcanzar los valores de resistencia requeridos.

## 2.5 Temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo

La temperatura de bulbo seco $(tbs)$ es la que se mide con un termómetro ordinario, y es la medida del calor sensible del aire expresado en grados Celsius o Fahrenheit.

La temperatura de bulbo húmedo $(tbh)$ indica la cantidad de calor total contenido en el aire, también llamado calor latente y está expresado en grados Celsius o Fahrenheit. Se determina cubriendo el bulbo de un termómetro con una tela humedecida (cedazo fino) 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.

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.

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.

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 bulbo húmedo (depresión del bulbo 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, con 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.

## 2.6 Temperatura de rocío $(T_w)$

La temperatura de rocío (expresada principalmente 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 psicométricamente 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.

## 2.7 Variación de la humedad relativa del aire

### 2.7.1 La humedad relativa se puede aumentar de las siguientes formas:

- Reduciendo la temperatura, sin variar la humedad absoluta.
- Aumentando la humedad absoluta sin variar la temperatura.
- Reduciendo la temperatura a la vez que se aumenta la humedad.

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.

### 2.7.2 La humedad relativa se puede disminuir de las siguientes maneras:

- Aumentando la temperatura, sin variar la humedad absoluta.
- Disminuyendo la humedad absoluta, sin variar la temperatura final.
- 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.

La relación de las tres temperaturas (bulbo seco, bulbo húmedo y de rocío) cuando se humidifica el aire, tiene una trayectoria como la que se muestra en la siguiente figura:

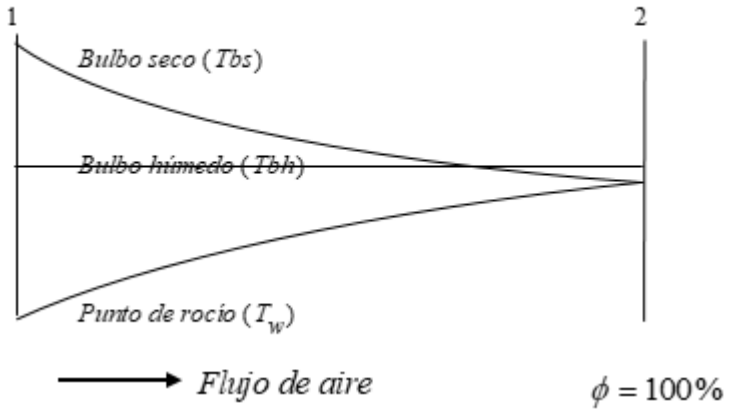



Figura. Relación de temperaturas y humedad relativa

## 2.8. Humedad absoluta o densidad $\rho_v$, y humedad relativa del aire $\phi$

La humedad absoluta o densidad del vapor de agua se define como la masa del vapor de agua expresado en libras o granos por cada pie cúbico y se representa como $\rho_v$ cuando el aire no está saturado, y con la notación $\rho_d$ cuando sí está saturado.

La humedad relativa se define como la relación de la presión parcial del vapor de agua en el aire, con respecto a la presión de saturación del vapor de agua correspondiente a la temperatura existente. También se considera la relación de la densidad del vapor de agua en el aire con la densidad de saturación a la temperatura existente.

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

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

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.

En donde $\phi$ representa a la humedad relativa del aire en porcentaje (%).

$P_v$: *presión parcial del vapor de agua*

$P_d$: *presión de saturación del vapor de agua* (se obtiene de las tablas psicométricas con la temperatura de bulbo seco).

Otra manera de definir a la humedad relativa es como la relación de la densidad del vapor de agua en el aire, con respecto a la densidad de saturación a la temperatura existente.

$$\phi = \left( \frac{\rho_v}{\rho_d} \right) \times 100$$

$\rho_v$: *densidad existente del vapor de agua*

$\rho_d$: *densidad del vapor saturado*

Para hallar la presión parcial del vapor de agua $P_v$ aplicamos la siguiente ecuación:

$$P_v = P_w - \frac{(P_{atm} - P_w)(Tbs - Tbh)}{2800 - 1.3\,Tbh}$$

$P_w$: *Presión de evaporación del agua* (se obtiene de las tablas psicométricas con la temperatura de bulbo húmedo)

$P_{atm}$: *Presión atmosférica local* (pulgadas de Hg)

En seguida se presentan las tablas de las propiedades de una mezcla de aire con vapor de agua saturado en grados Fahrenheit. Si en la columna de la izquierda entramos con la temperatura de bulbo seco $(tbs)$ en la columna de la derecha obtenemos el valor de $P_d$ requerido en la ecuación. Por otra parte, si entramos en la columna de la izquierda con la temperatura de bulbo húmedo $(tbh)$ obtendremos en la columna de la derecha el valor de $P_w$.

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.

Tabla de presiones de vapor saturado en °F

| Temp. °F (1) | Pulgadas de Hg (2) | Temp. °F (1) | Pulgadas de Hg (2) | Temp. °F (1) | Pulgadas de Hg (2) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.03773 | 47 | 0.32393 | 94 | 1.60880 |
| 1 | 0.03975 | 48 | 0.33635 | | |
| 2 | 0.04186 | 49 | 0.34917 | 95 | 1.65910 |
| 3 | 0.04409 | | | 96 | 1.71080 |
| 4 | 0.04645 | 50 | 0.36241 | 97 | 1.76380 |
| | | 51 | 0.37625 | 98 | 1.81810 |
| 5 | 0.04886 | 52 | 0.39051 | 99 | 1.87410 |
| 6 | 0.05144 | 53 | 0.40496 | | |
| 7 | 0.05412 | 54 | 0.42003 | 100 | 1.9316 |
| 8 | 0.05692 | | | 101 | 1.99040 |
| 9 | 0.05988 | 55 | 0.43570 | 102 | 2.05070 |
| | | 56 | 0.45179 | 103 | 2.11280 |
| 10 | 0.06295 | 57 | 0.46828 | 104 | 2.17630 |
| 11 | 0.06618 | 58 | 0.48538 | | |
| 12 | 0.06958 | 59 | 0.50310 | 105 | 2.24140 |
| 13 | 0.07309 | | | 106 | 2.30840 |
| 14 | 0.07677 | 60 | 0.52142 | 107 | 2.37700 |
| | | 61 | 0.54035 | 108 | 2.44730 |
| 15 | 0.08067 | 62 | 0.55970 | 109 | 2.51960 |
| 16 | 0.08469 | 63 | 0.57985 | | |
| 17 | 0.08895 | 64 | 0.60042 | 110 | 2.59390 |
| 18 | 0.09337 | | | 111 | 2.66920 |
| 19 | 0.09797 | 65 | 0.62179 | 112 | 2.74860 |
| | | 66 | 0.64378 | 113 | 2.82800 |
| 20 | 0.10280 | 67 | 0.66638 | 114 | 2.90440 |
| 21 | 0.10780 | 68 | 0.68980 | | |
| 22 | 0.11320 | 69 | 0.71382 | 115 | 2.99290 |
| 23 | 0.11860 | | | 116 | 3.07840 |
| 24 | 0.12410 | 70 | 0.73866 | 117 | 3.16600 |
| | | 71 | 0.76431 | 118 | 3.25760 |
| 25 | 0.13010 | 72 | 0.79058 | 119 | 3.34920 |
| 26 | 0.13660 | 73 | 0.81766 | | |
| 27 | 0.14320 | 74 | 0.84555 | 120 | 3.44490 |
| 28 | 0.15000 | | | 121 | 3.54060 |
| 29 | 0.15710 | 75 | 0.87448 | 122 | 3.64040 |
| | | 76 | 0.90398 | 123 | 3.74220 |
| 30 | 0.16450 | 77 | 0.93452 | 124 | 3.84600 |
| 31 | 0.17220 | 78 | 0.96588 | | |
| 32 | 0.18030 | 79 | 0.99825 | 125 | 3.95190 |
| 33 | 0.18790 | | | 126 | 4.06180 |
| 34 | 0.19570 | 80 | 1.03160 | 127 | 4.17180 |
| | | 81 | 1.06610 | 128 | 4.28580 |
| 35 | 0.20360 | 82 | 1.10130 | 129 | 4.40390 |
| 36 | 0.21195 | 83 | 1.13770 | | |
| 37 | 0.22050 | 84 | 1.17520 | 130 | 4.52200 |

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.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 38 | 0.22925 | | | 131 | 4.64410 |
| 39 | 0.23842 | 85 | 1.21350 | 132 | 4.7703 |
| | | 86 | 1.25270 | 133 | 4.89860 |
| 40 | 0.24778 | 87 | 1.29330 | 134 | 5.02890 |
| 41 | 0.25755 | 88 | 1.33460 | | |
| 42 | 0.26773 | 89 | 1.37740 | 135 | 5.16330 |
| 43 | 0.27832 | | | 136 | 5.29970 |
| 44 | 0.28911 | 90 | 1.42310 | 137 | 5.44020 |
| | | 91 | 1.46610 | 138 | 5.58270 |
| 45 | 0.30031 | 92 | 1.51250 | 139 | 5.7293 |
| 46 | 0.31191 | 93 | 1.56000 | | |

Fuente: Ing. Eduardo Hernández Goribar. - Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración

## 2.9 Consideraciones en la Ingeniería Civil

El concreto u hormigón se endurece porque contiene cemento. Dicho endurecimiento se produce por una reacción química que necesita de determinadas proporciones de componentes, es decir, determinada cantidad de agua, para una cantidad precisa de cemento. Si hay más cantidad de agua que la necesaria para la reacción química, el agua sobrante acabará evaporándose, dejando huecos muy pequeños que en ocasiones acabarán siendo poros en el hormigón y disminuirán la resistencia (hay menos masa resistente) y por donde puede entrar el aire exterior y provocar con el tiempo la oxidación de los armados (disminuye la durabilidad), este efecto se produce cuando se añade agua al camión (hormigonera o revolvedora). Por otro lado, si la cantidad de agua es menor de la necesaria para que se produzca la reacción química, ésta no culmina, no se endurece todo el cemento porque no tiene suficiente agua para reaccionar y por lo tanto no alcanza la resistencia esperada.

Si hay demasiada agua en la mezcla, es malo. Si hay poca agua, también es malo, ya que el concreto es un material delicado, que debe cuidarse muy bien su colocación y las proporciones adecuadas de sus componentes. Básicamente hay dos razones por las que la proporción de agua puede fallar a la baja, es decir, que acabe faltando agua para conseguir el endurecimiento completo del concreto.

- No se ha añadido suficiente agua durante el amasado. Muy improbable si el hormigón está fabricado en una planta, pues son procesos informatizados y muy controlados.

- Que se pierda agua durante el proceso de ejecución y endurecimiento del concreto en obra. Esto se produce debido a la evaporación que puede sufrir el agua del concreto (humedad relativa) por el calor que pueda hacer o por el mismo viento, que irá evaporando las capas superiores de agua y disminuyendo la cantidad que queda para reaccionar con el cemento y endurecer. Esto es lo que solucionaremos gracias a realizar un correcto curado del concreto (proceso con el cual se mantienen una temperatura y un contenido de humedad adecuados durante los primeros días después del vaciado o colado, para que se puedan desarrollar en él las propiedades de resistencia y durabilidad.

## 2.10 Carta psicométrica

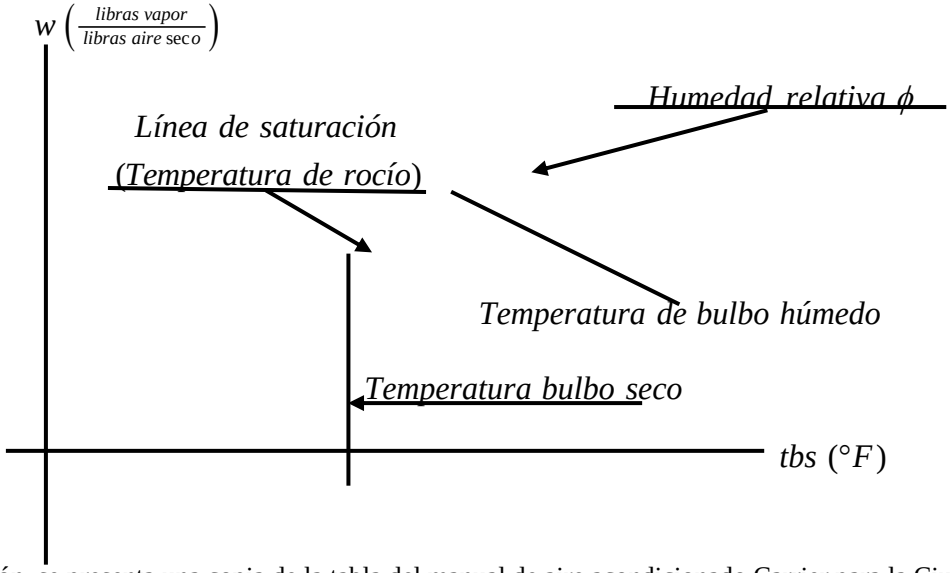
La carta psicométrica es la representación gráfica de las tablas de presiones y con ella se pueden analizar dichas propiedades psicométricas facilitando la solución de diferentes problemas, como son:

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.

1. Temperatura del bulbo húmedo (Tbh).
2. Temperatura de rocío (Tw).
3. Temperatura de bulbo seco (Tbs).
4. Humedad relativa (%).
5. Humedad específica (Wv). (es el peso del vapor de agua en el aire no saturado por cada libra de aire seco).

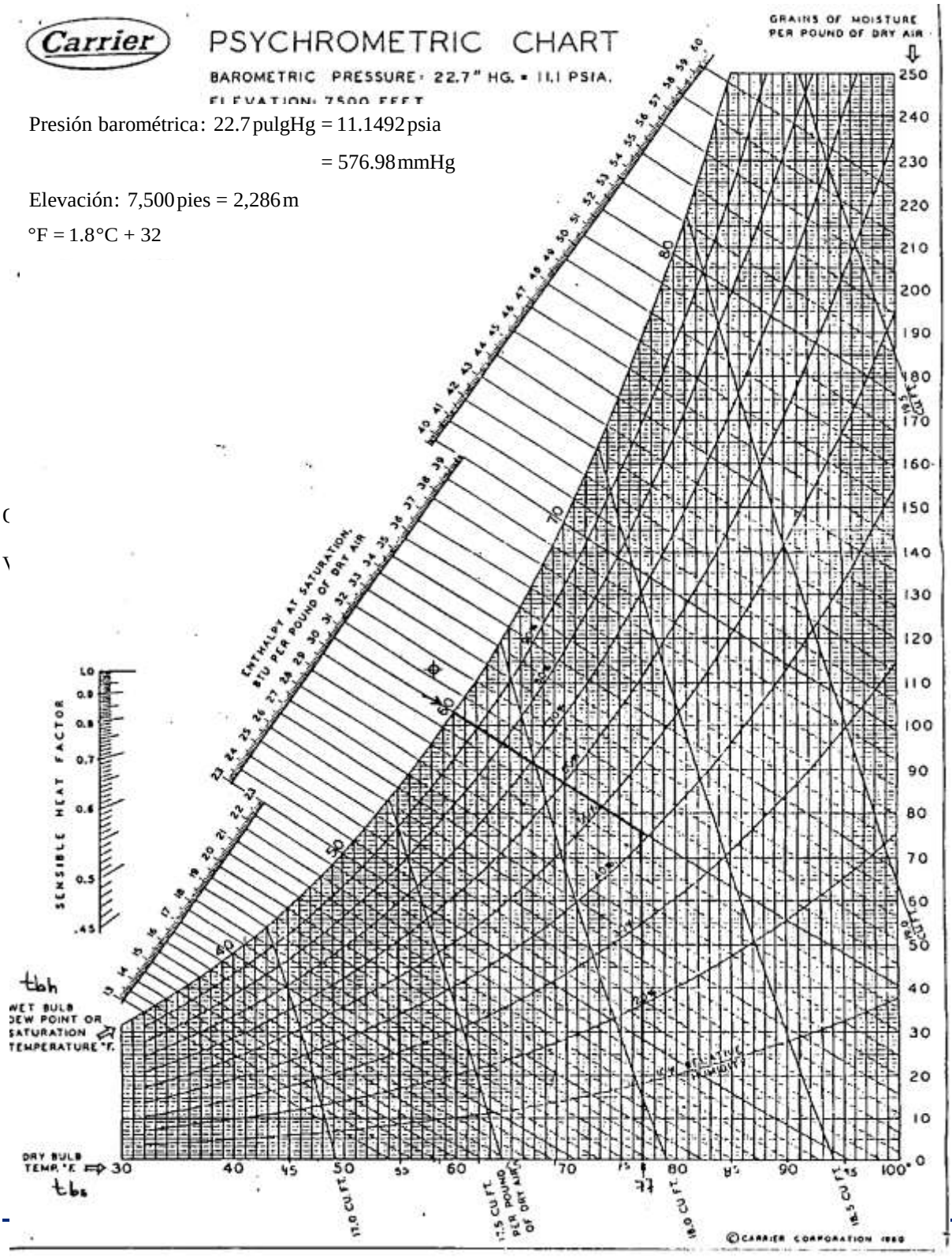
Cuando se conocen dos de estas propiedades, las demás se encuentran con toda facilidad. La carta principia en la línea de saturación, o sea, a cada temperatura de bulbo seco corresponde cierta cantidad de humedad para que haya saturación; por lo tanto, si en las abscisas se representan las temperaturas y en las ordenadas las humedades específicas, la línea de saturación tiene la forma mostrada en la figura.

Gráfica de propiedades psicométricas




A continuación, se presenta una copia de la tabla del manual de aire acondicionado Carrier para la Ciudad 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 $tbs = 77°F$ y $tbh = 60°F$.

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.




Presión barométrica: 22.7 pulgHg = 11.1492 psia

= 576.98 mmHg

Elevación: 7,500 pies = 2,286 m

°F = 1.8°C + 32

## 2.11 Higrómetro

El higrómetro es un instrumento que determina la cantidad de humedad relativa que está presente en el aire atmosférico. Los resultados de las mediciones se expresan como un porcentaje (%), pudiendo oscilar entre 0 y 100%. Esta cantidad de humedad relativa se expresa como la proporción de la cantidad de vapor de agua presente en el aire, en relación con la cantidad de agua que lo saturaría a una temperatura determinada.

Con el higrómetro se toma la lectura de la humedad relativa del aire ambiente y se compara con la obtenida a partir del psicrómetro o bien de la carta psicométrica.

Se pueden clasificar los higrómetros atendiendo a distintas variables, teniendo entre las principales:

- Por su funcionamiento: condensación, pelo, eléctrico o por sensores,
- Por su uso: mediciones en materiales, mediciones de la humedad ambiental,
- Por la manera de presentar los datos: analógico o digital.

El funcionamiento de un higrómetro se basa en la presencia de materias higroscópicas (usualmente el cloruro de litio capaz de captar agua de la atmósfera) mezcladas con agua, que al absorber la humedad se dilatan. En los eléctricos, unos electrodos emiten corrientes que hacen que se caliente todo el conjunto y se evapore el agua, absorbiéndola el material higroscópico dilatándose y cambiando de volumen.

Higrómetros

## 2.12 Matraz Erlenmeyer y matraz Kitasato

Matraz Erlenmeyer. Es un recipiente de vidrio que se utiliza en los laboratorios, tiene forma de cono y un cuello cilíndrico, es plano por su base. Se utiliza para calentar líquidos cuando hay peligro de pérdida de la substancia por evaporación.

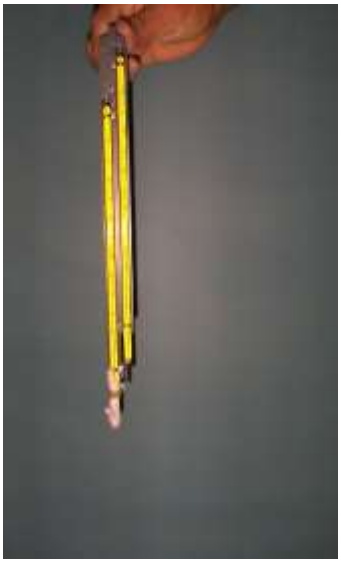
Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

Matraz Kitasato. Es un matraz del tipo Erlenmeyer con un tubo de desprendimiento o tubuladura lateral. Sirve para realizar experimentos con agua, como destilación, recolección de gases hidroneumática, desplazamiento de volúmenes, filtraciones al vacío, etc.

Matraz Erlenmeyer

Matraz Kitasato

## 3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO



- Psicrómetro,
- Tablas psicométricas,
- Matraz Erlenmeyer con agua,
- Termómetro para temperatura de bulbo húmedo,
- Termómetro para temperatura de bulbo seco,
- Matraz Kitasato,
- Mangueras,
- Material absorbente secador de aire (gis seco),
- Higrómetro.

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.

## 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.

Primer experimento: Determinar la humedad relativa del aire del medio ambiente, usando el psicrómetro y aplicando las tablas de presión de vapor saturado.

1. Mojar el pedazo de tela del termómetro de bulbo húmedo del psicrómetro.
2. Girar el psicrómetro durante un minuto aproximadamente hasta asegurarse que la temperatura de bulbo húmedo no baje más y con 100 rpm.
3. Registrar las temperaturas del bulbo seco y de bulbo húmedo.
4. Anotar los resultados en la tabla siguiente.

## 5. RESULTADOS

Tabla 1. Valores de temperaturas de bulbo seco y temperaturas de bulbo húmedo

| Lectura | $tbs\ (°C, °F)$ | $tbh\ (°C, °F)$ |
|---|---|---|
| 1 | $25.7°C = 78.26°F$ | $12.9°C = 55.22°F$ |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| Promedio | | |

Los valores de $P_d$ y $P_w$ los encontramos en las tablas psicométricas con los valores de la temperatura en grados Fahrenheit redondeando las cantidades, considerando para nuestro laboratorio la siguiente presión atmosférica: $P_{atm.local} = 56.6\ cmHg = 23.07\ pulgHg$

$$P_v = P_w - \frac{(P_{atm} - P_w)(Tbs - Tbh)}{2800 - 1.3\ Tbh}$$

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.

Tabla 2. Valores de presiones para las temperaturas psicométricas

| No. | $Tbs\ (°F)$ | $P_d\ (pulgHg)$ | $Tbh\ (°F)$ | $P_w\ (pulgHg)$ | $P_v\ (pulgHg)$ | $\phi = \frac{P_v}{P_d}$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 78.26 | 0.96588 | 55.22 | 0.43570 | 0.24087 | 24.937 |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |

Ejemplo: para la lectura No. (1) hagamos el cálculo de la humedad relativa:

$$P_v = 0.43570\ pulgHg - \frac{\left(23.07\ pulgHg \times \left(78.26 - 55.22\right)°F\right)}{2800 - 1.3\left(55.22°F\right)} = 0.24087\ pulgHg$$

$$\phi = \frac{0.24087\ pulgHg}{0.96588\ pulgHg} \times 100 = 24.937\ \%$$

Así obtuvimos todos los resultados para este primer experimento que se anotaron en la tabla

A continuación, determinar la humedad relativa del aire del medio ambiente, usando la carta psicométrica, redondeando el valor de las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo, y localizando el punto de intersección entre ambas. Por ejemplo Tbs = 80 °F y Tbh = 70°F ; hallamos que: $\phi$ = 65 % (de aire seco)

La lectura de la humedad relativa ($\phi$) registrada en el higrómetro fue de 36 %, por lo tanto, hubo una diferencia aproximadamente de 11% con relación a la obtenida con el psicrómetro. Consideramos que el higrómetro se encuentra descalibrado.

Segundo experimento: Determinar la humedad relativa del aire seco.

1. Conectar una manguera de la toma de aire comprimido al secador de aire (contiene gises).
2. Conectar una manguera del secador de aire al matraz Kitasato el cual tiene los dos termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo.
3. Hacer circular aire durante al menos un minuto y si la temperatura de bulbo húmedo no desciende más, se toma la lectura.
4. Anotar las lecturas en la tabla correspondiente.

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.

Tabla 3. Temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo

| Lectura | $tbs\ (°C, °F)$ | $tbh\ (°C, °F)$ |
|---|---|---|
| 1 | $26.8°C = 80.24°F$ | $20.8°C = 69.44°F$ |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| Promedio | | |

Ejemplo: para las lecturas del aire seco, hagamos el cálculo de la humedad relativa mediante los valores obtenidos de las temperaturas con el psicrómetro:

$$P_v = 0.43570\ pulgHg - \frac{\left(23.07\ pulgHg \times \left(78.26-55.22\right)°F\right)}{2800-1.3\left(55.22°F\right)} = 0.24087\ pulgHg$$

$$\phi = \frac{0.24087\ pulgHg}{0.96588\ pulgHg} \times 100 = 24.937\ \%$$

Determinar la humedad relativa del aire seco, usando la carta el psicométrica, redondeando el valor de las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo, y localizando el punto de intersección entre ambas. Por ejemplo Tbs = 80 °F y Tbh = 70°F ; hallamos que: $\phi$ = 65 % (de aire seco).

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

1. Conectar una manguera a la toma de aire comprimido.
2. Introducir la manguera en el matraz Erlenmeyer conteniendo agua, y de este mismo sale otra manguera que va al matraz Kitasato el cual contiene los dos termómetros de bulbo seco y de bulbo húmedo.
3. Hacer circular aire durante al menos un minuto y si la temperatura de bulbo húmedo no desciende más, se toma la lectura.
4. Anotar las lecturas en la tabla correspondiente.

Tabla 4. Temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo

| lectura | $tbs\ (°C, °F)$ | $tbh\ (°C, °F)$ |
|---|---|---|
| 1 | $26.4°C = 79.52°F$ | $25.6°C = 78.08°F$ |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| Promedio | | |

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.

Ejemplo: para las lecturas del aire húmedo, hagamos el cálculo de la humedad relativa mediante los valores obtenidos de las temperaturas con el psicrómetro:

$$P_v = 0.43570\ pulgHg - \frac{\left(23.07\ pulgHg \times \left(78.26 - 55.22\right)°F\right)}{2800 - 1.3\left(55.22°F\right)} = 0.24087\ pulgHg$$

$$\phi = \frac{0.24087\ pulgHg}{0.96588\ pulgHg} \times 100 = 24.937\ \%$$

Determinar la humedad relativa del aire seco, usando la carta el psicométrica, redondeando el valor de las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo, y localizando el punto de intersección entre ambas. Por ejemplo Tbs = 80 °F y Tbh = 70°F ; hallamos que: $\phi$ = 65 % (de aire seco)

De igual forma localizamos en la carta psicométrica los valores redondeados de Tbs = 80°F y Tbh = 78 °F; encontrando directamente que $\phi$ = 96 % de aire húmedo.

Resumen de humedades relativas $\phi$

Con las fórmulas descritas en la parte teórica, y con ayuda de las tablas psicométricas, 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 siguiente.

Tabla 5. humedad relativa

| Variable | $P_w\ (pulgHg)$ | $P_v\ (pulgHg)$ | $P_d\ (pulgHg)$ | $\phi$ (%) |
|---|---|---|---|---|
| Aire medio ambiente | | | | |
| Aire seco | | | | |
| Aire saturado | | | | |

Cuarto experimento: El alumno determinará la humedad relativa del aire del medio ambiente con el psicrómetro y la aplicación de la carta psicométrica.

1. Mojar el pedazo de tela del termómetro de bulbo húmedo del psicrómetro.
2. Girar el psicrómetro durante un minuto aproximadamente hasta asegurarse que la temperatura de bulbo húmedo no baje más.
3. Registrar las temperaturas del bulbo seco y de bulbo húmedo.

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.

Tabla 6. Temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo

| lectura | $tbs\ (°C, °F)$ | $tbh\ (°C, °F)$ |
|---|---|---|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| Promedio | | |

Quinto experimento: Determinar la humedad relativa del aire del medio ambiente mediante el uso del higrómetro.

1. Mojar el pedazo de tela del termómetro de bulbo húmedo del psicrómetro.
2. Girar el psicrómetro durante un minuto aproximadamente hasta asegurarse que la temperatura de bulbo húmedo no baje más.
3. Registrar las temperaturas del bulbo seco y de bulbo húmedo.

Tabla 7. Temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo

| lectura | $tbs\ (°C, °F)$ | $tbh\ (°C, °F)$ |
|---|---|---|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| Promedio | | |

## 6. CONCLUSIONES

### 6.1 Conclusiones del profesor

El concepto de humedad relativa es muy utilizado en aire acondicionado, el cual debemos conocer como apoyo a la construcción de centros de cómputo

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.

Es muy importante conocer el concepto de la humedad relativa del lugar en donde se pretende efectuar un colado de concreto para prepararlo con las cantidades necesarias y convenientes de cada uno de los materiales de la mezcla, y determinar correctamente el tiempo de fraguado (proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto producido por la desecación o pérdida de agua).

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.

## 6.2 Conclusiones del alumno

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

3 CUESTIONARIO

1) Cuál es la diferencia entre:
   - Cemento
   - Concreto
   - Hormigón
   - Hormigón Armado

Solución: El cemento es un compuesto de una mezcla de caliza y arcilla que sirve como elemento aglutinante al entrar en contacto con materiales constructivos. El concreto es una mezcla de cemento y agregados gruesos como la grava y la arena y en ocasiones aditivos que mezclados con el agua producen un elemento resistente. El hormigón es equivalente al concepto de concreto hidráulico, generalmente usado en otros países. El hormigón armado consta adicionalmente de una armadura metálica o varilla que soporta los esfuerzos a tensión y cortante.

2) Indique lo que entiende por cemento Portland

Solución: Material de construcción compuesto de una sustancia en polvo que, mezclada con agua u otra sustancia, forma una pasta blanda que se endurece en contacto con el agua o el aire; se emplea para tapar o rellenar huecos y como componente aglutinante en bloques de hormigón y en argamasas.

El cemento Portland es un compuesto de una mezcla de caliza y arcilla, que fragua muy despacio y es muy resistente; al secarse adquiere un color semejante al de la piedra de las canteras inglesas de Portland.

La invención del cemento Portland se atribuye a un constructor inglés llamado Joseph Aspdin.

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.

3) Defina el concepto de concreto hidráulico.

Solución: Es una combinación de cemento Portland y agregados pétreos (grava y arena principalmente) en ocasiones con aditivos que al agregar agua producen una mezcla moldeable formando al fraguado un elemento rígido y resistente.

4) Indique con sus palabras el concepto de fraguado del concreto.

Solución: El fraguado es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto (o mortero de cemento), producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos —procedentes de la reacción química del agua de amasado— con los óxidos metálicos presentes en el clínker Portland (se forma tras calcinar caliza y arcilla a una temperatura que está entre 1350 y 1450 °C y se muele para fabricar el cemento Portland).

5) Explique lo que entiende por curado del concreto.

Solución: El curado del concreto se define como el proceso de controlar y mantener una cantidad de humedad en el medio ambiente circundante y a una temperatura favorable para desarrollar en la mezcla propiedades deseadas.

El curado se realiza durante el proceso de fraguado del hormigón para asegurar su adecuada humedad, adoptando las medidas oportunas durante el plazo que se establezca en las Especificaciones Técnicas, en función del tipo, clase y categoría del cemento, de la temperatura y grado de humedad del ambiente. A los cuatro días el hormigón tiene una resistencia adecuada para quitar la formaleta y el periodo de curado debe ser por 28 días para no tener problemas en la resistencia proyectada del hormigón. El método ideal es usar el agua para ayudar a la hidratación de la pasta de cemento. Se puede tratar de retener la humedad mediante un material protector adecuado o mediante riego controlado, evitando producir deslavado. El curado debe durar hasta que, como mínimo, el hormigón haya alcanzado el 70% de la resistencia de proyecto.

Entre los métodos especiales de curado, destacan el curado por calor, inmersión o mediante vapor de agua que se iniciará una vez transcurrido el período de prefraguado.

6). ¿Cómo influye la humedad relativa en el fraguado del concreto?

Solución: El fraguado del concreto es uno de los principales medios para garantizar que el material alcance las propiedades deseadas de resistencia, aunque su capa superficial sea vulnerable al efecto de intemperie. La humedad relativa influye en la respuesta mecánica y durabilidad del concreto, para lo cual se fabrican probetas que se curan mejorando su permeabilidad en condiciones agresivas de exposición atmosférica.

7) Indique los efectos de una adecuada cantidad de humedad relativa en el medio ambiente.

Solución: El vapor de agua contenido en la atmósfera no es tangible directamente, y es por ello que se convierte en un factor muy importante para la salud y en algunos procesos de acondicionamiento del aire, principalmente por la gran cantidad de partículas dañinas que nos afectan en las grandes ciudades. La cantidad de aire, su distribución, su calidad y la temperatura aunados a la humedad relativa son factores de un mejor ambiente.

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.

8) Cuales son los valores óptimos atmosféricos en la Ciudad de México de humedad relativa y de temperatura.

Solución: Para la humedad relativa se considera un porcentaje óptimo que oscila entre el 50 y 55, y la temperatura adecuada se encuentra entre los 17°C a 21°C.

9) ¿Para qué se utiliza una carta psicométrica?

Solución: El contenido de una carta psicométrica nos permite a partir de las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo de la atmósfera obtener con facilidad los valores de la humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío, entalpía específica o calor total, calor sensible, calor latente y volumen específico del aire.

10) Si conoce equipos de aire acondicionado indique algunas de sus características.

Solución: Son equipos que permiten climatizar el aire del medio ambiente y graduar las condiciones de temperatura y humedad relativa. Se clasifican en dos tipos: de expansión directa y de expansión indirecta.

Los equipos de expansión directa son aquellos que mediante un gas refrigerante logran equilibrar las cargas térmicas de un local. Y los equipos de expansión indirecta son aquellos en los que el gas refrigerante no es el primer elemento que enfría o calienta una zona específica, sino que intercambia en su recorrido por tuberías la temperatura con el agua o el aire, es decir, el gas enfría al agua y está al aire circundante.

## 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.

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.

Hernández Goribar Eduardo, Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración, Editorial Limusa, última edición.

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.

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.

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

Valera Negrete, José Pedro Agustín, Apuntes de Física General, México, Ediciones Acatlán, UNAM, primera edición, 2005

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

La que indique el profesor

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.7**
**PRUEBA A TENSIÓN DE UN ESPÉCIMEN O BARRA METÁLICA**

**Determinar el diagrama esfuerzo normal - deformación unitaria de una barra o elemento estructural metálico**

# 1. OBJETIVO

## 1.1 Objetivo general

Analizar los conceptos de esfuerzo normal, módulo de elasticidad y deformación unitaria, ensayando a tensión una muestra cilíndrica estándar de acero.

## 1.2 Objetivos específicos

**1.2.1 Analizar las expresiones matemáticas de esfuerzo normal, módulo de elasticidad y deformación unitaria.**

**1.2.2 Analizar el comportamiento elástico de un espécimen metálico y su diagrama esfuerzo normal vs deformación unitaria.**

**1.2.3 Analizar el diagrama esfuerzo-deformación de una varilla corrugada, estableciendo la diferencia entre la zona elástica y la zona plástica.**

# 2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

## 2.1 Introducción

### 2.1.1 Esfuerzo (.
### 2.1.2 )

Es la razón de una fuerza aplicada $F$ respecto al área $A$ sobre la que actúa, por ejemplo, en el Sistema Internacional, se tienen las unidades de Newton por metro cuadrado (Pascal) y en el Sistema Inglés, libras por pulgada cuadrada (psi o ksi).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \left( 1Pa = 1\,\frac{N}{m^2},\ 1\,psi = 1\,\frac{\overline{lb}}{pulg^2} \right)$$

Analicemos ahora la resistencia de un material como su capacidad para oponerse a la deformación, un desplazamiento en cualquier dirección es producido por un incremento de las fuerzas (de tensión o compresión) que se oponen a la deformación; esta resistencia se debe a las fuerzas moleculares de atracción y repulsión que actúan en un material en particular.

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.

El esfuerzo es el resultado de la respuesta interna que exhibe un material cuando se le imponen fuerzas. Para simplificar las ecuaciones, supongamos que la fuerza actúa de modo uniforme sobre una cierta área; entonces podemos establecer que la respuesta interna o esfuerzo, es una fuerza por unidad de área.

Las tres clases de esfuerzos más comunes y sus deformaciones corresponden a:

### 2.1.2 Esfuerzo de tensión longitudinal

Ocurre cuando fuerzas iguales y opuestas tienden a alejarse una de la otra.

### 2.1.3 Esfuerzo de compresión longitudinal

Ocurre cuando fuerzas iguales y opuestas se dirigen una contra otra.

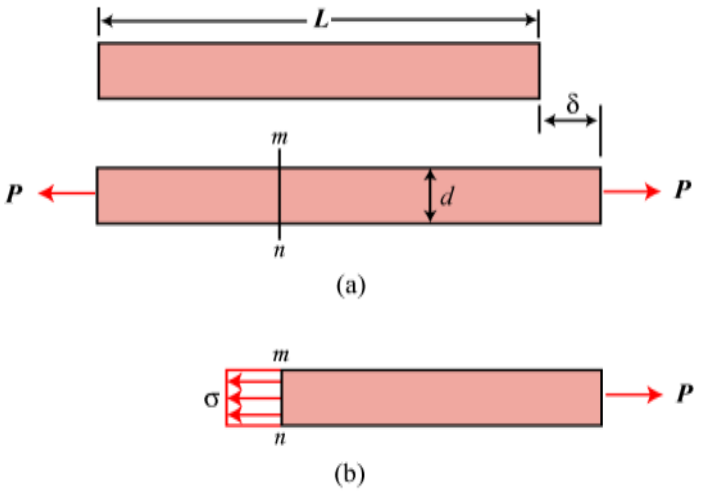
### 2.1.4 Esfuerzo cortante

Actúa paralelo o tangencial a la superficie del material, y ocurre cuando fuerzas iguales y opuestas no tienen la misma línea de acción. Los esfuerzos cortantes aparecen de manera indirecta en miembros sujetos a tensión, torsión y flexión.

## 2.2 Esfuerzo normal y deformación unitaria

### 2.2.1 Esfuerzo normal

Los conceptos fundamentales en la mecánica de materiales son el esfuerzo normal y la deformación unitaria, los cuales pueden ejemplificarse si se considera una barra prismática cargada con fuerzas axiales F en los extremos, como se muestra en la figura. Las fuerzas axiales producen un alargamiento uniforme de la barra, por lo que decimos que se encuentra a tensión.




Barra prismática sujeta a tensión

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.

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.

Para analizar los esfuerzos internos de la barra originados por las fuerzas axiales, se requiere efectuar un corte imaginario en la sección mn, figura (a). Esta sección se considera perpendicularmente al eje longitudinal de la barra, y se conoce como sección transversal. Enseguida se separa la porción de la barra que se encuentra a la derecha del corte como cuerpo libre, figura (b). La carga de tensión F actúa sobre el extremo derecho del cuerpo libre; en el otro extremo ocurren fuerzas que representan la acción de la parte izquierda de la barra sobre la parte aislada restante. Tales fuerzas se distribuyen de modo continuo sobre la sección transversal. La intensidad de la fuerza, es decir, la fuerza por unidad de área, se denomina esfuerzo y se denota comúnmente por la letra griega $\sigma$ (sigma). Si se supone que el esfuerzo tiene una distribución uniforme sobre la sección transversal, podemos apreciar fácilmente que su resultante es igual a la intensidad multiplicada por el área de sección transversal A de la barra. A partir del cuerpo en equilibrio también es evidente que esta resultante debe ser de igual magnitud y de dirección opuesta a la carga aplicada F, de donde se obtiene la ecuación para el esfuerzo uniforme en una barra prismática de sección transversal de forma cualquiera, cargada axialmente.

### 2.2.2 Relación entre incremento de longitud ($\delta$) y deformación unitaria ($\varepsilon$)

El desplazamiento de las moléculas de sus posiciones de equilibrio constituye una deformación o incremento de longitud $\delta$. Dicha deformación se llama elástica, si las moléculas pueden recuperar sus posiciones de equilibrio originales cuando se retiran las fuerzas impuestas. Entonces, la deformación elástica es recuperable e indica la elasticidad relativa de un material. Por ejemplo, se puede estirar mucho una banda de hule, pero cuando se suelta, regresa a sus dimensiones originales, o cuando se toma entre los dedos los extremos de una goma de borrar y se comprime, se observa que la goma se deforma, adquiriendo su forma primitiva tan pronto como cesa la presión producida por los dedos; éste fenómeno sucede con todos los materiales en mayor o menor grado, cualquiera que sea su estado físico.

Una manera sencilla de establecer el concepto de elasticidad es recordar que se trata de la propiedad que permite al material adoptar su forma y dimensiones originales después de que se retira la fuerza que lo deformó, y al material se le denomina elástico.

El cambio por unidad de longitud de las dimensiones o formas de un cuerpo como resultado de la aplicación de un esfuerzo recibe el nombre de deformación unitaria $(\varepsilon)$, expresada analíticamente como:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (adimensional)$$

*En donde*:

$\varepsilon$ = *deformación unitaria*,

$\delta$ = *incremento de longitud*,

L = *unidad de longitud*.

La eficacia de cualquier fuerza que produce un esfuerzo depende en gran medida del área sobre la que se distribuye dicha fuerza. En el caso de esfuerzos de tensión o compresión longitudinales, la deformación puede considerarse como un cambio de su alargamiento $\delta$ por unidad de longitud $L$. Un esfuerzo cortante, por otro lado, puede alterar tan solo la forma del cuerpo, sin cambiar necesariamente sus dimensiones. La deformación cortante se suele medir en términos de desplazamiento angular $\tau = G\gamma$.

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.

Cuando un material está sujeto a fuerzas, como las que normalmente imponen las cargas de servicio, sus moléculas se pueden desplazar de sus posiciones de equilibrio. Esta premisa se mantiene, ya sea que el material cuando se estira (se encuentre a tensión) causando la separación de las moléculas y haciendo intervenir las fuerzas de atracción, o cuando se comprima, se aproximan las moléculas y ocasiona su repulsión.

De otra manera podemos decir, que cuando se aplica una fuerza a un material se deforma. Cuando la fuerza se aplica de tal modo que el espécimen es estirado, esta deformación produce una elongación (incremento de longitud). Cuando la fuerza empuja contra el espécimen, se produce una compresión. En cualquier caso, se puede expresar la deformación que resulta como una deformación unitaria (deformación por unidad de longitud) y la carga se puede expresar en términos de esfuerzo.

Si este concepto de desplazamiento de los átomos se extiende a los materiales de ingeniería, podemos definir la deformación en términos de las dimensiones originales del material que se considere; en otras palabras, es la relación del cambio dimensional con respecto a la dimensión original. Por ejemplo, considérese una barra de longitud inicial $Lo$, como la que se muestra en la figura (8), bajo la acción de una carga aplicada $F$ esta barra experimenta una deformación y se alarga hasta una longitud $L_f$. La relación de este incremento de longitud que llamaremos $\delta$ con respecto a la longitud original $L_0$, es la deformación lineal unitaria $\varepsilon$ y se puede expresar como sigue:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0} \quad \text{es decir;} \quad \varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0}$$

En la expresión anterior, sólo se toma en cuenta el cambio dimensional en la dirección axial (del eje) y se le considera en toda la longitud de la muestra. En realidad, el diámetro de la barra se reduce ligeramente, puesto que su volumen permanece constante, lo que provoca una disminución del área de la sección transversal, aunque para deformaciones pequeñas, este fenómeno es por lo regular insignificante. Por lo común, se conoce a la deformación $\varepsilon$ como la deformación unitaria y se expresa como un valor sin unidades (adimensional).

### 2.2.3 Cargas y reacciones

Las fuerzas que actúan en un miembro estructural son llamadas cargas. Las fuerzas que contrarrestan el efecto de esas cargas son llamadas reacciones. Cargas y reacciones pueden ser generalmente clasificadas como externas o internas, y estáticas o dinámicas. Pueden ser más ampliamente definidas con respecto al área sujeta a contacto. Es importante enunciar algunas definiciones con objeto de eliminar confusiones posteriores.

### 2.2.4 Carga estática

Es una fuerza aplicada gradual y lentamente, y no repetida muchas veces, como las que actúan sobre la mayor parte de los miembros de las edificaciones, o como la carga aplicada a una barra en una máquina de ensayos o pruebas. Algunas veces conviene considerar la llamada carga estática como compuesta de dos partes: una carga muerta y una carga viva. Por ejemplo, el peso de un puente es una carga muerta y el peso de un tren que corre por él y la presión del viento sobre el mismo son cargas vivas.

### 2.2.4 Carga sostenida

Es una fuerza actuando por un largo período, como ejemplo de dicha carga tenemos al peso muerto de una estructura. Para algunos materiales bajo ciertas condiciones de temperatura y carga, esta fuerza tiene un efecto apreciable en la estructura, como la deformación permanente de una viga o el acortamiento permanente de una columna.

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.

### 2.2.6 Carga repetida

Es una fuerza aplicada miles o quizás millones de veces; por ejemplo, las fuerzas en varias partes de un motor funcionando.

### 2.2.7 Carga de impacto

Es una fuerza aplicada en cortos períodos, tal como un martillo golpeando un clavo, o un peso cayendo al suelo como un martillo hidráulico para hincar pilotes. Algunas veces, este tipo de carga es descrita como carga de energía.

### 2.2.8 Carga axial

Es una fuerza o sistema de fuerzas cuya resultante pasa por el centroide de la sección transversal en la que actúa la fuerza.

### 2.2.9 Carga concentrada

También llamada carga puntual, es una fuerza aplicada en un punto específico.

### 2.2.10 Carga distribuida

Es una fuerza o un sistema de fuerzas repartido sobre un área, ya sea de manera uniforme o no uniforme. Así, si se extiende un volumen de forma regular sobre un piso de manera que su altura sea constante, el piso quedará sometido a una carga uniformemente distribuida, mientras que, si el volumen se distribuye de tal manera que la altura de su capa no sea constante, se dice que el piso soporta una carga no uniformemente distribuida.

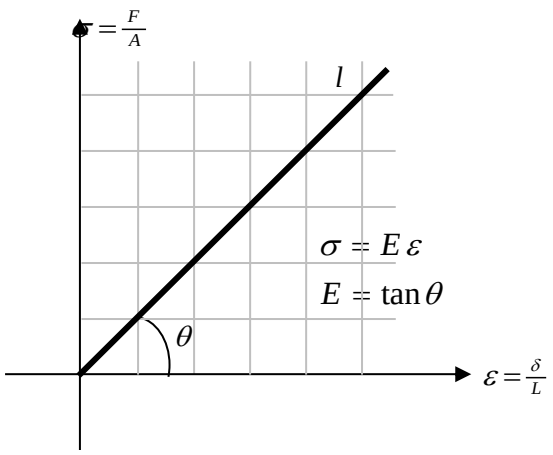
### 2.2.11 Carga externa

Es una fuerza actuando en el exterior de una estructura para la cual se establece el equilibrio.

## 2.3 Módulo de elasticidad ( $E$ )

El módulo de elasticidad se define como la pendiente en el diagrama esfuerzo - deformación de la región linealmente elástica, y su valor depende del material particular que se utilice, ver figura. El símbolo que se utiliza es la letra $E$ , y sus unidades son las mismas que las unidades de esfuerzo, ya que las deformaciones son adimensionales. Por lo tanto, las unidades de $E$ son Pascales en el Sistema Internacional y $psi$ o $ksi$ en el Sistema Inglés.

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.




*$\sigma$ ; Esfuerzo*
*$F$ ; Fuerza o carga*
*$A$; Área de la sección*
*$E$ ; Módulo de elasticidad*
*$\varepsilon$ ; Deformación unitaria*
*$\delta$ ; Incremento de longitud*
*$L$ ; Longitud de la barra*

Gráfica de la ecuación de la ley de Hooke para una barra estructural

### 2.3.1 Equilibrio de fuerzas

Al aplicar fuerzas externas a un cuerpo, de tal manera que después de ocurrir una pequeña deformación no se permite ningún movimiento adicional, se dice que el cuerpo se encuentra estáticamente equilibrado, es decir, las fuerzas internas contrarrestan exactamente a las fuerzas externas. Al fenómeno anterior se le llama equilibrio estático o equilibrio de fuerzas.

### 2.3.2 Fuerza de tensión

Cuando se le aplica una fuerza a un material, de tal modo que esté estirado (a tensión), el material se deforma produciéndose un alargamiento o elongación, el cual se produce por la separación de sus moléculas, haciendo intervenir fuerzas de atracción entre ellos (energía potencial interna). A dicha fuerza se le denomina fuerza de tensión.

### 2.3.3 Fuerza de compresión

Cuando se le aplica una fuerza a un material, de tal modo que éste es comprimido, el material se deforma produciéndose una contracción longitudinal, la cual se produce por la aproximación de sus moléculas, haciendo intervenir fuerzas de repulsión entre ellos. A dicha fuerza se le denomina fuerza de compresión.

### 2.3.4 Prueba de tensión

Las propiedades mecánicas de un material (resistencia de fluencia, resistencia última de tensión, límite elástico, ductilidad y resistencia de impacto), se determinan mediante pruebas de laboratorio, con una muestra de material que tiene forma geométrica específica (barra prismática). Estas pruebas se usan constantemente en la ingeniería para obtener información básica de diseño y evaluar los materiales con relación a las especificaciones de aceptación.

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.

La prueba de tensión se realiza aplicando una carga que se incrementa a un espécimen de geometría específica, se inicia desde cero hasta algún valor pequeño seleccionado y luego se retira. Si no existe alargamiento permanente (esto es, si esta alteración de la barra regresa a cero), entonces, el material es elástico hasta el esfuerzo representado por el valor seleccionado de la carga. Finalmente se alcanzará un esfuerzo tal que no se recobre toda la deformación durante la descarga. Tal es el caso, por ejemplo, cuando tomamos una liga o un resorte y los estiramos con exageración, no vuelve a su forma original cuando cesa la tensión, sino que, quedan alargados o deformados permanentemente, eso sucede cuando sobrepasa el límite elástico del espécimen.

Si el esfuerzo aplicado al espécimen permanece abajo del límite elástico, podrá ser cargado, descargado y cargado nuevamente sin un cambio apreciable en su comportamiento.

A medida que se incrementa el esfuerzo en el espécimen, primero se presenta la deformación elástica en respuesta a la ley de Hooke y después la deformación plástica.

Los esfuerzos en el dispositivo se pueden controlar por medios mecánicos o electrónicos, pero, en cualquier caso, deben medirse con mucha precisión los incrementos de carga. Posteriormente se convierten los datos de carga-alargamiento a datos de esfuerzo-deformación de la siguiente manera:

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

$En\ donde:$

$\sigma = esfuerzo\ [en\ Newton / metros\ cuadrados],$

$F = carga\ o\ \ fuerza\ ejercida\ sobre\ el\ espécimen\ [en\ Newton],$

$A = área\ de\ la\ sección\ transversal\ del\ espécimen\ [en\ metros\ cuadrados].$

La deformación unitaria $\varepsilon$ (axial o longitudinal), se obtiene determinando el incremento en la longitud original $\delta$ de la muestra o espécimen y dividiéndolo entre su longitud original $L_0$:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0}\ \ adimensional$$

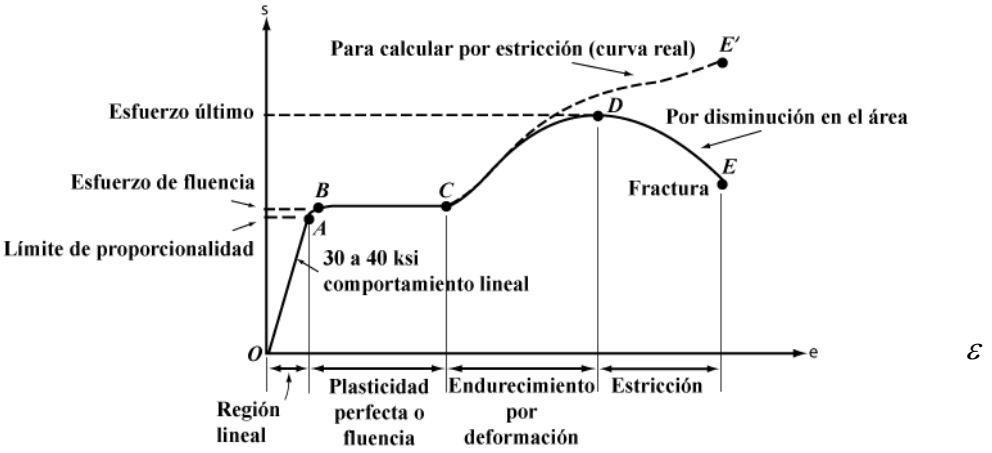
## 2.4. Diagrama Esfuerzo Normal – Deformación Unitaria (del Acero estructural)

Las propiedades mecánicas de los materiales usadas en ingeniería se determinan mediante pruebas efectuadas sobre pequeñas muestras del material. Ellas se realizan en laboratorios de prueba de materiales, dotados con equipo capaz de cargar los especímenes de diversas muestras, incluso con carga estática o dinámica a tensión y a compresión.

Después de realizar una prueba de tensión o de compresión y de establecer el esfuerzo y la deformación para varias magnitudes de la carga, se puede trazar un diagrama de esfuerzo contra deformación unitaria. Tal diagrama esfuerzo-deformación, es característico del material y proporciona información importante acerca de las propiedades mecánicas y del comportamiento típico del mismo. El primer material que se analiza es el acero estructural, también conocido como acero dulce o acero de bajo carbono, siendo uno de los metales más utilizados en edificios, puentes, torres y muchos otros tipos de construcciones.

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.

Un diagrama esfuerzo-deformación representativo del acero estructural a tensión se muestra en la figura (9) (fuera de escala). $\sigma$




$\varepsilon$

Diagrama esfuerzo-deformación unitaria del acero estructural típico en tensión (fuera de escala)

Con el fin de que los resultados de las pruebas se comparen fácilmente, el tamaño de las muestras y los métodos de aplicación de las cargas se uniforman. Una de las principales organizaciones de estandarización, es la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés: American Society for Testing and Materials).

El concreto se prueba mediante compresión en cada proyecto de construcción importante para verificar que se logran las resistencias requeridas. Las normas ASTM establecen un espécimen para concreto de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de longitud a 28 días de edad.

La deformación unitaria se representa en el eje horizontal y el esfuerzo en el eje vertical. El diagrama empieza con una línea recta desde O hasta A. En esta región, el esfuerzo y la deformación son directamente proporcionales y se dice que el comportamiento del material es lineal. Después del punto A, ya no existe una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación, por lo que el esfuerzo en el punto A se denomina límite de proporcionalidad. Para aceros de bajo carbono este límite se encuentra en el intervalo de 30 a 40 ksi, pero los aceros de alta resistencia (con mayor contenido de carbono y otros elementos de aleación) pueden tener límites de proporcionalidad de 80 ksi o más.
Al incrementar la carga más allá del límite de proporcionalidad, la deformación empieza a aumentar más rápidamente para cada incremento de esfuerzo. La curva de esfuerzo-deformación, asume luego una pendiente cada vez más pequeña, hasta que en el punto B la curva se vuelve horizontal. A partir de este punto se presenta un alargamiento considerable, con un incremento prácticamente inapreciable en la fuerza de tensión (desde B hasta C en el diagrama). Este fenómeno se conoce como cedencia o fluencia del material, y el esfuerzo en el punto B se denomina esfuerzo de cedencia o punto de cedencia (o bien, esfuerzo de fluencia o punto de fluencia). En la región desde B hasta C, el material se vuelve perfectamente plástico, lo que significa que puede deformarse sin un incremento en la carga aplicada. El alargamiento de un espécimen de acero dulce en la región perfectamente plástica es en forma típica 10 a 15 veces mayor que el alargamiento que ocurre entre el inicio de la prueba y el límite de proporcionalidad.

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.

Después de sufrir las grandes deformaciones que se presentan durante la fluencia en la región BC, el acero empieza a mostrar un endurecimiento por deformación. Durante este proceso, el material sufre cambios en su estructura cristalina y atómica, lo que origina un incremento en la resistencia del material a futuras deformaciones. Por tanto, un alargamiento adicional requiere de un incremento en la carga de tensión, y el diagrama esfuerzo-deformación toma una pendiente positiva desde C hasta D. Finalmente, la carga alcanza su valor máximo y el esfuerzo correspondiente (en el punto D) se denomina esfuerzo último. De hecho, el alargamiento posterior de la barra se acompaña de una reducción en la carga y finalmente se presenta la fractura en un punto E, tal como se indica en el diagrama de la figura.

Se presenta una contracción lateral de la muestra cuando se alarga, lo que origina una reducción en el área de la sección transversal. La reducción en el área es muy pequeña como para tener un efecto apreciable en el valor de los esfuerzos calculados antes del punto C, pero más allá de este punto, la reducción comienza a modificar el perfil del diagrama. En la cercanía del esfuerzo último, la disminución del área se aprecia claramente y ocurre un estrechamiento pronunciado de la barra, conocido como estricción figura.

Estricción

Si para el cálculo del esfuerzo se emplea el área de la sección transversal en la parte estrecha del cuello ocasionado por la estricción, la curva real esfuerzo-deformación (figura 10) seguirá la línea punteada CE'. La carga total F que puede resistir la barra, se ve efectivamente disminuida después de que se alcanza el esfuerzo último (curva DE), pero esta disminución se debe al decremento en área de la barra y no a una pérdida de la resistencia misma del material. En realidad, el material soporta un aumento de esfuerzo hasta el punto de falla E. Sin embargo, con fines prácticos, la curva esfuerzo-deformación convencional OABCDE, basada en el área transversal original de la muestra y que, por lo tanto, se calcula fácilmente, y suministra información satisfactoria para emplearla en el diseño.

El acero estructural contiene alrededor de 0.2% de carbono en su aleación y se clasifica como acero de bajo carbono. Conforme se incrementa el contenido de dicho elemento, el acero se vuelve menos dúctil, pero aumenta su esfuerzo de fluencia y su esfuerzo último. Las propiedades físicas del acero también se ven afectadas por tratamientos térmicos y la presencia de otros elementos de aleación, así como por procesos de fabricación como el rolado o laminado.

La ductilidad de un material a tensión puede caracterizarse por su alargamiento total y por la disminución de área en la sección transversal donde ocurre la fractura. El porcentaje de alargamiento o elongación se define como sigue:

$$Porcentaje\ de\ alargamiento = \frac{L_f - L_o}{L_o}\left(100\right)$$

*en donde*:

$L_0$: *longitud original calibrada,*

$L_f$: *distancia entre las marcas de calibración en la fractura.*

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.

Debido a que el alargamiento no es uniforme en toda la longitud de la probeta (espécimen) sino que se concentra en la región donde se presenta la estricción, el porcentaje de alargamiento depende de la longitud calibrada. Por ello, cuando se establece dicho porcentaje, también debe indicarse la longitud de calibración. Para acero estructural son comunes valores de 20% a 30%

## 2.5 Propiedades mecánicas del acero

### 2.5.1 Resistencia al desgaste

Es la resistencia que ofrece un material al dejarse erosionar cuando está en contacto de fricción con otro material.

### 2.5.2 Tenacidad

Es la capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto).

### 2.5.3 Maquinabilidad

Es la facilidad que posee un material de permitir el proceso de mecanizado por arranque de viruta.

### 2.5.4 Dureza

Es la resistencia que ofrece un acero para dejarse penetrar. Se mide en unidades BRINELL (HB) o unidades ROCKWEL C (HRC), mediante test del mismo nombre.

### 2.5.5 Elasticidad

Es la propiedad de un material en virtud de la cual las deformaciones causadas por la aplicación de una fuerza desaparecen cuando cesa la acción de la fuerza. "Un cuerpo completamente elástico se concibe como uno de los que recobra completamente su forma y dimensiones originales al retirarse la carga", un ejemplo es un resorte o hule al cual le aplicamos una fuerza.

### 2.5.6 Plasticidad

Es la propiedad que permite al material soportar una deformación permanente sin fracturarse.

## 2.6 Aceros Cold Rolled y aceros al carbón

El Cold Rolled es una varilla de acero que presenta un proceso de estirado en frío, corte a medida y enderezado, el cual eleva la dureza del material y su resistencia a la tensión.

Generalmente el Cold Rolled se comercializa por metro lineal, debido a que se utiliza generalmente para trabajos que requieren una resistencia a la tensión y un límite elástico mucho mayor que el acero estirado en caliente.

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.

### 2.6.1 Acero al carbón 1010

Es un acero común con 0.10% de contenido nominal de carbono, es de baja resistencia, la que se puede incrementar por temple o revenido. Son usados en remaches de cabeza formada en frío y para pernos, su maquinabilidad es buena.

### 2.6.2 Acero de bajo carbón 1018

Se puede presentar en perfil redondo, cuadrado, hexagonal y solera. Tiene buenas propiedades mecánicas por su alto contenido de manganeso y se utiliza para soldaduras. Estirado en frío mejora sus valores de resistencia mecánica teniendo un gran número de aplicaciones, por ejemplo, en flechas que no estén sujetas a grandes esfuerzos como: flechas, tensores, pernos de dirección y de cadenas, catarinas, etc. Este acero es adecuado para un tratamiento térmico para fabricar piñones, engranes, sinfines, espárragos, tornillos, etc.

### 2.6.3 Aceros de medio contenido de carbón 1045

Es de barra redonda, siendo el más popular de los aceros al carbón templados. Es útil en todo tipo de aplicaciones en donde se requiere soportar esfuerzos por encima de los 600 MPa (61 kg/mm2), o en el caso de diámetros mayores, en donde se necesita una superficie con dureza media, 30 a 40 Rc (Rockwell) y un centro tenaz. Por sus características de temple, se tiene una amplia gama de aplicaciones automotrices y de maquinaria en general, en la elaboración de piezas como ejes y semiejes, cigüeñales, etc. Su resistencia media se vuelve ideal al estirarse en frío para la aplicación de flechas, tornillos (de alta resistencia), etc.

Todos los materiales metálicos tienen una combinación de comportamiento elástico y plástico en mayor o menor proporción, y todo cuerpo al soportar una fuerza aplicada trata de deformarse en el sentido de aplicación de la fuerza. En el caso del ensayo de tracción, la fuerza se aplica en dirección del eje de ella y por eso se denomina axial, la probeta se alargará en dirección de su longitud y se encogerá en el sentido o plano perpendicular. Aunque el esfuerzo y la deformación ocurren simultáneamente en el ensayo, los dos conceptos son completamente diferentes.

La curva usual esfuerzo – deformación, expresa tanto el esfuerzo como la deformación en términos de las dimensiones originales de la probeta, siendo un procedimiento muy útil cuando se está interesado en determinar los datos de resistencia y ductilidad para propósito de diseño en ingeniería.
Para conocer las propiedades de los materiales, se efectúan ensayos para medir su comportamiento en distintas situaciones. Estos ensayos se clasifican en destructivos y no destructivos. Dentro de los ensayos destructivos, el más importante es el ensayo de tracción, en los no destructivos, a las pruebas practicadas a un material que no altere de manera permanente sus propiedades físicas, químicas, y mecánicas.

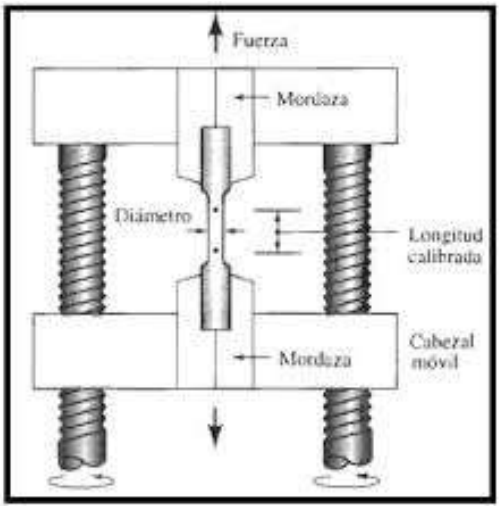
La curva esfuerzo real - deformación real (denominada frecuentemente, curva de fluencia, ya que proporciona el esfuerzo necesario para que el metal fluya plásticamente hacia cualquier deformación dada), muestra realmente lo que sucede en el material. Por ejemplo, en el caso de un material dúctil sometido a tensión, este se hace inestable y sufre estricción, localizada durante la última fase del ensayo, y la carga requerida para la deformación disminuye debido a la disminución del área transversal, además la tensión media basada en la sección inicial disminuye también, produciéndose como consecuencia un descenso de la curva esfuerzo - deformación después del punto de carga máxima. Pero lo que sucede en realidad, es que el material continúa endureciéndose por deformación hasta producirse la fractura, de modo que la tensión requerida debería aumentar para producir mayor deformación. A este efecto, se opone la disminución gradual del área de la sección transversal de la probeta mientras se produce el alargamiento. La estricción comienza al alcanzarse la carga máxima.

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.

## 2.7 Equipo para obtener el diagrama esfuerzo - deformación unitaria de una muestra de estructura metálica

### 2.7.1 Marco de carga universal para el ensayo de rotura a tracción de una varilla o probeta de acero (varilla corrugada A-36)

Se utiliza para determinar el comportamiento de los materiales bajo cargas cuasi-estáticas de tensión y compresión (cuasi en física se refiere a una aproximación diferencial), obteniendo sus gráficas de *esfuerzo – deformación* y los módulos de elasticidad. Con esta información podemos determinar lo elástico o plástico del comportamiento de un material bajo la acción de una fuerza axial actuando sobre él figura.



Cabezales del marco universal de carga

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.

A continuación, se ilustra una probeta al inicio del ensayo, en donde se deben anotar las medidas originales: $L_0$ (longitudinal) y $D_0$ (diámetro transversal).

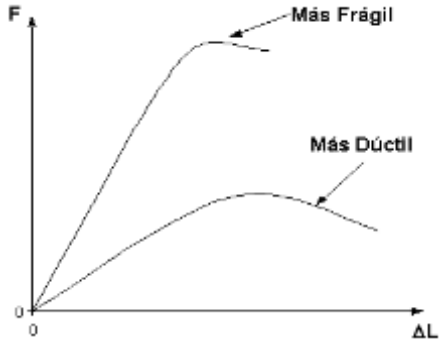
Analizando la probeta después de fracturada, es posible medir dos parámetros de: (a) el alargamiento final $L_f$ , y (b) el diámetro final $D_f$ , que nos dará el área final $A_f$ .

Estos parámetros se expresan como porcentaje de Reducción de Área $\left(RA\ en\ \%\right)$ y porcentaje de alargamiento entre marcas $\left(L\ en\ \%\right)$, de tal manera que en el laboratorio:

$$RA(\%) = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \text{ x } 100 \quad \text{y} \quad L(\%) = \frac{L_f - L_0}{L_0} \text{ x } 100$$

El diseño de elementos estructurales implica determinar la resistencia y rigidez del material estructural, estas propiedades se pueden relacionar si se evalúa una barra sometida a una fuerza axial $F$ para la cual se registra simultáneamente la fuerza aplicada, y el alargamiento producido $\delta$ o $\Delta L$ en algunos textos. Estos valores permiten determinar el esfuerzo $\sigma$ y la deformación $\varepsilon$, que al graficarlos originan el denominado diagrama de esfuerzo contra deformación.

Los diagramas son similares si se trata del mismo material y de manera general permite agrupar los materiales dentro de dos categorías con propiedades afines que se denominan materiales dúctiles (capacidad de fluir) y materiales frágiles (negación de la ductilidad). Los diagramas de materiales dúctiles se caracterizan por ser capaces de resistir grandes deformaciones antes de la rotura, mientras que los frágiles presentan un alargamiento bajo cuando llegan al punto de rotura. Un material poco dúctil es frágil. La figura permite visualizar estos dos conceptos gráficamente.




Representación gráfica de la fragilidad y ductilidad con respecto a la fuerza y el desplazamiento

El área bajo la curva $fuerza - desplazamiento$, representa la energía disipada durante el ensayo, es decir, la cantidad de energía que la probeta alcanzó a resistir. A mayor energía, el material es más tenaz (cuando se resiste a la fractura por impacto).

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.

### 2.7.2 Acero A-36

Es una aleación de acero al carbono comúnmente usado en la construcción, la manufactura y otras industrias, es de bajo costo y de excelente resistencia. Sea una barra de acero al bajo carbono A-36 sujeta a tensión con sección circular, la norma es aplicable a una gran variedad de perfiles estructurales laminados en caliente y a placas de la misma calidad que aún están disponibles en el mercado mexicano. Tiene un esfuerzo de fluencia $fy$ de 2,530 kg/cm$^2$ (250 MPa, 36 ksi) y un esfuerzo mínimo de rotura en tensión $(fu)$ de 4,080 kg/cm$^2$ a 5,620 kg/cm$^2$ (400 a 550 MPa, 58 a 80 ksi) y su soldabilidad es adecuada. Se desarrolló desde hace muchos años en Estados Unidos para la fabricación de estructuras remachadas, atornilladas y soldadas, mejorando el contenido de carbono de los aceros disponibles en aquella época. Con la innovación de este tipo de acero, las conexiones soldadas empezaron a desplazar a las remachadas que pronto desaparecieron.

En donde:

$f'c$: Esfuerzo máximo (o resistencia) de compresión en el concreto, $(\overline{kg}/cm^2, ksi)$

$fy$: Límite elástico del esfuerzo de fluencia del acero estructural medido en $(MPa, ksi)$,

$fu$: Esfuerzo a la tracción (tensión o rotura) del acero estructural medido en $(MPa, ksi)$,

$e$: Espesor medido en pulgadas,

NOM: Norma Oficial Mexicana.

Características de diferentes tipos de acero (NOM)

| Designación ASTM | Acero | Formas | Usos | $fy$ mínimo ksi | $fu$ mínimo tensión ksi |
|---|---|---|---|---|---|
| A-36 NOM B-254 | Al carbono | Perfiles, barras y placas | Puentes y edificios estructurales en general: atornillados, remachados y soldados | 36 e < 8" 32 e > 8" | 58 – 80 |
| A-529 NOM B-99 | Al carbono | Perfiles y placas e< ½" | Igual al A-36 | 42 | 60-85 |
| A-441 NOM B-284 | Al magnesio, vanadio de alta resistencia y baja aleación | Perfiles, placas y barras e < 8" | Igual al A-36 Tanques | 40-50 | 60-70 |
| A-572 NOM B | Alta resistencia y baja aleación | Perfiles, placas y barras e< 6" | Construcciones atornilladas, remaches. No en puentes soldados cuando $Fy > 55\,ksi$ | 42-65 | 60-80 |
| A-242 NOM B-282 | Alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica | Perfiles, placas y barras e< 4" | Construcciones soldadas, atornillada, técnica especial de soldadura | 42-50 | 63-70 |
| A-514 | Templados y revenidos | Placas e< 4" | Construcciones soldadas especialmente. No se usa si se requiere gran ductilidad | 90-100 | 100-150 |

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.

## 2.7.3. Varilla corrugada

La varilla corrugada es una barra común de acero laminado, se utiliza como mecanismo de tensión en estructuras de concreto reforzado y mampostería para conservar el concreto en compresión.

Una de las características principales de la varilla, es que cada barra de acero presenta corrugas o resaltos (moleteados) que mejoran la adherencia con el hormigón (material de construcción formado por una mezcla de rocas menudas o grava, y un tipo de argamasa como cal, cemento, arena y agua), además poseen gran ductilidad, lo que permite cortar o doblar las barras fácilmente.

Pese a que el concreto es muy resistente a la compresión, y es débil en fuerzas de tensión. Para compensar este desequilibrio se utiliza la varilla corrugada, juntos realizan un mejor papel para resistir la carga a la que se somete la estructura que conforman y resistir los esfuerzos de tensión y torsión. La varilla es utilizada básicamente como refuerzo principal de estructuras en elementos como losas, columnas o vigas de refuerzo, por el material con que se fabrican, previene el agrietamiento y resiste muy bien las fluctuaciones de temperatura. A continuación, se presentan las siguientes medidas comerciales: 3/8″, 1/2″, 5/8″, 3/4″, 1″, 1 1/4″, 1 1/2″. Esta varilla está regida por la norma NMX-C-407 y presenta las siguientes características:

Resistencia a la tensión: $6{,}300\ \overline{kg}/cm^2$ y Resistencia a la fluencia: $4{,}200\ \overline{kg}/cm^2$

Dimensiones nominales de la varilla corrugada

| Número de varilla | Diámetro en pulgadas | Diámetro en mm |
|---|---|---|
| 3 | 3/8 | 9.5 |
| 4 | 1/2 | 12.7 |
| 5 | 5/8 | 15.9 |
| 6 | 3/4 | 19.0 |
| 8 | 1 | 25.4 |
| 10 | 1 1/4 | 31.8 |
| 12 | 1 1/2 | 38.1 |

## 2.7.4. Características mecánicas de la varilla corrugada

La varilla corrugada grado 42 cumple con la norma mexicana NMX-C-407, así como con la norma estadounidense ASTM-A-615/A615M en sus grados 40 y 60. Los sistemas de calidad están avalados bajo ISO 9001:2000.

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.

Propiedades mecánicas: Norma NMX-C-407

| Propiedades | Unidades | Grado 30 | Grado 42 |
|---|---|---|---|
| Resistencia a la tensión | $N/mm^2$ | 490 | 618 |
| | $\overline{kg}/mm^2$ | 50 | 63 |
| Límite de fluencia | $\overline{kg}/cm^2$ | 294 | 412 |
| | $\overline{lb}/\text{pulg}^2$ | 30 | 42 |

Dimensiones nominales de la varilla corrugada

| No. Designación | Calibre | | Peso nominal | | Área de la sección transversal $mm^2$ | Perímetro nominal $mm$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | pulg | $mm$ | $\overline{kg}/m$ | $\overline{lb}/pie$ | | |
| 3 | 3/8 | 9.5 | 0.560 | 0.376 | 71 | 29.8 |
| 4 | 1/2 | 12.7 | 0.994 | 0.668 | 127 | 39.9 |
| 5 | 5/8 | 15.9 | 1.552 | 1.043 | 198 | 50.0 |
| 6 | 3/4 | 19.1 | 2.235 | 1.502 | 285 | 60.0 |
| 8 | 1 | 25.4 | 3.973 | 2.670 | 507 | 79.8 |

## 2.8 Marco de carga universal

Las cargas se aplican ya sea mecánica, o bien, hidráulicamente en este tipo de máquina de pruebas. El método mecánico de aplicar cargas tiene la ventaja de proporcionar un medio conveniente para controlar la velocidad de deformación, aunque por lo general se prefiere usar los sistemas hidráulicos debido a sus capacidades mayores y a su costo más bajo. Existen muchas marcas distintas de maquinaria de pruebas, pero una de las más conocidas es la máquina universal Baldwin Tate Emery, que se describe a continuación y que se ilustra en la figura 12. Se usa el término universal porque la máquina se puede adaptar a pruebas de compresión, de curvatura y flexión, así como a las de tensión.

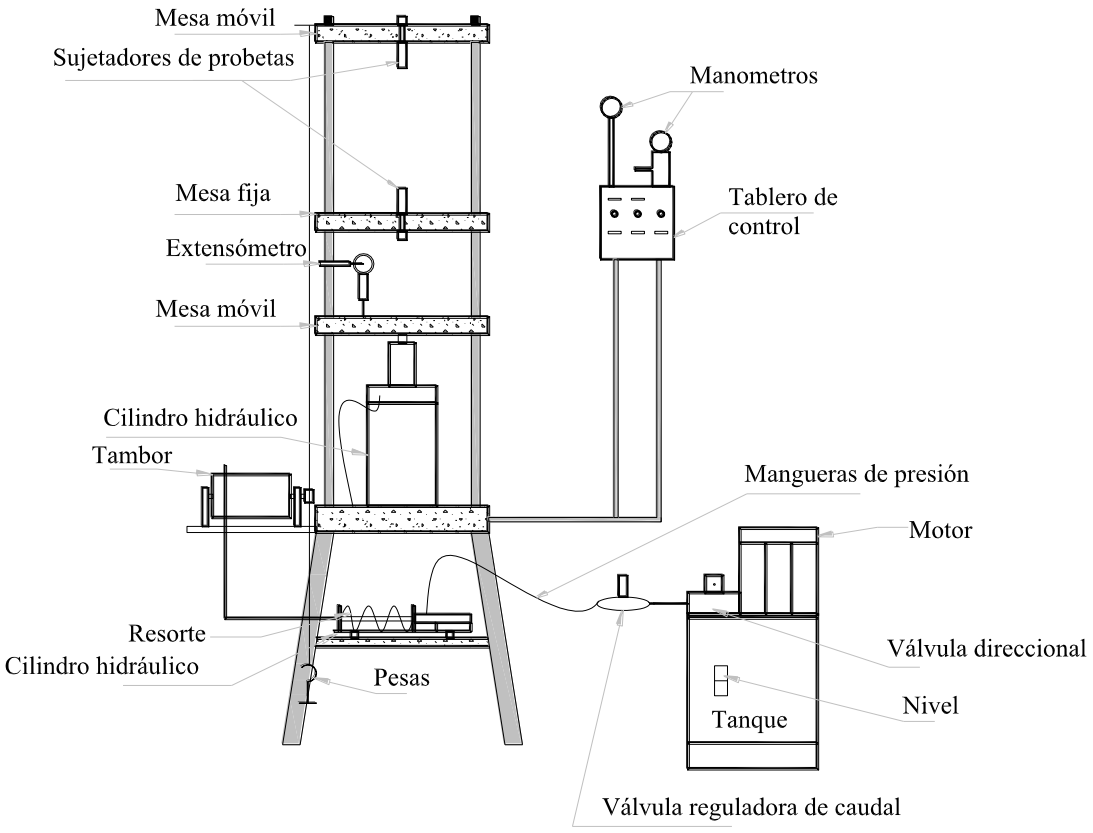
Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

La carga se aplica mediante una bomba hidráulica que hace pasar el aceite a presión en un cilindro, lo cual eleva el pistón, luego éste empuja hacia arriba la cabeza móvil del émbolo de tensión y la mesa. La muestra se sujeta por medio de soportes colocados en la cabeza del émbolo de tensión y en la del ajustable. La altura de la cabeza del émbolo móvil se ajusta antes de la prueba según las dimensiones de la muestra y no se modifica durante la prueba. El aceite del cilindro no sólo ejerce una presión ascendente sobre el pistón, sino también, una presión descendente e igual sobre una cápsula censora. El fluido que contiene la cápsula se expele y desenrolla el tubo de un manómetro de Bourdon, que está calibrado para indicar la carga. La velocidad de aplicación o eliminación de la carga se controla mediante válvulas de aproximación y precisión, tanto de carga como de descarga. Los dispositivos de soporte están ajustados esféricamente, o bien, están provistos de placas que permiten alinear la muestra con exactitud. La alineación correcta elimina cargas de curvatura y asegura que la muestra esté sometida sólo a cargas axiales. Si hay cargas de curvatura, los esfuerzos no se ejercerán de modo uniforme sobre la pieza.

### 2.8.1 Esquema de la máquina universal de pruebas

- Cabeza del émbolo de tensión,
- Cabeza del émbolo ajustable,
- Pistón hidráulico,
- Línea hidráulica de la bomba,
- Línea hidráulica al manómetro de Bourdon,
- Mesa.

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.




Esquema del marco universal de carga

### 2.8.2. Extensómetro mecánico de transformador de acoplamiento

Las deformaciones se pueden medir en forma mecánica, eléctrica, electromecánica u óptica. En este experimento se usa un método mecánico basado en el extensómetro mecánico transformador de acoplamiento.

## 3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

- Mordazas,
- Cuñas,
- Transductor (transforma una señal eléctrica en mecánica o viceversa),
- Graficador,
- Hojas para graficar,
- Micrómetro.

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.

## 4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

a) Tomar las dimensiones y características de la muestra a ensayar, anotarlas en la tabla 7 que se presenta a continuación.

## 5. RESULTADOS

Registro de especificaciones de una varilla corrugada para la prueba a tensión

| Lecturas | Especificaciones | Muestra 1 $\Phi = 3/8"$ | Muestra 2 $\Phi = 3/8"$ | Muestra 3 $\Phi = 1/4"$ | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Longitud inicial: $L_o\,(cm)$ | | | | |
| 2 | Longitud final: $L_f\,(cm)$ | | | | |
| 3 | % de elongación | | | | |
| 4 | Diámetro inicial: $D_1\,(cm)$ | | | | |
| 5 | Área inicial: $A_1\,(cm^2)$ | | | | |
| 6 | Diámetro final: $D_2\,(cm)$ | | | | |
| 7 | Área final: $A_2\,(cm^2)$ | | | | |
| 8 | % de reducción de área | | | | |
| 6 | Carga de cedencia: $\overline{kg}$ | | | | |
| 7 | Esfuerzo de cedencia: $(\overline{kg}/cm^2)$ | | | | |
| 8 | Carga máxima: $\overline{kg}$ | | | | |
| 9 | Esfuerzo máximo: $(\overline{kg}/cm^2)$ | | | | |
| 10 | Carga de rotura: $\overline{kg}$ | | | | |
| 11 | Esfuerzo de rotura: $(\overline{kg}/cm^2)$ | | | | |
| 12 | Deformación unitaria al punto de cedencia: $\varepsilon$ | | | | |
| 13 | Limite elástico: $Le\ (\overline{kg}/cm^2)$ | | | | |

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.

Unidades: Por lo general, el esfuerzo se expresa en unidades de $\overline{lb}/pulg^2\ (psi)$, o en las unidades del Sistema Internacional (SI) se expresa en Pascales (Pa). Puesto que el pascal es un valor más bien pequeño del esfuerzo, se acostumbra a expresar los valores de los esfuerzos en Megapascales (MPa).

b) Colocar en el cabezal del marco de carga la muestra de varilla corrugada y ajustar las mordazas para fijar su posición. Este paso será realizado por el laboratorista, por lo cual, el alumno debe de estar al pendiente de cada paso que se vaya ejecutando.

c) Verificar la posición horizontal de la muestra entre las mordazas para que se encuentre alineada con el propósito de evitar excentricidad en la aplicación de las cargas, verificando que las mordazas cubran en su totalidad la longitud del diámetro mayor, con ello, se logrará obtener una distribución uniforme de esfuerzos.

d) Sujetar el extensómetro en la muestra ya colocada para la prueba de tensión como se muestra en la figura, dando a conocer las indicaciones necesarias para el buen funcionamiento del mismo.

e) Aplicar lentamente la primera carga verificando la Ley de Hooke, hasta obtener la carga máxima y, por lo tanto, el límite elástico de la varilla. El laboratorista seleccionará la mejor escala que se permita en la máquina universal para estar dentro de un rango aceptable de carga al momento que se tensa la muestra.

f) Se establece el rango de la escala 10:1 en el transductor y se determinan los factores de conversión (sistema de conversión de unidades) para la deformación y la carga respectivamente, con lo cual se pueden obtener las deformaciones reales presentadas en la muestra al tiempo que es cargada.

g) En el graficador colocar el interruptor en la posición de escala total y ponerlo en ceros.

h) El laboratorista incrementa la carga cuidadosamente a una velocidad moderada desde cero hasta el valor del límite de fluencia o cedencia y la descarga nuevamente en forma lenta en aproximadamente un 25%. Se podrá observar en este paso que el recorrido del graficador (al trazar esta parte de la curva cuando se descarga el espécimen) regresará por la misma trayectoria.

i) Nuevamente se incrementa la carga para observar el comportamiento de la curva en el graficador hasta llegar al límite de rotura.

j) Se incrementará lentamente la carga hasta observar la rotura efectiva (momento de la fractura de la muestra).

k) El alumno, de inmediato al producirse la rotura de la varilla, tocará ligeramente a la muestra, verificando el incremento de temperatura y analizar la generación de la energía cinética interna de un material.

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.

# 6. CONCLUSIONES

## 6.1 Conclusiones del profesor

Los materiales en su totalidad se deforman cuando son sometidos a una carga externa. Se sabe además que hasta cierta carga límite el sólido recobra sus dimensiones originales cuando se le descarga. La recuperación de las dimensiones originales al eliminar la carga es lo que caracteriza al comportamiento elástico. La carga límite, por encima de la cual ya no se comporta elásticamente es el límite elástico.

Al sobrepasar el límite elástico, el cuerpo sufre cierta deformación permanente al ser descargado, se dice entonces que ha sufrido deformación plástica. El comportamiento general de los materiales bajo carga se puede clasificar como dúctil o frágil, según que el material muestre o no capacidad para sufrir deformación plástica. Los materiales dúctiles exhiben una curva esfuerzo-deformación que llega a su máximo en el punto de resistencia a la tensión. En materiales más frágiles, la carga máxima o resistencia a la tensión ocurre en el punto de falla. En materiales extremadamente frágiles, como los cerámicos, el esfuerzo de fluencia, la resistencia a la tensión y el esfuerzo de rotura son iguales.

## 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.

Aplicaciones

La prueba de tensión es uno de los medios más útiles que se emplean para determinar las propiedades mecánicas importantes de materiales de ingeniería. Así también, todos los conceptos analizados en esta práctica son básicos para ingeniería y serán tomados en cuenta durante la mayor parte de la carrera, principalmente en las asignaturas de Mecánica de Materiales.

Cuestionario

1. Indique el comportamiento de la longitud de la barra colocada en el marco de carga cuando estuvo sujeto a diferentes pesos.

Solución: Cuando la barra está a tensión, comienza a incrementarse en su longitud original, al mismo tiempo se observa que en la parte central de la barra se empieza a adelgazar la zona, ya que el efecto del estiramiento se concentra en el centro de la barra, después de varios minutos o segundos la barra truena partiéndose en dos con deformaciones longitudinales y transversales, cabe destacar que tocando la zona de la fractura su temperatura es mayor por el desgaste.

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.

2. ¿En qué paso pudo observar y comprobar la Ley de Hooke?

Solución: Básicamente en todo el proceso de carga cuando se truena la barra, desde el inicio de la carga, pasando por el incremento de la fuerza y las primeras deformaciones irreversibles de la barra, y hasta que la barra truena dependiendo de la carga que resistió

3. Mencione con sus propias palabras si se verificó la Ley de Hooke.

Solución: Las deformaciones o alargamientos experimentados por un cuerpo, entre los límites de una elasticidad perfecta o lineal, son directamente proporcionales a las fuerzas que lo producen, y esto sucedió al aumentar y disminuir la fuerza.

4. ¿Cuál es la función que desempeña en un laboratorio de Mecánica de Materiales una máquina universal?

Solución: Proporcionar información mediante cargas de tensión y/o compresión para controlar la velocidad de deformación de materiales importantes como el acero y el concreto, con esta información podemos determinar lo elástico o plástico del comportamiento de un material bajo la acción de una fuerza axial actuando sobre él

6. Defina brevemente el concepto de módulo de elasticidad para un espécimen metálico.

Solución: El módulo de elasticidad (E): Es la pendiente en el diagrama esfuerzo - deformación de la región linealmente elástica, y su valor depende del material particular que se utilice.

1. Describa brevemente el comportamiento de un espécimen sujeto a tensión mediante el diagrama esfuerzo-deformación.

2. ¿Qué relación existe entre la elasticidad lineal y la ley de Hooke?

Analizar y estudiar de forma paralela la deformación de los cuerpos; la teoría de la elasticidad afronta el problema mecánico en su forma muy general en cuanto a las geometrías, condiciones externas e internas y tipos de acciones consideradas, mientras que, la Resistencia de Materiales está enfocada al estudio de ciertos tipos de elementos estructurales como vigas y columnas en condiciones de apoyo (simple, articulado, etc.), sometido a diferentes tipos de acciones y cargas como fuerzas puntuales, uniformes, etc., éstos producen esfuerzos y deformaciones en elementos estructurales.

7. ¿Cómo es la forma de la gráfica abajo del límite de proporcionalidad?

Solución: El límite de proporcionalidad es el mayor esfuerzo en el cual la curva en un diagrama esfuerzo-deformación es una línea recta. Esa zona de la gráfica es la región lineal.

8. ¿Cómo se pudo comprobar durante la práctica que la carga que estaba actuando en el espécimen se aproximaba al límite elástico?

Solución: Porque al pasar de límite de proporcionalidad al límite de fluencia cambiada el valor de la pendiente, es decir, se iniciaba una deformación permanente.

9. De la gráfica obtenida en la prueba, obtenga una copia e indique el límite de proporcionalidad, el límite elástico, zona elástica y zona plástica.

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.

10. Investigue y mencione en donde se puede presentar la ley de Hooke, cite algunos ejemplos.

Glosario

| | |
|---|---|
| Ductilidad | La ductilidad es una medida de la capacidad de la materia para deformarse plásticamente en las condiciones de la prueba. Se obtienen medidas reuniendo las piezas del espécimen fracturado después de la prueba para tomar las medidas de las longitudes inicial y final y de los diámetros. |
| Elongación | Incremento en la longitud de la barra o espécimen. |
| Límite de proporcionalidad | El límite de proporcionalidad es el valor más alto para el cual la relación esfuerzo-deformación es lineal (esto es, proporcional). En la gráfica esto sucede en el punto A. |
| Límite elástico | Es el mayor esfuerzo que se le puede aplicar al material sin que haya deformación permanente cuando se remueve la carga (punto B en la gráfica). |
| Módulo de elasticidad | También es llamado módulo de Young, y se determina, se puede determinar gráficamente a partir de la pendiente de la porción inicial recta de la curva de esfuerzo-deformación. En los resortes es una medida de la rigidez del material; mientras más alto es el módulo, es menor la deformación elástica que resulta de la aplicación de un esfuerzo dado. |
| Zona Elástica | Es la región de la curva esfuerzo-deformación que inicia a partir del origen y termina hasta la ABSCISA del límite de proporcionalidad (Punto A, en la gráfica), también se le conoce como período elástico del material. |
| Resiliencia | Se llama así a la capacidad de un material para absorber energía cuando se deforma elásticamente y devolverla cuando se descarga. Por lo común, se mide con el módulo de resiliencia (Ur), que es la energía de deformación por unidad de volumen que se requiere para esforzar al material desde una condición de esfuerzo cero hasta su resistencia de fluencia. |
| Módulo de resiliencia | Cantidad de energía por unidad de volumen capaz de almacenar material sin riesgo a la deformación permanente: $\mathrm{Ur} = \frac{\sigma_{máx}^2}{2E}$ |
| Resistencia de fluencia | Corresponde al esfuerzo que se requiere para producir una deformación plástica pequeña y específica. Esto se determina estableciendo gráficamente una línea paralela a la porción recta de la curva de esfuerzo-deformación para algún valor específico de la deformación (por ejemplo, a 0.2 % de la deformación). La |

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.

| | |
|---|---|
| | intersección de esta línea paralela con la curva de esfuerzo-deformación proporciona la resistencia de fluencia (punto C de la gráfica) |
| Resistencia de rotura | Corresponde al valor de la ordenada del punto E en la gráfica, y varía para cada material. |
| Resistencia última de tensión | Se designa como RUT y es una medida de la carga máxima que puede soportar un material bajo condiciones de carga uniaxial. Se determina tomando la magnitud de la carga máxima que se obtuvo durante la prueba y dividiéndola entre el área de la sección transversal original (punto D de la gráfica). $RUT = \frac{P_{max}}{A_O}$ |
| Zona plástica | Es la región de la curva esfuerzo-deformación que inicia a partir de la abscisa del límite de proporcionalidad (A) y termina hasta la abscisa del punto de rotura (punto E en la gráfica). |

## 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.

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

Egor P. Popov. Introducción a la mecánica de sólidos, Editorial Limusa, México, D.F., última edición.

Ferdinand P. Beer y E. Russell Johnston, Jr., Mecánica de materiales, McGraw Hill, México D.F. 2013

Fred b. Seely. James O. Smith, Resistencia de materiales, Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana, S.A. de C.V., México, 1979

Gere-Timoshenko, Mecánica de materiales, última edición, Grupo Editorial Iberoamérica México, D.F.1998.

Giancoli Douglas C. Física para universitarios, volumen I, México, Prentice Hall, tercera edición, 2008.

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

John N. Cernica, Resistencia de materiales, Compañía Editorial Continental, S. A. México, D.F. 1982.

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

Lehmann, Charles H. Geometría Analítica, Editorial LIMUSA, México, 2008.

Peter A. Thornton/Vito J. Colangelo, Ciencia de materiales para ingeniería, Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.

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.

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

Serie Schaum. William A. Nash, Resistencia de materiales, McGraw-Hill, México, D.F.

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

Valera Negrete J. P. Agustín, Apuntes de Física General, Ediciones Acatlán, México, Primera edición, 2005.

La que indique el profesor

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"**

**Determinar el equivalente mecánico del calor (J), a partir de la Primera Ley de la Termodinámica relativa a la transformación de la energía para sistemas cerrados**

## 1. OBJETIVO

### 1.1 Objetivo general

Obtener el valor del equivalente mecánico del calor (J), a partir de la Primera Ley de la Termodinámica para Sistemas Cerrados, utilizando la máquina de Callendar.

### 1.2 Objetivos específicos

**1.2.1 El alumno analizará los conceptos de la Ley Cero y de la Primera Ley de la Termodinámica, considerando el trabajo mecánico producido por una fuerza y su transformación en energía calorífica.**

**1.2.2 El alumno describirá los componentes de la máquina de Callendar, para transformar la energía mecánica en energía calorífica.**

**1.2.3 El alumno aplicará la ecuación de energía para un sistema cerrado en virtud de los datos obtenidos por medio de la máquina de Callendar.**

## 2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

### 2.1 Introducción

El calor y el trabajo mecánico son energías en transición, y su relación para un sistema cerrado lo establece la expresión:

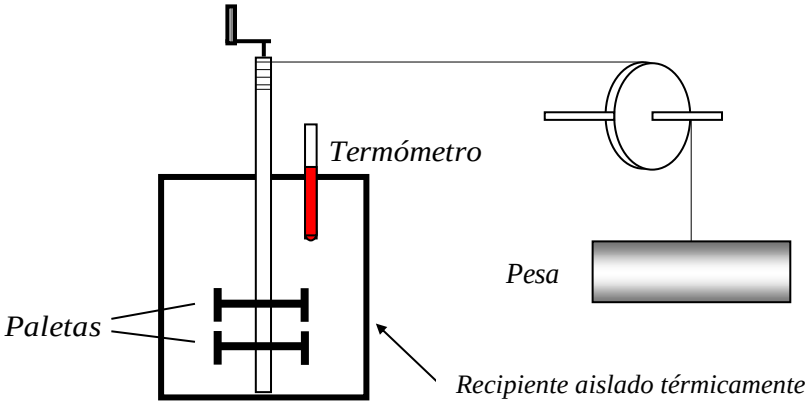
$$W = \mathrm{J}\,Q$$

Siendo $W$ el trabajo mecánico, $\mathrm{J}$ el equivalente mecánico del calor y $Q$ el calor total. La energía calorífica puede ser transformada a energía mecánica, en donde el calor se encuentra dado en $kcal$ o en $Btu$ y el trabajo en $\overline{kg}\,x\,m$, en $N\,x\,m$ $(Joule)$ o en $\overline{lb}\,x\,pie$, de tal forma que la constante de proporcionalidad $\mathrm{J}$ llamada constante de Joule o equivalente mecánico del calor, adquiere valores obtenidos experimentalmente, por lo que:

$$\mathrm{J} = \frac{W}{Q}$$

En 1843, el físico británico James Prescott Joule, determinó el equivalente mecánico del calor $\mathrm{J}$, al introducir en agua unas paletas rotatorias y un termómetro. Mediante trabajo mecánico se hicieron girar las paletas. La fricción entre paletas y agua calentó a las primeras, que a su vez elevaron la temperatura del agua, ver figura.

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.




Experimento de Joule para obtener la equivalencia entre calor y trabajo

Este experimento sirve para poner en evidencia que el calor es una forma de energía, pues el trabajo mecánico que se aplica a las paletas se convierte en calor que se trasmite al agua. Además, la medida del cambio de temperatura del agua permite calcular el número de calorías en que se convierten los Joules de trabajo mecánico. Lo anterior permite medir lo que se conoce como equivalente mecánico del calor $J$, que corresponde a la relación entre la unidad de energía "Joule" y la unidad de energía "caloría", es decir, la energía potencial gravitatoria de la masa se convierte en energía interna del agua.

De tal forma que para efectuar la transformación de las unidades de calor y trabajo mecánico los más recientes experimentos nos indican que:

$$1\ kcal = 426.93\ \overline{kg}\ x\ m$$

$$1\ Btu\ = 778.16\ \overline{lb}\ x\ pie$$

La conversión de unidades se aplica a procesos de diferentes sistemas de unidades, teniendo los siguientes valores para el equivalente mecánico del calor $J$:

$$J = 426.93\ \frac{\overline{kg}\ x\ m}{kcal}$$

$$J = 778.16\ \frac{\overline{lb}\ x\ pie}{Btu}$$

Referencia: Virgil Moring Faires. Termodinámica.

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.

Tabla de equivalencias de unidades de energía

| | |
|---|---|
| 1 *cal* = 4.1868 *Joules* | $1\,hp-h = 641.1865\,kcal$ |
| 1 *kcal* = 4,186.8 *Joules* | $1\,hp-h = 2{,}544.434\,Btu$ |
| 1 *kcal* = 426.931 $\overline{kg}$ *x m* | $1\,kw-h = 859.8452\,kcal$ |
| 1 *kcal* = 3.9683 *Btu* | $1\,kw-h = 3{,}412.142\,Btu$ |
| 1 *Btu* = 778.16 $\overline{lb}$ *x pie* | *Valores para uso práctico*: |
| 1 *Btu* = 0.251996 *kcal* | 1 *hp – h* = 641.2 *kcal* |
| 1 *Btu* = 252 *cal* | 1 *hp – h* = 2,545 *Btu* |
| | 1 *kw – h* = 860 *kcal* |
| | 1 *kw – h* = 3,412 *Btu* |

## 2.2 Máquina de Callendar

La obtención del equivalente mecánico del calor "J" mediante el análisis del experimento con la máquina de Callendar en sustitución del dispositivo utilizado por James P. 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:

$$W = J\,Q$$

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 de la máquina de Callendar).

Siendo:

$W = Trabajo\ mecánico$,
$F = Fuerza\ para\ que\ el\ calorímetro\ soporte\ el\ giro$,
$R = Radio\ del\ calorímetro$.

Si giramos la manivela del calorímetro $n$ veces, entonces la expresión anterior toma la forma de:

$$W = (F)(2\pi R)(n) \quad \text{o} \quad W = 2\pi F R n$$

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.

## 2.3 Descripción de la Máquina de Callendar

La máquina de Callendar es un 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 obtener 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

- Máquina de Callendar
- Soporte de madera y cojinetes de bola
- Calorímetro de latón y manivela
- Cinta de cobre
- Carga o pesa de $5\overline{kg}$
- Soportes de presión o abrazaderas de fijación
- Termómetro termopar digital, y termómetro de bulbo de mercurio
- Vaso de precipitados
- Agua destilada
- Parilla eléctrica

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.

- Balanza de precisión
- Embudo
- Paño o franela
- Alcohol o desengrasante
- Cinta adhesiva o masking tape

## 4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

### 4.1 Cálculo del equivalente en agua del calorímetro integrado a la máquina de Callendar

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.

2. Calentar $40\,g_m$ de agua en otro recipiente aproximadamente a $80°C$ llamándola temperatura $T_2$ (medida con un termopar).

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).

4. Calcular la masa equivalente del calorímetro de latón aplicando la expresión empírica:

$$m_e = 40\,\frac{T_2 - T_e}{T_e - T_1} - 40 \qquad (g_m \ y \ kg_m)$$

5. Valores obtenidos en el laboratorio en un primer equipo:

$$\text{Valores experimentales} \left\{ \begin{array}{lll} m_1 = 40.02\,g_m & \rightarrow & T_1 = 24°C \\ m_2 = 39.98\,g_m & \rightarrow & T_2 = 78°C \end{array} \right\} \ T_e = 39.2°C$$

Sustituyendo valores en la expresión: $m_e = 40\,\frac{T_2 - T_e}{T_e - T_1} - 40$

$$m_e = (40)\left(\frac{78 - 39.2}{39.2 - 24}\right) - 40 = (40)\left(\frac{38.8}{15.2}\right) - 40 = 102.1052632 - 40 = 62.1052632\ g_m$$

$$m_e = 0.0621052632\ kg_m$$

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. RESULTADOS

Tabla 1. 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 | | | | | |

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 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.

### Cálculo del calor desarrollado ($Q$)

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).

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.

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. 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.

5. Girar la manivela $200$ vueltas en un tiempo promedio de 1.5 minutos, permitiendo equilibrar la fuerza de rozamiento con el peso de $5\overline{kg}$ .

6. Tomar la nueva lectura de la temperatura del calorímetro $T_4$ (con el termómetro).

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.

- 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 °C*
$T_4$ = *temperatura final en °C*
$Q$ = *calor desarrollado en Calorias grandes* (*Cal o kcal*)

Parámetros obtenidos en el laboratorio: $m_e = 62.1052632\ g_m$ o $m_e = 0.0621052632\ kg_m$
$T_3 = 27.5°C$
$T_4 = 30.4°C$
$n = 200$ (*número de giros o vueltas a la manivela*)
$t = 1'\ 35''$ (1 *minuto y* 35 *segundos*)

Sustituyendo valores en la expresión: $Q = (m_e + 0.05)\,(T_4 - T_3)$

$$Q = (0.0621052632 + 0.05)\,(30.4 - 27.5) = (0.1121052632)\,(2.9) = 0.3251052633\ kcal$$

Tabla 2. Cálculo del calor desarrollado Q

| No. de Exp. | $m_e$ ($g_m$) | $m_e$ ($kg_m$) | $T_3$ (°C) | $T_4$ (°C) | Q (kcal) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 62.1052632 | 0.0621052632 | 27.5 °C | 30.4 °C | 0.3251052633 |
| 2 | | | | | calcular |
| 3 | | | | | calcular |

## Cálculo del trabajo realizado ( $W$ )

Se empleará la relación empírica siguiente (diseñada por Callendar):

$$W = 2\pi F R n \quad (\overline{kg}\,x\,m)$$

En donde:
$F = 5\overline{kg}$
$R = 0.025\ m$ (radio del calorímetro)
$n = 200$ (número de giros o vueltas a la manivela)

Sustituyendo valores en la expresión: $W = 2\pi F R n$

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.

$$W = (2)\ (3.1416)\ (5\,\overline{kg})\ (0.025\,m)\ (200) = 157.08\ \overline{kg}\,x\,m$$

Tabla 3. Cálculo del trabajo realizado W con la máquina Callendar

| No. de Exp. | F ( $\overline{kg}$ ) | R ( $m$ ) | n (No. vueltas) | W ( $\overline{kg}\,x\,m$ ) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 0.025 | 150 | calcular |
| 2 | 5 | 0.025 | 200 | 157.08 |
| 3 | 5 | 0.025 | 250 | calcular |

## Cálculo del Equivalente Mecánico del Calor (J)

1. Primer procedimiento sugerido

Cálculo de J mediante la ecuación de Conservación de la Energía para Sistemas Cerrados:

$$Q = \frac{W}{J} \quad \Rightarrow \quad J = \frac{W}{Q} \quad \left( \frac{\overline{kg}\,x\,m}{kcal} \right)$$

Valores teóricos del Equivalente Mecánico del Calor " J ":

$$J = 426.93\ \frac{\overline{kg}\,x\,m}{kcal} \quad \text{o} \quad J = 778.16\ \frac{\overline{lb}\,x\,pie}{Btu}$$

Sustituyendo valores en la expresión: $J = \frac{W}{Q}$

$$J = \frac{157.08\ \overline{kg}\,x\,m}{0.3251052633\ kcal} = 483.1665\ \frac{\overline{kg}\,x\,m}{kcal}$$

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.

Tabla 4. Registro de datos para calcular el Equivalente Mecánico del Calor "J"

| No. de Experimento | W ( $\overline{kg}\,x\,m$ ) | Q ( $kcal$ ) | $\mathbf{J}=\frac{\mathbf{W}}{\mathbf{Q}}\left(\frac{\overline{kg}\,x\,m}{kcal}\right)$ |
|---|---|---|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |

2. Procedimiento sugerido para la comprobación teórica según la máquina de Callendar

Cálculo mediante las expresiones empíricas obtenidas para la Máquina de Callendar, para hallar el equivalente mecánico de la caloría, según lo propone la guía didáctica del vendedor.

1) De la expresión de trabajo mecánico: $W = 2\pi F R n \quad (Joules\ o\ Julios)$

$F = 5\overline{kg}$ o $F = 48.9\,Newton$ ; $g_{C.\,Méx.} = 9.78\,\frac{m}{s^2}$ ; $1\ Joule = 1\ N\,x\,m$

$R = 0.025\ m$ (radio del calorímetro)
$n = 200$ (número de giros o vueltas a la manivela)
$W = 2\pi F R n\ Joules\ o\ Julios$

Tabla 5. Registro de datos para calcular el trabajo realizado W en Joules

| No. de Experimento | F ( $N$ ) | R ( $m$ ) | n (No. vueltas) | W ( $Joules$ ) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 48.9 | 0.025 | 150 | calcular |
| 2 | 48.9 | 0.025 | 200 | 1,536.2424 |
| 3 | 48.9 | 0.025 | 250 | calcular |

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.

Con los datos del valor de $Q$ obtenidos en la tabla (1) y los de $W$ de la tabla (4), aplicamos la relación:

$$\frac{Q}{W} = \frac{0.3251052633\ kcal}{1{,}536.2424\ Joules} = 0.0002116236756\ \frac{kcal}{Joules}$$

Tabla 6. Cálculo del Equivalente Mecánico de "una kilocaloría"

| No. de Experimento | Q (kcal) | W ( $Joule$ ) | $\frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{W}}\left(\frac{kcal}{Joules}\right)$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 0.3251052633 | 1,536.2424 | 0.0002116236756 |
| 2 | | | calcular |
| 3 | | | calcular |

Observación:

Los valores teóricos que deben obtenerse son: $1\ cal = 4.1868\ Joules$ o $1\ kcal = 4{,}186.8\ Joules$

$Es\ decir$:

$$1 = \frac{1\ cal}{4.1868\ Joules} = 0.2388458966\ \frac{cal}{Joules}$$

$$1 = \frac{1\ kcal}{4{,}186.8\ Joules} = 2.388458966\,x10^{-4}\ \frac{kcal}{Joules} = 0.0002388458966\ \frac{kcal}{Joules}$$

Comprobación:

Verifiquemos aplicando el concepto de la constante gravitacional terrestre en el nivel del mar:

$1\ kcal = 4{,}186.8\ Joules$, cuando $g_{\text{teórica}} = 9.80665\ \frac{m}{s^2}$, entonces:

$$1\ kcal = 4{,}186.8\ Joules = 4{,}186.8\ N\,x\,m$$

$$1\ kcal = 4{,}186.8\ N\,x\,m = (4{,}186.8\ N\,x\,m)\left(\frac{1\ \overline{kg}}{9.80665\ N}\right) = 426.93\ \overline{kg}\,x\,m$$

Que corresponde al valor del Equivalente Mecánico del Calor "J" en el Sistema Internacional.

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.

NOTA 1: Como el desarrollo del experimento se realiza en la Ciudad de México, se considera que la constante de la gravedad terrestre de $g_{CM} = 9.78\ m/s^2$ y por lo tanto se deberá aplicar una constante de corrección igual a:

$$k = \frac{9.78\ \frac{m}{s^2}}{9.80665\ \frac{m}{s^2}} = 0.997282456$$

NOTA 2: No es necesario efectuar el experimento mediante el segundo procedimiento.

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

### 6.1 Conclusiones del profesor

El profesor indicará las conclusiones obtenidas al aplicar los conceptos de la Primera Ley de la Termodinámica a sistemas cerrados, estableciendo la relación entre el calor y el 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.

Aplicaciones a la Ingeniería

En la Ingeniería Civil es necesario conocer los principios fundamentales de la termodinámica y la aplicación que sobre los procesos de construcción e instalaciones de equipos debe conocer un profesional. De igual manera en las obras de infraestructura se requieren de grandes maquinarias y de sistemas de generadores de energía. Un primer caso es la necesidad de mantener sistemas de protección en las edificaciones instalando motores de combustión interna acoplados a bombas para ser utilizados en los sistemas contra incendio.

Cuestionario

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

1) Indique el concepto de trabajo mecánico

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.

Solución: El trabajo mecánico es la cantidad de energía transferida de un sistema a otro mediante una fuerza cuando se produce un desplazamiento. Un caso concreto en Termodinámica considera a un gas confinado (encerrado) en un sistema recipiente (émbolo) y un pistón que puede moverse sin rozamiento.

2) Defina con sus palabras el concepto de calor.

Solución: El calor es una forma de energía que se produce por la vibración de las moléculas de una cantidad de materia, y que provoca la elevación de la temperatura, la dilatación de los cuerpos, la fundición de sólidos o la evaporación de los líquidos. Puede transmitirse mediante conducción, radiación o convección. Se encuentra íntimamente ligado el calor a la Ley Cero de la Termodinámica.

3) ¿Qué significa el calor en un sistema termodinámico?

Solución: El calor "Q" es la energía transferida de un sistema a otro debido a una diferencia de temperaturas entre ellos. El calor que absorbe o cede un sistema termodinámico, depende del tipo de transformación que experimenta el mismo.

4) Indique la razón de considerar al calor con valores positivos o negativos.

Solución: El calor se considera positivo cuando fluye hacia un sistema, incrementando su energía interna. Y el calor se considera con valor negativo, cuando fluye desde el sistema al medio ambiente, por lo que disminuye su energía interna.

5) Indique brevemente la razón por la que los valores de los calores específicos de un gas a volumen constante y a presión constante son diferentes.

Solución: El calor específico de un gas es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que es necesario suministrar a la unidad de masa de una substancia para elevar su temperatura en una unidad (ésta se mide en diferentes escalas). Cuando se determina a volumen constante se procura que el gas no cambié de volumen y únicamente lo que varía es su presión, como lo indica la ley de Charles-Gay Lussac. Si la determinación se hace a presión constante, el volumen varía y entonces se tiene un desalojamiento contra esa presión, es decir, que además de calentar el gas (como en el caso anterior) se efectúa un trabajo mecánico que consume energía calorífica.

6) ¿Cuál es el primer principio de la Termodinámica?

Solución: Un sistema termodinámico pude intercambiar energía con su entorno en forma de trabajo y de calor, y acumula adicionalmente energía interna. La relación entre estas tres magnitudes se encuentra dada por el principio de conservación de la energía. Si el sistema es cerrado la energía interna se considera que toma un valor de cero.

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.

7) Defina la primera ley de la Termodinámica.

Solución: La primera ley de la Termodinámica establece que la energía no se crea, ni se destruye, sino que se conserva cambiando de una forma a otra. Cuando un sistema es sometido a un ciclo termodinámico, el calor cedido por el sistema es igual al trabajo recibido por el mismo, y viceversa, logrando mediante el equivalente mecánico del calor "J" su equivalencia numérica y dimensional.

8) ¿Indique el marco teórico que establece la existencia del equivalente mecánico del calor "J"?

Solución: En Física se hace referencia a que el movimiento de un cuerpo y el calor son mutuamente intercambiables, y que, en todos los casos, una determinada cantidad de trabajo puede generar la misma cantidad de calor, siempre que el trabajo efectuado se convierta totalmente en energía.

9) Describa en forma sencilla el experimento realizado por James P. Joule para obtener el equivalente mecánico del calor "J".

Solución: El experimento de Joule nos sirve para determinar en forma sencilla la forma de obtener el equivalente mecánico del calor "J" para un sistema cerrado a partir de la primera ley de la Termodinámica en donde no hay variación de masa, es decir, establece la relación entre la unidad de energía llamada Joule (Newton por metro) y la unidad de calor (caloría). El dispositivo utiliza unas aspas sujetas a un eje mecánico que al hacerlas girar genera calor al permitir el movimiento de un cuerpo a partir del concepto de energía potencial.

10) Indique una aplicación de la transformación del calor en trabajo mecánico.

Solución: Como parte de los ciclos termodinámicos de transformación de calor en movimiento podemos considerar a los motores de combustión interna, a las turbinas y a los compresores entre otros.

## 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.

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.

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.

Valera Negrete, José Pedro Agustín, Apuntes de Física General, México, Ediciones Acatlán, UNAM, primera edición, 2005

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

La que indique el profesor

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.9**
**VISCOSIDADES DE UN FLUIDO**

**Determinar las viscosidades absoluta o dinámica,**

**y relativa o cinemática de un fluido**

# 1. OBJETIVO

## 1.1 Objetivo general

Determinar la viscosidad absoluta o dinámica $\mu$ de un fluido mediante el viscosímetro Brookfield, y la viscosidad relativa o cinemática $\nu$ mediante el viscosímetro Saybolt.

## 1.2 Objetivos específicos

**1.2.1 Medir la viscosidad absoluta o dinámica $\mu$ de diversos fluidos a la temperatura del medio ambiente con el viscosímetro Brookfield.**

**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 Saybolt y obtener la viscosidad relativa o cinemática $\nu$ de un fluido a diferentes temperaturas.**

# 2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

## 2.1 Viscosidad en líquidos

Definimos a un fluido como una substancia que se deforma continuamente cuando se somete a una tensión de cortadura ( $\tau$ ), 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 ( $\mu$ )

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 (perpendicular) a dicha frontera.

La ley de viscosidad de Newton establece que la fuerza $F$ por unidad de área $A$, es proporcional a la disminución de la velocidad v con la distancia $y$; a la constante de proporcionalidad $\mu$ se le denomina viscosidad del fluido, que es la substancia situada entre las láminas.

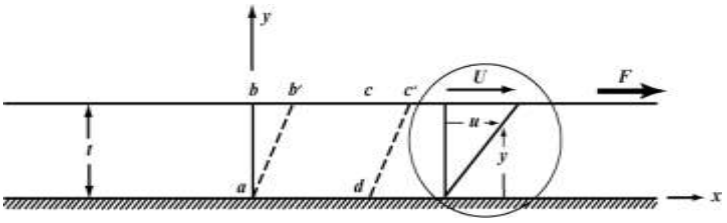
Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

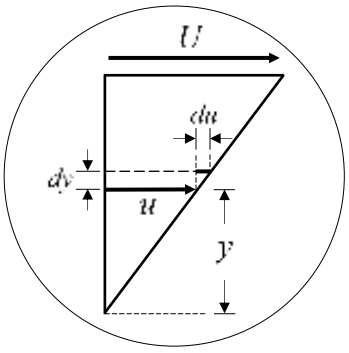
Si la tensión de cortadura es $\tau = F/A$ en donde $A$ es el área de la lámina superior, y si la velocidad angular puede escribirse como $du/dy$, la cual expresa la variación de velocidad dividida por la distancia en que esta variación se produce, o bien como el cociente de la velocidad con que una 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 "$\mu$" el factor de proporcionalidad entre la tensión de cortadura y la velocidad de "deformación angular" de un movimiento de un fluido. La fuerza $F$ es directamente proporcional a $A$ y a $U$, e inversamente proporcional a $t$, según la siguiente figura:

$U$ = velocidad en la lámina superior con una altura máxima "t"




Deformación resultante de la aplicación de una fuerza cortante constante

En la figura se representa una substancia 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 substancia 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 substancia 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.

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.

De acuerdo con dicha ley, el esfuerzo tangencial es proporcional al gradiente transversal de velocidades. La constante de proporcionalidad $\mu$ 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 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 substancia 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 $\mu$, y en honor a Poiseuille en el sistema $cgs$ se le llama poise a la siguiente relación:

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \qquad \text{Si} \quad \tau = \frac{dina}{cm^2} \quad \text{y} \quad \frac{du}{dy} \quad siendo \begin{cases} du = \dfrac{cm}{s} \\ dy = cm \end{cases}$$

Entonces: $\mu = \dfrac{\frac{dina}{cm^2}}{\frac{cm}{s\ x\ cm}} = \dfrac{dina\ x\ s}{cm^2}$

$$\boxed{1\ poise = 1\ \frac{dina\ x\ s}{cm^2}}$$

También el poise se puede expresar como:

A la viscosidad $\mu$ suele llamársele absoluta o dinámica. El agua a $20°C$ tiene una viscosidad de $1.0$ centipoise (centésima parte del poise). Dimensionalmente $\mu$ se expresa como $\left[\ F\ L^{-2}\ T\ \right]$

Para el sistema gravitacional es más común la unidad: $1\ \dfrac{\overline{kg}\ x\ s}{m^2} = 98.0665\ \dfrac{g_m}{cm\ x\ s}$

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.

Tabla 1. Viscosidades absolutas o dinámicas de algunos fluidos

| 3.1.1 Fluido | Temperatura °C | Viscosidad dinámica $\mu = \frac{N\ x\ s}{m^2}$ |
|---|---|---|
| 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: $1\ \frac{N\ x\ s}{m^2} = 1\ Pa\ x\ s = 10\ poises$

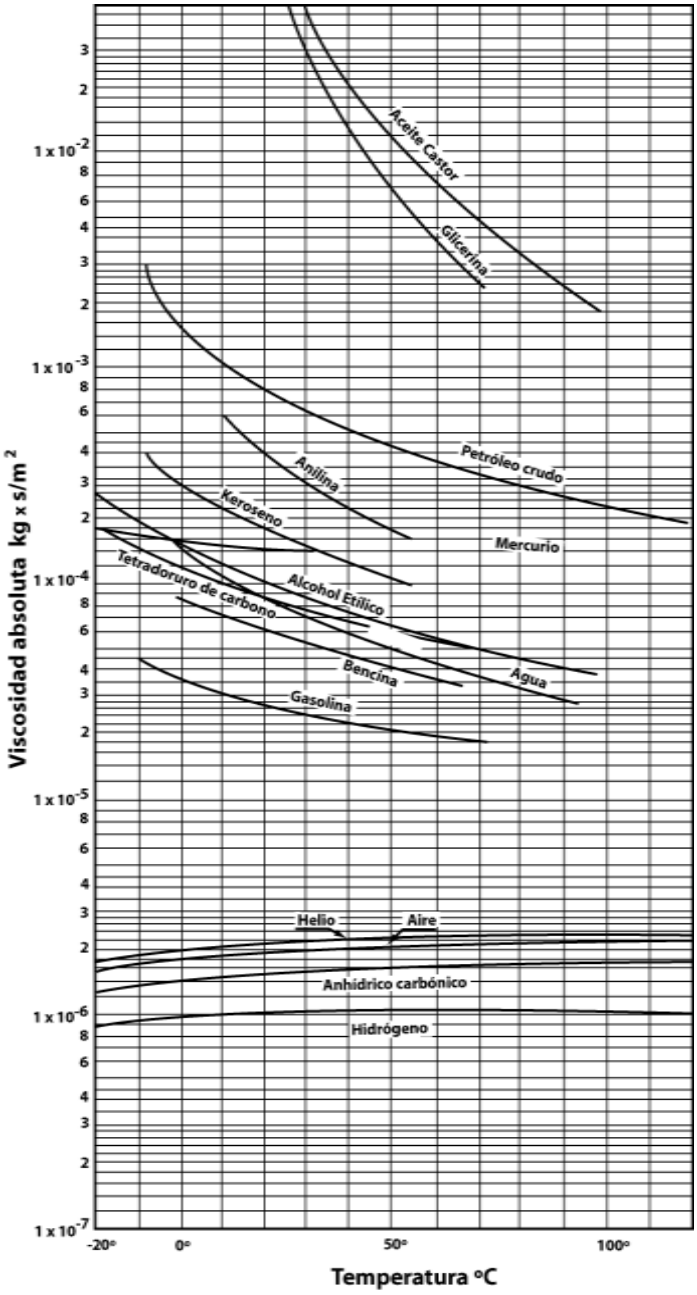
Ejemplo 1: Efectuar la conversión de unidades: a) $1\ \frac{m^2}{s}$ a $stokes$, y b) $1\ \frac{\overline{kg}\ x\ s}{m^2}$ a $poises$.

Solución:

a) $1\ \frac{m^2}{s} = 1\ \frac{m^2}{s}\ x\ \frac{10{,}000\ cm^2}{1\ m^2} = 10{,}000\ \frac{cm^2}{s} = 10^4\ stokes$

b) $1\ \frac{\overline{kg}\ x\ s}{m^2} = 1\ \frac{\overline{kg}\ x\ s}{m^2}\ x\ \frac{981{,}000\ dinas}{1\ \overline{kg}}\ x\ \frac{1\ m^2}{10{,}000\ cm^2} = 98\ \frac{dina\ x\ s}{cm^2} = 98\ poises$

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.




Viscosidades absolutas $\mu$ de algunos gases y líquidos

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.

## 2.3 Viscosidad relativa o cinemática ( $\nu$ )

Por otra parte, tenemos a la viscosidad relativa o cinemática $\nu$ que se define como el cociente de la viscosidad $\mu$ entre la densidad $\rho$ :

$$\boxed{\nu = \frac{\mu}{\rho}}$$

entonces las unidades de la viscosidad relativa son: $\nu = \dfrac{1\dfrac{g_m}{cm\ x\ s}}{1\dfrac{g_m}{cm^3}} = 1\ \dfrac{g_m\ x\ cm^3}{g_m\ x\ cm\ x\ s} = 1\ \dfrac{cm^2}{s}$

y en el sistema absoluto cgs se le llama stoke a: $\boxed{1\ stoke = 1\ \dfrac{cm^2}{s}}$

También: $1\ stoke = 1\ \dfrac{cm^2}{seg} = 0.001\ \dfrac{m^2}{seg}$

Dimensionalmente $\nu$ se expresa como: $\left[ L^2\ T \right]$

La viscosidad es prácticamente independiente de la presión y depende únicamente de la temperatura para ambos casos (cinemática y dinámica).

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 "$\nu$"es evidente, ya que sus dimensiones son, independientes de los conceptos de masa y fuerza. El coeficiente $\nu$ presenta características semejantes a las de "$\mu$".

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 ( $\nu = constante$ ) 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.

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

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.

Solución:

Datos:

$\mu = 0.055\ poises$

$\rho_{rel} = 0.87$

Fórmulas:

$\rho_{rel} = \frac{\rho_{mat}}{\rho_{H_2O}}$ ; $\tau = \frac{F}{A}$

$\tau = \mu \frac{du}{dy}$

$1\ poise = 1 \frac{dina\ x\ s}{cm^2}$ ; $F = \mu \frac{AU}{t}$

$1\ stoke = 1 \frac{cm^2}{s}$ ; $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

$a)\ \mu = 0.055\ poises = 0.055 \frac{dina\ x\ s}{cm^2}\ x\ \frac{1\ \overline{kg}}{981{,}000\ dinas}\ x\ \frac{10{,}000\ cm^2}{1\ m^2}$

$\mu = 0.00056 \frac{\overline{kg}\ x\ s}{m^2} = 5.6\ x 10^{-4}\ \frac{\overline{kg}\ x\ s}{m^2}$

$b)\ \nu = \frac{\mu}{\rho}$

Encontremos primero: $\rho_{mat} = \rho_{rel}\ x\ \rho_{H_2O}$

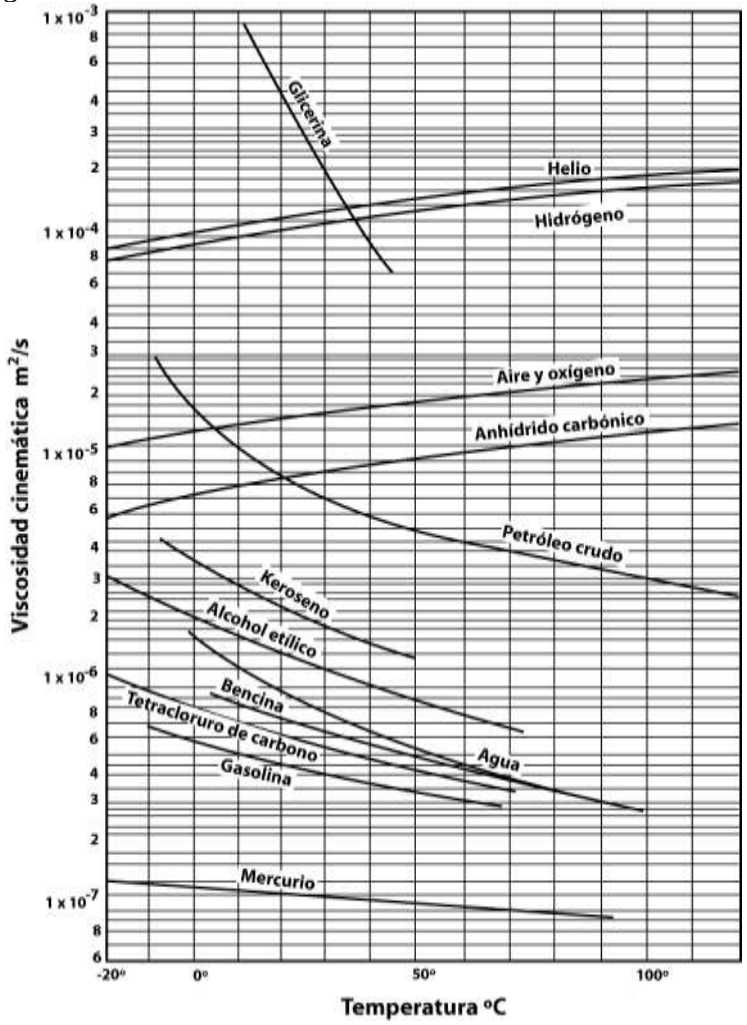
$\rho_{mat} = 0.87\ x\ 1 \frac{g_m}{cm^3} = 0.87 \frac{g_m}{cm^3}$

$\nu = \frac{0.055\ poises}{0.87 \frac{g_m}{cm^3}} = \frac{0.055 \frac{dina\ x\ s}{cm^2}}{0.87 \frac{g_m}{cm^3}} = \frac{0.055 \frac{g_m\ x \frac{cm}{s^2}\ x\ s}{cm^2}}{0.87 \frac{g_m}{cm^3}} = \frac{0.055\ g_m\ x\ cm^4\ x\ s}{0.87\ g_m\ x\ cm^2\ x\ s^2}$

$\nu = 0.063 \frac{cm^2}{s} = 0.063\ stokes$

$\nu = 0.063 \frac{cm^2}{s}\ x\ \frac{1\ m^2}{10{,}000\ cm^2} = 0.00000632 \frac{m^2}{s} = 6.32\ x\ 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

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.




Viscosidades cinemáticas $\nu$ de algunos gases y líquidos

Los gases están a presión atmosférica normal

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.

Tabla 2. Viscosidad relativa $\nu$ (cinemática) de diferentes líquidos

| Líquido | Temperatura [ °C ] | $\nu$ [ 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 |

Tabla 3. Viscosidades absolutas y relativas para diferentes temperaturas del agua

| Temperatura [ °C ] | $\mu$ [ centipoise ] | $\nu$ [ 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 |

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.

## 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 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.

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.

La viscosidad dinámica o absoluta del agua a 20°C es:

$\mu = 0.01\ poise$ o $\mu = 1\ centipoise$

La viscosidad dinámica o absoluta del aceite a 20°C es:

$SAE\ 20$: de $230\ a\ 300\ centiposes$
$SAE\ 30$: de $360\ a\ 430\ centiposes$
$SAE\ 40$: de $430\ a\ 540\ centiposes$

La viscosidad cinemática o relativa del agua a 20°C es:

$\nu = 0.01\ stoke$ o $\nu = 1\ centistoke$

## 3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

- Viscosímetro Brookfield,
- Viscosímetro Saybolt,
- Substancias de trabajo líquidas: agua, acetona y aceite lubricante (otros: especificar),
- Cronómetro,
- Termómetro,
- Vasos de precipitado,
- Equipo de seguridad (guantes, bata, googles, etc.)

## 4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

El desarrollo de la práctica nos permite obtener mediante la utilización del viscosímetro Brookfield para obtener la viscosidad dinámica o absoluta $\mu$ en poises aplicando los factores que se encuentran señalados en la tabla correspondiente Saybolt la viscosidad cinemática o relativa $\nu$ en stokes, aplicando directamente la ecuación descrita. Posteriormente utilizaremos el viscosímetro Brookfield para obtener la viscosidad dinámica o absoluta $\mu$ en poises aplicando los factores que se encuentran señalados en la tabla correspondiente.

### 4.1 Viscosímetro digital Brookfield (modelo DV-1)

El viscosímetro digital Brookfield nos permite obtener la viscosidad absoluta o dinámica "$\mu$" y consiste en un equipo 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 por 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-berilio. 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 substancia 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 (diámetro

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.

mayor) a la velocidad más alta, el rango máximo usando la aguja más pequeña (diámetro menor) 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 Procedimiento para la determinación de la viscosidad dinámica o absoluta $\mu$ mediante el viscosímetro Brookfield

En el viscosímetro Brookfield depositamos en un recipiente (vaso de precipitados) el líquido por analizar para 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.

Fotografía de un viscosímetro Brookfield

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.

Lectura de la velocidad en el viscosímetro x 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 estándar 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.

**FACTORES DE CONVERSIÓN**

| Aguja # 1 | | Aguja # 2 | | Aguja # 3 | | Aguja # 4 | | Aguja # 5 | | Aguja # 6 | | Aguja # 7 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vel. | Fac. | Vel. | Fac. | Vel. | Fac. | Vel. | Fac. | Vel. | Fac. | Vel. | Fac. | 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 |

Tabla 4: 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 | | | | | | |

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.

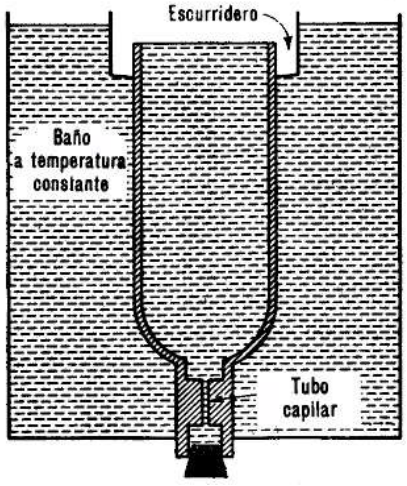
## 4.3 Viscosímetro Saybolt

Es un dispositivo cilíndrico que consta de un corto tubo capilar y en él se mide el tiempo que tarda en desalojarse un volumen de $60\,cm^3$ del fluido que contiene, y del que se desea conocer su viscosidad cinemática o relativa bajo prueba a través del flujo que circula por el tubo debido a la acción de la gravedad; este tiempo constituye la lectura Saybolt. La cantidad determinada mediante este dispositivo es el 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 el incremento de presión es $\Delta P = \rho g h$ ; el gasto o flujo hidráulico es $Q = V/t$ , y separando los términos que son iguales independientemente del fluido, tenemos:

$$\frac{V}{t} = \frac{\rho\,g\,h\,\pi\,D^4}{128\,\mu\,L} \quad \text{por lo tanto:} \quad \frac{\mu}{\rho\,t} = \frac{g\,h\,\pi\,D^4}{128 V\,L} = C_1$$




**Esquema de un viscosímetro Saybolt**

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.

Fotografía de un viscosímetro Saybolt

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:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\nu = C_1 t$$

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,

$$\nu = C_1 t + \frac{C_2}{t}$$

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.

Para hacer el cálculo de la viscosidad relativa tenemos la siguiente fórmula empírica que relaciona a los segundos Saybolt:

$$\nu = 0.0022\,t - \frac{1.8}{t}$$

### 4.4 Procedimiento para la determinación de la viscosidad cinemática o relativa $\nu$ 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 de diferentes substancias para ser analizados, 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 "$\nu$" en Stokes mediante la expresión empírica:

$$\nu = 0.0022t - \frac{1.80}{t}$$

Incrementamos sucesivamente la temperatura un promedio de $10°C$, repetimos la operación descrita anteriormente para obtener diversos valores de la viscosidad de una misma substancia a diferentes temperaturas.

Si deseamos obtener la viscosidad absoluta o dinámica recordemos la ecuación $\mu = \nu\,\rho$.

En caso de tratarse del agua, sabemos que su densidad es $\rho_{agua} = 1\,\frac{g_m}{cm^3}$ y por tal razón tenemos que:

$$\mu = \nu\left(\frac{cm^2}{seg}\right) x\ \rho\left(\frac{g_m}{cm^3}\right) = \frac{g_m}{cm\ x\ s} \quad \text{(poise)}$$

El experimento deberá repetirse para distintas temperaturas y se obtendrá una gráfica temperatura-viscosidad relativa o cinemática.

## 5. RESULTADOS

Tabla 5: Resultados con el viscosímetro Saybolt

| No. | Líquido | Experimento 1 | | | Experimento 2 | | | Experimento 3 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | T [°C] | t [s] | ν stoke | T [°C] | t [s] | ν stoke | T [°C] | t [s] | ν stoke |
| 1 | Agua | | | | | | | | | |
| 2 | Acetona | | | | | | | | | |

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.

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Aceite SAE 30 | | | | | | | | | |

*t = tiempo en segundos*
*v = viscosidad cinematica o relativa en stoke*

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 a la ingeniería se observan en el movimiento y traslado de fluidos en sistemas cerrados (tuberías) y abiertos (canales), en el manejo de aceites y lubricantes para disminuir la fricción en el movimiento de motores y compresores con relación a las temperaturas de trabajo, así como en el uso de gases para la generación de energía utilizados en dispositivos de alta compresión.

## 6. CONCLUSIONES

### 6.1 Conclusiones del profesor

Esta práctica es demostrativa porque el viscosímetro Saybolt se encuentra deteriorado y los diámetros de sus espreas (llave o válvula calibrada que permite salir un fluido) han sido dañados. Por otra parte, los viscosímetros Brookfield no se encuentra calibrados por una empresa autorizada de certificación.

### 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.

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.

Cuestionario

1) Indique la diferencia entre fluidos newtonianos y no newtonianos, dar algunos ejemplos.

Respuesta: 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 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.

Respuesta: Para los gases todas las moléculas están en continuo movimiento aleatorio debido a la energía cinética interna de la substancia, 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.

Respuesta: 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 substancia) la forma en que un líquido fluye por influencia de la gravedad terrestre.

Respuesta: 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 trasmiten 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.

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) Conversión de unidades: Transforme la unidad de $1\ poise = 1\ \frac{dina\ x\ s}{cm^2}$ a:

a) $1\ poise\ en\ \frac{\overline{kg}\ x\ s}{m^2}$

b) $1\ poise\ en\ \frac{N\ x\ s}{m^2}$

Respuesta:

a) $1\ poise = 1\frac{dina\ x\ s}{cm^2}\ x\ \frac{1\ \overline{kg}}{980,665\ dina}\ x\ \frac{10,000\ cm^2}{1\ m^2} = 0.010197\ \frac{\overline{kg}\ x\ s}{m^2}$

b) $1\ poise = 1\frac{dina\ x\ s}{cm^2}\ x\ \frac{1\ N}{100,000\ dina}\ x\ \frac{10,000\ cm^2}{1\ m^2} = 0.1\ \frac{N\ x\ s}{m^2}$

6) Indique el principio técnico mediante el cual funciona el viscosímetro universal Saybolt.

Respuesta: El viscosímetro Saybolt nos permite obtener la viscosidad relativa o cinemática "$\nu$" 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 el flujo y el tiempo resultante para su desalojo se considera como la velocidad del fluido en segundos universales Saybolt. Posteriormente se aplica la expresión:

$$\nu = 0.0022t - \frac{1.80}{t}$$

7) Indique el principio técnico mediante el cual funciona el viscosímetro Brookfield.

Respuesta: El viscosímetro digital Brookfield nos permite obtener la viscosidad absoluta o dinámica "$\mu$" 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 ($\overline{g}\,x\,cm$ , $\overline{lb}\,x\,pie$). 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 substancia 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 numero 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.

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.

8) Investigar el concepto de “grado de viscosidad”.

Respuesta: El propósito de la calificación ISO fue establecer una clasificación universal de los lubricantes líquidos que se pueden utilizar, sin confusión, los proveedores, diseñadores y usuarios. Viscosidad grado ISO se basa la viscosidad de -- la resistencia al flujo, o "espesor ", de un líquido -- y cada grado sucesivo es de aproximadamente 50 por ciento más viscoso que el grado anterior. Un aceite ISO del grado 32, por ejemplo, tiene una viscosidad de entre 28.8 y 35.5 centistokes (cSt) a 40 grados centígrados (104 grados Fahrenheit), dando un promedio de 32 cSt. Importancia SAE (Society American Engineering).

8.1 Clasificacion de los aceites lubricantes para motores.

SAE (Society of Automotive Engineers) - Sociedad de Ingenieros Automotrices.
API (American Petroleum Institute) - Instituto Americano del Petróleo.
ASTM (American Society for Testing Materials) - Sociedad Americana de Prueba de Materiales.
SAE (Society of Automotive Engineers) - Grado de Viscosidad del Aceite) – Indica Grado de Viscosidad del Aceite, es decir, es el flujo de los aceites a determinadas temperaturas, es decir, su VISCOSIDAD. Esto no tiene que ver con la calidad del aceite, contenido de aditivos, funcionamiento o aplicación para condiciones de servicio especializado.

Aceites con sufijo W

La Society of Automotive Engineers, SAE, al español, «Sociedad de Ingenieros del Automóvil», ha establecido un sistema de códigos numéricos para categorizar los aceites de motor según su viscosidad cinemática. Los grados de viscosidad del SAE son los siguientes: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 y 60. A algunos de los grados se les puede añadir el sufijo W de "winter" (palabra en inglés para «invierno») o viscosidad para arranque en frío a bajas temperaturas. La viscosidad se mide según el tiempo que tarda una cantidad determinada de aceite en fluir a través de un orificio a una temperatura estándar. Cuando más tarda, mayor es la viscosidad, y por consiguiente mayor es el código SAE.

Nótese que el SAE opera un sistema de categorización diferente para aceites de la transmisión que no debe confundirse con la viscosidad del aceite de motor. Números elevados del aceite de la transmisión (ej. 75W-140) no significan necesariamente que la viscosidad sea mayor que la de un aceite de motor.

ISO norma ASTM: Certificación de sistemas de gestión de la calidad, ISO 9001.

Certificación de sistemas de gestión ambiental, ISO 14001.

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.

Certificación de sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, SAST (OHSAS 18001).

9) Investigar el concepto de "índice de viscosidad".

Respuesta: 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.

Respuesta: 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 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.

## 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.

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.

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.

Valera Negrete, José Pedro Agustín, Apuntes de Física General, México, Ediciones Acatlán, UNAM, primera edición, 2005

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

La que indique el profesor

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.10**
**MEDICIÓN DE FLUJO**

**Determinar el gasto hidráulico (Q) que fluye en una tubería, aplicando la ecuación de continuidad y el principio de Daniel Bernoulli**

# 1. OBJETIVO

## 1.1 Objetivo general

Obtener el gasto hidráulico Q que fluye a través de una tubería y comprobar su resultado mediante la utilización del venturímetro, aplicando la ecuación de continuidad y el principio de Bernoulli.

## 1.2 Objetivos específicos

**1.2.1 El alumno analizará teóricamente los conceptos de: gasto hidráulico, ecuación de continuidad, y el principio de Daniel Bernoulli.**

**1.2.2 El alumno conocerá el equipo denominado banco hidráulico, describiendo el tubo de vénturi o venturímetro, los tubos piezométricos, válvulas y bridas.**

**1.2.3 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 del venturímetro y los piezómetros aplicará la ecuación de continuidad y el principio de Bernoulli para verificar sus resultados.**

# 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.

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.

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.

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 líquidos, 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 experimento se pretende conocer la forma de medir el flujo de un fluido líquido (agua) también llamado gasto hidráulico y que representamos con la notación $Q$.

## 2.2 Medición de flujo

El concepto de "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 $m$, o de volumen $V$, por unidad de tiempo $t$, y se designa con la letra "$Q$" teniendo la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{m}{t} \qquad \left( \frac{kg_m}{s}, \frac{lb_m}{s} \right)$$

También se puede considerar el gasto volumétrico para un flujo incompresible y permanente como:

$$Q = \frac{V}{t} \qquad \left( \frac{m^3}{s}, \frac{dm^3}{s}, \frac{pie^3}{s} \right)$$

### 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 $\tau$ con la velocidad angular de deformación por medio de una propiedad física del fluido llamada viscosidad, que se analizará a continuación.

### 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 y se analizará en la asignatura de Hidráulica.

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.

### 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, de energía y de cantidad de movimiento, así como 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 necesarios 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, isotermo, 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 (a diferencia de lo que generalmente suponemos en forma contraria).

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.

La deducción de una expresión que relacione a la velocidad " $\mathrm{v}$ " 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:

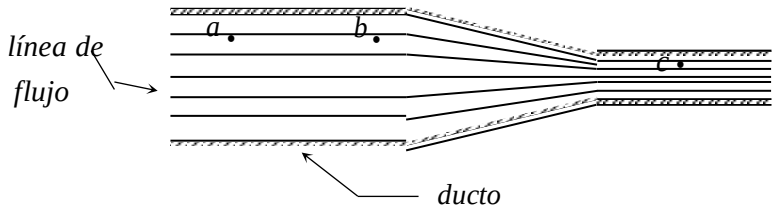
$$Q = \frac{V}{t} = \frac{l\,A}{t} = \mathrm{v}\,A$$

En donde $A$ es el área de la sección transversal del ducto, $l$ es la distancia recorrida por el flujo y $\mathrm{v}$ su velocidad. Por lo tanto, la ecuación que representa la continuidad de flujo es:

$$Q = \mathrm{v}\,A$$

La mayoría de las ecuaciones que cuantifican el gasto de fluidos líquidos, se aplican a substancias 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 que seleccionemos, 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.

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.

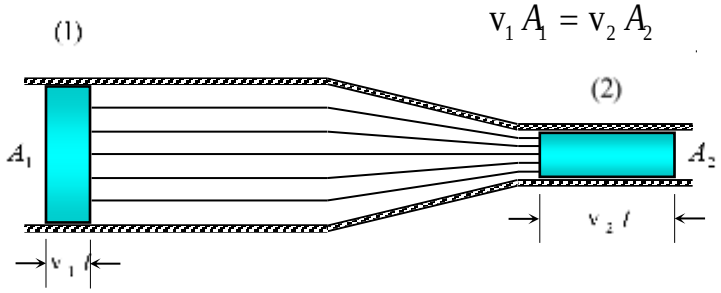
a) Fluido Real b) Fluido Ideal

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".

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: $Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 = \ldots = v_n A_n = constante$

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:

$$\left.\begin{aligned} l_1 &= v_1 t \\ l_2 &= v_2 t \end{aligned}\right\} \; l_1 \neq l_2$$

Como el volumen es constante: $V = l_1 A_1 = l_2 A_2$

Sustituyendo: $l_1$ y $l_2$ tenemos: $V = v_1 A_1 t = v_2 A_2 t$

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.

De la ecuación: $Q = \frac{V}{t}$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{\mathrm{v}\,At}{t} = \mathrm{v}\,A \qquad \therefore \qquad \boxed{Q = \mathrm{v}\,A}$$

## 2.5 Gasto hidráulico y flujo a través de tubos circulares

El flujo viscoso (fluido real que experimenta al moverse efectos debidos a fuerzas de rozamiento o fuerzas viscosas) 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 $\mu$ . 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 Hagen-Poiseuille, es:

$$Q = \frac{\pi R^4 (P_1 - P_2)}{8 \mu L}$$ dado el radio $R$ de un tubo cilíndrico

$$Q = \frac{\pi D^4 (P_1 - P_2)}{128 \mu L}$$ dado el diámetro $D$ de un tubo cilíndrico

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.

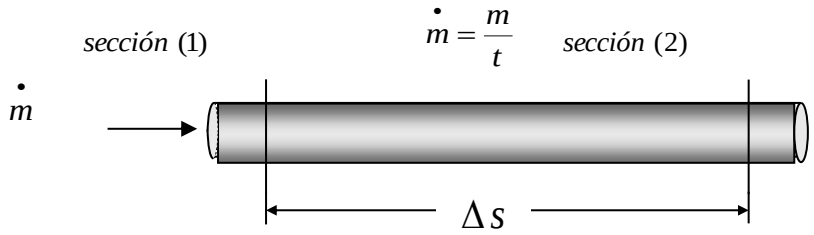
de $m^3/s$. La ecuación anterior sólo se aplica a flujo laminar.

La ecuación de Hagen-Poiseuille nos indica que el gasto $Q$ es directamente proporcional al gradiente (aumento o disminución) de presión, en donde $(P_1 - P_2)/L$, es inversamente proporcional a la viscosidad $\mu$ 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 una arteria por la formación de colesterol y arteriosclerosis requiere que el corazón trabaje mucho más para mantener el gasto apropiado.

### 2.5.1 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:

$$W_{neto} = P_1 V_1 - P_2 V_2$$




Trabajo de flujo

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:

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.

$$Q_1 + W_1 + \underbrace{P_1 V_1}_{W_{f_1}} + E_1 = Q_2 + W_2 + \underbrace{P_2 V_2}_{W_{f_2}} + E_2$$

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*

### 2.5.2 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:

$$H = \frac{PV}{J} + U \qquad (kcal\,,\ Btu)$$

Se puede también definir la entalpía específica o por unidad de masa por las ecuaciones:

$$h = \frac{H}{m} \quad \text{o} \quad h = \frac{P\mathrm{v}}{J} + u \quad \left(\frac{kcal}{kg_m}, \frac{Btu}{lb_m}\right)$$

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.

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.

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: $E = Ep + Ec + U$

Entonces:

$$Q_1 + W_1 + P_1V_1 + Ep_1 + Ec_1 + U_1 = Q_2 + W_2 + P_2V_2 + Ep_2 + Ec_2 + U_2$$

$$Q_1 + W_1 + H_1 + Ep_1 + Ec_1 = Q_2 + W_2 + H_2 + Ep_2 + Ec_2$$

Sabemos que para los procesos termodinámicos estudiados en el capítulo de energía y calor, el incremento de energía interna está dado por la ecuación: $\Delta U = mC_v(T_2 - T_1)$

Y de manera similar el incremento de la entalpía está dado por:

$$\Delta H = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{J} + \Delta U \qquad \text{o} \qquad \Delta H = \frac{mR\,(T_2 - T_1)}{J} + \Delta U$$

$$\Delta H = \frac{mR}{J}(T_2 - T_1) + mC_v\,(T_2 - T_1)$$

$$\Delta H = m\,(T_2 - T_1)\left(\frac{R}{J} + C_v\right)$$

si: $R = J\left(C_p - C_v\right) \quad \Rightarrow \quad C_p = \frac{R}{J} + C_v$

$$\therefore \quad \boxed{\Delta H = mC_p\,(T_2 - T_1)}$$

Por lo tanto, podemos decir que: la entalpía de un gas es una función de su temperatura

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.

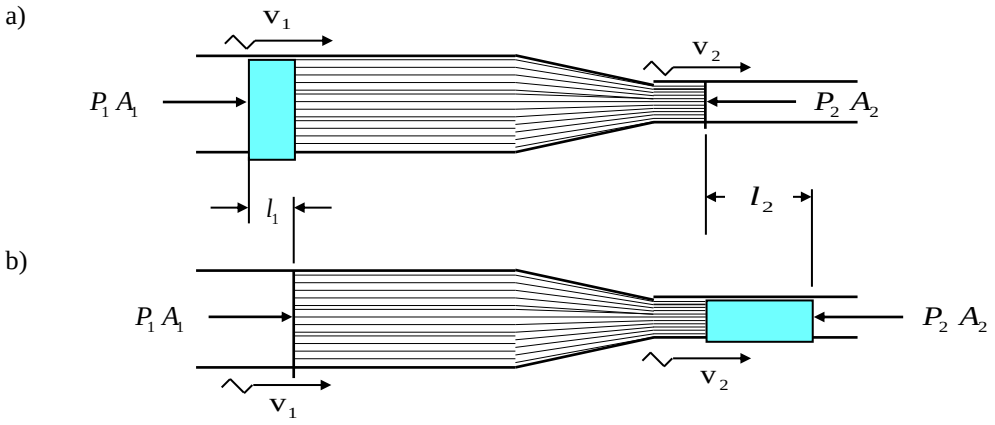
## 2.6 Principio de Bernoulli para flujo laminar en régimen permanente

Daniel Bernoulli (físico y matemático suizo 1700-1782) es uno de los fundadores de la hidrodinámica. Enunció el principio 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 principio 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 los que a continuación analizaremos.

En dinámica de los fluidos, el principio de Bernoulli, también denominado ecuación de Bernoulli, describe el comportamiento de un líquido moviéndose a lo largo de una corriente de agua, y fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra Hidrodinámica (1738), expresando que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee dicho fluido permanece constante a lo largo de su recorrido.

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) 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: $W_1 = P_1 l_1 A_1$

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.

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:

$$W_1 - W_2 = P_1 l_1 A_1 - P_2 l_2 A_2 \qquad \text{ecuación (1)}$$

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 " $\rho$ " 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:

$$V = \frac{m}{\rho} \qquad \text{ecuación (2)}$$

## 2.6.1 Variación del trabajo mecánico

Sustituyendo la expresión de volumen (2) en la ecuación de trabajo exterior realizado sobre el sistema en función de las presiones tenemos:

$$W = P_1\left(\frac{m}{\rho}\right) - P_2\left(\frac{m}{\rho}\right) = \left(P_1 - P_2\right)\left(\frac{m}{\rho}\right) \qquad \text{ecuación (3)}$$

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:

$$Ec = \frac{1}{2} m \mathrm{v}^2 \quad \text{y} \quad Ep = m g y$$

## 2.6.2 Variación de la energía cinética

$$Ec_2 - Ec_1 = \frac{1}{2} m \mathrm{v}_2^2 - \frac{1}{2} m \mathrm{v}_1^2 = \frac{1}{2} m \left(\mathrm{v}_2^2 - \mathrm{v}_1^2\right) \qquad \text{ecuación (4)}$$

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.

### 2.6.3 Variación de la energía potencial gravitatoria

$$Ep_2 - Ep_1 = m\,g\,y_2 - m\,g\,y_1 = m\,g\,(y_2 - y_1)$$ 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 por "$m\,g$":

$$(P_1 - P_2)\frac{m}{\rho}\frac{1}{mg} = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2)\frac{1}{mg} + mg(y_2 - y_1)\frac{1}{mg}$$

$$\frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} = \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g} + (y_2 - y_1)$$

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:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + y_2$$ ecuación (6)

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.

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:

$$\frac{P}{\gamma}+\frac{\mathrm{v}^2}{2g}+y=cte$$ ecuación (7)

Cualquiera de las ecuaciones (6) o (7) pueden considerarse como la manera de representar algebraicamente el Principio de Bernoulli, aplicable a un flujo de régimen estacionario sin pérdidas por rozamiento, en donde:

$\frac{P}{\gamma}$ se denomina “carga de presión

$\frac{\mathrm{v}^2}{2g}$ se denomina “carga de velocidad”

$y$ se denomina “carga de altura o de posición”

Cada uno de los términos de la ecuación anterior tiene unidades de trabajo o energía entre unidades de fuerza, es decir, en el SI, kilográmetros 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:

Carga de presión: $\frac{P}{\gamma}=\frac{\overline{kg}}{\frac{\overline{m^2}}{\overline{m^3}}}=\frac{\overline{kg}\ x\ m}{\overline{kg}}=m$

Carga de velocidad: $\frac{\mathrm{v}^2}{2g}=\frac{\frac{\overline{m^2}}{\overline{s^2}}}{\frac{m}{\overline{s^2}}}=\frac{m^2\,s^2}{m\,s^2}=m$

Observación: Algunos autores de textos de mecánica de los fluidos, presentan a la ecuación de Bernoulli de la siguiente manera:

$$\frac{P}{\rho}+\frac{\mathrm{v}^2}{2}+g\,z=constante \qquad (z=altura)$$

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.

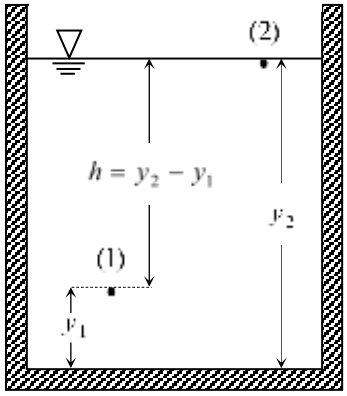
Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

$$\frac{P}{\rho} = \frac{\frac{N}{m^2}}{\frac{kg_m}{m^3}} = \frac{N\ x\ m^3}{kg_m\ x\ m^2} = \frac{N\ x\ m}{kg_m} = \frac{Joule}{kg_m} \qquad \left( \frac{N\ x\ m}{kg_m} = \frac{m^2}{s^2} \right)$$

### 2.6.4 Aplicación de la ecuación de Bernoulli a la hidrostática

Las ecuaciones de la hidrostática son casos especiales del principio 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 dicho principio 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:

$$\mathrm{v}_1 = \mathrm{v}_2 = 0 \quad \text{y} \quad P_2 = P_{atmosférica}$$




Aplicación de la ecuación de Bernoulli a un fluido en reposo

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.

La ecuación de Bernoulli puede escribirse como:

$$\frac{P_1}{\gamma} + y_1 = \frac{P_2}{\gamma} + y_2$$

$$P_1 = \left( \frac{P_{atm}}{\gamma} + y_2 - y_1 \right) \gamma$$

$$P_1 = P_{atm} + \gamma \underbrace{\left( y_2 - y_1 \right)}_{h}$$

$$P_1 = P_2 + \gamma h$$

$$P_1 = P_2 + \rho g h$$

$$\therefore \quad \boxed{P_1 = P_2 + \rho g h}$$

### 2.6.5 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:

$$E = \underbrace{PV + U}_{H} + Ec + Ep = H + Ec + Ep$$

En donde:

$PV$ : representa trabajo de flujo
$U$ : representa a la energía interna
$H$ : representa a la entalpía

La ecuación de la energía para un flujo estacionario es entonces:

$$Q = W + \underbrace{\Delta(PV) + \Delta U}_{\Delta H} + \Delta Ec + \Delta Ep$$

$$Q = W + \Delta H + \Delta Ec + \Delta Ep$$

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.

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 $V = m\mathrm{v} = m\frac{1}{\rho}$ entonces: $PV = P\,m\left(\frac{1}{\rho}\right) = \left(\frac{P}{\rho}\right)m$

Substituyendo: $\Delta\left(\frac{P}{\rho}\right)m + \Delta Ec + \Delta Ep = 0$

Para los estados inicial y final (1) y (2) respectivamente:

$$\left(\frac{m\,P_1}{\rho}\right) + \frac{m\,\mathrm{v}_1^2}{2} + m\,g\,y_1 = \left(\frac{m\,P_2}{\rho}\right) + \frac{m\,\mathrm{v}_2^2}{2} + m\,g\,y_2$$

Dividiendo entre $mg$ :

$$\left(\frac{m\,P_1}{\rho}\right)\frac{1}{m\,g} + \frac{m\,\mathrm{v}_1^2}{2mg} + \frac{m\,g\,y_1}{mg} = \left(\frac{m\,P_2}{\rho}\right)\frac{1}{mg} + \frac{m\,\mathrm{v}_2^2}{2mg} + \frac{m\,g\,y_2}{mg}$$

$$\frac{P_1}{\rho\,g} + \frac{\mathrm{v}_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\rho\,g} + \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} + y_2$$

Sabemos que el peso específico se define como: $\gamma = \rho\,g$

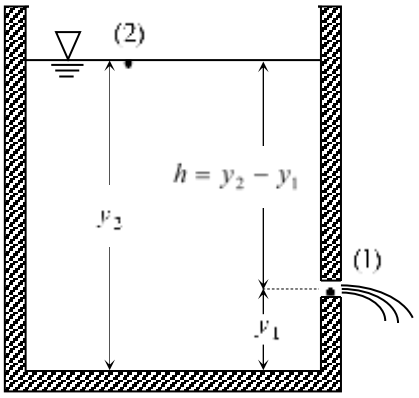
$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{\mathrm{v}_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} + y_2$$

$$\frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} - \frac{\mathrm{v}_1^2}{2g} + y_2 - y_1 = 0$$

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.

## 2.6.6 Aplicación del principio 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:




Aplicación del principio de Torricelli

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:

$$Q_1 = A_1 v_1$$

$$\boxed{Q_1 = A_1 \sqrt{2gh}}$$

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.

### 2.6.7 Verificación de la expresión de Torricelli mediante las ecuaciones de caída libre

#### 2.6.7.1 De las ecuaciones de caída libre:

$$h = \tfrac{1}{2} g t^2$$

$v = g t$ elevando al cuadrado: $v^2 = g^2 t^2$

#### 2.6.7.2 Dividiendo entre 2g la ecuación: $v^2 = g^2 t^2$

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{g^2 t^2}{2g}$$

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{g t^2}{2}$$ el segundo miembro es igual a: $\frac{g t^2}{2} = h$

#### 2.6.7.3 Entonces obtenemos:

$$\frac{v^2}{2g} = h$$

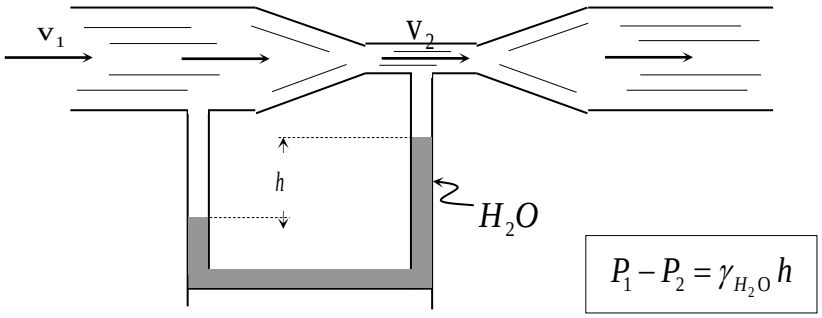
$$v^2 = 2 g h \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{2 g h}$$

## 2.7. Tubo de vénturi o venturímetro

El efecto vénturi fue analizado por el físico italiano Giovanni Battista Venturi (1746-1822) y demostrado su efecto en 1797. El medidor de vénturi (venturímetro o tubo de vénturi) 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, 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 vénturi se da con el diámetro de la tubería y la garganta. Para obtener resultados adecuados el medidor vénturi 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.

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.

Las presiones en la sección de corriente hacia 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.




3.1.1.1.1 Tubo de vénturi

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: $\mathrm{v}_1 A_1 = \mathrm{v}_2 A_2 \quad \Rightarrow \quad \mathrm{v}_1 = \dfrac{\mathrm{v}_2 A_2}{A_1}$

Siendo: $A_1 = \dfrac{\pi D_1^2}{4}$ y $A_2 = \dfrac{\pi D_2^2}{4}$ en donde $D = diámetro\ de\ la\ sección$

De la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{\mathrm{v}_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} + y_2$$

Como el venturímetro se encuentra en posición horizontal: $y_1 = y_2$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{\mathrm{v}_2^2 - \mathrm{v}_1^2}{2g} \qquad \text{o} \qquad \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} - \frac{\mathrm{v}_1^2}{2g}$$

$\mathrm{v}_1$ y $\mathrm{v}_2$ son las velocidades promedio en las secciones (1) y (2) respectivamente, y de la ecuación de continuidad observamos que si elevamos al cuadrado $\mathrm{v}_1$:

$\mathrm{v}_1 A_1 = \mathrm{v}_2 A_2$ entonces: $\mathrm{v}_1 = \dfrac{\mathrm{v}_2 A_2}{A_1}$

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.

$$v_1^2 = v_2^2 \frac{A_2^2}{A_1^2} = v_2^2 \frac{\frac{\pi^2 D_2^4}{16}}{\frac{\pi^2 D_1^4}{16}} = v_2^2 \frac{D_2^4}{D_1^4} = v_2^2 \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4$$

Substituyendo 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 tubos vénturi 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.

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.

$$Q = C_v A_2 \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma\left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4\right]}}$$

Aplicando el principio de Bernoulli a la parte ancha (1) del venturímetro, y al estrechamiento del tubo (2) se tiene la ecuación en función de la densidad $\rho$ :

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + y_2$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + y_2$$

Como el tubo de vénturi se encuentra en posición horizontal $y_1 = y_2$ , los términos $y_1$ y $y_2$ se eliminan; y multiplicando por $\rho g$ toda la expresión:

$$\frac{P_1 \rho g}{\rho g} + \frac{v_1^2 \rho g}{2g} = \frac{P_2 \rho g}{\rho g} + \frac{v_2^2 \rho g}{2g}$$

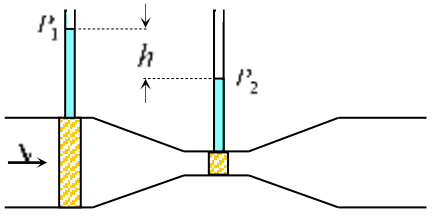
$$P_1 + \frac{v_1^2 \rho}{2} = P_2 + \frac{v_2^2 \rho}{2}$$

$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho v_2^2$$

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 de tubos verticales (piezométricos) como se indica en la siguiente figura.

3.1.2




Diferencia de presiones

Si $h$ es la diferencia de alturas entre las columnas del líquido de los tubos:

$$P_1 - P_2 = \gamma h$$

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.

O bien como se indica en la figura del venturímetro por medio de un manómetro diferencial con mercurio:

$$P_1 - P_2 = \gamma_{Hg}\, h_{Hg}$$

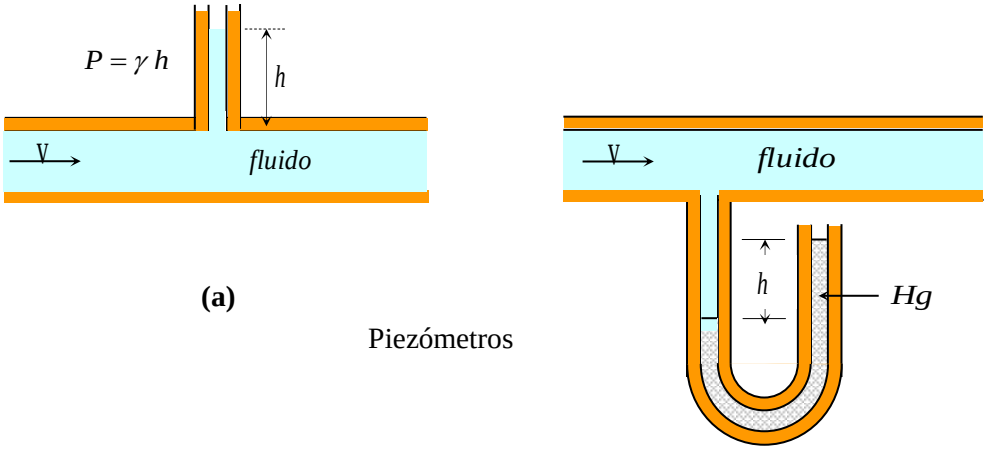
La disminución de la presión en un estrechamiento encuentra muchas aplicaciones técnicas. Por ejemplo, podemos considerar el vapor de gasolina que penetra a la tubería de aspiración de un motor de combustión interna por la baja presión producida en el tubo de vénturi al cual está conectado el carburador.

## 2.8. Piezómetro o tubo piezométrico

Los piezómetros son un tipo de manómetros que emplean columnas líquidas para determinar las diferencias de presión, es decir, sirven para medir la presión en un líquido cuando es superior a la presión atmosférica local. Se trata de un tubo de cristal vertical conectado con el interior del recipiente (tubería), elevando el líquido en el tubo de vidrio hasta que alcanza el equilibro. Los piezómetros no sirven para medir presiones negativas o vacuométricas. Cuando se miden presiones pequeñas de un líquido (positivas o negativas) el tubo debe tener la forma representada en la figura (b).

El valor de la presión estática en un fluido en movimiento, es la presión en éste 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)**

Piezómetros

**(b)**

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.

## 2.9 Desarrollo del experimento mediante una tubería simple acoplada a un tubo de vénturi utilizando agua

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.

### 2.9.1 Procedimiento para realizar el experimento

Mediante el empleo de una bomba o simplemente del caudal hidráulico que circula por la tubería, se impulsa agua a través del acoplamiento con un venturímetro provisto de un manómetro diferencial, se regula el gasto de manera que el flujo no tenga variaciones de presión y velocidad grande 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 milímetros de mercurio ($mmH_2O$). 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.

4. Se compara el resultado del gasto hidráulico práctico obtenido en el laboratorio, con el gasto teórico obtenido mediante la ecuación de continuidad.

5. Se repite el procedimiento en diversas ocasiones siguiendo los pasos 1 al 4, obteniendo diversos gastos hidráulicos.

## 2.9 2 Descripción del empleo de un venturímetro para medición de flujo (obtención de datos)

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.

### 2.9.2.1 Para calcular el gasto práctico (en forma directa) se tiene que:

Los guiones mostrados en las ecuaciones con líneas llenas (____) son indicativos para que el alumno llene los espacios con los valores obtenidos al efectuar el experimento en el laboratorio.

$$V_{medido} = _____ \ dm^3$$

$$t_{medido} = _____ \ s$$

$$Q_{real} = \frac{V_{medido}}{t_{medido}} = \frac{_____ \ dm^3}{_____ \ s} = _____ \ \frac{dm^3}{s}$$

Tabla 1. Resultados obtenidos directamente del experimento para calcular el gasto práctico

| Experimento | Volumen (V) [ $dm^3$ ] | Tiempo (t) [ s ] | Gasto ($Q_{real}$) [ $dm^3/s$ ] |
|---|---|---|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |

### 2.9.2.2 Cálculo del gasto teórico mediante el uso del venturímetro aplicando la expresión:

$$Q = C_v A_2 v_2$$

a) Obtener los diámetros de las secciones transversales de la boquilla y de la garganta del venturímetro:

$$D_1 = _____ \ cm \ ; \quad D_2 = _____ \ cm$$

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 $A_2$.

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{3.1416 \left( _____ \ cm \right)^2}{4} = _____ \ cm^2 = _____ \ m^2$$

$$A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} = \frac{3.1416 \left( _____ \ cm \right)^2}{4} = _____ \ cm^2 = _____ \ m^2$$

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.

$$P_1 - P_2 = _____ \ mmH_2O = _____ \ \frac{\overline{kg}}{m^2}$$

Tabla 2: Presiones obtenidas directamente en el manómetro diferencial del venturímetro

| Experimento | $P_1$ [ $mmH_2O$ ] | $P_2$ [ $mmH_2O$ ] | $P_1 - P_2$ [ $mmH_2O$ ] | $P_1 - P_2$ [ $\overline{kg}/m^2$ ] |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

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 es: $v_2 = \sqrt{\dfrac{2g\left(P_1 - P_2\right)}{\gamma\left[1 - \left(\dfrac{D_2}{D_1}\right)^4\right]}}$

Para el nivel del mar: $g = 9.81 \ \dfrac{m}{s^2}$ y $\gamma = 1{,}000 \ \dfrac{\overline{kg}}{m^3}$

Para la Ciudad de México: $g = 9.78 \ \dfrac{m}{s^2}$ y $\gamma = \ 997 \ \dfrac{\overline{kg}}{m^3}$

Sustituyendo en la ecuación de velocidad los valores del experimento obtenidos en la Ciudad de México tenemos:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2\left(9.78 \ \frac{m}{s^2}\right)\left(_____ \ \frac{\overline{kg}}{m^2}\right)}{997 \ \frac{\overline{kg}}{m^3}\left[1 - \left(\frac{_____ \ cm}{_____ \ cm}\right)^4\right]}} = \sqrt{\frac{_____ \ \frac{\overline{kg}}{m \ x \ s^2}}{997\left(1 - _____\right)\frac{\overline{kg}}{m^3}}}$$

$$= \sqrt{_____ \ \frac{\overline{kg} \ x \ m^3}{\overline{kg} \ x \ m \ x \ s^2}} = \sqrt{_____ \ \frac{m^2}{s^2}} = _____ \ \frac{m}{s}$$

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.

### 2.9.2.3 Hallar el gasto hidráulico teórico mediante la expresión: $Q = C_v A_2 v_2$

En donde (como ya indicamos) 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 en laboratorios experimentales); $A_2$ es el área de la garganta del venturímetro en donde la velocidad $v_2$ es mayor que la velocidad $v_1$.

El valor teórico del gasto hidráulico será entonces:

$$Q_T = C_v A_2 v_2 = (1)(_____\ m^2)\left(_____\ \frac{m}{s}\right) = _____\ \frac{m^3}{s} = _____\ \frac{dm^3}{s}$$

Tabla 3: Variables que intervienen en el cálculo del gasto teórico $Q_{teórico}$

| 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.

## 2.10 Desarrollo de la práctica mediante el sistema integrado al Banco Hidráulico modelo F1-21 y el uso de agua

### 2.10.1 Banco hidráulico de pruebas para Mecánica de los Fluidos o banco de servicios comunes

Es un equipo que se encuentra integrado por un depósito de agua y dispositivos (válvulas, tuberías, tubos de vénturi y piezómetros) que nos permiten en forma integral obtener mediante la circulación del fluido el gasto hidráulico real y aplicar las fórmulas de continuidad y del principio de Bernoulli para analizar el gasto teórico, comparando la aplicación del método experimental con los valores calculados.

El banco hidráulico está diseñado como módulo de servicio portátil y autónomo para la instalación de una gama importante de accesorios que son de uso en el estudio de la Mecánica de los Fluidos y particularmente para los cursos de Hidráulica (tuberías y canales). Este banco está fabricado en plástico de baja densidad, resistente a la corrosión, y las ruedas en las que está montado le permiten movilidad. Además, la parte superior del banco incorpora un canal abierto con canales laterales que sirven de apoyo al accesorio que se está ensayando (información del proveedor).

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.

Para la demostración del principio de Bernoulli, debemos conocer los tubos piezométricos o manómetros diferenciales, que nos indican una altura equivalente a la presión hidrostática del fluido en circulación en sus puntos de conexión, recordando la expresión:

**Canal de flujo**

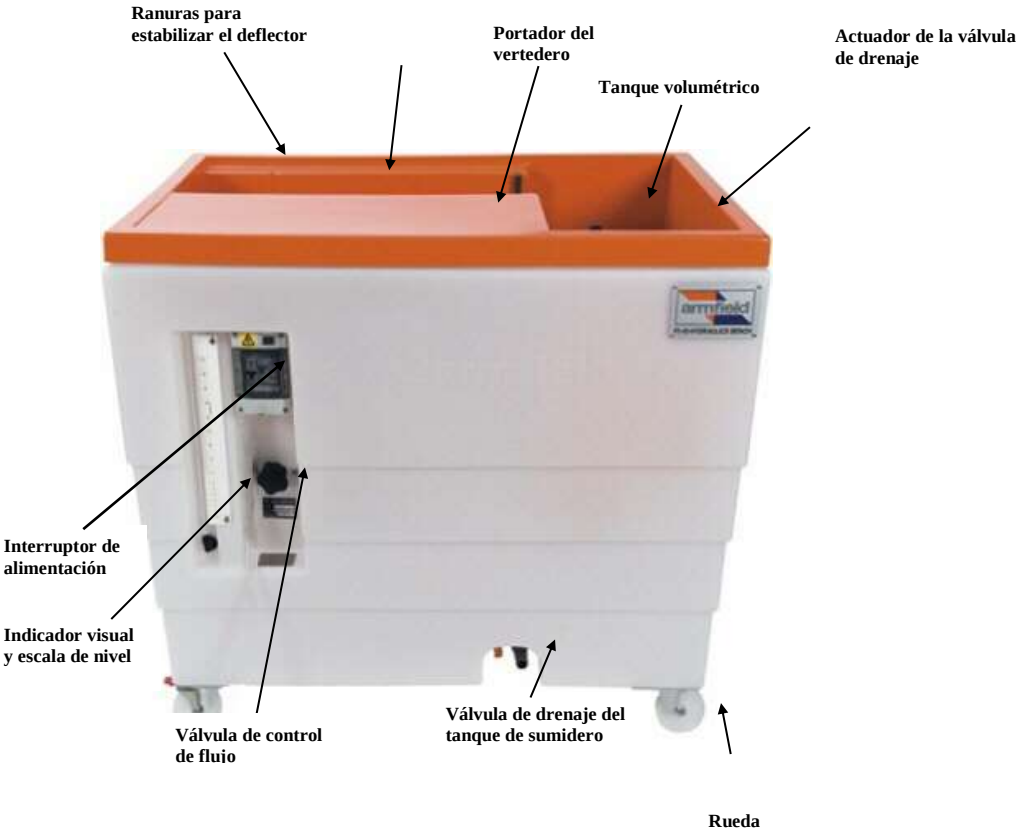
$$P_{relativa\ del\ agua} = \gamma_{agua}\, h_{agua} \quad \text{o bien} \quad P_{relativa\ del\ agua} = \rho_{agua}\, g_{local}\, h_{agua}$$

La sección de prueba consta de un venturímetro clásico en material acrílico transparente, y una serie de orificios conectados con tubos piezométricos en la pared de control que permiten la medición de la distribución de la presión estática a lo largo del conducto convergente, el cual se encuentra conectado a un tubo de presión total para pasar a través de la línea central a la sección de prueba.

El agua es alimentada mediante un conector de manguera y controlada por una válvula reguladora de flujo situada en la salida de la sección de la prueba.

El banco hidráulico de pruebas (con flujo de agua), nos permite demostrar en forma directa y también mediante el tubo vénturi (como método de medición del caudal o gasto) que es posible determinar el coeficiente de descarga.

## 2.10.2 Consideraciones generales del Banco Hidráulico F1-21




Banco hidráulico

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.

El accesorio está diseñado para colocarse en los canales laterales del canal hidráulico de sobremesa.

El medidor vénturi, el medidor de área variable y la placa de orificio se instalan en una configuración en serie para permitir la comparación directa del gasto hidráulico.

El flujo a través de la sección de prueba se regula mediante una válvula de control de flujo. Esto junto con la válvula de control del banco permite la variación de la presión estática del sistema.

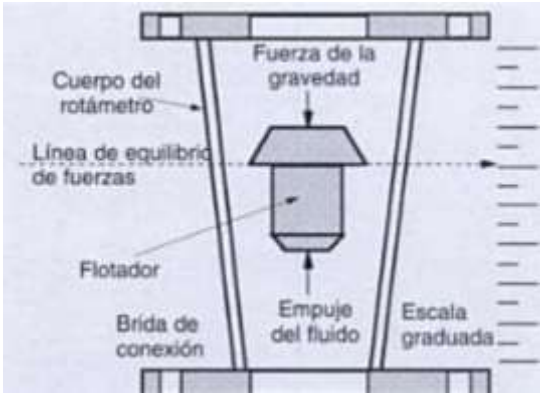
Las tomas de presión en el circuito están conectadas a un manómetro de ocho piezómetros que incorpora una válvula de entrada / salida de aire en el colector con instalaciones para conectar una bomba manual. Esto permite que los niveles en el banco de manómetros se ajusten a un nivel conveniente para adaptarse a la presión estática del sistema. Las tomas de presión para los manómetros están dispuestas para dar un conjunto de lecturas alrededor de los medidores de flujo en el sistema.

Módulo para medición de gasto hidráulico

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.

## 8.2 Principio de medición de caudal por área variable

Los medidores de área variable funcionan sobre la base de mantener una presión diferencial constante, permitiendo aumentar el área eficaz de flujo con el caudal. Existen varios tipos de medidores de orificio variable, pero el más utilizado es el que está formado por un tubo cónico de eje vertical y un flotador que se muestra en la figura.




Medidor de orificio variable o flotador

Su principio de funcionamiento se basa en este flotador que cambia de posición dentro de un tubo de área variable. El área del tubo es pequeña en la parte inferior y va aumentando hasta alcanzar la mayor sección en la parte superior. Cuando no hay flujo el flotador descansa en la parte baja del tubo, pero al pasar el fluido hace ascender el flotador de su posición de reposo, a fin de mantener la caída de presión a través del flotador en equilibrio con los efectos de empuje hidrostático y gravitatorio que actúan sobre el mismo.

El flotador, sólido, tiende a bajar debido a su peso (fuerza debida a la gravedad) y el fluido que circula de abajo hacia arriba, tiende a levantarlo por la fuerza de arrastre de éste. Además de la fuerza de arrastre, existe una fuerza que ejerce el fluido sobre el flotador, que es igual al peso del volumen del fluido que desaloja (empuje). El flotador queda en la posición de equilibrio de fuerzas, indicando en el tubo el caudal del fluido que pasa. El tubo debe estar convenientemente graduado, además de permitir la visualización del flotador. El tubo se puede graduar teniendo en cuenta que la fuerza de arrastre depende de la velocidad del fluido, y una vez que se conoce ésta, se puede obtener el caudal.

Como se puede intuir, la fuerza de arrastre depende de la viscosidad del fluido. La medida puede ser directa al estar la escala graduada en el tubo, pero también existen modelos en los que el flotador da una señal en función de su posición. El medidor más representativo de esta clase es el rotámetro, el cual opera con el mecanismo anteriormente descrito.

## 2.10.3 Características técnicas (datos del proveedor del banco hidráulico F1-21)

- Intervalo de medición de los manómetros o piezómetros de agua: 0 a 300 mm,
- Multimanómetro o piezómetros multipunto de 8 tubos,
- Diámetro mayor del tubo de vénturi = 0.03175 m
- Área de la sección transversal mayor = $7.92 \times 10^{-4}$ $m^2$
- Diámetro menor del tubo de vénturi (garganta) = 0.015 m
- Área de la sección transversal menor = $1.77 \times 10^{-4}$ $m^2$

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.

### 2.10.4 Análisis de la ecuación de gasto hidráulico aplicada al banco de pruebas F1-21

#### 2.10.4.1 De la expresión de gasto hidráulico teórico mediante el uso del venturímetro tenemos:

$$Q = C_v A_2 v_2$$

La velocidad $v_2$ en la garganta del venturímetro: $v_2 = \sqrt{\dfrac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma\left[1 - \left(\dfrac{D_2}{D_1}\right)^4\right]}}$

La cual también puede expresarse de la siguiente manera: $\gamma = \rho g$

Si $A = \dfrac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D^2 = \dfrac{4}{\pi}A$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma\left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4\right]}} = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\rho g\left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4\right]}} = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\rho g\left[1 - \left(\frac{D_2^2}{D_1^2}\right)^2\right]}} = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\rho g\left[1 - \left(\frac{\frac{4}{\pi}A_2}{\frac{4}{\pi}A_1}\right)^2\right]}}$$

Dividiendo por " $g$ "

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho\left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]}}$$

Recordando que: $P = \gamma h$ o $P = \rho g h$ hagamos las siguientes transformaciones:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho\left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]}} = \sqrt{\frac{2\rho g(h_1 - h_2)}{\rho\left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]}} = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{\left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]}}$$

Finalmente:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g\Delta h}{\left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]}}$$

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.

En donde $\Delta h = h_1 - h_2$ es la diferencia de alturas entre los dos tubos piezométricos conectados al vénturi y medidos en metros atendiendo a la unidades de la aceleración de la gravedad "g", aunque la medida original está dada en mm de agua ( $mmH_2O$ ). Finalmente obtenemos la velocidad en metros por segundo.

$$Sabemos\ que: \quad 10.33\ mH_2O = 1.033\ \frac{\overline{kg}}{cm^2}$$

$$10,330\ mmH_2O = 10,330\ \frac{\overline{kg}}{m^2}$$

$$\therefore \quad 1\ mmH_2O = 1\ \frac{\overline{kg}}{m^2}$$

Para el nivel del mar: $g = 9.81\ \frac{m}{s^2}$ y $\gamma = 1{,}000\ \frac{\overline{kg}}{m^3}$

Para la Ciudad de México: $g = 9.78\ \frac{m}{s^2}$ y $\gamma = 997\ \frac{\overline{kg}}{m^3}$

**Sustituyendo en la ecuación de velocidad $V_2$ los valores del experimento obtenidos para la Ciudad de México tenemos usando agua en el banco hidráulico F1-21:**

$$\Delta h = _____\ mmH_2O = _____\ mH_2O$$

Substituyendo en:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g\left(h_1 - h_2\right)}{\left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]}} = \sqrt{\frac{2g\,\Delta h}{\left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]}}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2\ x\ 9.78\ \frac{m}{s^2}\left(_____\ m\right)}{1 - \left(\frac{1.77\,x10^{-4}\ m^2}{7.92\,x10^{-4}\ m^2}\right)^2}} = \sqrt{\frac{_____\ \frac{m^2}{s^2}}{1 - (0.2235)^2}} = \sqrt{\frac{_____\ \frac{m^2}{s^2}}{1 - (0.04995)}} = \sqrt{\frac{_____\ \frac{m^2}{s^2}}{0.95}}$$

$$= \sqrt{_____\ \frac{m^2}{s^2}} = _____\ \frac{m}{s}$$

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.

### 2.10.4.2 Hallar el gasto hidráulico teórico mediante la expresión: $Q = C_v A_2 v_2$

En donde (como ya indicamos) 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 en laboratorios experimentales); $A_2$ es el área de la garganta del venturímetro en donde la velocidad $v_2$ es mayor.

El valor teórico del gasto hidráulico será entonces:

$$Q_T = C_v A_2 v_2 = (1)(_____\ m^2)\left(_____\ \frac{m}{s}\right) = _____\ \frac{m^3}{s} = _____\ \frac{dm^3}{s}$$

## 3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

Para realizar la práctica se emplean los siguientes equipos y materiales:

- 1 Banco hidráulico de pruebas,
- 1 Venturímetro (tubo de vénturi) y su sistema de acoplamiento,
- 1 Válvula de gasto regulable,
- 1 Cronómetro,
- 1 Probeta graduada de litro (1 $dm^3$),
- 1 Manómetro diferencial y mercurio,
- 1 Kit de mangueras y conectores.

## 4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

### 4.1 Hallar el gasto hidráulico aplicando la expresión: $Q = \frac{Volumen}{tiempo}$

Tabla 4. Resultados obtenidos directamente del experimento para calcular el gasto práctico

| Experimento | Volumen (V) [ $dm^3$ ] | Tiempo (t) [ s ] | Gasto ($Q_{real}$) [ $dm^3$/ s ] |
|---|---|---|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |

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.

## 4.2 Verificar el gasto hidráulico mediante el medidor de orificio variable o flotador

Tabla 5: Presiones obtenidas directamente en el manómetro diferencial del venturímetro

| Experimento | $P_1$ [ mmHg ] | $P_2$ [ mmHg ] | $P_1 - P_2$ [ mmHg ] | Calibración del Flotador [ lt / min ] |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

## 4.3 Hallar el gasto hidráulico teórico mediante la expresión: $Q = C_v A_2 v_2$

Tabla 6: Variables que intervienen en el cálculo del gasto teórico $Q_{teórico}$

| 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.

## 5. 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 residuales); 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).

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.

En las instalaciones de ingeniería se usan actualmente dispositivos de alta precisión que relacionan los valores teóricos calculados con las mediciones prácticas.

# 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 (5º al 9º), 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 está 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.

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 principio 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.

Cuestionario

1) Defina el concepto de gasto, flujo o caudal hidráulico y su clasificación.

Solución: 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.

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.

2) Defina el concepto de flujo laminar o estacionario.

Solución: 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 $\tau$ con la 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.

Solución: 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: $y_1 = y_2 \quad \Rightarrow \quad y_2 - y_1 = 0$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

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 a la 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.

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.

4) Describa un venturímetro o tubo de vénturi e indique su aplicación práctica.

Solución: 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 vénturi se da con el diámetro de la tubería y la garganta.

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.

Solución: Para obtener resultados adecuados el medidor vénturi 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?

Solución: 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 $F_2$.

$$Trabajo\ neto = F_1 l_1 - F_2 l_2$$

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.

7) Describa el principio de conservación de la energía en un flujo permanente de un fluido en un tubo de corriente.

Solución: 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:

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 $Ep$
5. Energía cinética $Ec$
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: $H = PV + U$

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.

$$Q + H_1 + Ep_1 + Ec_1 = W + H_2 + Ep_2 + Ec_2$$

$$Q = W + (H_2 - H_1) + (Ep_2 - Ep_1) + (Ec_2 - Ec_1)$$

$$\boxed{Q = W + \Delta H + \Delta Ep + \Delta Ec}$$

Donde todos los términos deberán estar en las mismas unidades, y cada uno queda definido de la siguiente manera:

$Q = Q_1 - Q_2$ *Calor neto en kcal o Btu*

$\frac{W}{J} = \frac{W_2 - W_1}{J}$ *Trabajo neto en kcal o Btu*

$H = PV + U$ *Entalpía en kcal o Btu*

$Ep = w\,y = m\,g\,y = \frac{m\,g\,y}{J\,g_c}$ *Energía potencial en kcal o Btu*

$Ec = \frac{m v^2}{2} = \frac{m \mathrm{v}^2}{2\,J\,g_c}$ *Energía cinética en kcal o Btu*

Sustituyendo las expresiones anteriores tenemos la ecuación de la energía dimensionalmente correcta:

$$\boxed{Q = \frac{W}{J} + \Delta H + \frac{m\,g\,(y_2 - y_1)}{J\,g_c} + \frac{m(\mathrm{v}_2^2 - \mathrm{v}_1^2)}{2\,J\,g_c}}$$

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 la dotación hidráulica o consumo diario por persona que se tiene asignada para la población de la zona metropolitana del Valle de México.

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.

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?

## 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 y autor consultado.

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.

Valera Negrete, José Pedro Agustín, Apuntes de Física General, México, Ediciones Acatlán, UNAM, primera edición, 2005.

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.

## 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 reacomodó 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 |
| **5** | Práctica 3 | Se renombra la práctica 3 de Determinación de la presión atmosférica local por Manometría. Se realizan cambios en la metodología, dicha práctica se realizaba con mercurio (Hg) y ahora se realizará con agua ($H_2O$). | 2024.08.16 |
| | Práctica 4 | Se renombra la práctica 4 Variación de presión en líquidos de por Principio de la hidrostática y principio de Arquímedes (empuje), dicha práctica se realizaba con mercurio (Hg) y ahora se realizará con agua ($H_2O$). | |
| | Prácticas 5 y Prácticas 6 | Las prácticas 5 y 6 cambiaron de orden.<br><br>Se renombra la práctica 5 Humedad relativa por Ley de Hooke y elasticidad.<br><br>Se renombra la práctica 6 Elasticidad por Humedad relativa del aire.<br><br>La anterior práctica 6 (Elasticidad) se dividió en dos secciones, quedando una parte en la práctica 5 (Ley de Hooke y elasticidad) y otra en la práctica 7 (Prueba a tensión de un especimén o barra métalica). | |

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.

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Práctica 7 | Desaparecé la práctica 7 Calorimetría y se sustituye por la práctica de Prueba a tensión de un especimén o barra métalica. | |
| | Práctica 1<br>Práctica 2<br>Práctica 9<br>Práctica 10 | Se renombra la práctica 1 Determinación de la aceleración gravitatoria local por Gravedad Terrestre Local.<br>Se renombra la práctica 2 Determinación de la densidad de diversas muestras de líquidos y sólidos por Densidad de muestras líquidas y sólidas.<br><br>Se renombra la práctica 9 Determinación de las viscosidades absoluta o dinámica y relativa o cinemática de un fluido por Viscosidades de un fluido.<br><br>Se renombra la práctica 10 Determinación del gasto hidráulico en una tubería “Medición de flujo” por Medición de flujo. | |
| 6 | Portada | Actualización por cambio de administración. | 2025.02.05 |

**HISTORIAL DE REVISIONES**

| Fecha de revisión | Responsable de realizar la revisión | Próxima fecha de revisión |
|---|---|---|
| 2015.01.12 | Ing. Omar Ulises Morales | 2015.01.12 |
| 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 |

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.

| | | |
|---|---|---|
| 2023.04.11 | Ing. Omar Ulises Morales Dávila | 2024.04.11 |
| 2024.02.16 | Ing. Omar Ulises Morales | 2025.02.10 |
| 2025.02.05 | Ing. Ricardo García Valdivia | 2026.02.13 |

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.