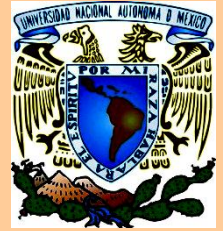


*Universidad Nacional Autónoma de México*  
*Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán*  
*Ingeniería Mecánica Eléctrica*



***MI LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS***

---

---

*Manual de Prácticas*



---

---

*M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.*

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México

2017

# ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>1. VISCOSIDAD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. LEY DE JOULE .....</b>	<b>6</b>
<b>3. LEY CERO DE LA TERMODINÁMICA .....</b>	<b>11</b>
<b>4. CARTA PSICROMÉTRICA .....</b>	<b>17</b>
<b>5. COMBUSTIÓN.....</b>	<b>26</b>
<b>6. RECONOCIMIENTO DE ACCESORIOS .....</b>	<b>32</b>
<b>7. NÚMERO DE REYNOLDS .....</b>	<b>59</b>
<b>8. PERDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS .....</b>	<b>63</b>
<b>9. TORRES DE ENFRIAMIENTO ... ..</b>	<b>69</b>
 <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	 <b>78</b>

# LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS

## PRACTICA NO. 1

### VISCOSIDAD

#### **Objetivo:**

- Determinar la viscosidad de un líquido.
- Analizar los métodos para calcularla
- Entender cuales son variables intensivas y variables extensivas

#### **Introducción:**

Las variables termodinámicas se pueden clasificar en extensivas e intensivas. Las variables extensivas se caracterizan por su aditividad, en el sentido de que su valor en el sistema es la suma de sus valores en cualquier conjunto de subsistemas en que el sistema se divida. Son pues variables globales. El volumen y la cantidad de materia son ejemplos de variables extensivas

Las variables intensivas son variables locales, que se caracterizan por estar definidas en cada pequeña región del sistema. En un sistema en equilibrio, las variables intensivas tienen el mismo valor en todo el espacio de una misma fase. La temperatura y la presión son ejemplos de variables intensivas. Las variables intensivas, como la temperatura, T o la presión P, que caracterizan el equilibrio termodinámico, tienen el mismo valor en todo el sistema, con independencia del número de fases que existan en el mismo.

En el caso de sustancias puras es frecuente expresar las variables extensivas dividiéndolas por el número de moles. Se denominan entonces variables molares. Si se dividen las variables extensivas por la masa, se obtienen las denominadas variables específicas.

La densidad o densidad absoluta es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ), aunque frecuentemente se expresa en  $\text{g/cm}^3$ . La densidad es una magnitud intensiva

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

Donde:

$\rho$  es la densidad,

$m$  es la masa y

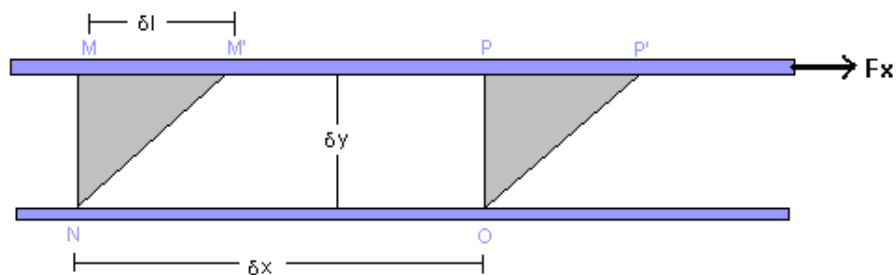
$V$  es el volumen del cuerpo

### Densidad relativa

La densidad relativa de una sustancia es la relación existente entre su densidad y la de otra sustancia de referencia; en consecuencia, es una magnitud adimensional (sin unidades)

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_0}$$

**Viscosidad**, propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza. Los fluidos de alta viscosidad presentan una cierta resistencia a fluir; los fluidos de baja viscosidad fluyen con facilidad. La fuerza con la que una capa de fluido en movimiento arrastra consigo a las capas adyacentes de fluido determina su viscosidad, que se mide con un recipiente (viscosímetro) que tiene un orificio de tamaño conocido en el fondo. La velocidad con la que el fluido sale por el orificio es una medida de su viscosidad. En realidad todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones.



*Figura 1.1. Deformación de un elemento de fluido*

Los materiales viscosos tienen la característica de ser pegajosos, como los aceites o la miel. Si se vuelcan, no se derraman fácilmente, sino que se pegotean. Lo contrario ocurre con el agua, que tiene poca viscosidad. La sangre también posee poca viscosidad, pero más que el agua. La unidad de viscosidad es el Poise.

Coeficiente de viscosidad dinámico, designado como  $\eta$  o  $\mu$ . En unidades en el SI:

$$[\mu] = [\text{Pa}\cdot\text{s}] = [\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}] ; \text{ otras unidades:}$$

$$1 \text{ Poise} = 1 [\text{P}] = 10^{-1} [\text{Pa}\cdot\text{s}] = [10^{-1} \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}]$$

Gas (a 0 °C): ☒	Viscosidad dinámica [μPa·s] ☒
Hidrógeno	8,4
Aire	17,4
Xenón	21,2
Agua (20°C)	1002

Coeficiente de viscosidad cinemático, designado como  $\nu$ , y que resulta ser igual al cociente del coeficiente de viscosidad dinámica entre la densidad  $\nu = \mu/\rho$ . (En unidades en el SI:  $[\nu] = [\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}]$ ). En el sistema cegesimal es el Stoke(St).

Se habla de viscosidad ISO para aceites industriales y viscosidad SAE para aceites de uso automotriz. Los términos de viscosidad ISO y SAE no implican ninguna combinación de aditivos ni propósito específico. Solamente refieren a la viscosidad. A veces se utiliza las medidas de viscosidad SUS (SSU), Redwood, Engler, e otros. Estos sistemas de medición de viscosidad pueden ser convertidos al cSt por formulas matemáticas.

## Material y equipo

- Viscosímetro Saybolt
- Termómetro de Hg.
- Termómetro de cocinero
- Resistencia eléctrica
- Cronometro
- Matraz graduado
- Aceite comestible (puede ser de uso automotriz)
- Vaso de precipitados

## Desarrollo

1. Con ayuda del vaso de precipitados agregue agua al viscosímetro (aproximadamente hasta el cambio de diámetros en los vasos de aluminio).
2. Agregue el aceite al vaso de aluminio (debe usarse aquel en donde se tiene el barreno más grande en el fondo del mismo).
3. Con ayuda del termómetro mida la temperatura del aceite.
4. Quite con mucho cuidado el tapón de corcho y viértalo en el matraz hasta que escurra una cantidad de 60 ml (por norma) y con ayuda del cronometro tome el tiempo que tarda este proceso.
5. Coloque el corcho y vierta nuevamente el aceite al vaso de aluminio
6. Conecte la resistencia eléctrica y caliente el agua hasta que ésta y el aceite alcancen una temperatura de 50°C.
7. Repita los pasos 4 y 5.
8. Nuevamente conecte la resistencia eléctrica y caliente el agua hasta que ésta y el aceite alcancen una temperatura de 70°C
9. Repita los pasos 4 y 5.

## CUESTIONARIO.

- 1.- ¿Qué se entiende por variable intensiva y por variable extensiva?
- 2.- ¿Qué método usaría para medir la densidad de un sólido irregular pequeño, por ejemplo, una piedra?
- 3.- ¿Qué relaciones existen entre las viscosidades absoluta y relativa y cuales son las unidades en el sistema métrico en que se reporta cada una de ellas?
- 4.- ¿Qué son los grados API y para que sustancias se utilizan principalmente?
- 5.- Defina los conceptos de peso específico, gravedad específica y densidad
- 6.- Describa los aparatos mas utilizados para medir la viscosidad de un líquido
- 7.- Explique el funcionamiento del viscosímetro Saybolt Universal
- 8.- ¿Qué masa tendrá una sustancia que tiene una densidad de  $53.2 \text{ kg/m}^3$  si ocupa un volumen de  $35 \text{ m}^3$ ?
- 9.- En una fábrica de cemento polvoriento e insalubre había  $2.6 \times 10^9$  partículas/m<sup>3</sup> ( $\rho_{\text{rel}} = 3$ ), considerando que las partículas son esferas de 2 micras de diámetro determine la masa del polvo:

- a) En un cuarto de 20x15x8 m
- b) El inhalado en cada respiración promedio de 400 cm<sup>3</sup> en volumen.

# LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS

## PRACTICA NO. 2

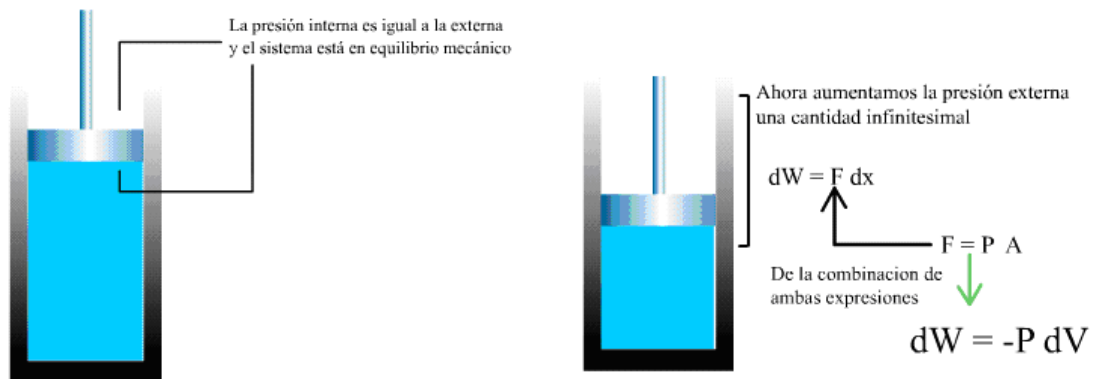
### LEY DE JOULE

#### Objetivo:

- Revisar los conceptos de trabajo, calor, energía y Primera Ley de la Termodinámica.

#### Introducción:

El trabajo en termodinámica se define de la misma forma que en mecánica clásica: Cuando una parte del medio ejerce una fuerza sobre el sistema y este se mueve una distancia  $dx$  desde el punto de aplicación de la fuerza, entonces el medio ha realizado un trabajo sobre el sistema  $dW = F dx$ ,  $F$  puede ser una fuerza mecánica, eléctrica o magnética, figura 2.1.



*Figura 2.1. Realización de trabajo en un sistema*

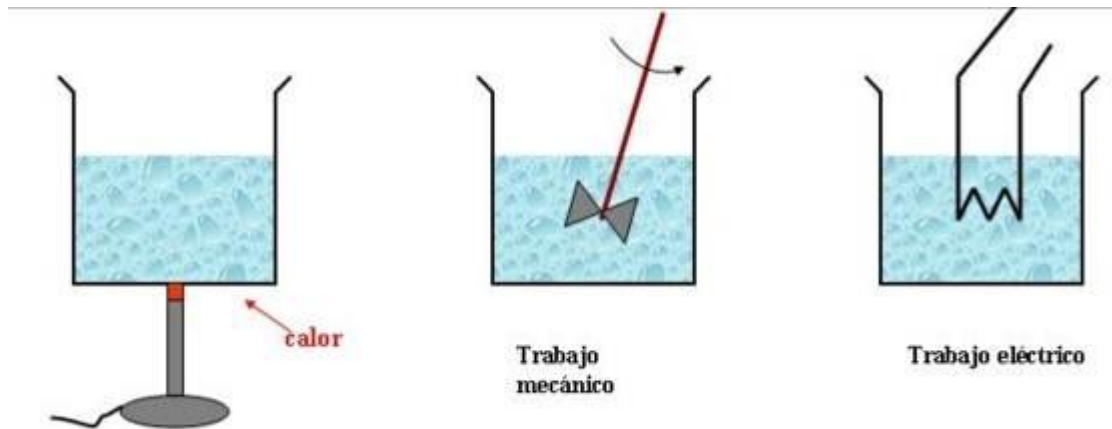
El calor representa la cantidad de energía que un cuerpo transfiere a otro como consecuencia de una diferencia de temperatura. Aun cuando no sea posible determinar el contenido total de energía calorífica de un cuerpo, puede medirse la cantidad que se toma o se cede al ponerlo en contacto con otro a diferente temperatura. Esta cantidad de energía en tránsito de los cuerpos de mayor temperatura a los de menor temperatura es lo que se entiende por calor.



Un sistema termodinámico posee una cierta energía que llamamos energía interna ( $U$ ), debida a la propia constitución de la materia (enlaces de la moléculas, interacciones entre ellas, choques térmicos....). Por lo tanto, la energía total de un sistema es la suma de su energía interna, su energía potencial, su energía cinética, y la debida al hecho de encontrarse sometido a la acción de cualquier campo. (No obstante consideraremos sistemas sencillos que no se encuentran sometidos a ningún campo externo, ni siquiera el gravitatorio).

Puesto que la energía interna del sistema se debe a su propia naturaleza, a las partículas que lo constituyen y la interacción entre ellas, la energía interna es una propiedad extensiva del sistema. Sus unidades son unidades de energía, el joule.

La energía interna de un sistema se puede modificar de varias maneras equivalentes, realizando un trabajo o transfiriendo energía en forma de calor como se muestra en la figura 2.2.



*Figura 2.2. Calor y trabajo son formas equivalentes de variar la energía del sistema termodinámico.*

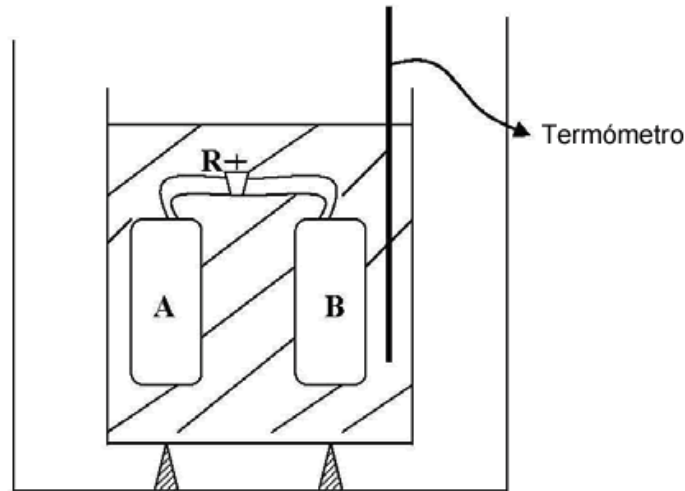
Si se hace variar la energía interna del sistema, la primera ley de la termodinámica dice, que esta variación viene acompañada por la misma variación de energía, pero de signo contrario en los alrededores. De modo que la energía total del sistema más el entorno, permanece constante. **La energía del Universo permanece constante. La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma.**

La forma de expresar esta ley, centrándonos en el estudio del sistema, es:

$$\Delta U = Q + W$$

En el año 1844, Joule efectuó experiencias con los gases dejándolos expandir en el vacío.

El experimento consistió en colocar dos recipientes A y B, que pueden comunicarse entre sí operando el robinete R, sumergidos en un calorímetro de agua, cuya temperatura puede medirse con el termómetro t.



Se inicia el experimento colocando una masa de gas en A y haciendo el vacío en B. Todo el conjunto tendrá la temperatura del agua del calorímetro. Abriendo el robinete R, el gas encerrado en A se expande hasta ocupar el volumen de los recipientes A y B. Midiendo la temperatura del agua del calorímetro, se puede constatar que la temperatura no ha variado. Esto indica que el calor intercambiado entre el gas y el agua es cero  $Q = 0$ . Como el gas se expande en el vacío, es decir que no lo hace contra fuerzas exteriores, y además las paredes del recipiente A y B son rígidas, el trabajo de expansión  $W_e$  también será cero,  $W_e = 0$ .

Como el proceso debe cumplir el primer principio de la Termodinámica podemos aplicar la ecuación:  $Q = \Delta U + W_e$  y teniendo en cuenta que tanto  $Q$  como  $W_e$  son nulos:

$\Delta U = 0$  es decir que no hay variación de energía interna en el proceso.

Caloría es la cantidad de energía térmica necesaria para elevar  $1^\circ\text{C}$ , 1 gramo de agua desde una temperatura de  $14.5^\circ\text{C}$

Joule demostró que no sólo la energía térmica permite elevar la temperatura, sino cualquier otra forma de energía suministrada a un sistema puede realizar el mismo efecto.

En esta práctica se mide el equivalente eléctrico, transformando la energía eléctrica en térmica.

Si se introduce una resistencia eléctrica en un recipiente con una cierta cantidad de agua, se sabe que la potencia consumida por la resistencia es:

$$\text{Pot} = V \cdot I$$

De acuerdo a la Ley de Ohm:

$$V = IR \Rightarrow I = \frac{V}{R}$$

Por lo tanto:

$$\text{Pot} = \frac{V^2}{R}$$

La energía eléctrica  $W$  suministrada al calorímetro al cabo de un tiempo  $t$ , es:

$$W = \frac{V^2}{R} t \quad [\text{Joules}]$$

Donde:

$V$  = Voltaje de línea,

$R$  = resistencia del calorímetro en ohms,

$t$  = tiempo en segundos.

Esta energía se transforma en calor.

Por otro lado, si la temperatura inicial es  $T_1$  y la final  $T_2$ , entonces:

$$Q = c \cdot m (T_2 - T_1) \quad [\text{cal}]$$

Donde:

$Q$  es la energía térmica suministrada al agua,

$c$  es el calor específico del agua (1 cal/g K),

$m$  la masa en gramos del agua

De ese modo el equivalente,  $J_e$ , del calor, es:

$$J_e = \frac{W}{Q}$$

### Material y equipo.

- Calorímetro
- Termómetro de mercurio
- Vaso de precipitados
- Multímetro
- Cronometro

**Procedimiento.**

1. Con ayuda del multímetro mida el voltaje de línea y el valor de la resistencia del calorímetro.
2. Agregue 1500 ml de agua al calorímetro (recuerde que para los cálculos debe considerarse la masa equivalente del mismo)
3. Mida la temperatura inicial del líquido.
4. Conecte el calorímetro y deje calentar el líquido durante 7 minutos.
5. Apague el calorímetro
6. Mida la temperatura final del líquido
7. Calcule el trabajo realizado  $W$  y el calor suministrado  $Q$
8. Calcule el equivalente eléctrico del calor  $J_E$

**CUESTIONARIO.**

- 1.- Defina los conceptos de calor y trabajo
- 2.- ¿Qué es una función de trayectoria y una propiedad de estado? Dé un ejemplo de cada una.
- 3.- ¿Qué es un proceso reversible y que un proceso irreversible?
- 4.- ¿Cómo definiría UD. la eficiencia de un proceso y por qué?
- 5.- ¿Bajo que condiciones el calor puede ser positivo o negativo para un sistema?
- 6.- ¿Qué dice de manera general la Primera Ley de la Termodinámica?
- 7.- ¿A qué se debe que un trabajo pueda ser de expansión o de compresión para una misma cantidad de gas y una temperatura constante?
- 8.- Por una secadora de pelo circula una corriente de 10 A y tiene una bobina calefactora con una resistencia igual a 22  $\Omega$ . Calcule el calor disipado en 2 minutos. Si el costo de la energía es de \$2.00 el kWh ¿Cuánto cuesta la electricidad que usó en esta aplicación?

# LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS

## PRACTICA NO. 3

### LEY CERO DE LA TERMODINÁMICA

#### Objetivo:

- Revisar conceptos de Entalpía y calor específico Cp.
- Determinar entalpía de fusión
- Establecer la Ley Cero de la Termodinámica

#### Introducción

La **Entalpía** también llamada contenido de calor, y calculada en joules en el sistema internacional de unidades o también en kcal o, si no, dentro del sistema anglo: "BTU", es una función de estado, (lo que quiere decir que, sólo depende de los estados inicial y final) que se define como la suma de la energía interna de un sistema termodinámico y el producto de su volumen por su presión.

La entalpía total de un sistema *no* puede ser medida directamente, al igual que la energía interna, en cambio, la variación de entalpía de un sistema sí puede ser medida experimentalmente. El cambio de la entalpía del sistema causado por un proceso llevado a cabo a presión constante, es igual al calor absorbido por el sistema durante dicho proceso.

La entalpía (H) es la suma de la energía interna (U), energía que posee una sustancia debida al movimiento y posición de sus partículas a nivel atómico, y la energía mecánica asociada a la presión (p).

$$H = U + pV$$

La mayoría de los procesos se realizan a presión constante, por lo que resulta adecuado definir una nueva función de estado, la entalpía (H), que se define según la ecuación;

$$H \equiv U + PV$$

Donde:

- *H* es la entalpía (en joules).
- *U* es la energía interna (en joules).

- $p$  es la presión del sistema (en pascales).
- $V$  es el volumen del sistema (en metros cúbicos).

De la definición se deduce que sus unidades son unidades de energía, el Julio. La entalpía es una propiedad extensiva del sistema, puesto que la energía interna y el volumen lo son. La entalpía es una función de estado, y como tal depende de la  $P$  y la  $T$ , su variación sólo depende del estado inicial y final, y no de la trayectoria seguida por el sistema en el proceso termodinámico.

$$\Delta H = H_F - H_I$$

**Según el Primer Principio en forma diferencial:**

$$dU = q + w = q - P_{\text{ext}} dV$$

- si el proceso ocurre a **V constante**

$$dU = q_v$$

$$\Delta U = Q_v$$

- si el proceso ocurre a **P constante**

$$\Delta U = Q_p - P_{\text{ext}}(V_2 - V_1)$$

$$Q_p = (U_2 - U_1) + P_{\text{ext}}(V_2 - V_1) = (U_2 + PV_2) - (U_1 + PV_1) = H_2 - H_1 = \Delta H$$

*Luego, la variación de entalpía para un sistema que realiza un proceso a presión constante, es el calor absorbido o cedido por el sistema.*

**Calor específico:** es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad (kelvin o grado Celsius). En general, el valor del calor específico depende de dicha temperatura inicial. Se le representa con la letra  $c$  (minúscula).

Como el calor no es una función de estado, habrá que definir que tipo de proceso se realiza cuando se quiera saber que transferencia de energía en forma de calor es necesaria para variar la temperatura del sistema.

- Si el proceso se realiza a **presión constante** se define la **capacidad calorífica a presión constante** como:

$$C_p = \frac{q_p}{dT}$$

- Si el proceso se realiza a **volumen constante** se define la **capacidad calorífica a volumen constante** como:

$$C_v = \frac{q_v}{dT}$$

Puesto que:

$$Q_v = \Delta U \quad \text{y} \quad Q_p = \Delta H$$

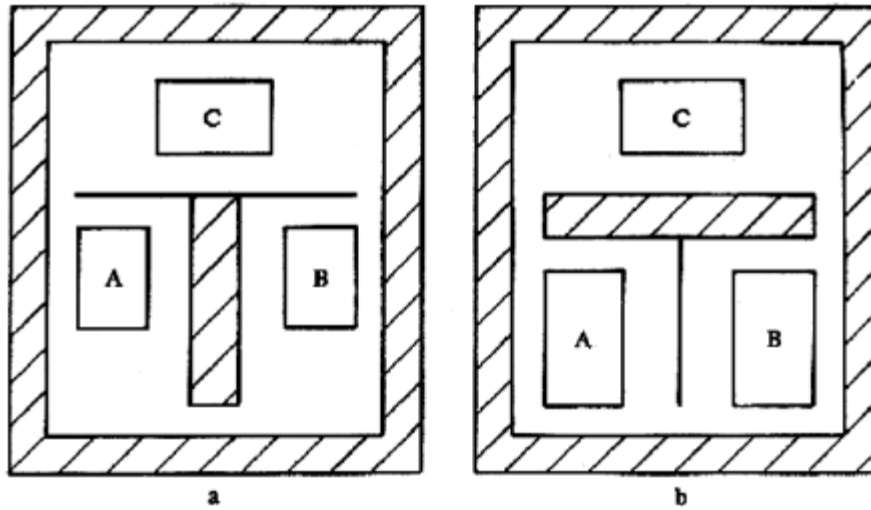
Se tiene que:

$$C_v = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_v \quad \text{y} \quad C_p = \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_p$$

**Entalpía de fusión:** o calor de fusión es la cantidad de energía necesaria para hacer que un mol de un elemento que se encuentre en su punto de fusión pase del estado sólido al líquido, a presión constante. Cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno. Es una magnitud de termodinámica (H), cantidad de energía que se puede intercambiar. Unidades: kJ/mol

**Ley cero de la termodinámica:** La Ley cero de la termodinámica dice que si se tienen dos cuerpos llamados A y B, con diferente temperatura uno de otro, y los ponemos en contacto, en un tiempo determinado t, estos alcanzarán la misma temperatura, es decir, tendrán ambos la misma temperatura. Si luego un tercer cuerpo, que llamaremos C se pone en contacto con A y B, también alcanzará la misma temperatura y, por lo tanto, A, B y C tendrán la misma temperatura mientras estén en contacto.

De este principio se puede inducir el de temperatura, la cual es una condición que cada cuerpo tiene y que el hombre ha aprendido a medir mediante sistemas arbitrarios y escalas de referencia (escalas termométricas).



*Figura 3.1. Ley Cero de la termodinámica*

Se define calor específico  $c$  como la cantidad de calor que hay que proporcionar a un gramo de sustancia para que eleve su temperatura en un grado centígrado. En el caso particular del agua  $c$  vale  $1 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$  ó  $4186 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{K})$ .

En calorimetría se utiliza el calorímetro para aislar los materiales que serán puestos en contacto térmico y al medir masas y cambios de temperatura se puede determinar el calor específico de un material. Partiendo de un análisis de las transferencias de energía en forma de calor que se presentan dentro del calorímetro, se puede determinar el calor específico. Por ejemplo si en este proceso están involucrados dos materiales  $a$  y  $b$ , y si la energía en forma de calor que transfiere  $a$  es completamente absorbida por  $b$ , entonces:

$$\text{Energía cedida por } a = \text{Energía absorbida por } b$$

Relación que se puede expresar como:

$$Q_{\text{agua}} = Q_{\text{metal}}$$

Por lo tanto:

$$m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot (T_{\text{final}} - T_{\text{equilibrio}}) = m_{\text{metal}} \cdot c_{\text{metal}} \cdot (T_{\text{equilibrio}} - T_{\text{inicial}})$$

Despejando el calor específico del metal se obtiene:



$$c_{metal} = \frac{(m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot (T_{final} - T_{equilibrio}))}{m_{metal} (T_{equilibrio} - T_{inicial})}$$

Donde:

m= masa del agua en gramos

m= masa del metal en gramos

T<sub>final</sub>= temperatura a la que se calienta el agua

T<sub>inicial</sub>= temperatura del metal (ambiente)

T<sub>equilibrio</sub>= Temperatura que alcanza el agua después de introducir el metal

## Material y equipo

- Calorímetro
- Termómetro de mercurio
- Vaso de precipitados
- Cronometro
- Pieza de acero
- Pieza de aluminio
- Pieza de bronce.

## Procedimiento

1. Pese cada una de las piezas de metal proporcionadas
2. Obtenga su temperatura (puede considerarse igual a la temperatura ambiente).
3. Agregue al calorímetro 2000 ml de agua (no olvide considerar la masa equivalente del mismo)
4. Caliente el agua a una temperatura de 70°C
5. Desconecte el calorímetro y con mucho cuidado introduzca una de las piezas de metal, como es de esperar, el metal absorbe el calor del agua y la temperatura desciende, debiéndose medir la temperatura cuando se haya estabilizado (temperatura de equilibrio)
6. Repita el paso anterior para las otras dos piezas de metal proporcionadas.

## **CUESTIONARIO.**

- 1.- ¿Qué es la entalpía y por qué se dice que es una función de estado?
- 2.- Calcule el calor específico de cada uno de los metales
- 3.- Compare el valor obtenido con el que aparece en la bibliografía especializada
- 4.- ¿Por qué no cambia la temperatura durante un cambio de estado? Explique brevemente.
- 5.- ¿En qué consiste la Ley Cero de la Termodinámica y por qué cree que es útil?

# LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS

## PRACTICA NO. 4

### CARTA PSICROMÉTRICA

#### **Objetivo:**

- El alumno será capaz de manejar un diagrama psicrométrico, como un auxiliar para diversos cálculos que se utilizan en instalaciones de aire acondicionado.

#### **Introducción.**

Se denomina **aire** a la mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre, que permanecen alrededor de la Tierra por la acción de la fuerza de gravedad. El aire es esencial para la vida en el planeta, es particularmente delicado, fino y etéreo, y si está limpio transparente en las distancias cortas y medias. El aire está compuesto principalmente por nitrógeno, oxígeno y argón. El resto de los componentes, entre los cuales se encuentran los gases de efecto invernadero, son el vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxido nítrico y ozono, entre otros. Otro tipo de sustancias pueden estar presente en pequeñas cantidades como polvo, polen y esporas, y Ceniza volcánica. También es detectable la presencia de elementos vertidos a la atmósfera en forma de contaminante como el cloro y sus compuestos, flúor, mercurio y compuestos de azufre.

En la tabla 4.1 se presenta la composición química de la atmósfera por volumen.

**Tabla 4.1. Composición de la atmósfera libre de vapor de agua, por volumen**

Gas	Volumen (%)
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	78.084%
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	20.946%
Argón (Ar)	0.9340%
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0.039%
Neón (Ne)	0.001818%
Helio (He)	0.000524%
Metano (CH <sub>4</sub> )	0.000179%
Criptón (Kr)	0.000114%
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	0.000055%
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	0.00003%
Monóxido de carbono (CO)	0.00001%
Xenón (Xe)	0.000009%
Ozono (O <sub>3</sub> )	0 a 7×10 <sup>-6</sup> %
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	0.000002%
Yodo (I <sub>2</sub> )	0.000001%
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	trazas
<b>No incluido en aire seco:</b>	
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	~0,40% en capas altas de la atmósfera, normalmente 1% a 4% en la superficie

Así, la **psicrometría** se define como la medición del contenido de humedad del aire.

Ampliando la definición a términos más técnicos, psicrometría es la ciencia que involucra las propiedades termodinámicas del aire húmedo, y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el confort humano. Ampliando aún más, incluiríamos el método de controlar las propiedades térmicas del aire húmedo. Lo anterior, se puede llevar a cabo a través del uso de tablas psicrométricas o de la carta psicrométrica.

En una carta psicrométrica se encuentran todas las propiedades del aire, de las cuales las de mayor importancia son las siguientes:

1. Temperatura de bulbo seco (*bs*).
2. Temperatura de bulbo húmedo (*bh*).
3. Temperatura de punto de rocío (*pr*).
4. Humedad relativa (*hr*).
5. Humedad absoluta (*ha*).
6. Entalpía (*h*).
7. Volumen específico.

### **Temperatura de Bulbo Seco**

El confort humano y la salud, dependen grandemente de la temperatura del aire. En el acondicionamiento de aire, la temperatura del aire indicada es normalmente la temperatura de «bulbo seco» (*bs*), tomada con el elemento sensor del termómetro en una condición seca.

Es la temperatura medida por termómetros ordinarios en casa.

### **Temperatura de Bulbo Húmedo**

Básicamente, un termómetro de bulbo húmedo no es diferente de un termómetro ordinario, excepto que tiene una pequeña mecha o pedazo de tela alrededor del bulbo. Si esta mecha se humedece con agua limpia, la evaporación de esta agua disminuirá la lectura (temperatura) del termómetro. Esta temperatura se conoce como de «bulbo húmedo» (*bh*). Si el aire estuviese saturado con humedad (100% *hr*), la lectura de la temperatura en el termómetro de bulbo húmedo, sería la misma que la del termómetro de bulbo seco. Sin embargo, la *hr* normalmente es menor de 100% y el aire está parcialmente seco, por lo que algo de la humedad de la mecha se evapora hacia el aire. Esta evaporación de la humedad de la mecha, provoca que la mecha y el bulbo del termómetro se enfríen, provocando una temperatura más baja que la del bulbo seco.

Mientras más seco esté el aire, más rápida será la evaporación de la humedad de la mecha. Así que, la lectura de la temperatura del bulbo húmedo, varía de acuerdo a qué tan seco esté el aire.

La precisión de la lectura del bulbo húmedo, depende de qué tan rápido pase el aire sobre el bulbo. Las velocidades hasta de 1,500 m/min (90 km/h), son mejores pero peligrosas, si el termómetro se mueve a esta velocidad. También, el bulbo húmedo deberá protegerse de superficies que radien calor (sol, radiadores, calentadores eléctricos, calderas, etc.). Se pueden tener errores hasta del 15% si el movimiento de aire es muy lento, o si hay mucha radiación presente.

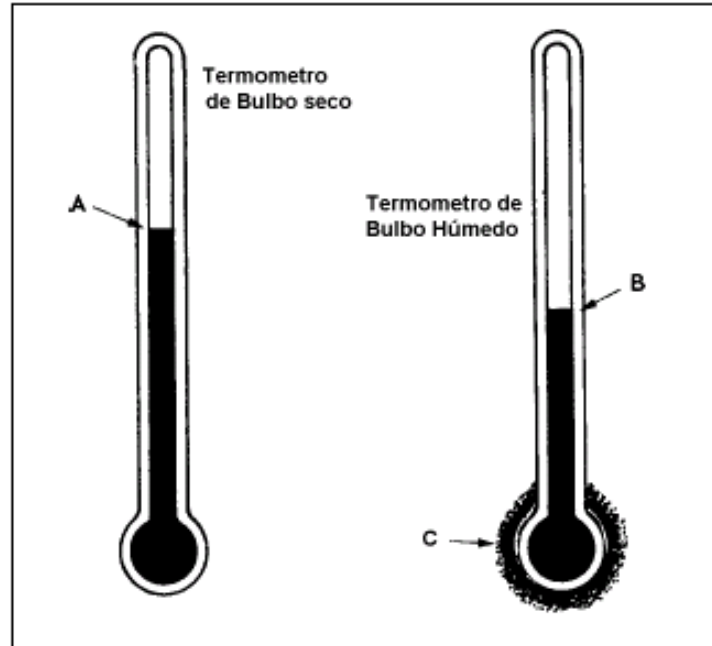


Tabla 4.1. Termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo.

**Figura 4.1. Termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo**

### El Punto de Rocío

Es el valor al que debe descender la temperatura del aire para que el vapor de agua existente comience a condensarse.

El punto de rocío puede calcularse directamente con los datos de temperatura y humedad relativa existentes en un momento dado. Esos datos pueden provenir de los informes meteorológicos emitidos radialmente, o registrados por instrumental.

La capacidad de la atmósfera para recibir vapor de agua se relaciona con los conceptos de humedad absoluta y humedad relativa:

- **humedad absoluta**

Es la cantidad de agua presente en el aire por unidad de masa de aire seco. Es un concepto que no influye en la comodidad humana.

- **humedad relativa**

Es el cociente en la humedad absoluta y *la cantidad máxima de agua que admite el aire por unidad de volumen*. Se mide en tantos por ciento y está normalizada de forma que la humedad relativa máxima posible es el 100%.

Una humedad relativa del 100% significa un ambiente en el que no cabe más agua. El cuerpo humano no puede transpirar y la sensación de calor puede llegar a ser asfixiante. Corresponde a un ambiente húmedo. Una humedad del 0% corresponde a un ambiente seco. Se transpira con facilidad.

Cuando la humedad alcanza el valor del 100% se produce fenómenos de condensación que observamos en la vida diaria. El fenómeno del rocío en las mañanas de invierno se debe a que la humedad relativa del aire ha alcanzado el 100% y el aire no admite ya más agua. Entonces el agua condensa en forma líquida en superficie metálicas, hojas, flores etc. También se alcanza el 100% de humedad cuando usamos agua muy caliente en un recinto cerrado como por ejemplo un cuarto de baño. El agua caliente se evapora fácilmente y el aire de la habitación alcanza con rapidez el 100% de humedad. El resultado es de todos conocidos... se empañan (se humedecen) los espejos del lavabo.

Estos dos fenómenos son diferentes pero ilustran las dos formas en que puede aumentar la humedad de un recinto:

- Por disminución de la temperatura ambiental
- Por aumento de la cantidad de agua en el ambiente

El primero de los fenómenos se relaciona con el concepto de *temperatura de rocío*. Si se mantiene la cantidad de agua del ambiente constante y se disminuye la temperatura llega un momento en que se alcanza una humedad relativa del 100%. Ese momento es el *punto de rocío* y su temperatura la *temperatura de rocío*. Esto es justamente lo que ocurre en las madrugadas de invierno. La temperatura desciende tanto que llega al punto de rocío, en ese momento la humedad relativa del 100% hace que el agua se condense en las superficies.

Cualquier objeto de una habitación que tenga una temperatura menor que la temperatura de rocío presenta condensación en sus paredes por este fenómeno. Así ocurre por ejemplo cuando sacamos una lata de refresco de un refrigerador y la colocamos en una mesa. Su temperatura es, seguramente, menor que la de rocío y observamos como la lata se empaña de humedad.

Las personas que usan lentes conocen perfectamente qué ocurre cuando, en una fría mañana de invierno, se introducen súbitamente en un recinto cerrado y caliente (por ejemplo en un autobús).

La temperatura de los cristales de las gafas es muy baja y menor que la temperatura de rocío del recinto. Los cristales se empañan rápidamente hasta que se calientan y se sitúan a la temperatura del recinto.

### **Aire acondicionado**

Un sistema de aire acondicionado, es aquel equipo, que procesa el aire ambiente, enfriándolo, limpiándolo, controlando de manera simultánea, la humedad del mismo, al momento de salir por el aire acondicionado. Todo este proceso se lleva a cabo, por la circulación del aire. Ingresando en la recámara del aire acondicionado y luego expulsándolo. Aquello se logra, por medio de un termómetro, el que se regula con un termostato, que es manejado de manera manual por su dueño. Con lo cual, este indicará, a que temperatura desea que salga el aire refrigerado. Todo este circuito, funciona por medio de un condensador, donde se encuentran diversos tubos, los cuales son enfriados por medio de un líquido refrigerante. Como se mencionó anteriormente, el aire ingresa a la recámara central, es enfriado y luego expulsado. Eso sí, parte del aire que ingresa, también es expulsado por la parte de atrás del aire acondicionado. Por lo mismo, es que cuando se instala uno, se puede observar que parte de este, da hacia el exterior del edificio u casa.

Desde el punto de vista constructivo, las máquinas para aire acondicionado pueden clasificarse en:

1. Máquinas de pared
2. Máquinas directamente enfriadoras del aire, que luego es llevado frío y retornado caliente por conductos a la unidad que está colocada en el exterior.
3. Máquinas que están divididas en dos unidades, una exterior que produce y bombea el refrigerante líquido a otra interior conocida como consola donde se evapora el refrigerante y se intercambia el calor con el aire del local.
4. Máquinas exteriores, enfriadoras de agua, esta agua luego se bombea por tuberías y se usa para enfriar el aire localmente en intercambiadores de calor distribuidos por toda la edificación.

Cada una de estas máquinas de aire acondicionado encuentran su campo de aplicación en dependencia del volumen y tipo de edificación a servir, así por ejemplo, las máquinas de pared están reservadas al enfriamiento de un solo local, si además este tiene, alguna pared que comunique al exterior, mientras que las máquinas de los casos 2 y 3 se usan para acondicionar el aire de toda una vivienda o una planta completa de un edificio de pocos pisos de altura. Los sistemas por enfriamiento de agua se reservan para edificios de muchos pisos donde el relativo



poco diámetro de los conductos de agua, así como su facilidad de bombeo, hace más viable el proyecto.

Las partes más importantes de una unidad de aire acondicionado son

### **Condensador**

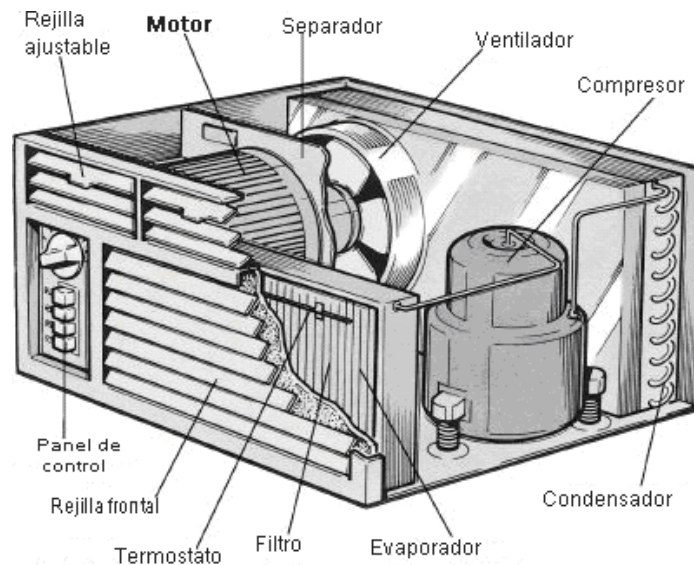
El condensador ocupa unas pocas partes. Es un lugar exterior, y se debe instalar en un lugar fresco y sombreado. Si no, tendrá que trabajar más duro y sus costos de electricidad aumentarán.

### **Compresor de aire**

Las bombas de compresor de aire del gas refrigerante de los componentes internos del edificio en el compresor fuera de la casa. A medida que aumenta la presión, también lo hace la temperatura, por lo que el refrigerante es enviado a la bobina de condensación.

### **Bobina de condensación**

Esta parte permite que el gas se expanda y enfriarse. El exceso de calor se sopla a través de las bobinas al exterior por un ventilador. El refrigerante está en constante movimiento a través de las bobinas.



*Figura 4.2. Componentes de un sistema de aire acondicionado*

### **Ventilador**

Esta es una de las partes más importantes del sistema de aire acondicionado. Sin ella, el aire de su habitación se mantiene caliente. Si usted ve que hay algunos problemas con el acondicionador, primero debe echar un vistazo al ventilador.

**Cinturones**

Los cinturones deben ser controlados regularmente. Si están sueltos, entonces se necesitará más tiempo para que el aire fresco. Si ves que se están agrietados, debe reemplazarlos.

**Filtros**

Sin estos elementos, los alérgenos al aire libre puede contaminar su hogar. Esto es muy peligroso para aquellos que sufren de alergias. También hacen su hogar más saludable al mantener la humedad en la bahía. Ellos necesitan ser limpiados constantemente y reemplazada una vez un par de meses.

**Termostato**

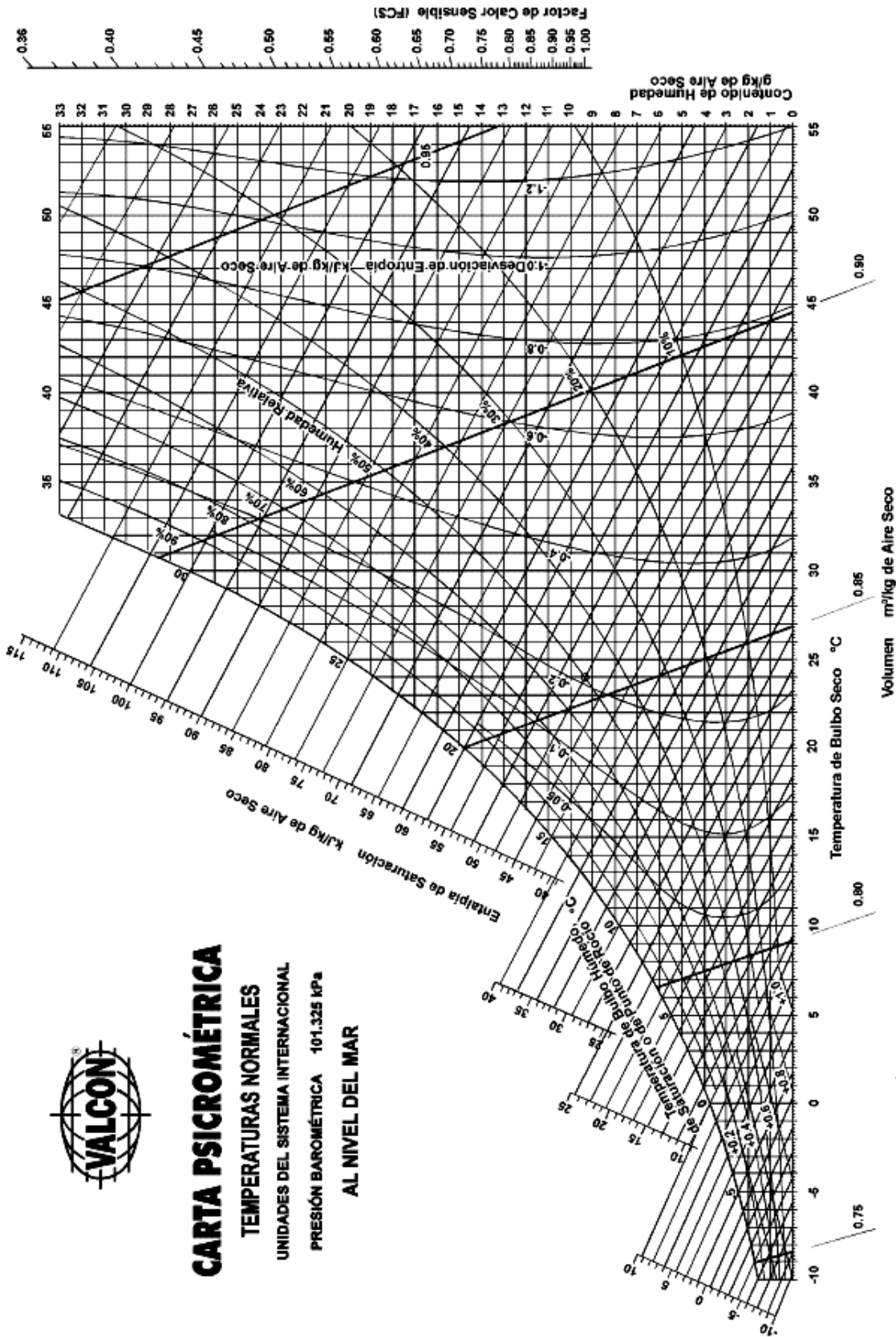
Esta parte le permite elegir la temperatura de su deseo. Asegúrese de que muestra la temperatura interior. Esto le ayudará a ver la velocidad del aire acondicionado y ver si hay algún problema.

**Material y equipo:**

- Ventilador
- Termómetro
- Gasa humedecida con agua
- Cronometro

**CUESTIONARIO.**

- 1.- ¿Cuál es la composición química del aire atmosférico?
- 2.- ¿Qué es la temperatura o punto de rocío?
- 3.- ¿Qué es un proceso psicrométrico?
- 4.- ¿Cuántos tipos de procesos psicrométricos existen?
- 5.- ¿En que industria se utiliza el aire acondicionado?
- 6.- ¿Tiene alguna relación el acondicionamiento de aire con al refrigeración? ¿por qué?
- 7.- Describa el ciclo de Carnot invertido.
- 8.- ¿Qué es el aire saturado?
- 9.- ¿Cuál es el principio de funcionamiento de un higrómetro de cabello?
- 10.- ¿Qué es un proceso de humidificación?



# LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS

## PRACTICA NO. 5

### COMBUSTIÓN

#### **Objetivo:**

- Plantear, desarrollar y calcular el balance de materia de una reacción de combustión.

#### **Introducción.**

La reacción de combustión se basa en la reacción química exotérmica de una sustancia o mezcla de sustancias llamada combustible con el oxígeno. Es característica de esta reacción la formación de una llama, que es la masa gaseosa incandescente que emite luz y calor, que esta en contacto con la sustancia combustible.

La reacción de combustión puede llevarse a cabo directamente con el oxígeno o bien con una mezcla de sustancias que contengan oxígeno, llamada comburente, siendo el aire atmosférico el comburente mas habitual.

La reacción del combustible con el oxígeno origina sustancias gaseosas entre las cuales las más comunes son  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Se denominan en forma genérica productos, humos o gases de combustión. Es importante destacar que el combustible solo reacciona con el oxígeno y no con el nitrógeno, el otro componente del aire. Por lo tanto el nitrógeno del aire pasará íntegramente a los productos de combustión sin reaccionar.



#### **Tipos de gases producidos en la combustión y sus consecuencias**

Los gases emitidos por un motor de combustión interna de gasolina son, principalmente, de dos tipos: inofensivos y contaminantes. Los primeros están formados, fundamentalmente, por nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua e hidrógeno. Los segundos o contaminantes están formados, fundamentalmente, por el monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y plomo.



*Figura 5.1. Humos en el escape de un automóvil*

### **Inofensivos**

El nitrógeno es un gas inerte que se encuentra presente en el aire que respiramos en una concentración del 79%. Debido a las altas temperaturas existentes en el motor, el nitrógeno se oxida formando pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno, aunque sea un gas inerte a temperatura ambiente.

El oxígeno es uno de los elementos indispensables para la combustión y se encuentra presente en el aire en una concentración del 21%. Si su mezcla es demasiado rica o demasiado pobre, el Oxígeno no podrá oxidar todos los enlaces de hidrocarburos y será expulsado con el resto de los gases de escape.

El vapor de agua se produce como consecuencia de la combustión, mediante la oxidación del Hidrógeno, y se libera junto con los gases de escape.

El dióxido de carbono producido por la combustión completa del Carbono no resulta nocivo para los seres vivos y constituye una fuente de alimentación para las plantas verdes, gracias a la fotosíntesis. Se produce como consecuencia lógica de la combustión, es decir, cuanto mayor es su concentración, mejor es la combustión. Sin embargo, un incremento desmesurado de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera puede producir variaciones climáticas a gran escala (el llamado efecto invernadero).

## **Contaminantes**

El monóxido de carbono, en concentraciones altas y tiempos largos de exposición puede provocar en la sangre la transformación irreversible de la hemoglobina, molécula encargada de transportar el oxígeno desde los pulmones a las células del organismo, en carboxihemoglobina, incapaz de cumplir esa función. Por eso, concentraciones superiores de CO al 0.3 % en volumen resultan mortales.

La falta de oxígeno en la combustión hace que ésta no se produzca completamente y se forme monóxido de carbono en lugar de dióxido de carbono. En un vehículo, la aparición de mayores concentraciones en el escape de CO indica la existencia de una mezcla inicial rica o falta de oxígeno.

Los hidrocarburos, dependiendo de su estructura molecular, presentan diferentes efectos nocivos. El benceno, por ejemplo, es venenoso por sí mismo, y la exposición a este gas provoca irritaciones de piel, ojos y conductos respiratorios; si el nivel es muy alto, provocará depresiones, mareos, dolores de cabeza y náuseas. El benceno es uno de los múltiples causantes de cáncer. Su presencia se debe a los componentes incombustibles de la mezcla o a las reacciones intermedias del proceso de combustión, las cuales son también responsables de la producción de Aldehídos y fenoles.

La presencia simultánea de hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, rayos ultravioleta y la estratificación atmosférica conduce a la formación del smog fotoquímico, de consecuencias muy graves para la salud de los seres vivos.

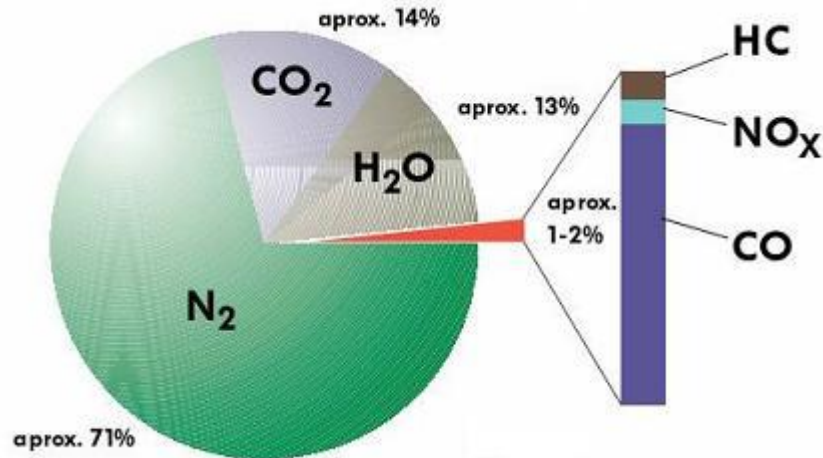
Los óxidos de nitrógeno no sólo irritan la mucosa sino que en combinación con los Hidrocarburos contenidos en el smog y con la humedad del aire producen ácidos Nitrosos, que posteriormente caen sobre la tierra en forma de lluvia ácida y contaminan grandes áreas, algunas veces situadas a cientos de kilómetros del lugar de origen de la contaminación.

El plomo es el metal más peligroso contenido en los aditivos del combustible. Inhalado puede provocar la formación de coágulos o trombos en la sangre, de gravísimas consecuencias patológicas. Se encuentra presente en las gasolinas en forma de tetra-etilo de Plomo y se utiliza en su producción para elevar su índice de octano y, también, en motorizaciones antiguas como

lubricante de los asientos de válvulas. En las gasolinas sin plomo se ha sustituido este metal por otros componentes menos contaminantes que también proporcionan un alto índice de octano.

### Composición de los gases de escape en motores de gasolina

En la figura 5.2 se muestra la composición química típica de los gases de escape en un motor a gasolina



*Figura 5.2. Composición química típica de los gases de escape en un motor a gasolina*

En las tablas 5.1, 5.2 y 5.3 se proporciona el poder calorífico y otras propiedades de los combustibles fósiles más utilizados

*Tabla 5.1.*

COMBUSTIBLE	FORMULA	PESO MOLECULAR	PODER CALORIFICO MAYOR (MJ/Kg)	PODER CALORIFICO MENOR (MJ/Kg)
Hidrógeno gas	H <sub>2</sub>	2	143.4	120.9
Metano	CH <sub>4</sub>	16	55.8	50.2
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44	50.6	46.5
Butano		58	49.5	45.6
Fuel Oil			44.0	41.8
Petroleo			44.0	41.8
Keroseno	CH <sub>2</sub>	14	43.0	39.8
Fuel oil residual (pesado)			44-45	37-42
Orimulsión			43.0	40.0
Diesel			42.0	38.5
Carbono	C	12	28.0	28.0
Gas ciudad			32.0	
Coque			26-35	
Antracita			29.9	
Hulla			26-32	

Tabla 5.2.

Combustible	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg	Combustible	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg
Aceite de esquistos	-----	38830	Fuel-oil n°1	40600	42695
Alcohol comercial	23860	26750	Fuel-oil n°2	39765	41860
Alquitrán de hulla	-----	37025	Gasóleo <sup>1)</sup>	42275	43115
Alquitrán de madera	36420	-----	Gasolina <sup>2)</sup>	43950	46885
Etanol puro <sup>4)</sup>	26790	29720	Petróleo bruto	40895	47970
Metanol <sup>4)</sup>	19250	-----	Queroseno <sup>3)</sup>	43400	46500

Tabla 5.3.

Combustible	Densidad kg/m <sup>3</sup>	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg	Combustible	Densidad kg/m <sup>3</sup>	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg
Gas natural	(*)	39900	44000	Gas de agua	0'711	14000	16000
Gas de hulla	0'50		46900	Gas ciudad	0'650	26000	28000
Gas de coquería	0'56	31400	35250	Gas de agua carburado	0'776	26400	27200
Gas de aire	----	10000	12000	Propano	506 (l) 1'85 (g)	46350	50450
Hidrógeno	0'0899	120011	141853	Butano	580 (l) 2'4 (g)	45790	49675

## CUESTIONARIO.

- 1.- ¿Qué se entiende por combustión?
- 2.- Generalmente, ¿cuáles son los productos de combustión de los motores?
- 3.- Si se quema 1 kmol de butano, establezca:
  - a) La ecuación de combustión.
  - b) La relación aire/combustible ideal
  - c) Los moles de N<sub>2</sub> presentes
- 4.- ¿Por qué es inconveniente un exceso de aire en un proceso de combustión?
- 5.- ¿Qué se entiende por:
  - a) Temperatura de inflamación
  - b) Temperatura de ignición.
- 6.- ¿Qué es la potencia calorífica de un combustible?
- 7.- Describa el ciclo Otto
- 8.- Describa el ciclo Diesel



- 9.- ¿Por qué no son necesarias las bujías en un motor Diesel?
- 10.- Diga si es más eficiente el motor Diesel o gasolina.
- 11.- ¿Para qué sirve un turboalimentador?
- 12.- ¿Qué tipos de combustión existen?

# LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS

## PRACTICA NO. 6

### ACCESORIOS PARA TUBERÍAS

#### **OBJETIVOS:**

- Conocer los principales accesorios que se utilizan en una instalación hidráulica.

#### **INTRODUCCIÓN.**

A continuación se describen algunos de los componentes básicos en un sistema de tuberías.

#### **6.1. VÁLVULAS.**

Una válvula es un dispositivo mecánico destinado a controlar, retener, regular o dar paso a un fluido.

Básicamente la válvula es un ensamblaje compuesto de un cuerpo con conexión a una tubería, y de un obturador operado por un accionamiento, que impide el paso del fluido cuando esta en posición de cierre en contacto con los sellos.

Además de los elementos y sistemas de estanqueidad intrínsecos para cada tipo de válvula, éstas pueden llevar incorporadas una serie de accesorios como posicionadores, transductores, reguladores de presión, etc. que proporcionan información y facilitan también la automatización de la válvula.

#### **Válvulas de compuerta**

Las válvulas de compuerta se utilizan principalmente para dejar pasar o no un fluido (ON-OFF) y no están diseñadas para regularlo lo que indica que deben estar completamente abiertas o completamente cerradas para que sus interiores (asiento y cuña) no sean desgastados prematuramente por el fluido y su presión y así evitar que tenga fugas.

Las válvulas de compuerta son bidireccionales y de paso completo, también pueden ser con vástago fijo o vástago saliente según los espacios que se tienen disponibles en las líneas para su instalación.

Las válvulas de compuerta también son llamadas de seccionamiento y son fabricadas en varios materiales como: bronce, acero al carbono fundido, acero inoxidable, hierro, acero forjado, PVC, CPVC con extremos roscados, bridados, soldables a tope (butt Weld), soldables a caja (socket Weld).

Las válvulas de compuerta son usadas muy a menudo debido a su fácil accesibilidad, además de que son una opción económica entre otras para cubrir servicios generales pero también son opción en manejo de fluidos agresivos o corrosivos industriales una vez determinado sus condiciones de operación (fluido-presión-temperatura).

Entre sus desventajas se encuentran que son muy grandes y pesadas lo que no hace fácil su instalación y mantenimiento, también su cierre es muy lento ya que hay que dar varias vueltas a un volante para abrir o cerrar completamente. Pueden ser operadas además de con un volante, con un operador de engranes, y actuadores neumáticos y eléctricos.



*Figura 6.1. Válvula de compuerta*

### Válvulas de cuchilla

Las válvulas de cuchilla son consideradas como tipo compuerta ya que tienen una lamina en su interior que sube y baja con un vástago y que permite realizar un “corte “ al fluido de manera sencilla. Las válvulas de cuchilla son diseñadas para operarlas en condiciones donde el fluido contiene un alto grado de sólidos y que con cualquier otra válvula no podría cerrarse.

Las aplicaciones más comunes de estas válvulas de cuchilla son en las papeleras, la minería donde el “Slurry” (lodos) es sumamente abrasivo. También pueden ser usadas en cementeras y en general como ya se dijo, donde el fluido es muy espeso, viscoso, arenoso y con alto grado de sólidos. Es importante aclarar que las válvulas de cuchilla papeleras tienen diferentes características de resistencia que las mineras ya que el fluido de minería es mucho más abrasivo y el desgaste es mayor, por lo cual se recomienda que no sean adquiridas en la minería válvulas de cuchilla “normales”.

Las válvulas de cuchilla son fabricadas en hierro, acero al carbono, acero inoxidable y por sus características son válvulas con poco peso y no utilizan casi espacio en las líneas. Pueden ser automatizadas con actuadores neumáticos e hidráulicos y existe pocas marcas realmente con alto desempeño dentro de la minería.

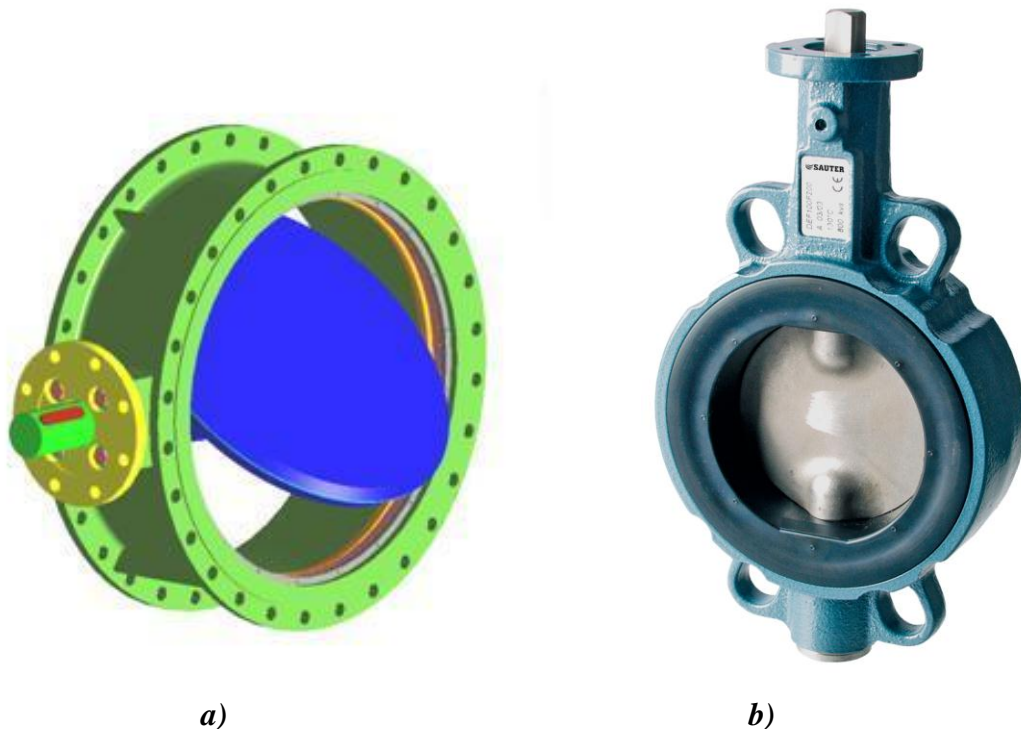


*Figura 6.2. Válvulas de cuchilla*

### Válvulas de mariposa

Las válvulas de mariposa usualmente sirven para aplicaciones de baja presión (125 psi). Se pueden usar para abrir o cerrar el paso a un fluido o para regularlo aunque no es completamente recomendable. Se caracterizan por su operación rápida ya que abren y cierran a  $\frac{1}{4}$  de vuelta. Existen válvulas de mariposa tipo waffer u oblea, tipo lug u orejadas y bridadas en medidas desde 24", siendo la más común por su facilidad de instalación las válvulas mariposa tipo waffer. Las válvulas de mariposa son adecuadas para instalarse en espacios reducidos o donde la línea del proceso no puede soportar mucho peso.

Las partes fundamentales de una válvula de mariposa son el cuerpo que puede ser de hierro, acero al carbono, acero inoxidable, pvc, cpvc u otro plástico; el disco que integra los mismos materiales del cuerpo y el asiento que podrá ser principalmente de elastómeros como el EPDM o buna habiendo otros materiales adicionales según la aplicación de la válvula. Pueden ser usadas en manejo de agua limpia o con sólidos hasta cierto %, también puede tener uso para corrosivos como ácidos y muchos otros fluidos dependiendo de la presión y temperatura que se maneje en la línea de proceso.



*Figura 6.3. a) Representación 3D de una válvula de mariposa b) Válvula tipo waffer*

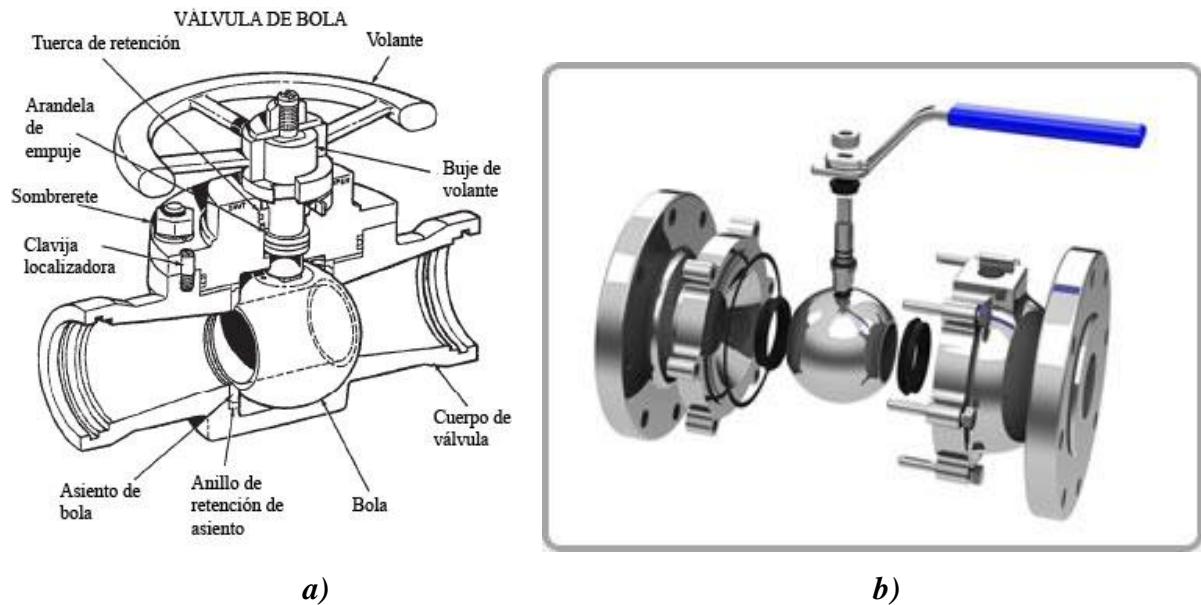
Las válvulas de mariposa pueden ser operadas con palanca, operador de engranes o actuadores neumáticos o eléctricos.

También existen las válvulas de mariposa de alto rendimiento las cuales soportan una presión y temperaturas más altas y condiciones de operación más severas.

### **Válvulas de bola o esfera**

Las válvulas de bola o esfera, por sus características principales, son un tipo de válvula muy versátil en el manejo de fluidos lo que le permite ser una de las válvulas más populares dentro de la industria. Precisamente su cierre rápido de  $\frac{1}{4}$  de vuelta ordinariamente con una palanca permite que su operación sea muy sencilla para quien la opera además de que su diseño es más pequeño que las válvulas de compuerta. Las válvulas de bola deben de ser utilizadas para dejar o no pasar un fluido (ON-OFF), de otra forma si se deja parcialmente abierta el fluido y la presión del mismo desgastarán partes de la válvula que con el tiempo según sus condiciones de operación (fluido-presión-temperatura) averiaran los interiores de la válvula dando lugar a fugas indeseables.

Las válvulas de bola, esfera o de cierre rápido, como son conocidas, dejan pasar el flujo de manera completa o tienen paso estándar que significa que si la válvula es de 2", el flujo que pasara a través de ella será menor. Entre las desventajas que existen con estas válvulas es la caída de presión que producen con este paso estándar o reducido además de que su cierre rápido genera "golpes de ariete" dentro de las líneas por lo cual hay que tomar las precauciones debidas antes de su instalación.



**Figura 6.4. a) Representación en corte de una válvula de esfera b) Válvula de esfera del tipo bridada**

Las válvulas de bola se fabrican en extremos roscados, bridados, soldables a tope (butt Weld) y soldables a caja (socket Weld). Una de sus principales ventajas es que algunas de ellas pueden ser reparables en línea y refaccionables ahorrando costos de mantenimiento. Se fabrican en 1, 2 o 3 piezas según la clase de operación y ahorro de costos que se requiera tener. Los principales materiales en que se fabrican de línea las válvulas de bola son: cuerpo de acero al carbono, acero inoxidable, bronce; bola o esfera de acero al carbono, acero inoxidable; asientos de teflón. Existen otros materiales de fabricación de los cuerpos, las esferas y los asientos y su uso depende de las condiciones de operación que tendrá la válvula (fluido-presión-temperatura) para determinar que materiales son los adecuados para que la válvula de bola no falle en su operación.

También son fabricadas en termoplásticos como el PVC y CPVC que permiten manejo de agua a más bajo costo o de corrosivos que tienen la posibilidad de desgastar rápidamente el metal como el acero. Las válvulas de bola pueden ser operadas con actuadores eléctricos y neumáticos y en general son una buena opción en muchas aplicaciones desde manejo de agua, hasta de fluidos industriales más agresivos.

## **Válvulas de globo**

Las válvulas de globo son llamadas así por la forma esférica de su cuerpo. Si bien actualmente algunos diseños ya no son tan esféricos, conservan el nombre por el tipo de mecanismo. El obturador de la válvula se desplaza con un movimiento lineal.

En la mayoría de los casos, el mecanismo de avance es la de un "tornillo". El vástago del obturador va roscado al bonete de la válvula de globo. En cuanto se le da vueltas al vástago, ya sea mediante un volante o un actuador de giro múltiple, el obturador avanza linealmente.

Las válvulas de globo automatizadas pueden tener vástagos sin rosca, y el desplazamiento lineal viene directamente proporcionado por el actuador.

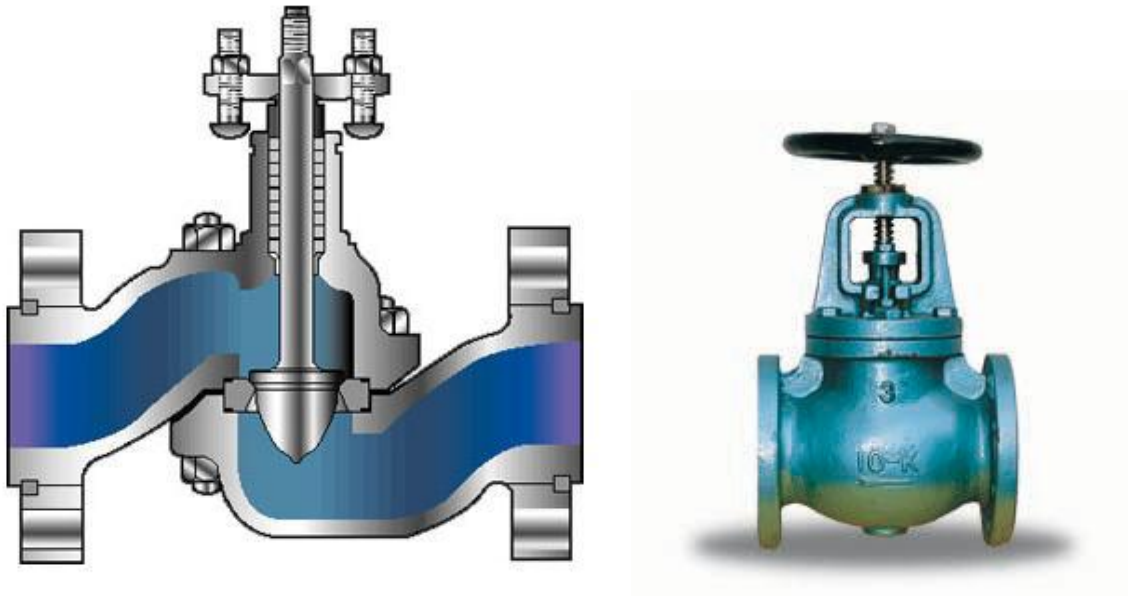
Según la disposición geométrica de los puertos de entrada y el eje del obturador podemos clasificar las válvulas de globo en:

- Válvula de globo de asiento recto (straight)
- Válvula de globo de asiento inclinado (Y)
- Válvula de globo de asiento angular

Las válvulas tipo globo a diferencia de las válvulas de compuerta, permiten aplicarlas en regulación de fluidos y realizan un cierre hermético cuando cuenta con un asiento flexible.

En esta clase de válvulas el fluido no corre de manera directa y en una sola dirección como lo hacen en las válvulas de compuerta sino que el fluido entra y sube dentro del cuerpo de la válvula, es estrangulado por el embolo según qué tan abierta o cerrada se encuentre la válvula, y después baja el fluido hacia la salida de la válvula. En las válvulas globo, el fluido hace un movimiento de columpio dentro donde choca con el embolo que regula cuanto fluido debe de pasar por la válvula.





*Figura 6.5. Válvula de globo.*

Las válvulas de globo tienen la ventaja de regular, pero tienen la desventaja de que al detener cierta parte del fluido para regularlo, generan una caída de presión dentro de la línea lo que debe de ser considerado en los cálculos técnicos para que esta clase de válvulas y otras circunstancias que hay dentro de la línea no impidan que el fluido deba de llegar hasta donde se requiere.

Son más costosas que las de compuerta y mucho menos comunes. Pueden ser fabricadas en casi cualquier material como en acero al carbono, acero inoxidable, hierro, PVC, CPVC, bronce, acero forjado y con extremos, roscados, bridados, socket Weld (SW), y Butt Weld.

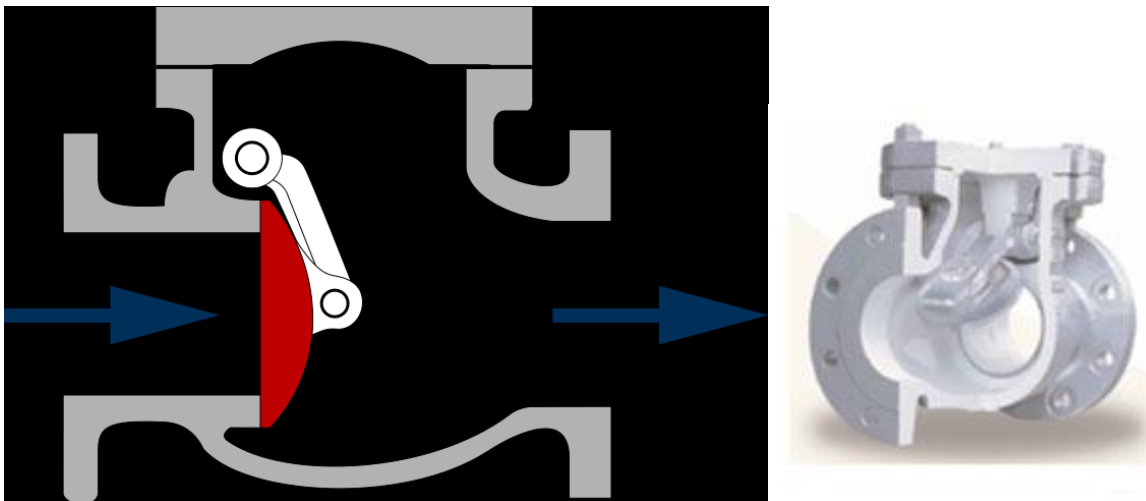
### **Válvulas de check**

Las válvulas **check** o **válvulas de retención** son utilizadas para no dejar regresar un fluido dentro de una línea. Esto implica que cuando las bombas son cerradas para algún mantenimiento o simplemente la gravedad hace su labor de regresar los fluidos hacia abajo, esta válvula se cierra instantáneamente dejando pasar solo el flujo que corre hacia la dirección correcta. Por eso también se les llama válvulas de anti-retorno. Obviamente que es una válvula unidireccional y que debe de ser colocada correctamente para que realice su función usando el sentido de la circulación del flujo que es correcta.

Existen válvulas Check tipo columpio en el cual el fluido y su presión abren el disco hacia arriba y este regresa cuando deja pasar. También las de resorte el cual hace que la válvula cierre inmediatamente cuando se detiene el flujo antes que el flujo y la gravedad hagan que cierre con fuerza. Están las que tienen doble puerta o dúo check que también funcionan con un sistema de resortes para su cierre.

Existen en materiales de acero al carbono fundido, forjado, acero inoxidable, bronce, hierro, fofó, PVC y CPVC.

Las válvulas Check pueden ser fabricadas con extremos bridados, roscados, socket Weld (SW), tipo oblea para que sean instaladas en poco espacio y con poco peso (tipo Wafer).



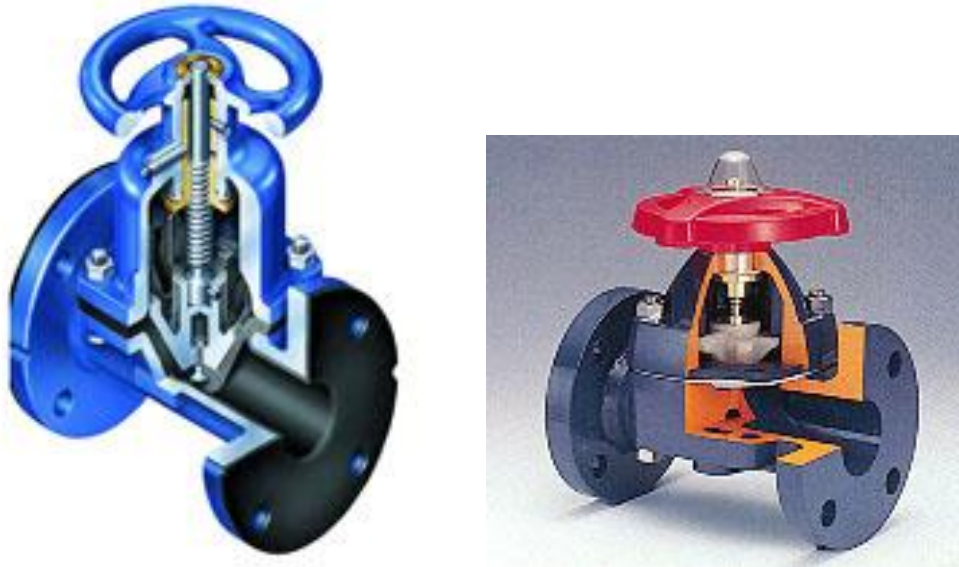
*Figura 6.6. a) Sección de una válvula antirretorno para líquidos.*

### **Válvulas de diafragma**

Las válvulas de diafragma son utilizadas en tratamientos de agua, industria alimenticia, minería, papel, química, generadoras de electricidad y hasta en refinerías.

Las válvulas de diafragma son válvulas que operan con fluidos “corrosivos” y “abrasivos” y que por su diseño de paso recto o vertedor le da mucha mayor amplitud de aplicaciones. Esta válvula de diafragma puede ser recubierta o puede tener un “liner” al interior del cuerpo que usualmente es de un elastómero como epdm, buna, neopreno, polipropileno y otros materiales y que en

conjugación con el diafragma realizan su función con un desgaste mínimo al que cualquier otra válvula puede tener si es que fue seleccionada de manera correcta. También puede ser operada con actuadores eléctricos, neumáticos y sus características y versatilidad permiten que este instalada casi en todas las plantas de proceso del mundo.



*Figura 6.7. Válvulas de diafragma.*

### **Válvulas de aguja.**

Las válvulas de aguja son utilizadas para realizar regulación de fluido con un estrangulamiento del mismo de manera muy precisa o fina y sus aplicaciones incluyen las altas presiones y grandes temperaturas.

Las válvulas de aguja pueden ser utilizadas en procesos de ultra alta pureza High Purity Valves o en procesos normales de instrumentación y otros procesos.



*Figura 6.8. Válvula de aguja.*

### **Válvulas de pistón.**

Las válvulas de pistón representan en la industria un excelente desempeño debido a sus ahorros en producción, mantenimiento mínimo, y a diferencia de las válvulas globo convencionales pueden ser instaladas de manera vertical. Tienen un sistema de sellos y anillos K-Graf que no permiten que haya fuga hacia el exterior y no tendrá contaminación del medio ambiente.

Estas válvulas pueden ser automatizadas con facilidad con actuadores neumáticos de doble o simple acción según las necesidades. También han sido sometidas a la prueba de fuego y han superado ampliamente los resultados comparativos con otras válvulas.

También muestran las características siguientes:

Cero Fugas.- Sistema de sellos especiales y refaccionables.

Mantenimiento en línea.- No es necesario desmontar las válvulas de la línea de trabajo debido a que su diseño nos permite maniobrar sin problema dentro y fuera de ella, representando con esto ahorros de tiempo y dinero.

Mantenimiento mínimo y a largo plazo.- Su sistema de sello radial y gran resistencia a la abrasión en sus partes garantizan que los mantenimientos sean a largo plazo, por lo que los costos son mínimos.

Instalación versátil.- Pueden ser instaladas de manera horizontal, vertical, diagonal o como la línea lo demande.

Pueden ser usadas en gran cantidad de fluidos y en presiones de hasta 900 libras.

Se fabrican en acero al carbono, hierro y acero inoxidable con extremos bridados, socket Weld (SW), roscados y Butt Weld. Las válvulas de pistón regulan el fluido con mucho menos caída de presión que cualquier válvula que regula, y puede remplazar de manera sencilla y con muchos más ahorros a las válvulas de acero forjado, acero fundido y algunas de bronce.



*Figura 6.9. Válvula de pistón.*

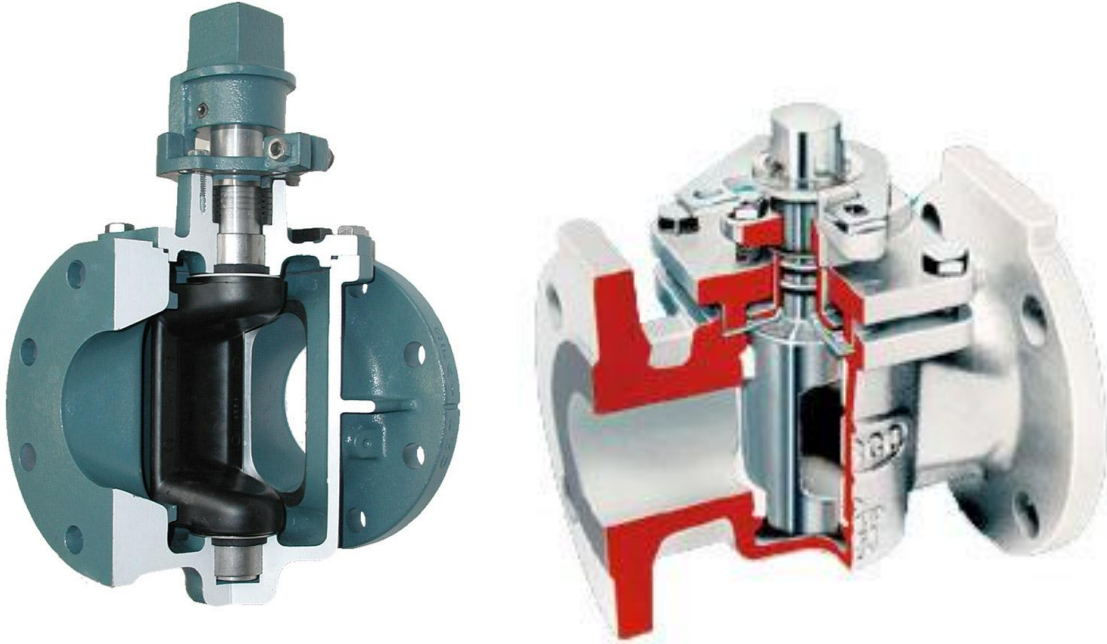
### **Válvulas macho.**

Las válvulas de 'macho' también son conocidas por su nombre inglés "Plug valves" por el obturador.

El obturador puede ser cilíndrico o cónico. Aunque las válvulas de bola son de alguna forma un tipo de válvula macho, son tratadas como otra clase.

La válvula de macho se usa en servicio de apertura/cierre y desviación de flujos, ya que pueden tener una configuración multipuerto. Pueden ser utilizadas en fluidos con sólidos en suspensión.

Las válvulas de "macho" tipo lift están diseñadas para levantar el obturador al inicio de maniobrar la válvula, protegiendo así las superficies de sellado obturador-asiento del desgaste por rozamiento.



*Figura 6.10. Válvulas tipo "macho"*

#### *Válvula de pie o de zapata*

Como su nombre lo indica estas válvulas van colocadas al pie de las instalaciones, esto es, en el extremo inferior de la tubería de succión y casi en contacto con el líquido.

Las válvulas de pie son las encargadas de impedir que se produzca el vaciado de la tubería de succión, fenómeno muy importante en los sistemas moto-bomba que no pueden funcionar si tienen dichas tuberías vacías. Cuando se para la bomba y las gavetas de la válvula se cierran si estas asientan perfectamente, el agua no puede drenarse regresando al pozo de succión. En conclusión esta clase de válvulas tiene como finalidad permitir el cebado de la bomba manteniendo llena esta y la tubería después de parado el bombeo.

### Coladores (pichanchas)

Los coladores consisten simplemente en unos cilindros metálicos huecos y completamente perforados que sirven para colar los líquidos que entran en el tubo de succión, y así evitar que se introduzcan cuerpos demasiado grandes que puedan averiar la tubería.

En la figura 7.10 se muestra una válvula de pie con colador.



*Figura 6.11. Válvula de pie con colador*

## 6.2. MEDIDORES DE CAUDAL EN TUBERÍAS

Los fluidos están presentes en la mayoría de los procesos industriales, ya sea porque intervienen en forma directa en el proceso de producción o porque pertenecen a los circuitos secundarios necesarios. Sea por la razón que sea, los fluidos están ahí y, por tanto, hay que controlarlos, para lo que es necesario saber en todo momento cuáles son las principales características de los fluidos, que pueden variar mucho de una aplicación a otra. En el mercado existe una gran variedad de medidores, tanto desde el punto de vista de tamaños y rangos de operación como de principios de funcionamiento. Esto es debido a que se intenta conseguir la máxima precisión para la mayor cantidad de aplicaciones.

Entre los tipos de medidores de flujo más importantes se tienen

- **Medidores de cabeza variable**
  - \*Tubo de venturi
  - \*Placa de Orificio

- **Medidores de área variable**

- Rotámetro
- Fluxometro de turbina
- Fluxometro de vortice
- Fluxometro electromagnético
- Fluxometro de Ultrasonido
- Fluxometro de velocidad
- Tubo de Pitot
- Anemómetro de Copas
- Anemómetro de Alambre Caliente

- **Medidores de flujo masico:**

1. El medidor de masa inferencial que mide por lo común el flujo volumétrico del fluido y su densidad por separado.

2. Medidor de masa “verdadero”, que registra directamente el flujo en unidad de masa.

Algunos medidores de flujo másico son:

- a) El medidor de efecto Magnus.
- b) El medidor de momento transversal para flujo axial
- c) El medidor de gasto de masa de momento transversal para flujo radial.
- d) El medidor de gasto de masa de momento transversal.
- e) El medidor térmico de gasto de masa giroscópico.



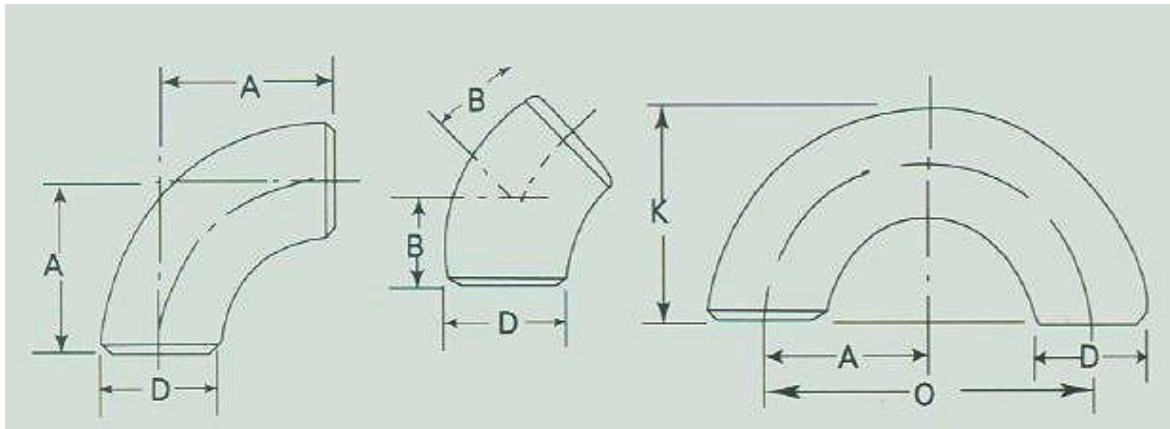
### 6.3. CODOS PARA TUBERÍAS

Los codos para tubería, son considerados como un accesorio que se instala entre las dos longitudes de un tubo para permitir un cambio de dirección, el cual, mediante un procedimiento determinado forman las líneas estructurales de las éstas.

#### Tipos de codos para tuberías

Los codos de tuberías generalmente cuentan con un grado de dirección, los cuales pueden ser de:

- 45°
- 60°
- 90°
- 180°



*Figura 7.12. Codos a 90°, 45° y 180°*

#### Materiales para la construcción de un codo para tubería

Los codos para tuberías pueden ser fabricados de muchos materiales, como:

- Hierro fundido
- Acero inoxidable
- Aceros aleados
- Acero al carbono
- Metales no ferrosos
- Plásticos

De acuerdo a su radio, la mayoría de los codos pueden ser divididos en codos de radio pequeño y codos de radio grande.

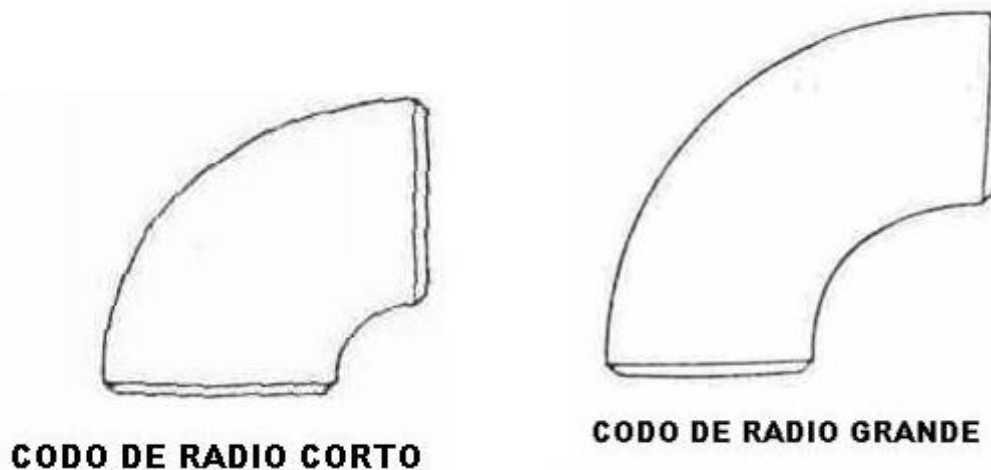
### Características de los codos para tuberías

Existen diversos criterios o características que deben ser tomados en cuenta para la elección de un codo de tubería, por ejemplo:

**Diámetro:** Es el tamaño o medida del orificio del codo entre sus paredes los cuales existen desde  $\frac{1}{4}$ " hasta 120".

**Ángulo:** Es el existente entre ambos extremos del codo y sus grados dependen del giro o desplazamiento que requiera la línea.

**Radio:** De acuerdo a su radio, la mayoría de los codos pueden ser divididos en codos de radio pequeño y codos de radio grande. Los codos de radio grande tienen un centro de distancia de terminación que es 1.5 veces el de NPS en pulgadas ( $R=1.5D$ ), mientras que el de radio pequeño es igual a los NPS en pulgadas ( $R=1.0D$ ).



*Figura 6.13. Codos de radio corto y radio grande.*

**Aleación:** Es el tipo de material o mezcla de materiales con el cual se elabora el codo.

**Junta:** Es el procedimiento que se emplea para pegar un codo con un tubo, u otro accesorio y esta puede ser: soldable a tope, roscable, embutible y soldable.

**Dimensión:** Es la medida del centro al extremo o cara del codo y la misma puede calcularse mediante formulas existentes.

## 6.4. TUBOS

Una gran variedad de tubos y otros conductos se encuentra disponible para el abastecimiento de líquidos y gases a los componentes mecánicos, o desde una fuente de abastecimiento a una máquina.

Existen en el mercado diferentes tipos de tubos según su función y según su material de fabricación.

### Usos:

- Tubo para servicio mecánico (estructural), tubo para servicio de baja presión, tubo para refrigeración (para máquinas de hielo), tubo para pistas de hielo, tubo para desflemadoras.
- Tubo para conducir líquidos, gases o vapores, servicio para temperatura o presión elevadas, o ambas cosas.
- Tubo con extremos roscados o lisos para gas, petróleo o vapor de agua.
- Tubo, escareado y mandrilado, para hincar y de revestimiento para pozos de agua, tubo hincado para pozos, tubo para bombas, tubo para bombas de turbina.
- Tubo de revestimiento para pozos, cañería de perforación.

### Materiales:

- Acero al carbono con costura.
- Acero al Carbono sin costura.
- Acero Inoxidable.
- Galvanizado
- Hierro fundido dúctil
- Plásticos diversos

### Especificación de roscas

#### Tamaños

Los tamaños de las roscas se basan en el diámetro interno (ID) o en el tamaño del flujo. Por ejemplo, “1/2–14 NPT” determina una rosca de tubería con un diámetro interno nominal de 1/2 pulgada y 14 hilos en una pulgada, hecha de acuerdo al estándar de la norma NPT. Si se añaden

las letras “LH”, la tubería tiene una rosca izquierda (Por sus siglas en inglés). Las formas de roscas de tubería más conocidas a nivel mundial son:

NPT = rosca cónica para tubo

NPTF = rosca cónica para tubo (de sellado o cierre en seco)

NPS = rosca recta para tubo

NPSC = rosca recta para tubo, en coples o acoplamiento

NPSI = rosca recta interna intermedia para tubo (de sellado o cierre en seco)

NPSF = rosca recta interna para tubo (de sellado o cierre en seco)

NPSM = rosca recta de tubo para juntas mecánicas

NPSL = rosca recta de tubo para tuercas fijadoras y roscas de tubo para dichas tuercas

NPSH = rosca recta de tubo para coples y nicles de manguera

NPTR = rosca cónica de tubo para accesorios para baranda

La especificación de un agujero aterrajado (con rosca para tuberías) debe incluir el tamaño del taladro o broca para el macho de roscar.

### **Representación de roscas para tubos**

Las roscas para tubos se representan por los mismos símbolos convencionales que las de tornillos pasantes. La conicidad es tan ligera que no aparece en una representación, a no ser que se exagere.

### **Manguera hidráulica**

En los sistemas de fluidos de potencia y en otras aplicaciones industriales, donde las líneas de flujo deben prestar servicio cambiante, se usan con frecuencia las mangueras flexibles reforzadas. Los materiales con que están hechas incluyen butil caucho, caucho sintético, caucho de silicón, elastómeros termoplásticos y nylon. El refuerzo trenzado está constituido de alambre de acero, kevlar, poliéster y tela. Las aplicaciones industriales incluyen vapor, aire comprimido, transferencia de químicos, enfriadores, calentadores, transferencia de combustible, lubricantes, refrigerantes, almacenamiento de papel, fluidos de potencia para dirección, propano, agua, alimentos y bebidas. El Estándar Internacional SAE J517, *Hydraulic Hose*, define varios tipos y tamaños estándar de acuerdo con su calificación de presión y capacidad de flujo. Los tamaños

incluyen diámetros interiores de 3/16, 1/4, 5/16, 3/8, 7/8, 1, 1 1/4, 1 1/2, 2, 2 1/2, 3, 3 1/2 y 4 pulg. Las calificaciones de presión varían de 35 psig a más de 10 000 psig (240 kPa a 69 MPa) con objeto de cubrir tanto las aplicaciones de fluidos de potencia de alta presión y elevadores hidráulicos, como la toma de baja presión y líneas de retorno y aplicaciones de transferencia de fluidos de baja presión.

## 6.5. BRIDAS

Las bridas son aquellos elementos de la línea de tuberías, destinados a permitir la unión de las partes que conforman esta instalación, ya sean tubería, válvulas, bombas u otro equipo que forme parte de estas instalaciones.

La brida es un elemento que puede proveerse como una parte separada o venir unida desde fábrica a un elemento para su instalación, ya sea una válvula o un tubo, etc.



*Figura 6.14. Existe una gran variedad de tipos de bridas*

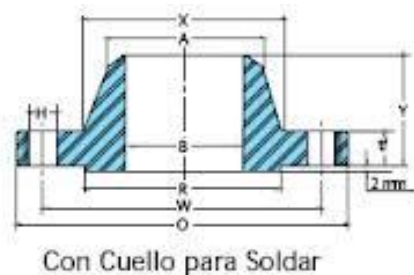
Existe una diversidad de diseños, dimensiones, materiales y normas de fabricación entre ellas algunas de las que se mencionan a continuación con los nombres originales en inglés y su nombre común en español.

### **Bridas con cuello para soldar (welding neck)**

Estas bridas se diferencian por su largo cuello cónico, su extremo se suelda a tope con el tubo correspondiente. El diámetro interior del tubo es igual que el de la brida, esta característica proporciona un conducto de sección prácticamente constante, sin posibilidades de producir turbulencias en los gases o líquidos que por el circulan.

El cuello largo y la suave transición del espesor del mismo, otorgan a este tipo de bridas, características de fortaleza aptas en sectores de tuberías sometidos a esfuerzos de flexión, producto de las expansiones en línea.

Las condiciones descritas aconsejan su uso para trabajos severos, donde actúen elevadas presiones.

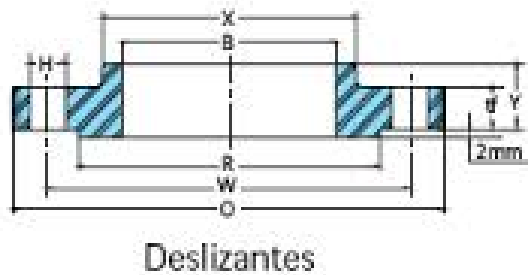


*Figura 6.15. Brida con cuello para soldar*

### **Bridas deslizantes (slip-on)**

En este tipo de bridas, el tubo penetra en el cubo de la misma sin llegar al plano de la cara de contacto, al que se une por medio de cordones de soldadura interna y externamente. Puede considerarse de montaje más simple que la brida con cuello, debido a la menor precisión de longitud del tubo y a una mayor facilidad de alineación.

Sus condiciones mecánicas a la resistencia y fatiga son en general buenas, pero algo inferiores a las bridas con cuello, cuya sustitución por la brida deslizante –cuando las condiciones de trabajo son menos exigentes- se justifica por el menor costo de ésta.



*Figura 6.16. Brida deslizable*

### **Bridas ciegas (blind)**

Están destinadas a cerrar extremos de tubería, válvulas o aberturas de recipientes, sometidos a variadas presiones de trabajo. Desde el punto de vista técnico, este tipo de bridas, es el que soporta condiciones de trabajo más severas (particularmente las de mayores dimensiones), ya que al esfuerzo provocado por la tracción de los bulones, se la adiciona el producido por la presión existente en la tubería.

En los terminales, donde la temperatura sea un factor de trabajo o actúen esfuerzos variantes o cíclicos, es aconsejable efectuar los cierres mediante el acople de bridas con cuello y ciegas.



*Figura 6.17. Brida ciega*

### **Bridas con asiento para soldar (socket welding)**

Su mayor rango de aplicación radica en tuberías de dimensiones pequeñas que conduzcan fluidos a alta presión. De allí que las normas ANSI B16.5 aconsejan su uso en tubos de hasta 3" de diámetro en las series 150, 300, 600, y de hasta 2 ½" en la serie 1500.

En estas bridas el tubo penetra dentro del cubo hasta hacer contacto con el asiento –que posee igual diámetro interior que el tubo- quedando así un conducto suave y sin cavidades. La fijación de la brida al tubo se realiza practicando un cordón de soldadura alrededor del cubo.

Es frecuente el uso de estas bridas en tuberías destinadas a procesos químicos, por su particular característica de conceder al conducto una sección constante.



*Figura 6.18. Brida con asiento para soldar*

#### **Bridas roscadas (threaded)**

Si bien presentan la característica de no llevar soldadura –lo cual permite un fácil y rápido montaje- deben ser destinadas a aplicaciones especiales (por ejemplo, en tuberías donde existan altas presiones y temperatura ambiente). No es conveniente utilizarlas en conductos donde se produzcan considerables variaciones de temperatura, ya que por efectos de la dilatación de la tubería, pueden crearse pérdidas a través del roscado al cabo de un corto período de trabajo.



*Figura 6.19. Brida roscada*



### **Bridas para junta con solapa (lap-joint)**

Son bridas destinadas a usos muy particulares. Ellas producen el esfuerzo de acople a sectores de tubos solapados, que posteriormente se sueldan a los tubos que conformarán la línea. La capacidad de absorber esfuerzos, puede considerarse muy similar a la de las bridas deslizantes.

Generalmente, se colocan en tuberías de aceros comunes o especiales que necesiten ser sometidas con frecuencia a desmontajes para inspección o limpieza. La facilidad para girar las bridas, y alinear así los agujeros para bulones, simplifica la tarea, especialmente cuando las tuberías son de gran diámetro. No es aconsejable su uso en líneas que están sometidas a severos esfuerzos de flexión.



*Figura 6.20. Brida con junta a solapa*

### **Bridas de orificio**

Están destinadas a ser colocadas en puntos de la línea donde existen instrumentos de medición. Son básicamente iguales a las bridas con cuello para soldar, deslizantes o roscadas; la selección del tipo en función de las condiciones de trabajo de la tubería. Radicalmente tienen dos agujeros roscados para conectar los medidores. Frecuentemente es necesario separar el par de bridas para extraer la placa de orificio; la separación se logra merced al sistema de extracción que posee, conformado por un bulón con su correspondiente tuerca alojada en una ranura practicada en la brida. Existe otro sistema de extracción, en el cual el bulón realiza el esfuerzo de separación a través de un agujero roscado practicado en la brida. Este sistema tiene una desventaja con respecto al anterior, ya que cuando se deteriora la rosca, se inutiliza la brida para tal función.



*Figura 6.21. Brida con orificio*

### **Clases**

El termino clase se utiliza para referirse a la presión nominal de diseño de una Brida.

De esta forma las Bridas fabricadas según dimensiones ASME/ANSI se dividen en CLASE 150, CLASE 300, CLASE 600, CLASE 900, CLASE 1,500 y CLASE 2,500 psi, entre otras.

Existen bridas bajo la Norma Europea DIN, que utilizan la denominación PN, así es como se les clasifica como PN,6, PN10, PN16, PN25, PN40, PN100, PN250, PN400 BARS, a veces todavía se usan las letras “ND” del alemán “NENDRUCK” en vez de PN. Pero estas, rara vez se utilizan en México.

Para un sello hermético se fabrican diferentes tipos de caras en la Brida con un empaque que se adapta a la cara de esta, los tipos de caras de la brida pueden ser:

Cara plana ( flat face ), cara realzada (real face), junta de anillo (r.t.j.)

### **6.6 TE'S.**

Son accesorios que se fabrican de diferentes tipos de materiales, aleaciones, diámetros y cédula (schedule) y se utiliza para efectuar fabricación en líneas de tubería.



*Figura 6.22. Tes de bronce y acero*

### **Tipos.**

Diámetros iguales o te de recta. Reductora con dos orificios de igual diámetro y uno desigual.

### **Características.**

**Diámetro.** Las tes existen en diámetros desde  $\frac{1}{4}$ " hasta 72" en el tipo

**Espesor.** Este factor depende del espesor del tubo o accesorio a la cual va instalada y ellos existen desde el espesor fabricación hasta el doble extrapesado.

**Aleación.** Las mas usadas en la fabricación son: acero al carbono, acero inoxidable, galvanizado, etc.

**Juntas.** Para instalar las te en líneas de tubería se puede hacer , mediante procedimiento de rosca embutible-soldable o soldable a tope.

**Dimensión.** Es la medida del centro a cualquiera de las bocas de la te.

## **6.7. REDUCCIONES**

Son accesorios de forma cónica, fabricadas de diversos materiales y aleaciones. Se utilizan para disminuir el volumen del fluido a través de las líneas de tuberías.

**Tipos.**

**Estándar concéntrica.** Es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido aumentando su velocidad, manteniendo su eje.

**Estándar excéntrica.** Es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido en la línea aumentando su velocidad perdiendo su eje.



a)



b)

*Figura 6.23. a) Reductor concéntrico b) reductor excéntrico*

**Características:**

**Diámetro.** Es la medida del accesorio o diámetro nominal mediante el cual se identifica al mismo, y varía desde  $\frac{1}{4}$ " " x  $\frac{3}{8}$ " " hasta diámetros mayores.

**Espesor.** Representa el grosor de las paredes de la reducción va a depender de los tubos o accesorios a la cual va a ser instalada. Existen desde el espesor estándar hasta el doble extrapesado.

**Aleación.** Es la mezcla utilizada en la fabricación de reducciones, siendo las más usuales: al carbono, acero al % de cromo, acero inoxidable, etc.

**Junta.** Es el tipo de instalación a través de juntas roscables, embutibles soldables y soldables a tope.

**Dimensión.** Es la medida de boca a boca de la reducción (Concéntrica y excéntrica)

# LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS

## PRACTICA NO. 7

### NÚMERO DE REYNOLDS

#### OBJETIVOS:

- Conocimiento de los tipos de flujo en fluidos incomprensibles por medio del número de Reynolds
- Partiendo de la hipótesis newtoniana de los fluidos, analizar el comportamiento de variables como viscosidad, densidad, velocidad, etc. y determinar cual de ellas predomina en el flujo laminar.

#### INTRODUCCIÓN

El Número de Reynolds permite caracterizar la naturaleza del flujo, es decir, si se trata de un flujo laminar o de un flujo turbulento, además, indica la importancia relativa de la tendencia del flujo hacia un régimen turbulento respecto de uno laminar y la posición relativa de este estado dentro de una longitud determinada.

Un flujo laminar se define como aquel en que el fluido se mueve en capas o láminas, deslizándose suavemente unas sobre otras y existiendo sólo intercambio de molecular entre ellas. Cualquier tendencia hacia la inestabilidad o turbulencia se amortigua por la acción de las fuerzas cortantes viscosas que se oponen al movimiento relativo de capas de fluido adyacentes entre sí. Por otro lado, en un flujo turbulento, el movimiento de las partículas es muy errático y se tiene un intercambio transversal de cantidad de movimiento muy intenso.

Los diferentes regímenes de flujo y la asignación de valores numéricos de cada uno fueron reportados por primera vez por Osborne Reynolds en 1883. Reynolds observó que el tipo de flujo adquirido por un líquido que fluye dentro de una tubería depende de la velocidad del líquido, el diámetro de la tubería y de algunas propiedades físicas del fluido. Así, el número de Reynolds es un número adimensional que relaciona las propiedades físicas del fluido, su velocidad y la geometría del ducto por el que fluye y esta dado por:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

$D$  = Diámetro del ducto [L]

$v$  = Velocidad promedio del líquido [ $\frac{L}{T}$ ]

$\rho$  = Densidad del líquido [ $\frac{M}{L^3}$ ]

$\mu$  = Viscosidad del líquido [ $\frac{M}{L \cdot t}$ ]

Para encontrar el significado de su parámetro adimensional, Reynolds hizo las experiencias de movimiento de agua a través de tubos de cristal como se muestra en la figura. Un tubo de vidrio se montó horizontalmente con un extremo en un depósito y una válvula en el extremo opuesto. El extremo de aguas arriba se hizo abocinando, disponiéndose de frente a la bocina un fino tubo que permite inyectar en la corriente del tubo de vidrio un fino filete de tintura.



*Figura 7.1. Aparato de Reynolds*

Para pequeños caudales, el filete coloreado se mueve siguiendo una línea recta a través del tubo, demostrando que el flujo es laminar. Cuando crece el caudal el número de Reynolds crece. Al aumentar el caudal se llega a un punto para el cual el filete coloreado se va ondulando y por último se rompe bruscamente difundiéndose la tintura a través del tubo. Se han obtenido valores de  $R = 12,000$  y  $R = 40,000$  antes de que el flujo se vuelva turbulento. Estos valores son llamados números críticos superiores de Reynolds, no tienen valor práctico alguno desde el momento en

que las tuberías ordinarias tienen irregularidades que originan flujos turbulentos para mucho menores.

Comenzando con un flujo turbulento es el tubo de vidrio, Reynolds encontró que se convertía en laminar cuando la velocidad se reducía hasta que  $R$  se hiciera menor que 2,000. Este es el número de Reynolds crítico inferior para movimiento de fluidos en tuberías y es el de verdadera importancia práctica. En las instalaciones usuales, el flujo cambiará de laminar a turbulento en el intervalo de números de Reynolds entre 2,000 y 4,000.

Generalmente cuando el número de Reynolds se encuentra por debajo de 2100 se sabe que el flujo es laminar, el intervalo entre 2100 y 4000 se considera como flujo de transición y para valores mayores de 4000 se considera como flujo turbulento. Este grupo adimensional es uno de los parámetros más utilizados en los diversos campos de la Ingeniería en los que se presentan fluidos en movimiento.

## **MATERIAL Y EQUIPO:**

## **DESARROLLO:**

### **CUESTIONARIO**

1. Son ocho las variables que pueden intervenir en cualquier problema de mecánica de fluidos, ¿cuáles son?
2. Son cinco las fuerzas que pueden actuar sobre un fluido cualquiera ¿cuáles son éstas?
3. ¿Qué ventajas técnicas y económicas representan los números adimensionales?
4. ¿Qué viscosidades se pueden utilizar en la fórmula de Reynolds y en qué unidades se miden?
5. ¿Cuál es la definición del parámetro adicional de Reynolds?
6. Enuncie las condiciones en que se apoya la teoría de modelos
7. ¿Qué es un modelo y qué un prototipo?

8. En ensayos realizados en túneles de viento y en otros experimentos, la fuerza predominante, además de la debida al gradiente de presiones, es la fuerza debida a la viscosidad ¿qué número adimensional se utiliza?



# LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS

## PRÁCTICA No. 8

### PERDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS

#### OBJETIVO:

- Tendrá el conocimiento acerca de las pérdidas de carga que se presentan en una instalación formada por una serie de tuberías y accesorios, cuando por esta circula agua.
- Comparar los resultados obtenidos de forma experimental con lo que predicen las ecuaciones.

#### INTRODUCCIÓN

Las pérdidas de carga que se presentan en un sistema de tuberías son de dos tipos: primarias y secundarias.

Las primeras, se presentan en los tramos rectos de las tuberías y se deben básicamente al rozamiento entre las paredes de la tubería y el fluido y también rozamiento al de una capa de fluido con otras. Por otra parte, las pérdidas secundarias se presentan en todo tipo de accesorio, tales como válvulas, codos, contracciones, etc.

En una tubería horizontal, las pérdidas de carga (energía) se manifiestan físicamente como una reducción de presión en la dirección del escurrimiento.

Una de las fórmulas más exactas para cálculos hidráulicos es la de Darcy-Weisbach. Sin embargo por su complejidad en el cálculo del coeficiente "f" de fricción ha caído en desuso. Aún así, se puede utilizar para el cálculo de la pérdida de carga en tuberías de fundición. La fórmula original es:

$$h = f * (L / D) * (v^2 / 2g)$$

En función del caudal la expresión queda de la siguiente forma:

$$h = 0.0826 * f * (Q^2/D^5) * L$$

En donde:

- h: pérdida de carga o de energía (m.col de agua)
- f: coeficiente de fricción (adimensional)

- L: longitud de la tubería (m)
- D: diámetro interno de la tubería (m)
- v: velocidad media (m/s)
- g: aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )
- Q: caudal ( $m^3/s$ )

El coeficiente de fricción  $f$  es función del número de Reynolds ( $Re$ ) y del coeficiente de rugosidad o rugosidad relativa de las paredes de la tubería ( $\epsilon_r$ ):

$$f = f(Re, \epsilon_r); \quad Re = D * v * \rho / \mu; \quad \epsilon_r = k / D$$

- $\rho$ : densidad del agua ( $kg/m^3$ ). Consultar tabla.
- $\mu$ : viscosidad del agua ( $N\ddot{u}l/s/m^2$ ). Consultar tabla.
- k: rugosidad absoluta de la tubería (m)

En la tabla 8.1 se muestran algunos valores de rugosidad absoluta para distintos materiales:

**Tabla 8.1. Valores de rugosidad absoluta para distintos materiales**

<b>RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES</b>			
<b>Material</b>	<b>k (mm)</b>	<b>Material</b>	<b>k (mm)</b>
Plástico (PE, PVC)	0.0015	Fundición asfaltada	0.06-0.18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.01	Fundición	0.12-0.60
Tubos estirados de acero	0.0024	Acero comercial y soldado	0.03-0.09
Tubos de latón o cobre	0.0015	Hierro forjado	0.03-0.09
Fundición revestida de cemento	0.0024	Hierro galvanizado	0.06-0.24
Fundición con revestimiento bituminoso	0.0024	Madera	0.18-0.90
Fundición centrifugada	0.003	Hormigón	0.3-3.0

Para el cálculo de “f” existen múltiples ecuaciones, a continuación se expone el método semigráfico de Moody.

Moody (1944) consiguió representar la expresión de Colebrook-White en un ábaco de fácil manejo para calcular “f” en función del número de Reynolds (Re) y actuando la rugosidad relativa ( $\epsilon_r$ ) como parámetro diferenciador de las curvas:

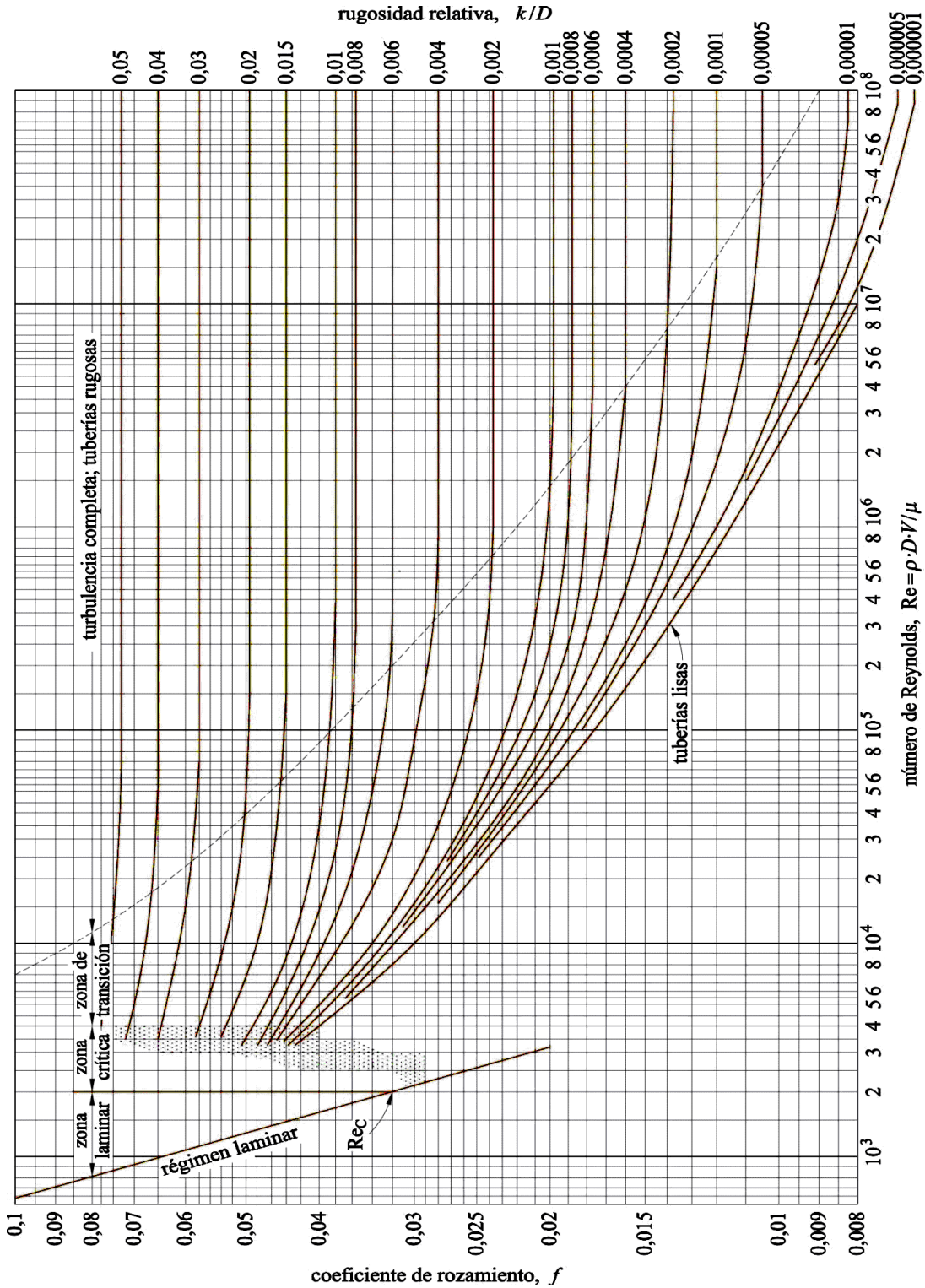


Figura 8.1. Diagrama de Moody para el cálculo del coeficiente de rozamiento  $f$

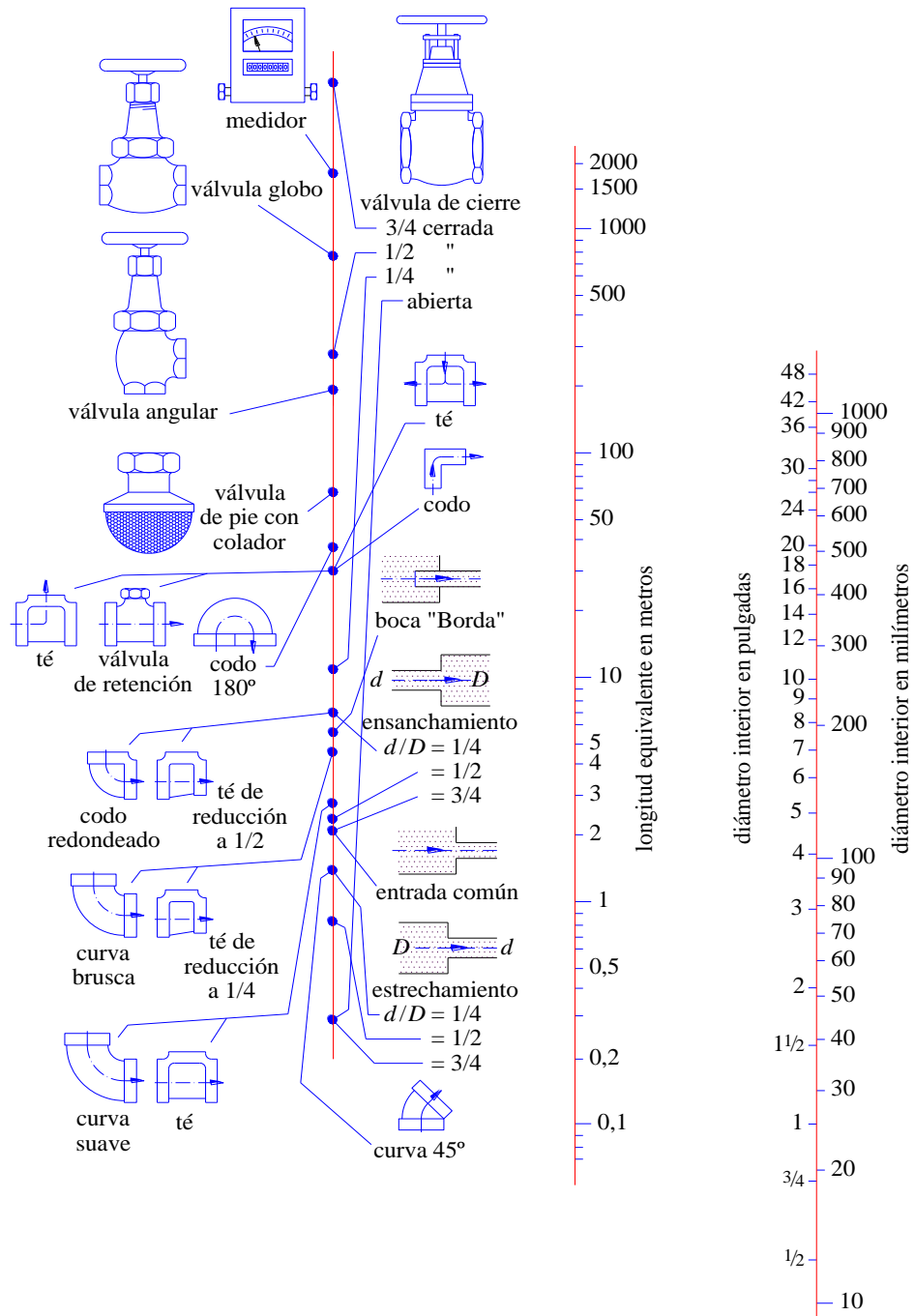


Figura 8.2. Ábaco para calcular la longitud equivalente de un accesorio en metros.

**CUESTIONARIO**

- 1.- ¿Qué entiende por pérdidas primarias y pérdidas secundarias? ¿Cuáles son las más importantes?
- 2.- Diga de cuantas formas se pueden calcular las pérdidas secundarias.
- 3.- ¿Qué se entiende por longitud equivalente? Cite tres ejemplos.
- 4.- Diga para que sirve el diagrama de Moody y su manejo.
- 5.- ¿Qué es la viscosidad? ¿Cuál es la diferencia entre un poise y un store?
- 6.- ¿Qué es la rugosidad absoluta y rugosidad relativa? ¿cómo afecta la rugosidad en un sistema de tuberías?
- 7.- ¿Cómo se calcula la pérdida de carga en un fluido en tramos rectos?
- 8.- Explique los parámetros de los que depende el factor de fricción
- 9.- ¿Cómo influye el diámetro de la tubería en la pérdida de carga?
- 10.- Defina el radio hidráulico
11. Para un caudal de agua de 30 l/s, un diámetro de 0.2 m, una longitud de 150 m y considerando que es acero comercial nuevo, calcule  $f$  y las pérdidas  $h$ .
- 12.- En un sistema de tuberías de hierro galvanizado de 25.4 mm de diámetro circula agua a razón de 50 litros/min, consta de: 85 m de tubería, 6 codos a 90°, 2 válvulas de globo, 2 válvulas de cierre  $\frac{3}{4}$  abierta, calcule  $f$  y las pérdidas  $h$ .

# LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS

## PRÁCTICA No. 9

### TORRES DE ENFRIAMIENTO.

#### **OBJETIVO:**

Conocer los principios básicos de los procesos de enfriamiento del agua, utilizando una torre de enfriamiento

#### **INTRODUCCIÓN**

Son equipos capaces de enfriar eficientemente grandes volúmenes de agua, poniéndola en contacto con aire atmosférico. Un pequeño porcentaje del agua es evaporado, expulsando consigo el calor a la atmósfera, como aire caliente y húmedo. La temperatura del agua desciende hacia el límite llamado temperatura húmeda, designada en inglés WBT, y en español, TH.

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes porque, son el medio más económico para hacerlo, si se compara con otros equipos de enfriamiento como los cambiadores de calor donde el enfriamiento ocurre a través de una pared. En el interior de las torres se monta un empaque o relleno con el propósito de aumentar la superficie de contacto entre el agua caliente y el aire que la enfría. En las torres se colocan deflectores o eliminadores de gotas o niebla que atrapan las gotas de agua que fluyen con la corriente de aire hacia la salida de la torre, con el objeto de disminuir la posible pérdida de agua.

El agua se introduce por el domo de la torre por medio de vertederos o por boquillas para distribuir el agua en la mayor superficie posible.

El enfriamiento ocurre cuando el agua, al caer a través de la torre, se pone en contacto directo con una corriente de aire que fluye a contracorriente o a flujo cruzado, con una temperatura de bulbo húmedo inferior a la temperatura del agua caliente, en estas condiciones, el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación) y por transferencia de calor sensible y latente del agua al

aire, lo anterior origina que la temperatura del aire y su humedad aumenten y que la temperatura del agua descienda; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre. Se recomienda el tratamiento del agua a enfriar, agregando álcalis, algicidas, bactericidas y floculantes; y, realizar un análisis periódico tanto de dureza como de iones cloro ya que éstos iones son causantes de las incrustaciones y de la corrosión en los elementos de la torre.

### **La evaporación como causa de enfriamiento.**

El enfriamiento de agua en una torre tiene su fundamento en el fenómeno de evaporación. La evaporación es el paso de un líquido al estado de vapor y solo se realiza en la superficie libre de un líquido, un ejemplo es la evaporación del agua de los mares. Cuando el agua se evapora sin recibir calor del exterior es necesario que tome de sí misma el calor que necesita, esto origina que el agua se enfríe y por lo tanto que su temperatura disminuya.

### **Ejemplos de enfriamiento natural por evaporación:**

\* Durante la evaporación natural se absorbe calor y esto constituye un proceso de enfriamiento.

Esto lo demuestra la experiencia:

- Se sabe que el agua contenida en un jarro poroso se mantiene muy fresca a causa de la evaporación que se produce en la superficie del jarro, ya que fluye a través de sus poros y en contacto con el aire no saturado se evapora.
- Un líquido caliente se enfría vaciándolo de un recipiente a otro porque aumenta la evaporación al incrementarse el contacto con el aire.
- El frío que se experimenta al salir de un baño se debe a la evaporación rápida del exceso de humedad en la piel al contacto con el aire.

### **Mecanismo de la evaporación**

En la superficie del agua que está en contacto con aire no saturado sucede lo siguiente:

1. Inicialmente el agua toma calor de sí misma para evaporarse y así se crea un gradiente de temperatura entre el seno del agua y la superficie de contacto.
2. El aire recibe humedad (vapor) y por lo tanto energía en forma de calor latente de vaporización
3. Después el aire le proporciona energía al agua, la que se evapora cada vez más a expensas de la



energía del aire que de sí misma, hasta establecerse un estado de equilibrio a la temperatura de bulbo húmedo del aire.

### **Variables que influyen en la evaporación.**

En la superficie de contacto agua - aire el calor total que gana el aire (Q) esta dado por la relación:

$$Q = A h \Delta T$$

Con la que se deduce que la evaporación depende de:

#### **1. Las propiedades del sistema**

- Presión total: La evaporación es más rápida a bajas presiones o en el vacío y más lenta a presiones altas.
- Área de contacto (A). La masa de agua evaporada es proporcional a la superficie en la cual se efectúa la evaporación.
- Coeficiente de transferencia de calor (h) el cual depende entre otras variables, de la velocidad del aire. La evaporación se acelera a mayor velocidad de las corrientes de aire, el viento desplaza las capas de aire sobre la superficie de evaporación y arrastra consigo la humedad.
- Diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) entre el agua y el aire.

#### **2. Efecto difusional de masa**

- Humedad del aire: La evaporación es más rápida, cuanto más seco esté el aire o menos saturado de vapor.

#### **3. Propiedades del agua.**

- Presión de vapor.
- Conductividad térmica del agua (k). La alta conductividad térmica favorece la evaporación.

### **Teoría del termómetro de bulbo húmedo**

Con el objeto de cuantificar el fenómeno de evaporación se hace el siguiente experimento: A un termómetro cuyo bulbo de mercurio se cubre con un lienzo saturado de agua y se introduce en una corriente continua de aire que fluye a gran velocidad, le ocurre lo siguiente: Como el aire no está saturado el agua se evapora y se transfiere al aire, inicialmente el agua utiliza su calor latente para su evaporación lo que provoca su enfriamiento, este proceso continua, pero cada vez menos intenso, ya que al enfriarse el agua se genera un gradiente de temperatura, que da la posibilidad de transferir calor del aire al agua y ser empleado para suministrar la energía para la evaporación, entonces el agua se enfría cada vez menos hasta llegar a un punto en que toda la energía proviene del aire y ya no del líquido, en este instante el agua alcanza una temperatura estacionaria y se le llama temperatura de bulbo húmedo. El fenómeno que ocurre en el termómetro de bulbo húmedo se aprovecha para comprender el proceso del enfriamiento del agua.

### **Fenómeno interfásial del enfriamiento.**

En un acercamiento a una escala de micras en la interfase aire - agua dentro de una torre de enfriamiento ocurren fenómenos fisicoquímicos que permiten entender los principios básicos del enfriamiento de agua en presencia de aire no saturado relativamente seco y frío, aunque puede estar más caliente que el agua, condición que no se estudia en ésta ocasión.

Dentro de una torre de enfriamiento se presenta, básicamente, contacto entre una corriente de aire y gotas o película de agua lo que establece las siguientes condiciones en la interfase agua - aire.

- Agua caliente
- Aire frío
- Aire relativamente seco, (no saturado).
- Inicialmente la interfase está a la temperatura del agua.
- Humedad interfásial determinada por el equilibrio o sea saturada.
- El agua toma energía de si misma y se evapora.
- Se crea entonces un gradiente de temperatura interno y se produce un flujo de calor sensible del seno del agua a la interfase que se representa por:

$$q = r C_p \Delta T$$

Como el aire está relativamente seco, su humedad es menor que la de interfase, existe entonces un gradiente de humedad, por lo tanto, hay flujo de agua en forma de vapor NA. A medida que la temperatura del agua baja, el aire gana energía y el gradiente de temperatura entre el aire y la interfase baja también. Entonces el calor total absorbido por el aire es igual a la energía asociada a la evaporación del agua

$$\cdot q = NA l$$

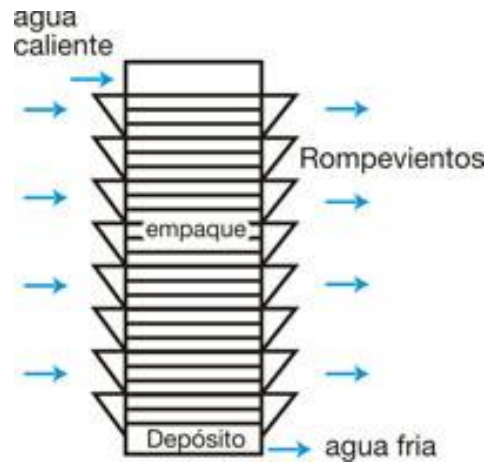
Finalmente se llega a un estado estacionario en que el flujo de energía total es igual al calor referido a la masa evaporada más el calor del aire.

$$Q = q + q_{\text{aire}} = NA l + q_{\text{aire}}$$

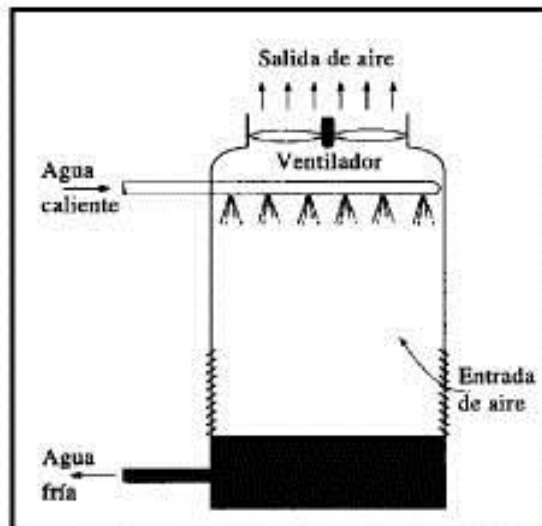
Así se forma una delgada porción de aire saturado llamada película interfasial con un espesor de dimensiones moleculares; es la región donde se contactan las dos fases y es en donde siempre están en equilibrio y se dice que son líquido saturado y vapor saturado a las condiciones de la interfase, la relación entre estas fases la describe la termodinámica.

### **Tipos de torres de enfriamiento.**

Existen varios tipos de torres: las primeras fueron las "atmosféricas", voluminosas y de bajo rendimiento, desprovistas de ventilador o motor. Las de tiro mecánico, provistas de ventiladores y motores, son las más comunes, y pueden ser de tiro forzado (con ventiladores inyectando aire en su parte baja), o de tiro inducido (con los ventiladores expulsando aire en su parte alta), figura 9.2



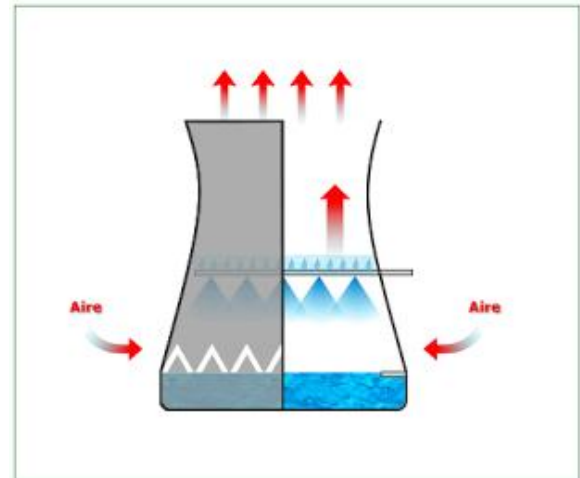
*Figura 9.1. Torres de enfriamiento atmosférica.*



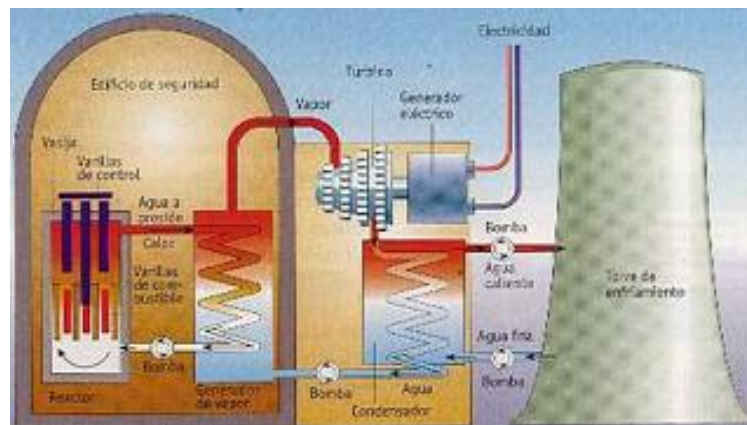
*Figura 9.2. Torre de enfriamiento a contraflujo de tiro inducido.*

### **Torre Atmosférica**

Las torres de Tiro Natural operan de la misma manera que una chimenea de un horno. La diferencia entre la densidad del aire en la torre y en el exterior originan un flujo natural de aire frío en la parte inferior y una expulsión del aire caliente menos denso en la parte superior. Las hiperbólicas, de tamaño gigantesco, figura 9.3 se han usado en plantas de energía nuclear, figura 9.4.



*Figura 9.3. Torre de enfriamiento hiperbólica*



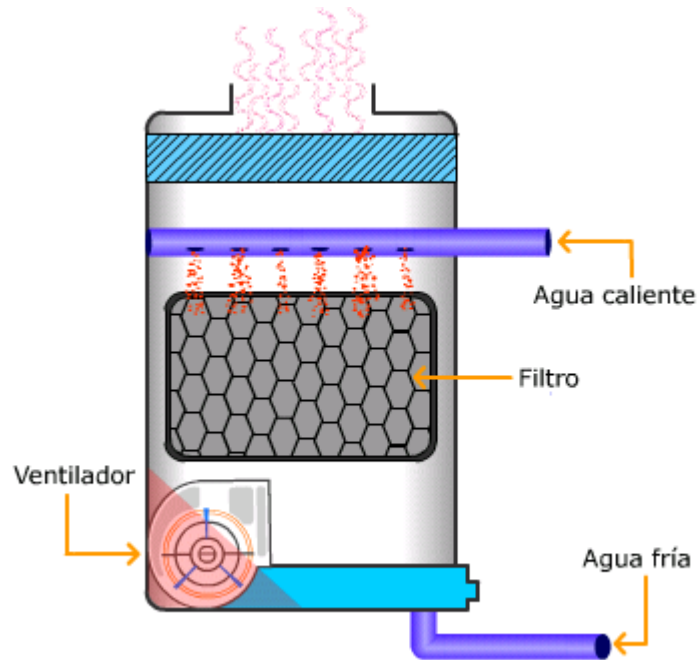
*Figura 9.4. Torre de enfriamiento en una planta nuclear.*

### **Torres de tiro mecánico**

Las torres de tiro mecánico emplean ventiladores para controlar el flujo de aire que entra a la torre, son compactas y brindan buen control sobre las condiciones de salida del agua. Sin embargo presentan altos costos de operación y mantenimiento. Existen dos tipos principales de torres de tiro mecánico:

### **Torres de tiro forzado.**

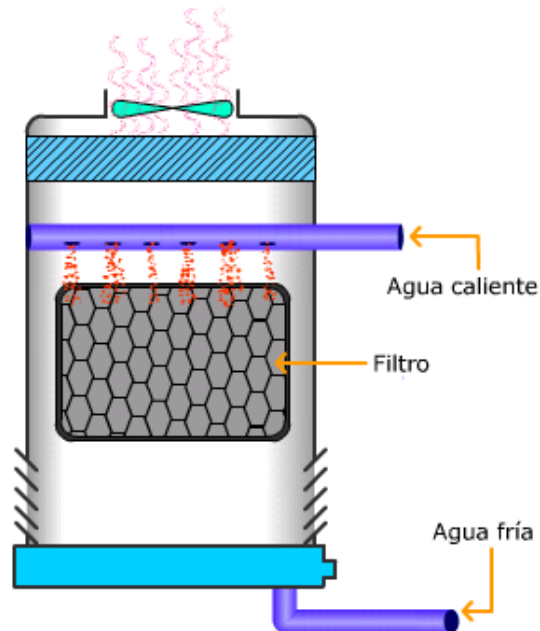
Los ventiladores toman el aire del ambiente y lo impulsan a través de los rellenos; es más eficiente que la de tiro inducido debido a que el ventilador mueve aire frío (Ver figura 9.5).



*Figura 9.5. Torre de tiro forzado.*

### **Torres de tiro inducido.**

Los ventiladores toman el aire del interior de la torre y lo expulsan al ambiente en la parte superior. Es el tipo de torre más utilizado en la industria (Ver figura 9.6).



*Figura 9.6. Torre de tipo inducido*

Las torres de tiro forzado, operan en contraflujo. Inicialmente las más populares y sencillas, se usan hoy solamente en aplicaciones especiales, en pequeños y medianos tamaños, especialmente para aire acondicionado, o en sitios donde es indispensable el montaje en el interior de un edificio, con ductos para la descarga del aire húmedo. Tiene la ventaja de que los ventiladores mueven aire seco, y son generalmente más accesibles para mantenimiento. Su principal desventaja es la baja velocidad de descarga del aire húmedo, que se presta a recirculación.

Otra desventaja inherente al tiro forzado es el ensuciamiento o incrustación de las aletas de los ventiladores, al entrar en contacto con el aire, usualmente cargado de impurezas. En cambio, en el tiro inducido, el aire entra primero en contacto con el agua, que ejerce un efecto de lavado, manteniendo las aletas limpias.

### **Recirculación**

El aire descargado por las torres sale caliente y húmedo. Normalmente es lanzado hacia arriba a alta velocidad, diluyéndose en la atmósfera. Sin embargo, la cercanía de muros o estructuras, y la acción del viento, pueden dirigirlo hacia la entrada de aire de la torre, produciendo lo que se llama recirculación. Esta puede afectar el rendimiento drásticamente y debe evitarse a toda costa.

## BIBLIOGRAFÍA

### **1. Termodinámica**

Kenneth Wark

Ed. Mc Graw Hill. Sexta Edición

### **2. Termodinámica, teoría cinética y termodinámica estadística**

*Francis W Sears, Salinger Gerhard L*

### **3. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas**

Claudio Mataix.

El Castillo. 1986

### **4. Introducción a la termodinámica con aplicaciones de ingeniería**

Jorge A Rodríguez.

### **5. Basic Thermodynamics For Engineers**

Smith H.J and Harris J.W

Macdonald & Co (1963)

### **6. Thermodynamics: An Engineering Approach with Student Resource DVD.**

Yunus A. Cengel and Michael A. Boles.

McGraw-Hill Science/Engineering/Math; 6th edition (September 22, 2006).

### **7. Fundamentals of Engineering Thermodynamics.**

Michael J. Moran and Howard N. Shapiro.

Wiley; 5th edition (June 11, 2003).

### **8. Analysis and design of energy systems**

B.K. Hodge, Robert P. Taylor c1990