

**PROYECTO DE INNOVACIÓN EDUCATIVA**  
**TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y**  
**EQUIPOS FRIGORÍFICOS**

**UNIDAD DE TRABAJO N° 2**

**CALOR Y PRESIÓN**

**Profesor: Pascual Santos López**  
**Curso 2004-2005**

## ÍNDICE

Objetivos: .....	5
Contenidos:.....	5
Actividades de introducción: .....	6
1. Velocidad y Caudal: .....	6
2. Aceleración (a): .....	6
3. Masa, Fuerza y Peso: .....	7
4. Densidad (d): .....	7
5. Peso específico (Pe): .....	7
6. Volumen específico (Ve):.....	7
Presión: .....	8
1. Clases de presión: .....	8
2. Presión atmosférica: .....	8
3. presión manométrica: .....	10
4. Presión absoluta:.....	11
5. Depresión o vacío: .....	11
6. Unidades de presión: .....	12
7. Columna de agua.....	13
8. Pérdida de carga.....	13

**TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS  
CALOR Y PRESIÓN**

9. Ejemplo de cálculo de las características de una bomba hidráulica.....	14
Actividades de aprendizaje: .....	16
1. Realizar los ejercicios relativos a "presión": .....	16
¿Cómo influye la presión en los cambios de estado? .....	19
1. Variación de la temperatura de ebullición con la presión: .....	19
2. Vapor saturado.....	20
3. Agua sobrecalentada .....	21
4. Vapor saturado a mayor temperatura que la de saturación .....	22
5. Vapor recalentado .....	23
Actividad de aprendizaje constructivo .....	24
Licuefacción de gases:.....	24
1. Licuefacción por compresión: .....	24
2. Isotermas de los gases reales. punto critico.....	25
Comportamiento de los gases: .....	26
1. Gases perfectos.....	26
2. Gases y vapores. ....	26
3. Ecuación general de los gases perfectos.....	26
4. Transformación isotérmica:.....	26
5. Transformación isobárica:.....	28
6. Transformación isócora. ....	29

**TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS  
CALOR Y PRESIÓN**

7. Transformación adiabática. ....	30
8. Transformaciones politrópicas.....	30
Actividades de aprendizaje: .....	31
Termodinámica .....	31
1. Primer principio de la termodinámica: .....	32
2. Actividad de aprendizaje: .....	33
3. Segundo principio de la termodinámica:.....	34
4. Ciclo de Carnot:.....	36
5. Entropía (S). [J / Kg. °K].- .....	38
6. Trabajo, Energía y Calor:.....	38
7. Potencia (W):.....	38
Actividades de aprendizaje: .....	39
Bibliografía: .....	40

## **Objetivos:**

Los objetivos a conseguir tras finalizar esta unidad de trabajo son los siguientes:

1. Conocer y calcular las magnitudes fundamentales presentes en los sistemas frigoríficos.
2. Conocer el comportamiento de los cambios de estado en diferentes condiciones.
3. Calcular las cantidades de calor y presión de casos prácticos.
4. Convertir y relacionar las unidades de presión y caudal en los diferentes sistemas de medida.
5. Conocer el comportamiento de los gases en diferentes condiciones.
6. Conocer la relación entre calor y trabajo y los principios de la termodinámica.
7. Aprender el trabajo en equipo con actitud solidaria y participativa.
8. Respetar las normas de seguridad personal y de los materiales utilizados.

## **Contenidos:**

1. Termodinámica.
  - Cambios de estado.
  - Densidad.
  - Presión.
  - Caudal.
  - Comportamiento de los gases.
  - Calor y trabajo.
  - Ciclos termodinámicos.
  - Entropía.
  - Estudio termodinámico de los ciclos frigoríficos. Diagramas.
2. Trabajo en equipo y actitud positiva.

## Actividades de introducción:

El objetivo de esta actividad es repasar ciertos conocimientos básicos de física, que son necesarios para el desarrollo del módulo.

### 1. Velocidad y Caudal:

El movimiento de un cuerpo es el cambio de posición que experimenta con relación a otra posición de referencia.

La **velocidad (v)** con la que se mueve un cuerpo es la relación entre el espacio que recorre y el tiempo que tarda en recorrerlo:

$$V = e / t \quad \text{velocidad} = \text{espacio} / \text{tiempo}$$

En el SI la unidad de velocidad es el [ m / s ].

El **caudal (q)** es una magnitud derivada de la velocidad y es la velocidad con que circula un fluido por unidad de área o sección en una tubería:

$$\text{Caudal} = \text{sección} \times \text{velocidad} \quad q = S \times v$$

También se puede definir el **caudal o flujo**, como el paso de una cantidad de masa (kg), por una unidad de tiempo (s).

$$\text{Caudal} = \text{volumen} / \text{tiempo} \quad q = V / t$$

El caudal se mide de dos maneras distintas, y las unidades en el sistema internacional SI, son diferentes para cada una:

$$\text{Caudal en base a la masa} = [\text{Kg} / \text{s}]$$

$$\text{Caudal en base al volumen} = [\text{m}^3 / \text{s}]$$

Ejemplo: calcular la velocidad a la que circulan 1.800 l/h de agua, por una tubería de una pulgada de diámetro, 1" (diámetro interior 25mm).

$$q = S \times v$$

$$q = 1.800 [\text{l/h}] = 1.800 / 3.600 [\text{l/s}] = 0,5 [\text{l/s}] = 0,0005 [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$S = \pi \times r^2 = \pi \cdot d^2/4 = \pi (0,0254)^2 / 4 = 0,0005 \text{ m}^2.$$

Sustituyendo en la fórmula del caudal:

$$q = S \times v \quad ; \quad 0,0005 [\text{m}^3/\text{s}] = 0,0005 [\text{m}^2] \times v \quad ; \quad v = 0,0005 / 0,0005 = 1 \text{ m} / \text{s}$$

### 2. Aceleración (a):

Es la variación de la velocidad en la unidad de tiempo:  $a = v / t$

Su unidad en el SI es el m / s<sup>2</sup>.

Como caso particular se puede citar que la aceleración de la **gravedad (g)** es fija y vale 9,8 m/s<sup>2</sup>.

### 3. Masa, Fuerza y Peso:

En nuestra vida cotidiana, por tradición usamos un sistema de unidades mixto e incompatible; es decir, usamos el kg tanto como unidad de fuerza, como de masa o también como unidad de presión.

La **Masa (m)** es la materia que tiene un cuerpo. La unidad en el SI es el **Kg** (que coincide con el peso en el Sistema Técnico de medida, ya en desuso).

La **Fuerza (F)** es toda causa capaz de producir una modificación en el estado de reposo de un cuerpo (moviéndolo), en el estado de movimiento (acelerando, frenando o parando, dicho cuerpo), o también, de producir una deformación en el mismo.

Todo trabajo se realiza aplicando una fuerza.

Su fórmula es:  $F = m \cdot a$  Fuerza = masa x aceleración.

La unidad de fuerza en el SI es el **Newton (N)**, que es la fuerza que es necesario aplicar a un cuerpo de 1Kg de masa para comunicarle una aceleración de  $1 \text{ m/s}^2$ .

El **Peso (P)** es la fuerza con que la tierra atrae a los cuerpos:

Su fórmula es:  $P = m \cdot g$  Peso = masa x gravedad.

Por tanto se trata de una fuerza cuya aceleración es la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

La unidad de peso más utilizada es el Kg fuerza, Kg peso o Kilopondio, que es:

$$P = 1 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \quad 1 \text{ Kilopondio (Kp)} = 1\text{Kgf} = 9,81 \text{ Newton} \sim 10 \text{ N}$$

### 4. Densidad (d):

Es la masa del cuerpo por unidad de volumen:  $d = m / V$

En el SI se mide en  $\text{Kg/m}^3$ , así cuando decimos que la densidad de un gas es de  $1,2 \text{ Kg/m}^3$ , estamos diciendo que  $1\text{m}^3$  de ese gas tiene una masa de 1,2 Kg.

### 5. Peso específico (Pe):

Es lo que pesa la masa de una unidad de volumen:

$$Pe = P / V = m \cdot g / V = d \cdot g$$

En el SI se mide en  $\text{Kgf} / \text{m}^3$ .

### 6. Volumen específico (Ve):

Es el volumen que ocupa la unidad de peso:  $Ve = V / P = 1 / Pe$

El gas del ejemplo anterior tendrá un volumen de:

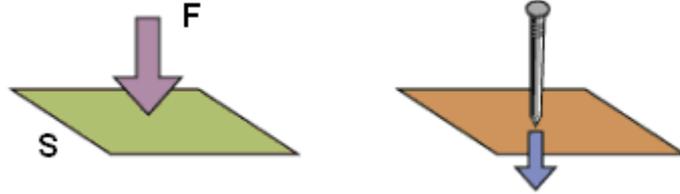
$$Ve = 1 / Pe = 1 / 1,2 = 0,833 \text{ m}^3 / \text{Kg}$$

Es decir, 1 Kg peso de ese gas tendrá un volumen de  $0,833 \text{ m}^3$ .

## Presión:

La **presión (P)** es la **fuerza (F)** que actúa sobre la unidad de **superficie (S)**.  
Por lo tanto, su fórmula es:

$$P = F / S$$



La unidad en el SI es el  $[N/m^2]$ , llamado Pascal  $[Pa]$ .

### 1. Clases de presión:

Existen cuatro tipos de presión o formas de referirse a ella:

- **PRESIÓN ATMOSFÉRICA.**
- **PRESIÓN MANOMÉTRICA.**
- **PRESIÓN ABSOLUTA.**
- **DEPRESIÓN O VACÍO**

### 2. Presión atmosférica:

El aire de la atmósfera, como los líquidos, tiene **peso**, y al actuar sobre los cuerpos ejerce una **presión** que equivale al peso de la columna de aire que gravita sobre ellos. A dicho peso por unidad de superficie se le denomina **presión atmosférica**.



Dicha presión disminuye con la altura, como se observa en la figura, ya que existe menos peso de aire sobre nosotros cuando estamos a mayor altitud.

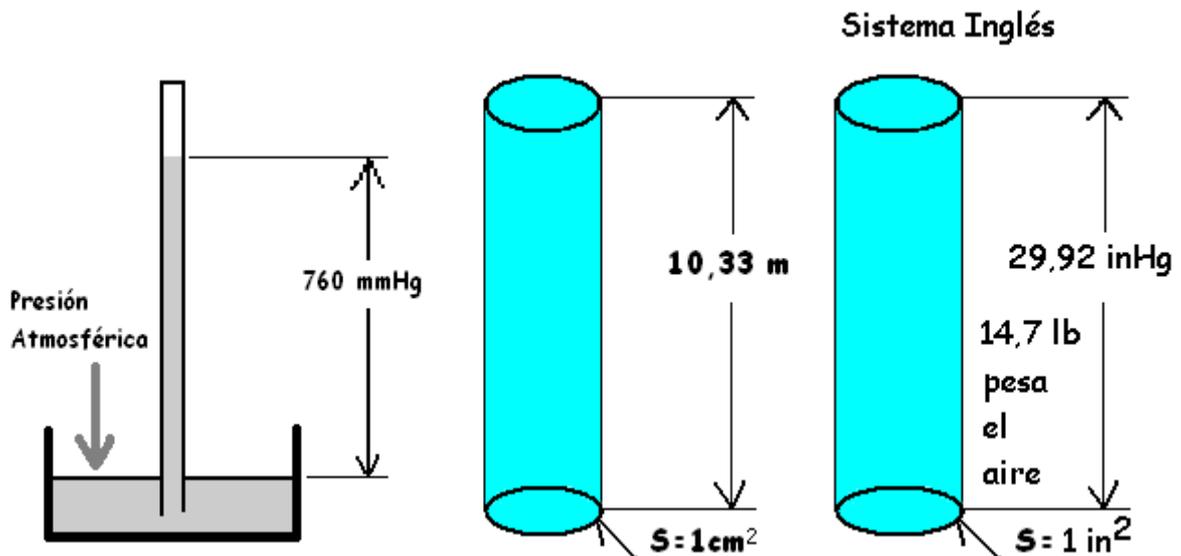
La **presión hidrostática**, que existe en un punto cualquiera del interior de un líquido es debida al peso del líquido que hay por encima de él.



## TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS CALOR Y PRESIÓN

El italiano Evangelista **Torricelli**, fue el primero en medir esta presión, utilizando un barómetro de mercurio. El valor que él obtuvo es de 760 mm de mercurio al nivel del mar.

Por tanto, la **presión atmosférica normal o estándar**, a nivel del mar, equivale a la **presión hidrostática** que ejercen **760 mm de columna de mercurio [760 mmHg]** o de **10,33 metros de columna de agua [10,33 m.c.a.]**, pues ambas se equilibran mutuamente.



El volumen de la columna de agua, teniendo en cuenta que la superficie de su base es de  $1 \text{ cm}^2$  es de:

$$V = S \cdot h = 0,01 \text{ dm}^2 \times 103,3 \text{ dm} = 1,033 \text{ dm}^3$$

El peso que le correspondería a dicho volumen de agua (a  $15^\circ\text{C}$  de temperatura) es de **1,033 Kg**, ya que **1 litro de agua ( $1 \text{ dm}^3$ ) pesa 1 kg**. Por lo tanto, la presión ejercida por la atmósfera a nivel del mar es:

$$P = F/S = 1,033 \text{ Kg} / 1\text{cm}^2 = 1,033 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P = F/S = 14,7 \text{ lb} / 1\text{plg}^2 = 14,7 \text{ lb/plg}^2 = 14,7 \text{ psi (Pound per Square Inc)}$$

**El valor de la presión atmosférica al nivel del mar, es como sigue:**

**Sistema Internacional =  $101.325 \text{ Pa} = 101,325 \text{ KPa}$  (Kilo Pascales)**  
**Sistema Métrico =  $1,033 \text{ Kg/cm}^2 = 760 \text{ mm Hg}$ .**  
**Sistema Inglés =  $14,7 \text{ psi} = 29,92 \text{ in Hg}$ .**

### 3. presión manométrica:

Cuando se desea medir la presión dentro de un sistema o recipiente cerrado (depósitos, tuberías, etc.), se utiliza un instrumento llamado manómetro, por eso se le llama **presión manométrica**.

La **presión manométrica (también llamada efectiva o relativa)** es la diferencia entre la presión existente en el interior de un recipiente cerrado y la presión atmosférica, ya que el manómetro mide **0 Kg/cm<sup>2</sup>** a la presión atmosférica, que es:

$$P_m = P_a - P_{atm}$$

Donde:

$P_m$  = presión manométrica

$P_a$  = presión interna en un sistema cerrado (presión absoluta)

$P_{atm}$  = presión atmosférica

La presión dentro de un sistema cerrado, puede ser mayor o menor que la atmosférica. **A la presión mayor que la atmosférica, se le llama presión positiva; y a la menor, se le llama presión negativa o vacío.**

El manómetro marca la diferencia de presiones entre la que existe dentro del sistema y la presión atmosférica del lugar.

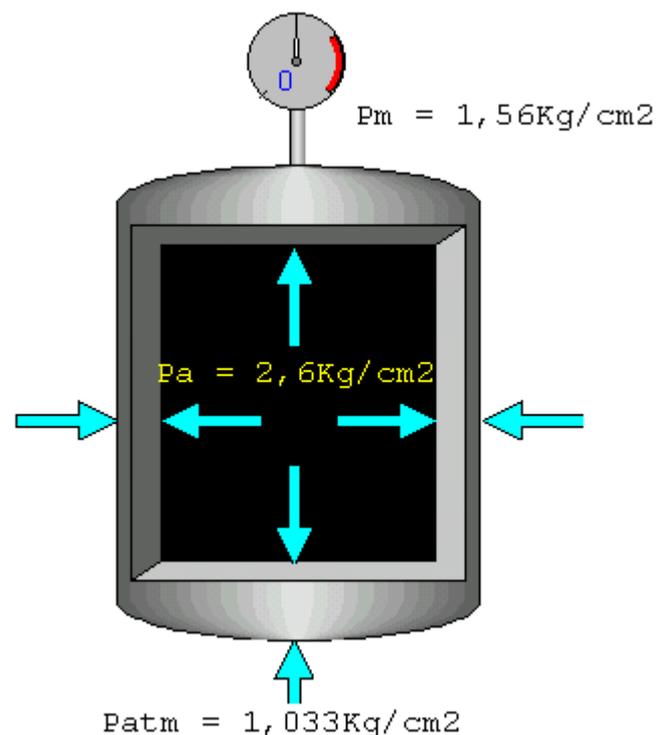
La presión manométrica es la que realmente interesa al técnico a efectos de cálculo (salvo aquellos casos en que sea preciso manejar presiones absolutas o verdaderas de un determinado fluido como podrían ser los fluidos frigorígenos).

En el recipiente de la figura podemos observar un recipiente cerrado en el cual se ha instalado un manómetro para medir la presión que ejerce el gas sobre las paredes interiores.

En ese caso sería:

$$P_m = 2,6\text{kg/cm}^2 - 1,033\text{kg/cm}^2 = 1,56\text{kg/cm}^2$$

Dicho valor de 1,56 Kg/cm<sup>2</sup> sería el que nos marca el manómetro.



#### 4. Presión absoluta:

La **presión absoluta** (o verdadera) es la manométrica incrementada en el valor de la presión atmosférica, es decir, es la suma de las presiones **manométrica y atmosférica**.

La **presión absoluta o real** es la suma de la presión manométrica y la presión atmosférica y su fórmula es:

$$P_a = P_m + P_{atm}$$

Donde:

$P_m$  = presión manométrica

$P_a$  = presión absoluta o real

$P_{atm}$  = presión atmosférica

#### 5. Depresión o vacío:

Supongamos un gas contenido en un cilindro con un pistón perfectamente acoplado y que se pueda mover mediante un émbolo, como el de la figura.

Consideremos también que el gas ejerce interiormente una presión igual a la atmosférica, es decir, 760 mm de Hg (1,033 Kg /cm<sup>2</sup>).

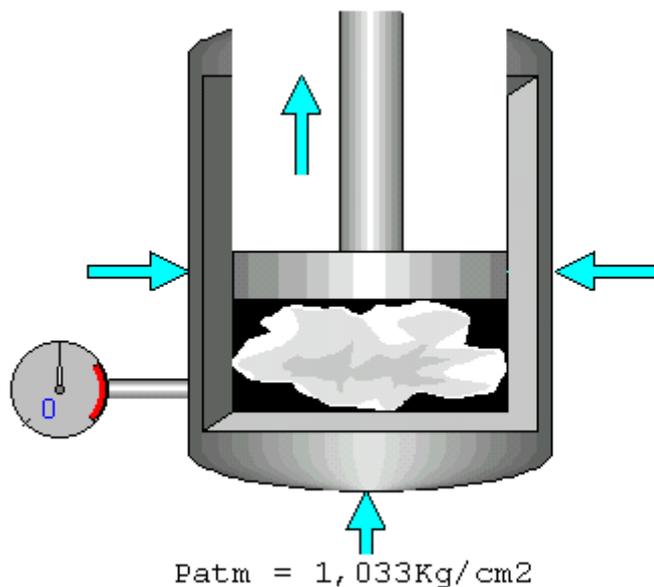
Para dicho valor, la lectura del manómetro sería  $P_m = P_a - P_{atm}$  es decir:

$$760 \text{ mmHg} - 760 \text{ mmHg} = 0$$

Lo cual es lógico al ser idénticas las presiones interior y exterior. Es lo mismo que considerar que el gas no ejerce ninguna presión, ya que se contrarrestan mutuamente (el cilindro no se verá sometido a ningún esfuerzo mecánico).

Si con esa condición de partida hacemos un esfuerzo sobre el émbolo de la

figura, tirando del pistón, en el interior del cilindro irá disminuyendo la presión, ya que el mismo gas tiene ahora un mayor espacio (volumen) y tiende a expandirse. Dicha disminución sería detectada y medida por el manómetro como un valor de **presión negativa** ya que siendo su presión inicial de **cero relativo** habrá descendido por debajo de dicho valor ( por debajo de 760 mm de Hg). A la cantidad que marca por debajo de cero se le llama **vacío**.



## TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS CALOR Y PRESIÓN

Por lo tanto, podemos decir que existe **vacío** cuando la presión está por debajo de la presión atmosférica, es decir, **por debajo de los 760 mmHg**.

El vacío que nos interesa conocer es la cantidad en que está por debajo de la atmosférica, es decir, **la medida relativa**, la que marca el **vacuómetro** (aparato que mide el vacío).

### 6. Unidades de presión:

Dado que la unidad del SI es el **Pascal [N/m<sup>2</sup>]** y representa un valor de presión muy pequeño, no se utiliza en el sector. En su lugar se emplea un **múltiplo** llamado "**bar**": **1 bar = 100.000 Pa = 10<sup>5</sup> Pa (Pascuales)**.

Las unidades de presión, más comúnmente adoptadas son el **Kg/cm<sup>2</sup>** en el sistema métrico decimal y **lb/in<sup>2</sup> (psi)** en el sistema inglés.

Equivalencias de la presión atmosférica normal = 760 mmHg = 1 atm (atmósfera física) = 10,33mca = 1,033 kg/cm<sup>2</sup> = 1,013 bar = 14,7 psi

**Finalmente** veremos dos unidades de presión **muy utilizadas en refrigeración**:

La **libra/pulgada<sup>2</sup>** es una medida de presión **inglesa**. Su abreviatura es "**psi**", que son las iniciales en inglés Pound (libra) per Square (cuadrada) Inch (pulgada). También se utiliza en vacío, la medida de columna de líquido inHg (pulgadas de mercurio). **29,92 inHg = 14,7 psi; aprox. 2 inHg = 1psi**

En el sistema inglés, se hace una clara distinción entre libras por pulgada cuadrada absolutas (**psia** por sus siglas en inglés de Pound per Square Inch Absolute), y libras por pulgada cuadrada manométricas (**psig** por sus siglas en inglés de Pounds per Square Inch Gauge). Cuando sólo se usa psi sin la "a" o la "g", generalmente se refiere a diferencias o caídas de presión.

Los diferentes aparatos que se usan para medir presión son:

**Manómetros**, que miden presiones relativas.

**Vacuómetros**, que miden vacío, normalmente en mmHg, mm c a y inHg en frío.

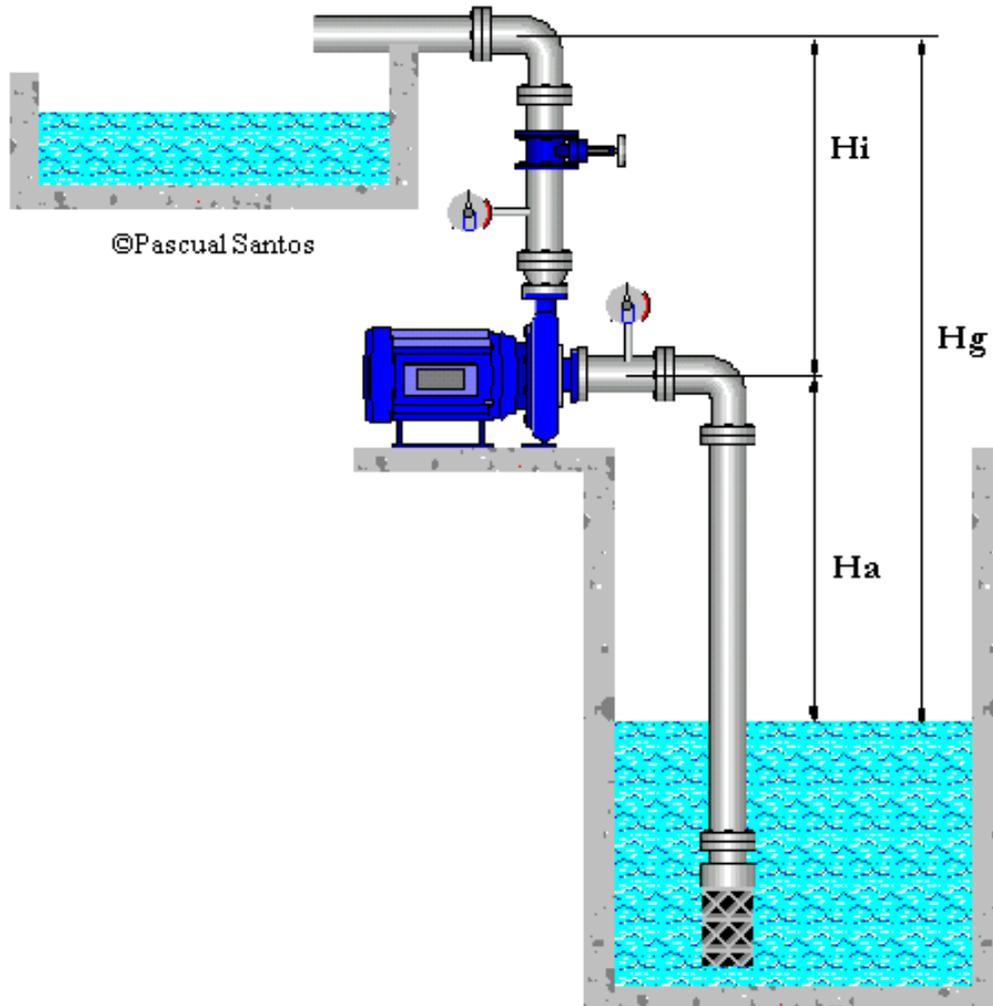
**Barómetros**, para medir presiones atmosféricas.

**Manovacúómetros o manómetro compuesto (puente de manómetros)** utilizados en refrigeración, para medir presión y vacío.

## 7. Columna de agua

Es la presión medida en metros de columna de agua [m.c.a.]. En el caso práctico de una bomba hidráulica, como la que se ve en la figura, la columna de agua coincide con el desnivel, desde el nivel inferior del agua, en la aspiración, hasta el nivel superior, donde es necesario elevar el agua.

En la figura el desnivel, o altura en metros de columna de agua, será  $H_g = H_i + H_a$ , donde  $H_g$  = Altura geométrica o columna total de agua,  $H_a$  = Altura en la aspiración y  $H_i$  = Altura impulsión.



## 8. Pérdida de carga

Pérdida de carga por fricción o rozamiento, es la carga equivalente en metro de líquido bombeado, que es necesaria para vencer las pérdidas de fricción causadas por el flujo del líquido a través de la tubería incluyendo todos los accesorios.

Varía con:

- La cantidad de flujo o caudal
- El tamaño, tipo y condición de la tubería y accesorios
- El tipo del líquido bombeado

**TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS  
CALOR Y PRESIÓN**

**9. Ejemplo de cálculo de las características de una bomba hidráulica**

Las características básicas que definen una bomba son caudal y presión. Para el cálculo completo de las características de una bomba, además del **caudal**, que serán los **litros / hora** que entrega la bomba, es necesario calcular la **presión total** que tiene que vencer la bomba.

La presión total será la altura de columna de agua o desnivel, más la presión debida a la pérdida de carga, por fricción, en toda la instalación.

**Datos del ejemplo, siguiendo la figura anterior:**

- Li = Longitud de la tubería en la impulsión = 215m
- La = Longitud de la tubería en la aspiración = 7m
- Di = Diámetro de la tubería de impulsión = 125mm
- Da = Diámetro de la tubería de aspiración = 150mm
- Hi = Altura en m.c.a. de la impulsión = 32m
- Ha = Altura en m.c.a. de la aspiración = 5m
- Caudal a elevar = 100m<sup>3</sup>/h

**Cálculo de la pérdida de carga. Mirando en la tabla y en el ábaco obtenemos:**

<b>PÉRDIDAS DE CARGA</b>	
<b>Aspiración (Pca)</b>	<b>Impulsión (Pci)</b>
1 curva de 90° de 150mm.....3m	1 cono difuso concéntrico.....5m
1 válvula de pie de 150mm.....28m	1 válvula compuerta de 125mm.....1m
Longitud tubería de aspiración.....7m	1 curva de 90° de 125mm.....2,5m
<b>Total tubería recta equivalente....38m</b>	<b>Longitud tubería de impulsión....215m</b>
La pérdida de carga para 100m <sup>3</sup> /h en Tubería de 150mm es del 2%.	<b>Total tubería recta equivalente..224m</b>
<b>Pca = 2 x 38 / 100 = 0,76 ~ 0,8m</b>	La pérdida de carga para 100m <sup>3</sup> /h en Tubería de 125mm es del 5,5%.
	<b>Pci = 5,5 x 224 / 100 = 12,32m</b>

Altura manométrica de aspiración.....( Ha + Pca = 5 + 0,8 ) = 5,8m

Altura manométrica de impulsión.....( Hi + Pci = 32 + 12,32 ) = 44,32m

Altura de seguridad.....( ~ 5% de la suma de las dos anteriores ) = 2,5m

Altura manométrica total..... 52,62m

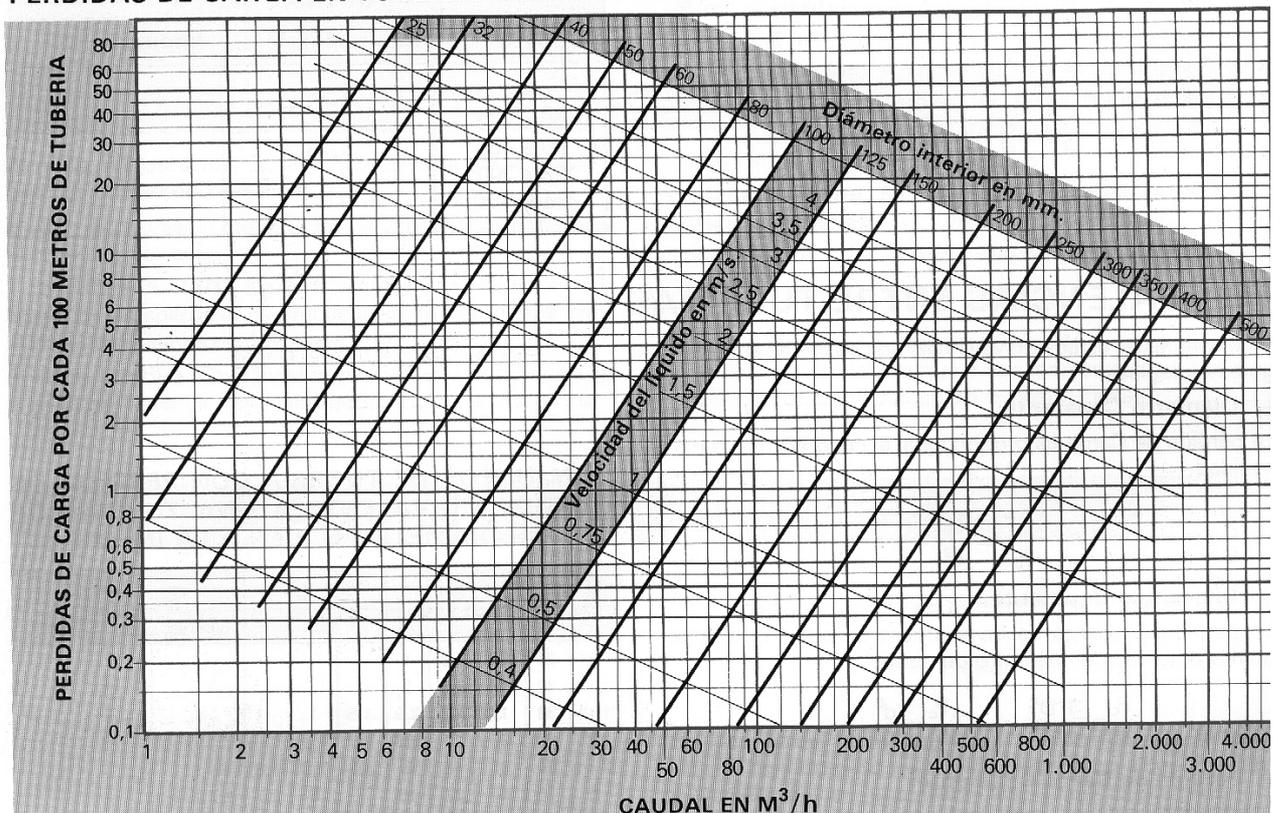
La presión total de la bomba será.....52,62mca = 5,262Kg / cm<sup>2</sup>

## TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS CALOR Y PRESIÓN

### METROS DE TUBERIA RECTA EQUIVALENTE

Diámet. del tubo	Conos difusores	Codo de 45°	Codo de 90°	Curva de 90°	Válvula de pie	Válvula de retenc.	Válvula de compuerta			
							abierta	cerrada 1/4	cerrada 1/2	cerrada 3/4
25		0,5	1	0,5	5	4		1	5	20
32		0,5	1	1	6	5		1,5	6	25
40		1	1,5	1	8	7		1,5	8	30
50	5 m. aproximadamente	1	1,5	1	9	8	0,5	2	10	40
60		1	2	1,5	12	10	0,5	2,5	12	50
80		1,5	2,5	1,5	15	13	0,5	3	16	60
100		1,5	3	2	18	16	1	4	20	80
125		2	4	2,5	23	20	1	5	25	100
150		2,5	5	3	28	25	1	6	30	120
200		3	6,5	4	35	30	1,5	8	40	160
250		3,5	8	5	45	40	2	10	50	200
300		4,5	9,5	6	55	50	2	12	60	240
350		5,5	11	7	70	60	2,5	14	70	280
400	6	13	8	80	70	3	16	80	325	
500	7	16	10	90	80	3,5	20	100	400	

### PERDIDAS DE CARGA EN TUBERIA NUEVA DE HIERRO FUNDIDO



## **Actividades de aprendizaje:**

### **1. Realizar los ejercicios relativos a "presión":**

1. La lectura de la *presión manométrica* del condensado de un refrigerante es de **120lbs/plg<sup>2</sup>**. ¿Cuál será el valor de la *presión absoluta* de dicho refrigerante en el condensador?. Expresar el resultado en **psi**, **Kg/cm<sup>2</sup>** y en **bares** (suponemos que la presión atmosférica es la estándar o normal).

2. En un manómetro colocado en la entrada de succión (aspiración) de un compresor de vapor se lee 12" (pulgadas) Hg, mientras que la lectura del barómetro da una presión atmosférica de 29,6"Hg. Calcular la presión absoluta del vapor que llega al compresor expresando el valor en **pulgadas de mercurio**, en **mmHg** y **psi**.

3. Durante la compresión, la presión del vapor es elevada desde **254 mmHg manométricos** hasta una **presión efectiva** de **125psi**. Calcular el incremento de presión ( $\Delta p$ ) expresándolo en **psi** o **lbs/plg<sup>2</sup>** y en **bares**.

4. Un depósito cilíndrico de **110cm** de altura tiene un diámetro en su base de **30cm**. Si la presión en la base del depósito es de **1.240 Pascales** (N/m<sup>2</sup>), ¿cuál será la fuerza total (F) ejercida sobre la base?

5. En un barómetro se lee **756 mmHg**. ¿Cuál será la presión atmosférica expresada en Pascales?

6. En un manómetro de mercurio se lee **360 mmHg** de **vacío**. Calcular la verdadera presión expresada en Pascales y en inHg.

7. En un manómetro instalado en la entrada de aspiración de un compresor de refrigeración se lee un valor de **150 mmHg** de **vacío**, mientras que otro manómetro colocado en la descarga de dicho compresor ofrece una lectura de **6,8 bares**.

Calcular el incremento de la presión proporcionado durante el proceso de compresión, expresando el resultado (valor **efectivo** o **relativo**) en **Pascales**, **bares**, **Kg/cm<sup>2</sup>** y **psi**. Calcular también los valores de **presión absoluta** antes y después de la compresión.

## TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS CALOR Y PRESIÓN

8. ¿Qué es presión y en que unidades se mide en el SI? ¿Qué tipos de presión existen?. Explica cada una de ellas y pon un ejemplo real de cada una.

9. En la aspiración de un compresor se lee 10 in Hg, si el incremento de presión del compresor es de 150 psig, ¿Cuál será la presión relativa que se lee en el manómetro colocado en la impulsión? Expresar el resultado en psi, Bar, Pa y Kg/cm<sup>2</sup>.  
¿Cual es la presión absoluta en la aspiración y la impulsión en Kpa?

10. Una bomba entrega un caudal de 500 lts / h. Si la presión del manómetro en la impulsión es de 3,3 Kg/cm<sup>2</sup>, y la pérdida de carga en la tubería es de 18,46 psig. ¿Qué presión relativa tendrá a la salida de la tubería, entregando el mismo caudal? Expresar el resultado en Bares y en Pascales.  
¿Qué presión en psia tendrá en el mismo punto, si el barómetro marca 29 in Hg?

11. ¿Qué presión ejerce un depósito cúbico de 1 m de lado que contiene 1 m<sup>3</sup> de agua pura, sobre su base?. Despreciar el peso del depósito.

12. Una bomba sube agua a un depósito. La pérdida de carga se calcula según los siguientes datos:

- Desnivel entre el depósito de aspiración y la bomba: **5m**
- La impulsión de la bomba: **10 m**
- Longitud total de la tubería (aspiración + impulsión): **30m**
- La tubería tiene **2 codos**, uno en la impulsión y otro en la aspiración.
- En la impulsión existe **1 cono** difusor excéntrico y **1 válvula** de compuerta.
- Diámetro de la impulsión **150mm** y de la aspiración **200mm**.
- En la aspiración siempre hay que colocar **1 válvula de pie** de pozo.
- El caudal es de **100m<sup>3</sup>/h**.

a) Dibujar la instalación, acotando sus medidas.

b) ¿Qué presión total necesita la bomba? Expresar el resultado en psi, Bar, Pa y Kg/cm<sup>2</sup>.

c) ¿Qué presión absoluta en Bar tendrá en la impulsión, es decir, justo a la salida de la bomba?

## TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS CALOR Y PRESIÓN

13. Una bomba sube agua a una balsa, estando la aspiración en carga, es decir justo por debajo del nivel de la acequia.

Los datos de la instalación son los siguientes:

- Columna de agua entre acequia y balsa: **10m**
- Longitud total de la tubería: **50m**
- La tubería tiene **2 codos** en la impulsión.
- **1 cono** difusor concéntrico en la aspiración.
- En la impulsión existe **1 cono** difusor concéntrico y **1 válvula** de compuerta.
- Diámetro de la impulsión **125mm** y de la aspiración **150mm**.
- El caudal es de **200m<sup>3</sup>/h**.

a) Dibujar la instalación, acotando sus medidas.

b) ¿Qué presión necesita la bomba? Expresar el resultado en psi, Bar, Pa y Kg/cm<sup>2</sup>.

14. Una bomba sube agua a un depósito. La pérdida de carga se calcula según los siguientes datos:

- Desnivel entre el depósito de aspiración: **7m**
- La impulsión de la bomba: **20 m**
- Longitud total de la tubería: **30m**
- La tubería tiene **2 codos**, uno en la impulsión y otro en la aspiración.
- Diámetro de la impulsión **100mm** y de la aspiración **150mm**.
- **1 cono** difusor concéntrico en la aspiración.
- **1 cono** difusor concéntrico en la impulsión.
- En la aspiración, si la bomba aspira de un pozo, siempre hay que colocar **una válvula de pie de pozo**, y en la impulsión, para que no se descargue la bomba, es necesario colocar **una válvula de retención**, entre el cono y la **válvula de compuerta**, que también se debe instalar siempre, por si hay alguna rotura.
- La balsa tiene una capacidad de 240.000 litros y el caudal debe ser el suficiente para llenar la balsa completa en 3 horas.

a) Dibujar la instalación, acotando sus medidas.

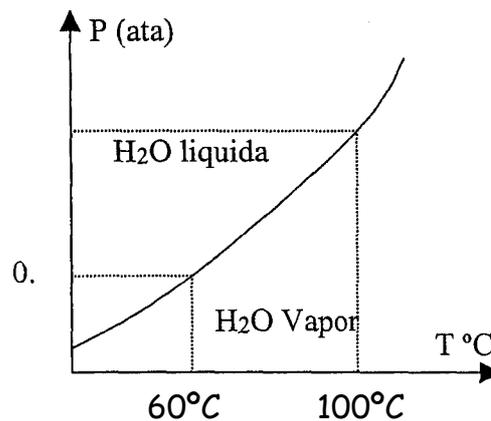
b) ¿Qué pérdida de carga por fricción, exacta, sin porcentaje de seguridad y sin contar el desnivel, tiene el total de la instalación en m.c.a?

c) Si la bomba entrega 5Bar. ¿Qué presión relativa tendrá a la salida de la tubería, es decir, en el depósito. Expresar el resultado en psi, Bar, Pa y Kg/cm<sup>2</sup>.

## ¿Cómo influye la presión en los cambios de estado?

### 1. Variación de la temperatura de ebullición con la presión:

La temperatura de ebullición de un líquido, depende de la presión a la que este se encuentre, de tal forma que a cualquier presión dada le corresponde un punto de ebullición. Las variaciones de la temperatura de ebullición en función de la presión pueden expresarse gráficamente en un diagrama como el de la figura.

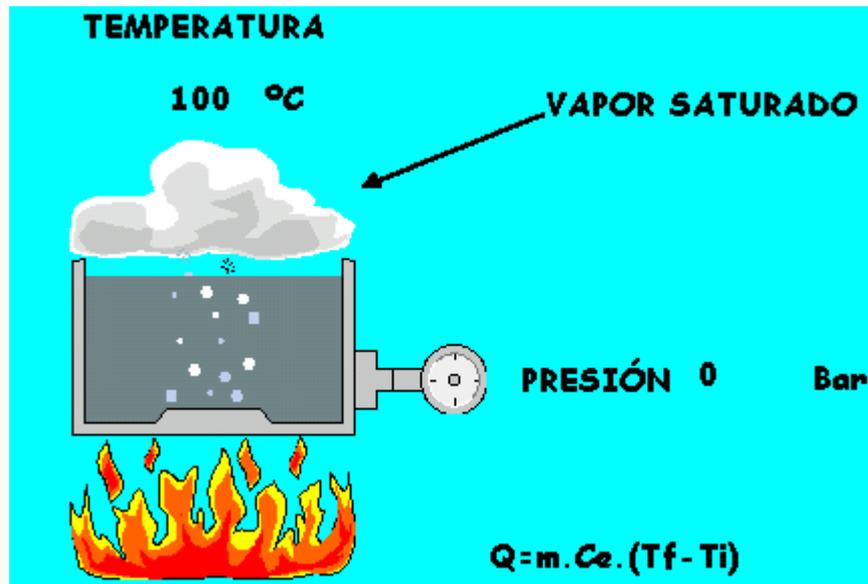


En la siguiente tabla se puede ver como aumenta la temperatura de ebullición del agua, al aumentar la presión. A mayor presión se necesita mayor temperatura, para que hierva el agua.

TEMPERATURA DE EBULLICIÓN EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN (H <sub>2</sub> O)			
PRESIÓN (ATA)	TEMP °C	PRESIÓN (ATA)	TEMP °C
0.2	60	2	120
0.4	75	4	143
0.6	86	6	158
0.8	93	8	170
1.0	99	10	179

Esta dependencia entre temperatura de ebullición y presión es de especial interés en la técnica de la calefacción tal como a continuación veremos.

## 2. Vapor saturado



En la figura se representa un recipiente lleno de agua con un manómetro para indicar la presión, y un termómetro para la temperatura. Dicho recipiente está abierto; si suministramos calor al recipiente, la temperatura del agua irá aumentando (calor sensible), el manómetro marcará presión relativa cero ya que el agua está sometida a la presión atmosférica al estar abierto el recipiente. Si estamos a la presión atmosférica normal (760 mmHg), a los 100° C el agua empieza a hervir y por mucho calor que apliquemos no aumenta más la temperatura en el termómetro. Sin embargo, mientras más calor suministremos, más vapor se produce y se va al ambiente manteniéndose constante la presión y la temperatura a 100° C.

**Mientras el recipiente se encuentre abierto no podemos aumentar la presión ni la temperatura, y estamos produciendo VAPOR SATURADO.**

**Temperatura de saturación.-** Es la temperatura, a la cual, un fluido cambia de fase líquida a vapor, o a la inversa. Esta temperatura aumenta, si aumentamos la presión.

**Líquido saturado.-** Es líquido a la temperatura de saturación.

**Vapor saturado.-** Es vapor a la temperatura de saturación.

### 3. Agua sobrecalentada

**AGUA SOBRECALENTADA  
NO SALE VAPOR**

**TEMPERATURA**  
**180 °C**

**PRESIÓN 3040 mmHg**

Producir vapor recalentado	Calentar
Abrir válvula para que salga el vapor	+ 10 Kcal

**Temperatura de ebullición en función de la presión**

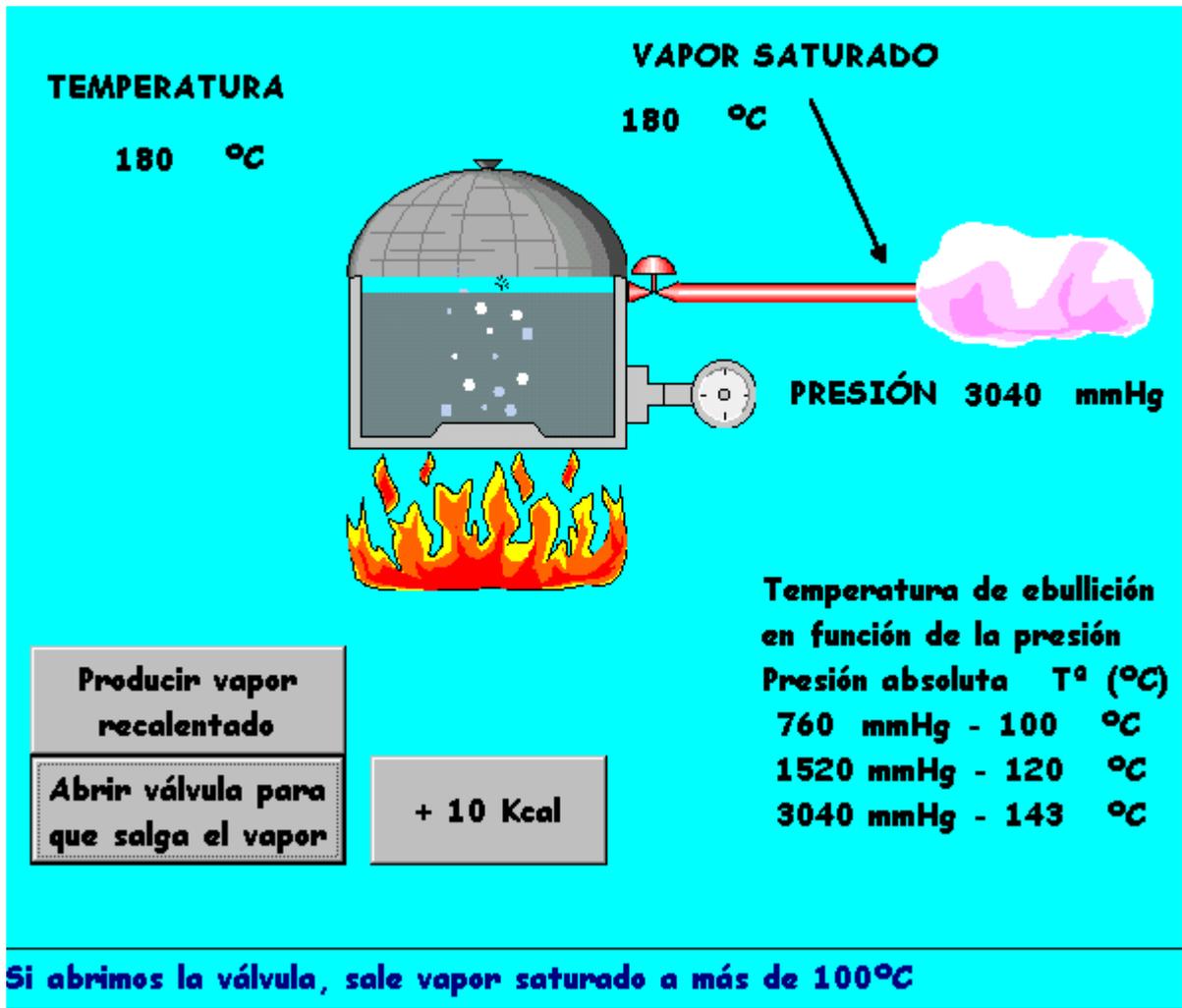
Presión absoluta	T° (°C)
760 mmHg	100 °C
1520 mmHg	120 °C
3040 mmHg	143 °C

**Al tapar, obtenemos agua sobrecalentada, a más de 100°C**

Si ahora cerramos el depósito como en la figura, ocurre el siguiente fenómeno: Al principio todo ocurre como antes hasta que la temperatura alcanza los 100° C y el manómetro marca la presión atmosférica inicial, señalando por tanto 0 Kg/cm<sup>2</sup> de presión relativa o efectiva.

A partir de ahí, de los 100° C el agua sí aumenta de temperatura y de presión por efecto de dilatación del agua. Si se mantiene a presión el agua, esta podrá alcanzar temperaturas mayores de 100° C permaneciendo en estado líquido. A esta agua se le llama AGUA SOBRECALENTADA.

**4. Vapor saturado a mayor temperatura que la de saturación**

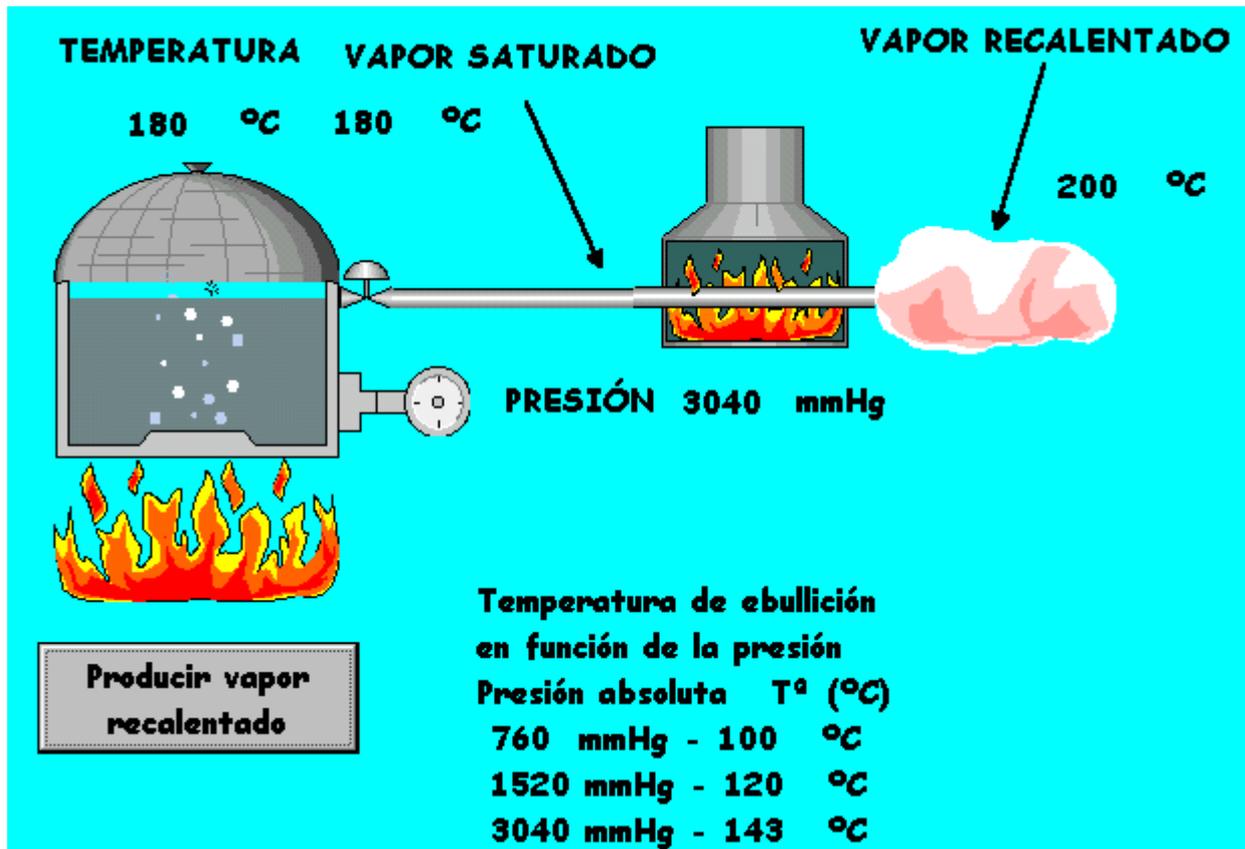


Supongamos ahora que a partir de una cierta presión podemos instalar en la tapa una válvula que podemos abrir o cerrar a voluntad para mantener una presión determinada y constante en el recipiente. En ese momento comenzará a salir vapor y a hervir el agua, y todo el calor que se suministre irá para producir vapor, pudiéndose comprobar el siguiente hecho:

- La temperatura de ebullición se mantiene constante para una presión determinada y constante en el recipiente.
- Si la temperatura aumenta, también la presión aumenta.
- Cuando la presión se estabiliza en un nuevo valor, al maniobrar la válvula, también la temperatura se estabiliza en un valor mayor o menor.

Con dicha experiencia estamos produciendo VAPOR SATURADO pero a temperatura mayor de 100° C, siendo el fundamento de las calderas de vapor.

### 5. Vapor recalentado



A partir de aquí, se puede conducir el vapor que sale del recipiente hasta un serpentín como el de la figura en el que aportamos calor.

Antes teníamos mantenida constante la temperatura cuando se mantenía constante la presión, y esto ocurrirá siempre que el vapor se encuentre en presencia de agua, siendo imposible aumentar la temperatura, porque el calor suministrado se utilizaba para producir mas vapor y en esas condiciones el vapor es saturado. Sin embargo, en las condiciones de la figura, el vapor en el serpentín capta calor aumentando su temperatura por encima de la del agua del recipiente. Al vapor así calentado se le llama **VAPOR RECALENTADO**, y es imprescindible que en el serpentín no exista agua.

A este serpentín se le llama **RECALENTADOR**, y lo tienen incorporado las calderas que para están diseñadas y construidas.

Cuando se transporta el vapor recalentado ocurre que por mal aislamiento de tuberías o equipos se enfría, produciendo algo de agua que se transporta mezclada con el vapor; a este vapor se le llama **VAPOR HÚMEDO**. Dichas condiciones son muy peligrosas, pues se deposita en las partes bajas de la instalación, codos, etc. Y su arrastres produce fuertes golpes de ariete. Por ello deben estas instalaciones no utilizadas en calefacción, estar provistas de eliminación de condensados o purgas.

## Actividad de aprendizaje constructivo

Con ayuda de la simulación, conseguir vapor recalentado a  $200^{\circ}\text{C}$ , realizando un informe técnico, para documentar todo el procedimiento seguido.

Trabajar en pequeños grupos de 2 o 3 personas.



Hacer clic sobre el icono de la simulación **T y P**:

Utilizar como ayuda el documento: **Guía para realizar informes técnicos.**

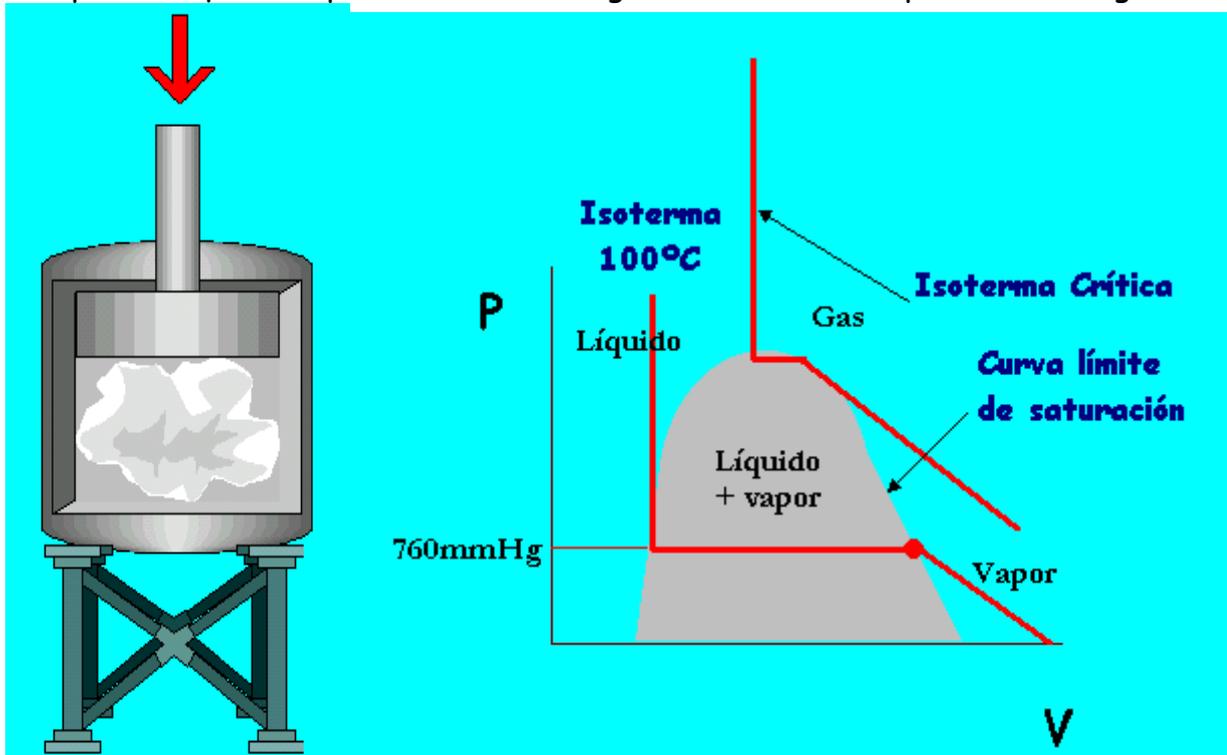
## Licuefacción de gases:

### 1. Licuefacción por compresión:

**¿Se pueden licuar gases aumentando la presión mientras se mantiene la temperatura constante?**

Se denomina **licuefacción** al paso de una sustancia del estado gaseoso al líquido. Para una determinada **temperatura y manteniéndola constante**, se puede conseguir la **licuefacción por medio de un aumento de la presión**.

Este proceso queda representado en la figura siendo su interpretación la siguiente:



(Supongamos vapor de agua a temperatura  $100^{\circ}\text{C}$  contenido en un cilindro con un pistón para la compresión)

**Zona Vapor:** Al descender el pistón el volumen del cilindro disminuye lo cual conlleva un aumento progresivo de la presión. El agua permanece en fase de vapor a

## TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS CALOR Y PRESIÓN

100° C. Estamos ya situados en el punto de la figura, en la curva de vapor saturado, justo en el inicio de la condensación. A la presión atmosférica normal.

**Zona Líquido + vapor:** Cuando la presión alcanza el valor de 1 atm, el vapor de agua comienza a licuarse, permaneciendo constante la presión mientras dure la LICUEFACCIÓN, a pesar de que sigamos reduciendo el volumen del cilindro.

**Zona Líquido:** Cuando todo el vapor ha pasado al fase líquida, éste no se deja comprimir (aunque aumenta la presión el volumen a penas se reduce ya que los líquidos son difícilmente compresibles).

Para ver la demostración de Licuefacción por compresión pinchar en:



### 2. Isotermas de los gases reales. punto crítico

Si se realiza prácticamente la compresión de un gas real a distintas temperaturas, se comprobará que a medida que aumentamos la temperatura la variación de volumen que corresponde a la licuefacción (línea paralela al eje V) disminuye. Para una determinada temperatura ( $T_k$ ) el segmento correspondiente a la licuefacción se transforma en un punto las propiedades del vapor y del líquido se confunden.

Lo dicho queda reflejado en la figura:

La temperatura  $T_k$  se denomina **Temperatura crítica**.

**Temperatura crítica** es una temperatura tal que a temperaturas superiores a ella un gas no se puede licuar, sean cuales sean las presiones a que este sometido.

**Punto crítico (K)** aquel que para unas condiciones determinadas de P, V y T se produce un rápido cambio de estado, sin apenas transición de uno a otro estado.

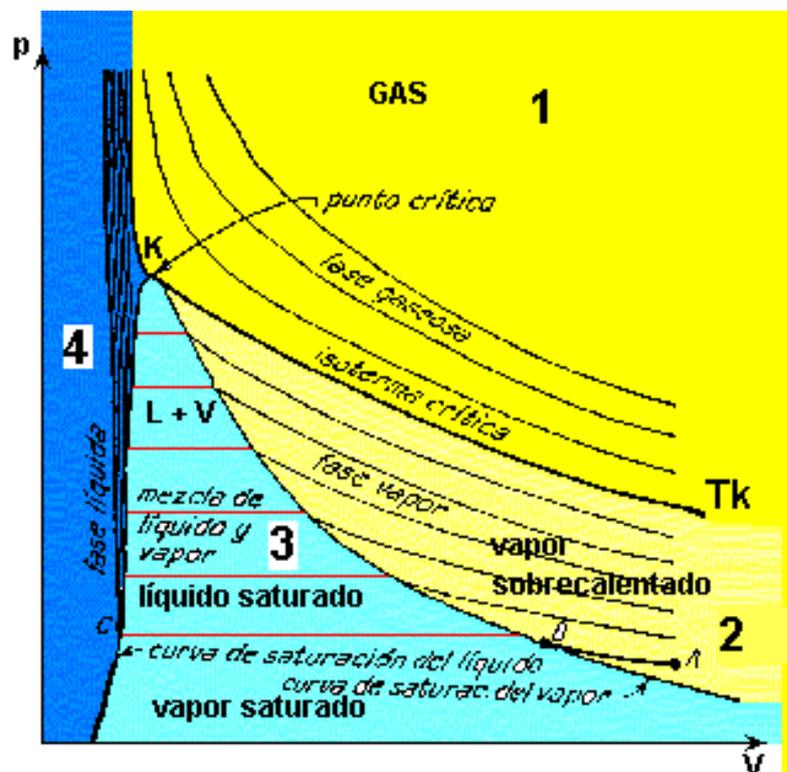
La líneas isoterma crítica y la curva limite de saturación divide el plano en cuatro regiones que son:

**REGIÓN 1 Gas:** el cuerpo no se licua cualquiera que sean las presiones que sobre el ejercemos.

**REGIÓN 2 Vapor:** El cuerpo se licua por compresión. La diferencia entre un gas y un vapor es que el gas no se licua por compresión (temperatura constante) y el vapor si.

**REGIÓN 3 Vapor en equilibrio con líquido**

**REGIÓN 4 Líquido.**



## Comportamiento de los gases:

### 1. Gases perfectos.

**Ningún gas es perfecto.** El estado perfecto no se puede conseguir, pero los gases reales se acercan al estado perfecto, cuando su presión es reducida y la temperatura se encuentra alejada de sus condiciones de licuefacción.

Bajo circunstancias normales, los gases corrientes (aire, hidrógeno, helio, oxígeno, nitrógeno, etc.) se hallan muy cerca del estado perfecto. Por el contrario, los gases fácilmente licuables, como el gas carbónico, anhídrido sulfuroso y amoníaco, se separan mucho del estado perfecto.

### 2. Gases y vapores.

Hemos visto hasta ahora que el vapor de agua puede licuarse (condensarse) quitándole calor, o sea refrigerándolo.

Diremos, entonces, que todo **fluido gaseoso condensable será un vapor**, con diferencia de los **gases** que son aquellos que no se pueden licuar a pesar de refrigerarlos en cualquier situación de presión, por estar por encima de la temperatura crítica.

Los **gases o vapores perfectos** pueden cambiar o transformarse de un estado (1), en el que tendrán una cierta presión, temperatura y volumen ( $P_1, V_1, T_1$ ) a otro nuevo estado (2) en el que han cambiado la presión, temperatura o volumen ( $P_2, V_2, T_2$ ), siguiendo las leyes de los gases perfectos.

### 3. Ecuación general de los gases perfectos.

Los **gases o vapores perfectos** son aquellos que cumplen la ecuación general de los gases perfectos, que relaciona dos estados distintos de un mismo gas y su fórmula es:

$$P_1 \cdot V_1 / T_1 = P_2 \cdot V_2 / T_2$$

Donde:

**P** es la presión absoluta a la que se encuentra el gas.

**T** es la temperatura absoluta siempre en [K].

**V** es el volumen ocupado por el gas.

En función de las condiciones de P, V y T, podemos distinguir cuatro procesos o transformaciones en los gases perfectos, que pasamos a enunciar.

### 4. Transformación isotérmica:

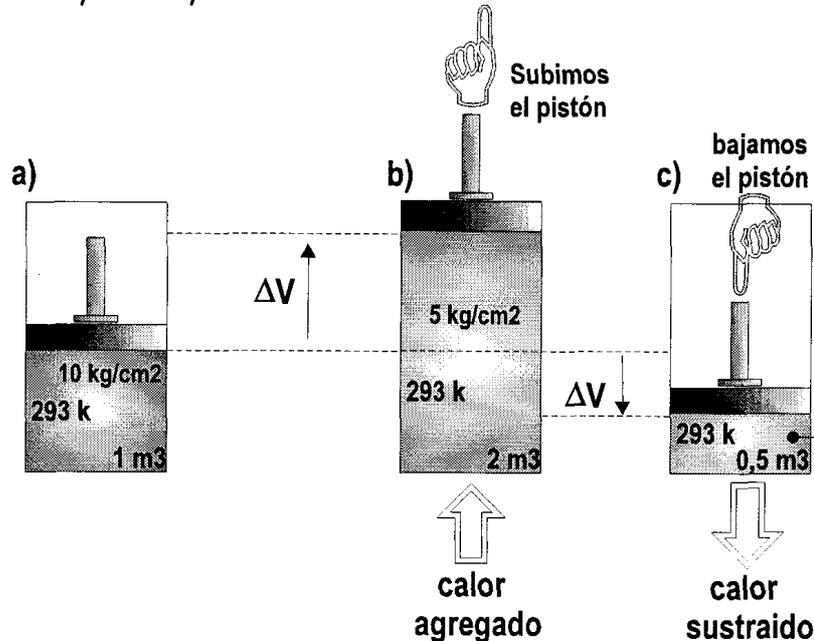
Donde el proceso se realiza a temperatura constante. El gas se ajusta a la fórmula siguiente:

## TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS CALOR Y PRESIÓN

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Que es la relación entre la presión y el volumen de un gas cuando la temperatura es constante, también llamada ley de Boyle.

Página web de la ley de Boyle:



a) **Condición inicial:** gas encerrado en un cilindro con pistón bien ajustado y sin pérdidas por rozamiento.

b) **Expansión a temperatura constante:** si aumenta el volumen, manteniendo la temperatura constante, disminuye la presión absoluta.

c) **Compresión a temperatura constante:** si aumentamos la presión disminuye el volumen, si mantenemos constante la temperatura.

### Ejemplo:

4 L de un gas están a 600 mmHg de presión. ¿Cuál será su nuevo volumen si aumentamos la presión hasta 800 mmHg?

**Solución:** Sustituimos los valores en la ecuación  $P_1 V_1 = P_2 V_2$ .

$$(600 \text{ mmHg}) (4 \text{ L}) = (800 \text{ mmHg}) (V_2)$$

Si despejamos  $V_2$  obtendremos un valor para el nuevo volumen de 3L.

### Ejercicios:

## TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS CALOR Y PRESIÓN

1. Tres libras de aire son expandidas a temperatura constante desde un volumen inicial de  $0,05 \text{ m}^3$  hasta un volumen final de  $0,1 \text{ m}^3$ . Si la presión inicial es de 36 psi absolutas, ¿cuál será la presión final en  $\text{Kg/cm}^2$ ? **Solución:  $1,26 \text{ Kg/cm}^2$**

2. Una masa conocida de gas cuyo volumen inicial es de  $0,08 \text{ m}^3$  es comprimida a temperatura constante hasta un volumen final de  $0,02 \text{ m}^3$ . Si la presión inicial del gas es de  $2 \text{ Kg/cm}^2$  (relativa), ¿cuál será la presión absoluta final del gas en  $\text{Kg/cm}^2$ ? **Solución:  $12,132 \text{ Kg/cm}^2$**

### 5. Transformación isobárica:

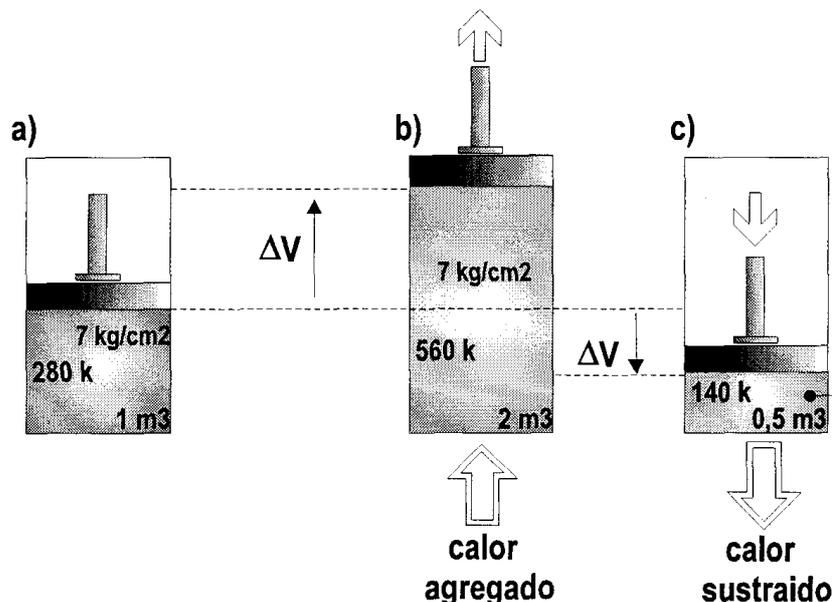
Donde el proceso se realiza a presión constante. El gas se ajusta a la fórmula siguiente:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Que es la relación entre la temperatura y el volumen de un gas cuando la presión es constante, también llamada ley de Charles.



Página web de la ley de Charles:



a) **Condición inicial:** gas encerrado en un cilindro con pistón bien ajustado y sin pérdidas por rozamiento.

b) Si se calienta el gas. **El aumento de volumen es proporcional, exactamente, al incremento de la temperatura absoluta.** El pistón subirá como consecuencia del aumento de volumen.

c) Si se enfría el gas. **La disminución de volumen es, exactamente, proporcional a la disminución de temperatura absoluta.** El pistón bajará como consecuencia de la disminución de volumen.

**Ejemplo:**

## TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS CALOR Y PRESIÓN

Un gas tiene un volumen de 2.5 L a 25 °C. ¿Cuál será su nuevo volumen si bajamos la temperatura a 10 °C?

Solución: Primero expresamos la temperatura en kelvin:

$$T_1 = (25 + 273) \text{ K} = 298 \text{ K}$$

$$T_2 = (10 + 273) \text{ K} = 283 \text{ K}$$

$$\boxed{\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}}$$

Ahora sustituimos los datos en la ecuación:

$$\frac{2.5\text{L}}{298 \text{ K}} = \frac{V_2}{283 \text{ K}}$$

Si despejamos  $V_2$  obtendremos un valor para el nuevo volumen de 2.37 L.

### Ejercicios:

1. Un gas que tiene un volumen inicial de 12 m<sup>3</sup> y temperatura de 20°C es calentado bajo presión constante, hasta que su volumen se aumenta hasta 20 m<sup>3</sup>. Calcular la temperatura final del gas. **Solución: 488,3 K = 215,3°C**

2. Un gas que tiene una temperatura inicial de 80°C, es enfriado a presión constante hasta que su temperatura se reduce a 20°C. Si el volumen inicial del gas es 3 m<sup>3</sup> ¿cuál será su volumen final? **Solución: 2,4m<sup>3</sup>**

### 6. Transformación isócara.

Donde el proceso se realiza a volumen constante. El gas se ajusta a la fórmula siguiente:

$$\boxed{\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}}$$

Que es la relación entre la temperatura y presión absoluta de un gas cuando el volumen es constante, también llamada ley de Gay - Lussac.

Página web de la ley de Gay - Lussac:



- El gas está confinado en un recipiente totalmente cerrado, de modo que su volumen no puede cambiar (no hay pistón que pueda subir o bajar).
- **Si se suministra calor**, la temperatura del gas aumentará, aumentando, proporcionalmente, la presión absoluta.
- **Si el gas es enfriado** (quitándole calor), la temperatura disminuirá y como consecuencia, disminuirá proporcionalmente la presión absoluta.

### Ejemplo:

## TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS CALOR Y PRESIÓN

Cierto volumen de un gas se encuentra a una presión de 970 mmHg cuando su temperatura es de 25.0°C. ¿A qué temperatura deberá estar para que su presión sea 760 mmHg?

**Solución:** Primero expresamos la temperatura en kelvin:

$$T_1 = (25 + 273) \text{ K} = 298 \text{ K}$$

Ahora sustituimos los datos en la ecuación:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{970 \text{ mmHg}}{298 \text{ K}} = \frac{760 \text{ mmHg}}{T_2}$$

Si despejamos  $T_2$  obtendremos que la nueva temperatura deberá ser 233.5 K o lo que es lo mismo -39.5 °C.

### Ejercicios:

1. Una cierta masa de gas contenida en un depósito tiene una temperatura inicial de 50°C y presión inicial de 20 lbs/plg<sup>2</sup> (relativa). Si el gas es calentado hasta alcanzar una presión absoluta final de 100 lbs/plg<sup>2</sup>, ¿cuál será la temperatura final del gas en °C?. **Solución:** 657 °C

2. Un compresor de aire comprimido tiene un depósito cerrado, donde conectamos un manómetro que mide 4bar, y un termómetro que mide 20°C. Ponemos en marcha el compresor, aumentando la presión en el depósito hasta 10bar. ¿Cuántos °C mide el termómetro, una vez aumentada la presión?

### 7. Transformación adiabática.

Es cuando el proceso se realiza a calor o **entalpía constante**, es decir no existe intercambio entre el sistema y el exterior, es como si el sistema estuviera completamente aislado.

### 8. Transformaciones politrópicas.

Son las transformaciones que *suceden realmente* en la práctica, por lo que también se conocen como **"TRANSFORMACIONES REALES"**.

En dichas transformaciones *hay intercambio de calor con el exterior y variación de temperatura*, además de variar el volumen y la presión.

### **Actividades de aprendizaje:**

1. Un gas que tiene un volumen inicial de  $4 \text{ m}^3$  a la temperatura de  $630^\circ\text{K}$  es enfriado a presión constante hasta que su volumen disminuye hasta quedar en  $1,7 \text{ m}^3$ . Calcula la temperatura final de dicho gas expresada en  $^\circ\text{C}$ .      **S:  $-5,25^\circ\text{C}$**

2. Un gas que tiene una temperatura inicial de  $16^\circ\text{C}$ , es calentado a presión constante hasta que su temperatura se eleva a  $30^\circ\text{C}$ . Si el volumen inicial del gas es  $1,4 \text{ m}^3$  ¿cuál será su volumen final después de ser calentado?.      **S:  $1,47 \text{ m}^3$**

3. Una masa de  $2 \text{ kg}$  de aire son comprimidos isotérmicamente desde un volumen inicial de  $2,6 \text{ m}^3$  hasta que se reduce a  $0,89 \text{ m}^3$ . Si la presión absoluta del aire, antes de la compresión, es de  $2,1 \text{ bar}$  ¿qué presión marcará el manómetro al final de la compresión?.      **S:  $5,1 \text{ bar}$**

4. A  $2 \text{ m}^3$  de gas se le deja expandirse desde una presión absoluta inicial de  $6,2$  bares hasta que su presión se reduce a  $4,6$  bares absolutos permaneciendo la temperatura constante. Calcula el volumen final del gas.      **S:  $2,69 \text{ m}^3$**

5. Una cierta masa de gas es expandida isotérmicamente desde un volumen inicial de  $0,62 \text{ m}^3$  hasta un volumen final de  $3,16 \text{ m}^3$ ; si la presión absoluta inicial del gas es  $6,5 \text{ bar}$ , ¿cuál es la presión absoluta final del gas?

6. Un compresor de aire comprimido tiene un depósito cerrado, donde conectamos un manómetro que mide  $50 \text{ KPa}$ , y un termómetro que mide  $30^\circ\text{C}$ . Ponemos en marcha el compresor, aumentando la presión en el depósito hasta  $12 \text{ bar}$ . ¿Cuántos  $^\circ\text{C}$  mide el termómetro, una vez aumentada la presión?

7. Un compresor de aire comprimido tiene un depósito cerrado, donde conectamos un manómetro que mide  $11 \text{ Kg/cm}^2$ , y un termómetro que mide  $50^\circ\text{C}$ . Conectamos un taladro neumático, bajando la presión en el depósito hasta  $3 \text{ bar}$ . ¿Cuántos  $^\circ\text{C}$  mide el termómetro ahora?

### **Termodinámica**

La Termodinámica, como apuntábamos en la unidad de trabajo nº 1, es una ciencia fundamental que estudia **la conversión de calor en trabajo**. Hoy día el mismo concepto abarca todos los aspectos de la energía y sus transformaciones, incluidos la producción de potencia, sistemas de refrigeración y acondicionamiento de aire.

Un ejemplo de sistema termodinámico es la [máquina de vapor](#), que produce trabajo a partir del vapor de agua.

## TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS CALOR Y PRESIÓN

### 1. Primer principio de la termodinámica:

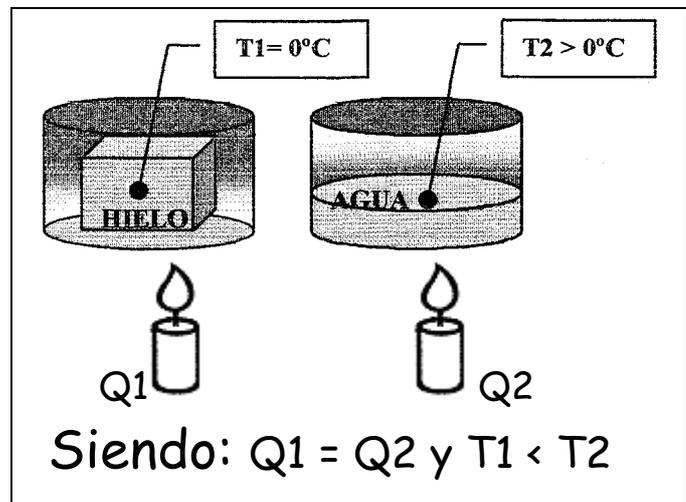
**Primer principio de la termodinámica o principio de conservación de la energía:** en un sistema cerrado la energía ni se crea ni se destruye solamente se transforma, salvo cuando existe disipación, es decir, cuando parte se pierde fuera del sistema.

Según el **primer principio de la termodinámica**, cuando suministramos calor a un cuerpo se utiliza, bien en **augmentar su energía interna**, o bien, en **producir un trabajo**, como puede ser el desplazamiento de un pistón en un cilindro, lo cual, no incrementaría su energía.

En el primer caso, pueden ocurrir dos fenómenos diferentes:

#### 1°. **Cuerpos sometidos a focos caloríficos idénticos pueden adquirir distinta temperatura:**

Como ejemplo bastaría con tomar dos recipientes, uno con hielo a  $0^{\circ}\text{C}$  y otro con agua a  $0^{\circ}\text{C}$ . Al comunicarle calor con focos idénticos, comprobaríamos mediante un termómetro colocado en cada uno que en el primero (el hielo) la temperatura no se eleva, permaneciendo constante, mientras que en el segundo sí (agua), es decir, el calor aportado se emplea en dos efectos distintos: **fusión en el caso del hielo (calor latente) y calentamiento en el caso del agua (calor sensible)**, y todo ello habiendo partido desde el mismo valor de temperatura ( $0^{\circ}\text{C}$ ). Ver figura:



#### 2°. **Cuerpos con la misma temperatura pueden tener almacenada distinta cantidad de calor (energía interna):**

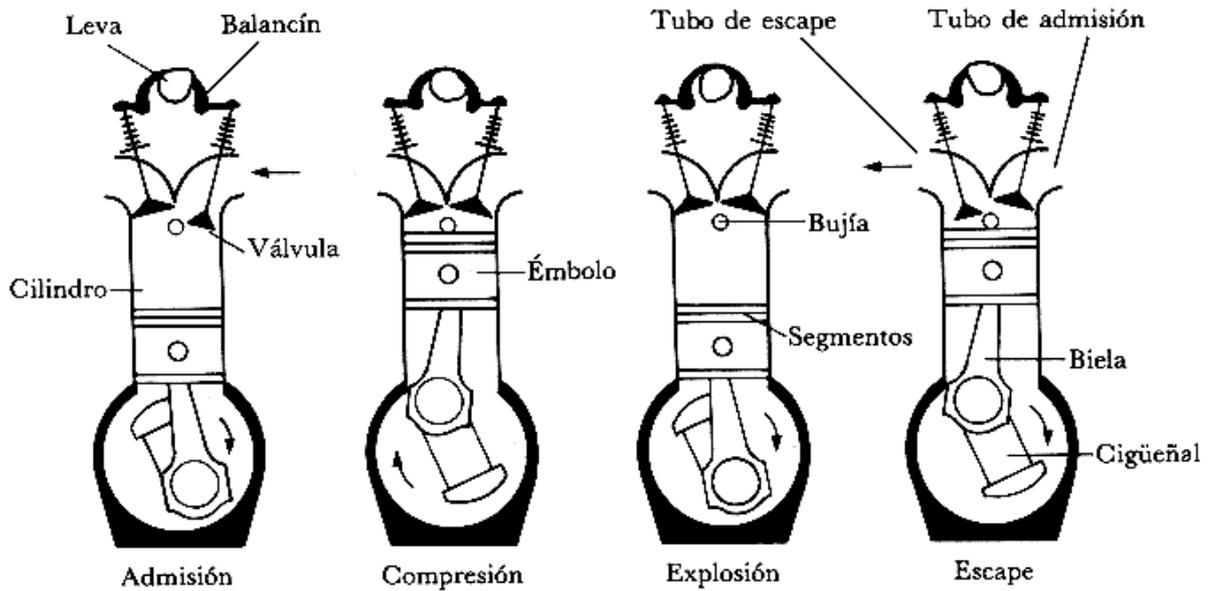
La explicación de este fenómeno es debido al **diferente calor específico** que tiene cada cuerpo.

Como ejemplo bastaría con calentar bolas de diversos metales hasta que alcanzaran la misma temperatura; al colocarlas sobre un bloque de cera comprobaríamos que funden distinta cantidad de ella.

#### 3°. **Ejemplo de transferencia de calor para producir un trabajo en la**

## TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS CALOR Y PRESIÓN

máquina térmica de la figura siguiente:



### 2. Actividad de aprendizaje:

Anotar y explicar tres ejemplos que aumenten la energía interna y otros tres en que la transferencia de calor, se emplee en producir un trabajo:

**TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS  
CALOR Y PRESIÓN**

**3. Segundo principio de la termodinámica:**

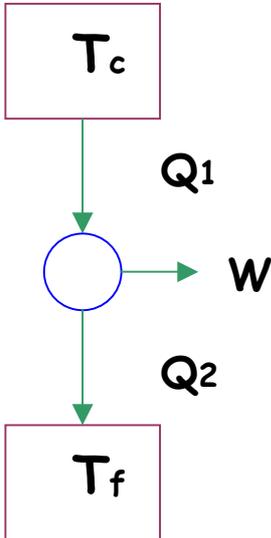
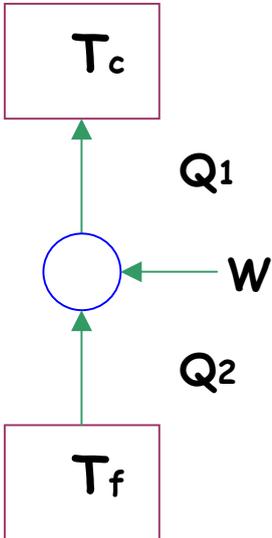
El **Segundo Principio de la Termodinámica** expresa que el calor pasa, naturalmente, de un cuerpo caliente a otro frío y que es imposible que pase desde un cuerpo frío a otro caliente, a menos que se suministre trabajo desde el exterior, que es el caso de las máquinas frigoríficas.

Este es el fundamento de las **máquinas térmicas**.

Toda máquina térmica opera entre dos focos:

- Un foco **caliente** que está a mayor temperatura  $T_c$ .
- Un foco **frío** que está a menor temperatura  $T_f$

Existen dos tipos de máquinas térmicas:

<p>En el caso de ceder calor al foco frío y realizar un trabajo, se tiene una <b>máquina térmica o motor térmico</b>.</p> <p><b>Ejemplo:</b> Una turbina de vapor que produce electricidad. Se absorbe calor <math>Q_1</math>, en el foco caliente (caldera donde se quema el combustible y se produce vapor) y se cede calor <math>Q_2</math>, en el foco frío (condensador), produciendo un trabajo <math>W</math> en el eje de la turbina que mueve, a su vez, a un generador.</p>	 <p style="text-align: center;"><math>T_c &gt; T_f</math></p> <p style="text-align: center;"><math>W = Q_1 - Q_2</math></p> <p>El <b>rendimiento</b> del motor térmico será el trabajo útil partido por la energía absorbida:</p> $\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ <p>Siempre será menor que 1.</p>	<p>En el caso de introducir trabajo en la máquina, para que se produzca la cesión de calor desde el foco frío al caliente, se tiene un <b>frigorífico o una bomba de calor</b>.</p> <p><b>Ejemplo:</b> Una máquina de aire acondicionado. Absorbe calor <math>Q_2</math> del foco frío (local que se quiere refrigerar) y mediante la aportación del trabajo de compresión <math>W</math> (energía eléctrica absorbida por el compresor) trasladamos al foco caliente un calor <math>Q_1</math>.</p>	 <p style="text-align: center;"><math>T_c &gt; T_f</math></p> <p style="text-align: center;"><math>W = Q_1 - Q_2</math></p> <p>El <b>rendimiento</b> de la máquina frigorífica será el trabajo útil, partido por el trabajo absorbido:</p> $\eta = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$ <p>El rendimiento normal en una máquina frigorífica es de 2 a 3.</p>
---	---	--	--

## TALLER VIRTUAL DE MÁQUINAS Y EQUIPOS FRIGORÍFICOS CALOR Y PRESIÓN

### **Ejemplo de cálculo del rendimiento en una máquina frigorífica:**

Sea un local que mediante la instalación de un climatizador tipo ventana (máquina térmica frigorífica) de 2500frig/h, mantiene en el local (foco frío) una temperatura de 25°C, cuando en el exterior (foco caliente) hay 34°C. El climatizador tiene un consumo eléctrico de 1200w, absorbidos en su mayor parte en el compresor y que es lo que debemos aportar para transportar las 255frig/h desde el interior del local a la calle. ¿Cuál será su rendimiento?

**Equivalencias:** (1 Kw = 860Kcal/h) (1CV = 632 Kcal/h) (1 Julio = 0,24 cal)  
Si lo pasamos todo a watios: 1Kw = 860 Kcal/h; 1000w = 860frig/h;  
1w = 0,86frig/h; entonces, por una regla de tres: 2500frig/h /0,86 = 2907w

$$Q_2 = 2907w. \quad W = 1200w \quad Q_1 = Q_2 + W = 2907 + 1200 = 4107w$$

$$\text{El rendimiento será: } \eta = Q_2 / W = 2907/1200 = 2,42$$

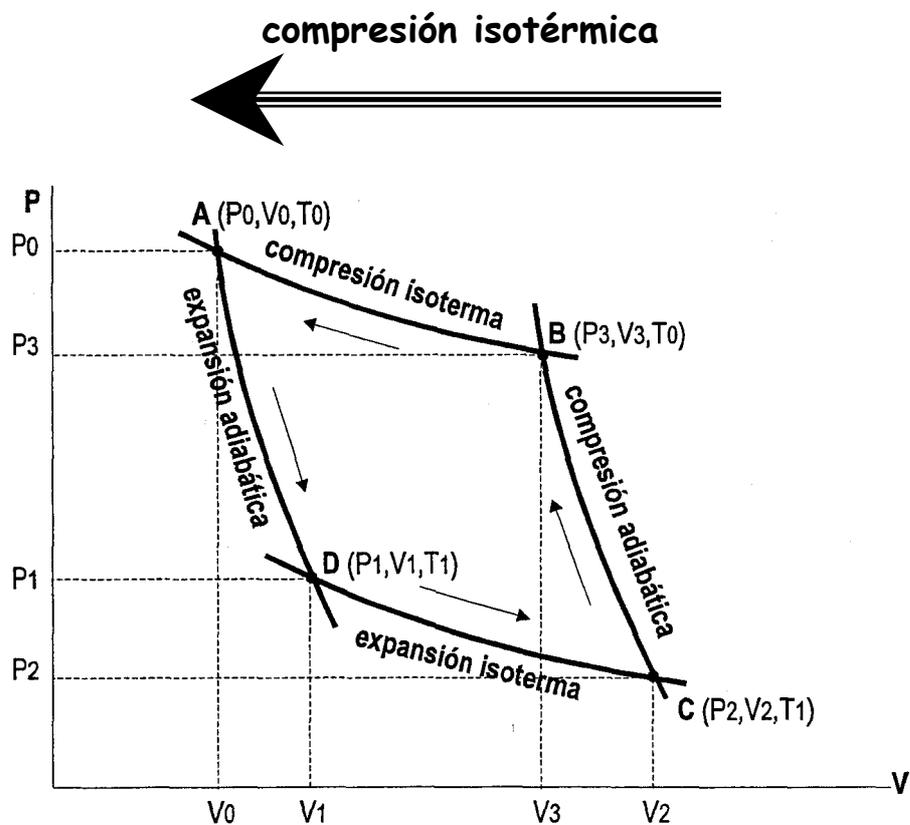
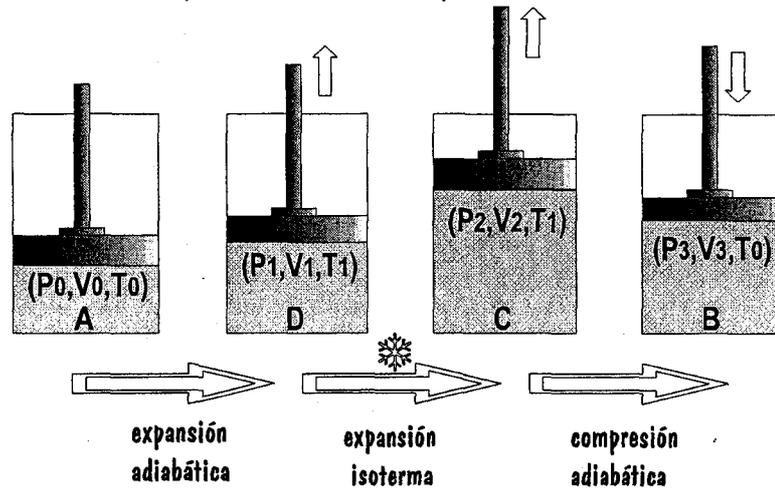
Parece una paradoja tener un rendimiento mayor que la unidad, pero se explica considerando que **en el proceso de funcionamiento de esta máquina frigorífica, no se produce una transformación de energía eléctrica en calorífica sino solamente un transporte de calor desde un foco a otro**, que al ser en contra del sentido natural de transmisión del calor, lleva como penalización tener que utilizar un elemento: el compresor, que consume energía. Es el caso del segundo principio de la termodinámica, que dice que es imposible que el calor pase desde un cuerpo frío a otro caliente, a menos que se suministre trabajo.

**En cuanto a los rendimientos de las máquinas térmicas, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) remite a la Norma UNE 100.000 que define dos coeficientes de "eficiencia energética" (rendimientos):**

- **EER (del inglés Energy Efficient Ratio) en régimen de refrigeración**, relación entre la potencia frigorífica de la unidad y la potencia absorbida por la misma. En el caso de unidades con motor eléctrico, esta potencia absorbida incluye:
  - Potencia del motor del compresor
  - Potencia consumida por los elementos de control y seguridad y, eventualmente, accesorios para asegurar el buen funcionamiento del circuito de refrigerante, como pueden ser las bombas de aceite.
  - Parte proporcional de la potencia absorbida por ventiladores y bombas para asegurar la transferencia térmica dentro de la unidad.
- **COP (del inglés Coefficient of Performance) en régimen de calefacción**, definido de forma similar al EER, considerando ahora la potencia calorífica en lugar de la frigorífica, e incluyendo en la determinación de la potencia absorbida la necesaria para el desescarche de las bombas de calor.
- Desaparece, respecto del anterior Reglamento, el concepto de CEE, Coeficiente de Eficiencia Energética.

#### 4. Ciclo de Carnot:

El **Ciclo de Carnot** es un ciclo **ideal** que tiene **máximo rendimiento**. Se compone de dos transformaciones **isotermas** y dos **adiabáticas**. El ciclo de Carnot queda representado en el **diagrama PV**, correspondiendo en este caso al de una máquina frigorífica ideal. La figura siguiente representa las secuencias del ciclo basado en un cilindro que realiza la compresión



#### Descripción del ciclo de Carnot:

**Expansión adiabática (Tramo AD):** Partiendo del estado inicial **A** ( $P_0, V_0, T_0$ ), el gas se expande disminuyendo su presión desde  $P_0$  hasta  $P_1$  al haberse incrementado el volumen desde  $V_0$  hasta  $V_1$ .

Su temperatura desciende desde  $T_c$  (**foco caliente**) hasta  $T_1$  (**foco frío**) sin que se produzca intercambio de calor con el exterior ya que las paredes del cilindro son de aislamiento térmico perfecto. El estado del gas tras esta expansión viene representado en el **diagrama PV**, con la letra **D** ( $P_1, V_1, T_1$ ).

Durante esta expansión adiabática se produce una determinada cantidad de trabajo mecánico.

**Expansión isoterma (Tramo DC):** El gas, continua su expansión a partir del estado **D**, bajando su presión desde  $P_1$  hasta  $P_2$  ya que el volumen se ve aumentado desde  $V_1$  hasta  $V_2$ . Durante dicha expansión debemos considerar que las paredes del cilindro son conductoras térmicas perfectas, por lo que el gas quedará (térmicamente) en contacto perfecto con el medio exterior. Como resultado tendremos que la temperatura del gas permanecerá constante gracias al aporte de calor del medio a enfriar, hasta que finalmente alcance el estado **C** ( $P_2, V_2, T_1$ ).

Durante este tramo es donde se produciría el "**efecto frigorífico**", debido al calor absorbido.

**Compresión adiabática (Tramo CB):** La presión del gas sube desde  $P_2$  hasta  $P_3$ , ya que el volumen se reduce desde  $V_2$  hasta  $V_3$ . Las paredes del cilindro vuelven a ser un aislante térmico perfecto y, por tanto, al aumentar la presión la temperatura del gas subirá desde  $T_1$  hasta  $T_0$ . El estado final, tras esta compresión sería el **B** ( $P_3, V_3, T_0$ ).

En efecto, al estar perfectamente aislado térmicamente el gas, todo el trabajo aportado durante la compresión contribuirá exclusivamente a elevar la temperatura del mismo ya que no hay intercambio de calor con el medio exterior.

**Compresión isoterma (Tramo BA):** De nuevo hemos de considerar que las paredes del cilindro vuelven a ser (térmicamente) conductoras perfectas. En esas condiciones, el gas queda en contacto térmico perfecto con la fuente caliente, y es comprimido hasta que su presión sube desde  $P_3$  hasta  $P_0$  al verse reducido su volumen desde  $V_3$  hasta  $V_0$ . Sin embargo, la temperatura del gas permanece constante ya que al estar éste en contacto térmico perfecto con el medio exterior, cede a la fuente caliente el calor propio de la compresión más el que tomó de la fuente fría.

Finalmente se habrá completado un ciclo al llegar al estado inicial **A** ( $P_0, V_0, T_0$ ).

La  $e_c = T_f / (T_c - T_f)$  (El rendimiento o eficiencia energética ideal o de Carnot). Siendo:  $T_f$  = Temperatura absoluta del foco frío.  $T_c$  = Temperatura absoluta foco caliente.

### 5. Entropía (S). [J / Kg. °K].-

Es la relación entre la cantidad de calor y la temperatura absoluta de un cuerpo por Kg de masa.

Entropía es, entonces,  $S = \text{calor disponible} / (\text{temperatura absoluta} \times \text{Kg de masa}) = \text{J} / \text{Kg} \cdot \text{°K}$  en el SI.

$$S = Q / m \cdot T$$

La entropía define la "calidad" del calor. Cuando el calor está a baja temperatura es de calidad inferior y su entropía es elevada; viceversa, cuando el calor está a temperatura elevada es de alta calidad y su entropía es baja.

El calor es la más baja forma de energía que existe en la Naturaleza. Todas las otras formas de energía (eléctrica, química, mecánica, potencial, etcétera) pueden transformarse íntegramente en calor, siguiendo, naturalmente, el principio de la conservación de la energía (primer principio). Al contrario, una cierta cantidad de calor no podrá nunca transformarse íntegramente en una forma de energía superior; lo podrá hacer solamente en parte y la parte restante se transformará en calor a temperatura inferior. La entropía se utiliza en los diagramas frigoríficos para guiar el proceso de compresión, la línea de igual entropía (Isentrópica) es la que sigue el compresor frigorífico.

Cuanto menor entropía mejor calidad de energía y mayor temperatura. A mayor entropía peor calidad de la energía.

### 6. Trabajo, Energía y Calor:

$$T = E = F \times d$$

Trabajo = Energía = fuerza (N) x distancia (m) = Nm.

En el SI, la unidad de trabajo es el Newton - metro (Nm) y se le llama Joule (J). Un Joule es la cantidad de trabajo hecho por la fuerza de un Newton, moviendo su punto de aplicación una distancia de un metro.

Energía es la capacidad o habilidad de hacer trabajo; por lo que las unidades, son las mismas que el trabajo.

Las unidades del calor en el SI son también, los Julios, como la energía y el trabajo.

### 7. Potencia (W):

La potencia es la rapidez o velocidad con que la energía se transforma en trabajo; de aquí que sus unidades sean de trabajo (J) partido por unidades de tiempo (s). La unidad de la potencia en el SI es el Watio (w); entonces  $1 \text{ w} = 1 \text{ J/s}$ .  $W = E / t$

Algunas veces se emplea mejor el Kilowatio (Kw) que equivale a 1.000w. Otras unidades comunes de potencia son el caballo de vapor (cv) en el sistema métrico, y el horse power (hp) en el sistema inglés.  $1 \text{ cv} = 736 \text{ w}$ ;  $1 \text{ Kw} = 860 \text{ Kcal/h}$

## Actividades de aprendizaje:

Realizar los siguientes ejercicios:

### Ejemplo:

- Una máquina frigorífica funciona entre dos fuentes de calor a las temperaturas de 200 K y 350 K respectivamente. Sabiendo que la máquina absorbe 1200 J de la fuente fría.
  - Hallar la eficiencia o rendimiento ideal de Carnot.
  - Si su rendimiento es la mitad del rendimiento del ciclo de Carnot, ¿cuánto calor cede el frigorífico a la fuente caliente?

### Solución 1:

**Lo primero es dibujar una máquina frigorífica.**

Datos:  $T_A = 350 \text{ K}$  ;  $T_B = 200 \text{ K}$  ;  $Q_B = 1200 \text{ J}$

Eficiencia según el ciclo ideal de Carnot =  $e_c = T_f / (T_c - T_f) = 200 / 150 = 1,33$

Eficiencia real de la máquina =  $e_r = e_c / 2 = 0,66$  ; más como también  $e_r = Q_f / (Q_c - Q_f)$ .

Tenemos que  $0,66 = 1200 / (Q_c - 1200)$  y  $Q_A = 3018,18 \text{ J}$

- Un frigorífico que mantiene en su interior una temperatura de  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  siendo la temperatura del ambiente exterior de  $28 \text{ }^\circ\text{C}$ . Si enfría a una velocidad de 700 kJ/hora.
  - ¿Qué potencia debe de tener el motor?
  - Si el rendimiento del frigorífico fuera el 60% del rendimiento ideal de Carnot, ¿cuál deberá ser entonces la potencia del motor?

### Solución 2:

$$W = 195,28 / 6,92 = 29,22 \text{ w}$$

$$W_r = 195,28 / 4,152 = 47,03 \text{ w}$$

- Imagina que tienes en casa una nevera que funciona según el ciclo frigorífico de Carnot y enfría a una velocidad de 700 kcal/h. La temperatura de tu nevera debe ser la apropiada para que no se descongelen los alimentos que tiene en su interior, aproximadamente a  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ . En tu casa la temperatura ambiente es de  $28 \text{ }^\circ\text{C}$ .
  - ¿Qué potencia teórica debe suministrar el motor de la nevera? (en w)

### Solución 3:

$$W = 117,15 \text{ w}$$

## **Bibliografía:**

- **Calvo y Galdón.** "Curso de Instalador de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria". CONAIF. Edita: El Instalador.
- **Roy J. Dossat.** "Principios de Refrigeración". Editorial CECSA.
- **Joan Balboa.** "Manual de Instalaciones frigoríficas". Editorial CEYSA.
- **Manual Técnico de la empresa Valycontrol.** Editorial: VALYCONTROL, S.A. DE C.V.
- **Manual de Orientaciones Técnicas de la empresa Bombas Zeda.** Editorial: Bombas Zeda.

<http://personal.telefonica.terra.es/web/jpc/>

<http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica/index.html>