

# CAPÍTULO 2

## FÍSICA

2.1. Introducción .....	91
2.2. La materia: partícula, molécula, átomo. Molécula simple, molécula compuesta.	
Sustancia simple y compuesta .....	91
2.2.1. La materia .....	91
2.2.1.1. Partícula .....	91
2.2.1.2. Molécula .....	91
2.2.1.3. Átomo.....	92
2.2.1.4. Molécula simple .....	92
2.2.1.5. Molécula compuesta .....	92
2.2.1.6. Sustancia simple y compuesta.....	92
2.3. Estados de la materia: estado sólido, estado líquido, estado gaseoso. Movimiento de las moléculas. Forma y volumen. Choques entre moléculas.....	92
2.3.1. Estados de la materia.....	92
2.3.1.1. Estado sólido .....	93
2.3.1.2. Estado líquido.....	93
2.3.1.3. Estado gaseoso.....	93
2.3.2. Movimiento de las moléculas.....	94
2.3.2.1. Fuerzas de atracción y repulsión.....	94
2.3.2.1.1. Movimiento molecular .....	94
2.3.3. Estado sólido .....	94
2.3.3.1. Movimiento molecular .....	94
2.3.3.2. Choques entre moléculas.....	95
2.3.3.3. Forma y volumen .....	95
2.3.4. Estado líquido.....	95
2.3.4.1. Movimiento molecular .....	95
2.3.4.2. Choques entre moléculas.....	95
2.3.4.3. Forma y volumen.....	95
2.3.5. Estado gaseoso.....	96
2.3.5.1. Movimiento molecular .....	96
2.3.5.2. Choque molecular .....	96
2.3.5.3. Forma y volumen.....	96
2.4. Fuerza, masa, aceleración y peso.....	97
2.4.1. Masa .....	97
2.4.1.1. Unidades de medida de la masa en el si .....	97
2.4.2. Velocidad .....	98
2.4.2.1. Unidades de medida de la velocidad en el si .....	98
2.4.3. Aceleración .....	98
2.4.3.1. Unidades de medida de la aceleración en el si.....	99
2.4.4. Fuerza .....	99
2.4.4.1. Unidades de medida de la fuerza en el si .....	99
2.4.5. Peso .....	99
2.4.5.1. Unidades de medida del peso en el si .....	100

2.5.	Masa volumétrica y densidad relativa: conceptos. Unidades SI.....	101
2.5.1.	Masa volumétrica. Conceptos.....	101
2.5.2.	Unidades de medida de la masa volumétrica en el SI .....	102
2.5.3.	Densidad relativa. Conceptos y unidades SI .....	103
2.6.	Presión .....	104
2.6.1.	Concepto de presión .....	104
2.6.2.	Presión estática .....	105
2.6.3.	Diferencia de presiones.....	106
2.6.4.	Principio de pascal.....	106
2.6.5.	Unidades (pa, bar) .....	106
2.6.6.	Presión atmosférica .....	107
2.6.7.	Presión absoluta y presión relativa o efectiva.....	108
2.6.7.1.	Presión absoluta .....	108
2.6.8.	Manómetros: de líquido y metálicos .....	109
2.6.8.1.	Manómetros de líquido.....	109
2.6.8.2.	Manómetros metálicos .....	111
2.6.9.	Otras unidades de presión (m c.d.a., MmHg, atm) .....	111
2.6.10.	Pérdida de carga .....	112
2.7.	Energía, potencia y rendimiento.....	113
2.7.1.	Trabajo.....	113
2.7.1.1.	Unidades de medida del trabajo.....	114
2.7.2.	Energía.....	114
2.7.3.	Potencia.....	117
2.7.3.1.	Unidades de medida de la potencia .....	117
2.7.4.	Rendimiento.....	118
2.8.	El calor: concepto de calor. Unidades. Calor específico intercambio de calor.	
	Cantidad de calor. Pcs y pci.....	119
2.8.1.	Concepto de calor.....	119
2.8.2.	Unidades.....	119
2.8.3.	Calor específico.....	120
2.8.3.1.	Unidades para la medida del calor específico .....	121
2.8.4.	Intercambio de calor.....	122
2.8.5.	Cantidad de calor.....	122
2.8.6.	Poder calorífico superior (pcs) e inferior (pci).....	122
2.9.	Temperatura: concepto, medidas, escala celsius .....	122
2.9.1.	Concepto.....	122
2.9.2.	Medidas, escala celsius .....	123
2.10.	Efecto del calor.....	126
2.10.1.	Dilatación.....	127
2.10.2.	Calor sensible.....	128
2.10.3.	Cambio de estado .....	130
2.10.4.	Fusión .....	131
2.10.5.	Solidificación .....	131
2.10.6.	Vaporización .....	132
2.10.7.	Condensación .....	132
2.11.	Transmisión del calor.....	133
2.11.1.	Por conducción. Materiales conductores, aislantes y refractarios .....	133
2.11.1.1.	Materiales conductores.....	134
2.11.1.2.	Materiales aislantes y refractarios .....	134
2.11.2.	Por convección .....	134
2.11.3.	Por radiación. Radiaciones infrarrojas, visibles y ultravioletas .....	135

2.12. Caudal .....	136
2.12.1. Caudal volumétrico .....	136
2.12.2. Caudal másico.....	137
2.13. Efecto venturi <b>(sólo categoría B y A)</b> .....	138
2.13.1. Aplicaciones del efecto venturi .....	139
2.14. Relaciones pvt en los gases: ecuación de los gases perfectos. Transformación a temperatura constante. Transformaciones a volumen constante. Transformaciones a presión constante <b>(sólo categoría B y A)</b> .....	140
2.14.1. Los gases reales .....	140
2.14.2. Los gases perfectos .....	140
2.14.3. Transformación a temperatura constante.....	141
2.14.4. Transformaciones a volumen constante .....	142
2.14.5. Transformaciones a presión constante .....	143
2.14.6. Ecuación de los gases perfectos.....	144
2.15. Tensión de vapor (botellas de GLP) .....	145
2.16. Nociones de electricidad .....	146
2.16.1. Tensión, resistencia. Intensidad: concepto y unidades .....	146
2.16.1.1. Tensión .....	146
2.16.1.2. Resistencia .....	147
2.16.1.3. Intensidad: concepto y unidades .....	149
2.16.2. Potencia y energía: concepto y unidades .....	150
2.16.2.1. Potencia eléctrica.....	150
2.16.2.2. Unidades para la medida de la potencia eléctrica .....	151
2.16.2.3. Energía eléctrica .....	151
2.16.2.4. Unidades para la medida de la energía eléctrica .....	151
2.17. Cuerpos aislantes y conductores <b>(sólo categoría B y A)</b> .....	152
2.18. Ley de Ohm. Efecto Joule. Ejemplos aplicados a la soldadura <b>(sólo categoría B y A)</b> .....	153
2.18.1. Ley de Ohm.....	153
2.18.2. Efecto Joule.....	154
2.18.3. Ejemplos aplicados a la soldadura.....	155
2.19. Corrientes de fuga <b>(sólo categoría B y A)</b> .....	156
2.20. Corrientes galvánicas <b>(sólo categoría B y A)</b> .....	157
2.21. Bases y funcionamiento de la protección catódica (electrodos) <b>(sólo categoría B y A)</b> .....	159
2.21.1. Procedimientos de protección activa .....	160
2.21.1.1. Protección por ánodos reactivos o de sacrificio.....	160
2.21.1.2. Protección por corriente impuesta.....	161
2.21.1.3. Procedimientos para eliminar los efectosde las corrientes vagabundas.....	162
2.21.1.3.1. Drenajes unidireccionales .....	162
2.21.1.3.2. Drenajes indirectos o dirigidos .....	163
2.21.1.4. Control del potencial de protección .....	163
2.21.1.4.1. Electrodo de referencia cobre/sulfato de cobre (Cu/Cu So <sub>4</sub> ).....	164
2.22. Electricidad estática y su eliminación <b>(sólo categoría A)</b> .....	165
2.23. Tomas de tierra y medición <b>(sólo categoría A)</b> .....	165
2.23.1. Tomas de tierra.....	165
2.23.2. Medición .....	165
2.23.3. Cálculo de la resistencia de la toma de tierra .....	166
2.23.4 Medida de la resistividad .....	166





## 2.1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo recoge los conocimientos básicos de Química, necesarios para instaladores autorizados de gas, tal como se definen en el programa teórico-práctico que figura en el Anexo I “Conocimientos mínimos necesarios para la obtención de la certificación de instaladores de gas”, de la ITC-ICG 09 “Instaladores y empresas instaladoras de gas” del Reglamento Técnico de Distribución y Utilización de Combustibles Gaseosos.

## 2.2. LA MATERIA: PARTÍCULA, MOLÉCULA, ÁTOMO. MOLÉCULA SIMPLE, MOLÉCULA COMPUESTA. SUSTANCIA SIMPLE Y COMPUESTA

### 2.2.1. La materia

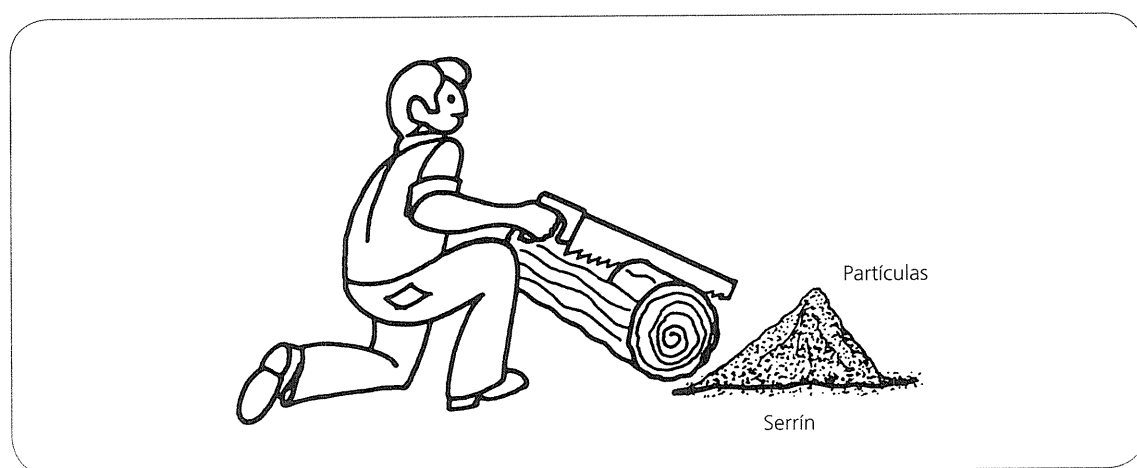
Los cuerpos tienen formas, colores, olores, etc., muy diferentes. Sin embargo todos los cuerpos tienen dos propiedades comunes, las cuales caracterizan a la materia: **pesan y ocupan** un volumen.

Si pensamos un poco, nos daremos cuenta de que hay cosas que no son materia, la electricidad, el calor, la luz, son fenómenos que nos rodean en la vida diaria. Estos fenómenos no son materia porque no pesan ni ocupan un lugar. Son distintas manifestaciones de la energía.

Los cuerpos pueden dividirse en partes muy pequeñas, esta propiedad de la materia se llama **divisibilidad de la materia**.

#### 2.2.1.1. Partícula

La **partícula** es cada una de las pequeñas partes que resulta de dividir la materia por medios mecánicos.



#### 2.2.1.2. Molécula

La **molécula** es la partícula más pequeña que puede existir, conservando las mismas propiedades de la materia de la que procede.

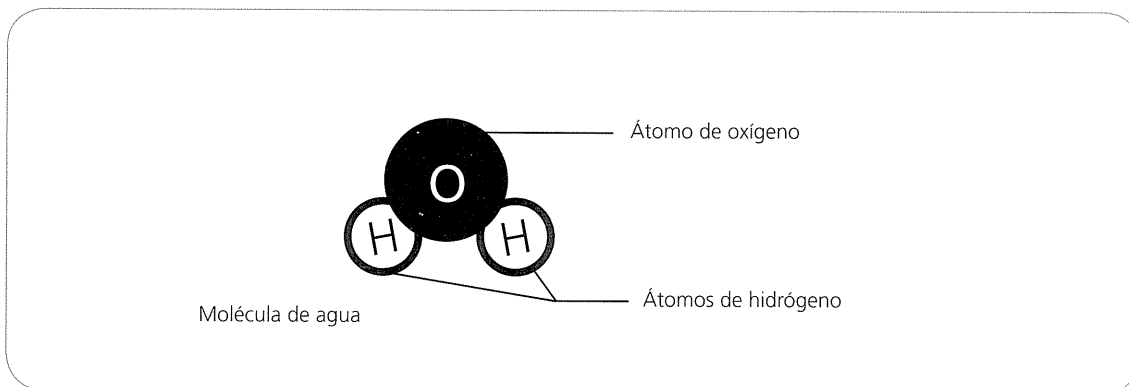
Todas las moléculas de la misma sustancia son iguales. Las moléculas de distintas sustancias son diferentes.

### 2.2.1.3. Átomo

Las moléculas están constituidas por partículas más pequeñas llamadas **átomos**.

Las moléculas están compuestas por uno o más átomos que pueden ser iguales o distintos.

Ejemplo:



En general las moléculas tienen propiedades muy distintas a las de los átomos que las componen. Únicamente las moléculas que constan de un solo átomo tienen las mismas propiedades.

Ejemplo:

El cloro es un gas venenoso y el sodio es un metal, al juntarse un átomo de cloro y otro de sodio forman una molécula de cloruro sódico, que es la sal común que utilizamos en la mesa.

Como vemos, las propiedades individuales de los átomos, no tienen nada que ver con las propiedades de la molécula de la que forman parte.

### 2.2.1.4. Molécula simple

Cuando la molécula está formada por átomos iguales decimos que es una **molécula simple**. De esta forma una molécula de oxígeno es una molécula simple ya que está formada por dos átomos de oxígeno.

### 2.2.1.5. Molécula compuesta

Una molécula formada por átomos distintos es una **molécula compuesta**. Así, la molécula de agua es compuesta ya que está formada por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno.

### 2.2.1.6. Sustancia simple y compuesta

De forma similar tenemos **sustancias simples** y **sustancias compuestas**. Las **sustancias simples** están formadas por moléculas simples y las **sustancias compuestas** por moléculas compuestas.

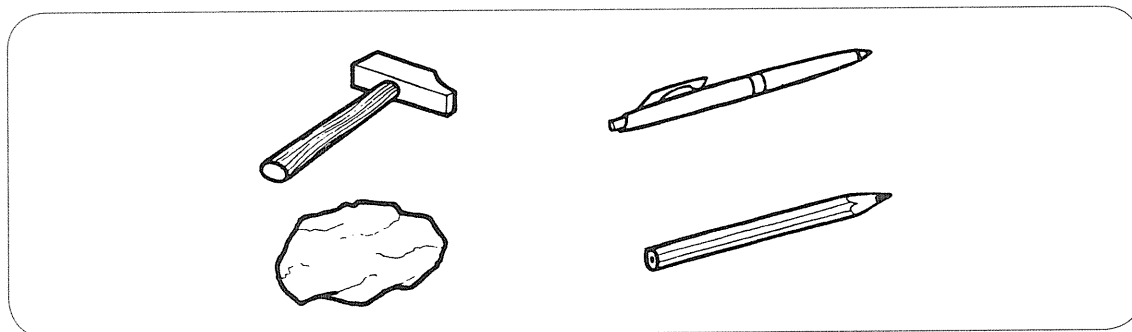
Una sustancia es pura cuando todas sus moléculas son iguales, en caso contrario es una mezcla o aleación.

## 2.3. ESTADOS DE LA MATERIA: ESTADO SÓLIDO, ESTADO LÍQUIDO, ESTADO GASEOSO. MOVIMIENTO DE LAS MOLÉCULAS. FORMA Y VOLUMEN. CHOQUES ENTRE MOLÉCULAS

### 2.3.1. Estados de la materia

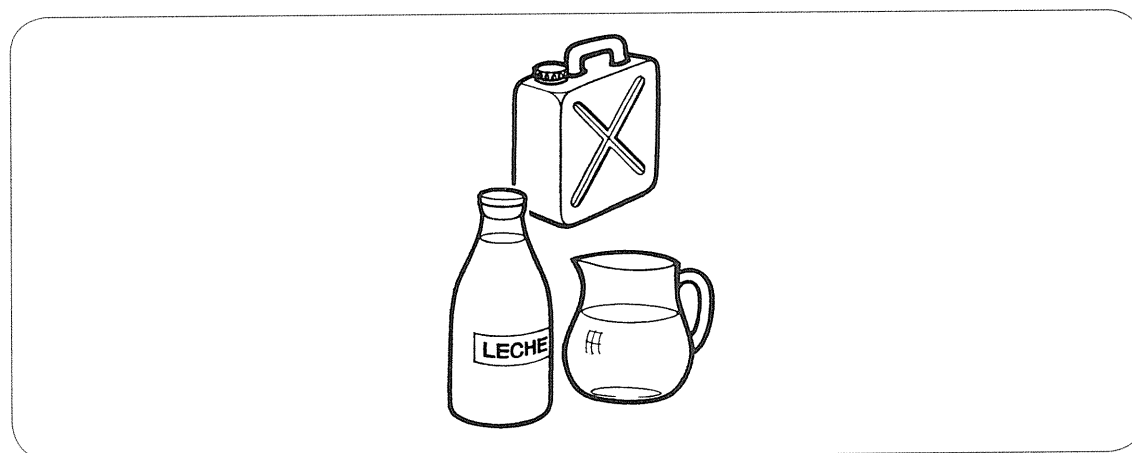
Los cuerpos no se presentan en la Naturaleza de la misma manera. Pueden distinguirse tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

### 2.3.1.1. Estado sólido



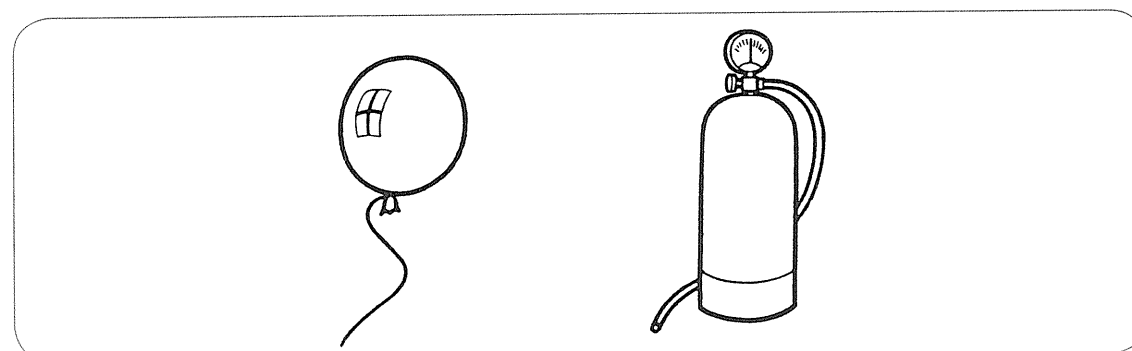
Hay cuerpos que podemos coger con la mano, como un martillo, un lápiz, un bolígrafo, etc. Estos cuerpos se presentan en fase o **estado sólido**.

### 2.3.1.2. Estado líquido



Para coger otros cuerpos como el agua, la leche, la gasolina, necesitamos un recipiente abierto. Estos cuerpos se presentan en fase o **estado líquido**.

### 2.3.1.3. Estado gaseoso



Para coger otros cuerpos como el aire, los gases y vapores, necesitamos un recipiente totalmente cerrado. Estos cuerpos se presentan en fase o estado gaseoso.

Por tanto, los cuerpos se presentan de distinta manera en la Naturaleza, lo que determina su fase o estado físico.

## 2.3.2. Movimiento de las moléculas

Todos los cuerpos están formados por un gran número de moléculas que en su movimiento chocan e intercambian energía e interaccionan entre ellas por lo cual no se pueden considerar independientes unas de otras.

### 2.3.2.1. Fuerzas de atracción y repulsión

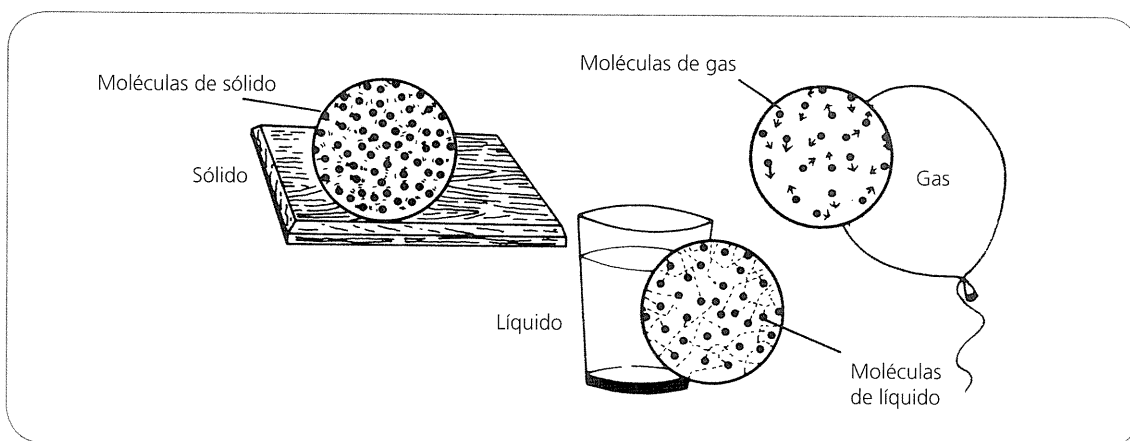
Entre las moléculas de un cuerpo se ejercen fuerzas de atracción y repulsión, las cuales actúan como auténticos enlaces y ligaduras.

La resultante de estas fuerzas determina el comportamiento del cuerpo, su estado y por consiguiente, su forma y volumen.

#### 2.3.2.1.1. Movimiento molecular

El científico Robert Brown descubrió que las moléculas se mueven. Posteriormente otros científicos comprobaron esta afirmación y vieron que el movimiento varía según el cuerpo sea sólido, líquido o gaseoso.

Al igual que no podemos ver las moléculas, tampoco podemos observar su movimiento a simple vista, pero sí se han experimentado los efectos de este hecho, y así podemos pensar que, realmente, las moléculas no están quietas. Sin embargo, no todas se mueven de la misma manera, ni disponen el mismo espacio donde agitarse.



Cuando vertemos unas gotas de café en un vaso de leche, el café se extiende poco a poco por la leche hasta que los dos líquidos se mezclan. Esto sucede porque las moléculas de café se mueven entre las de la leche, y como hay suficientes espacios vacíos, pueden repartirse bien. El líquido que resulta no es blanco como la leche, ni oscuro, como el café. Las moléculas se han mezclado y producen un color marrón claro, este cambio no hubiera ocurrido si las moléculas de los líquidos no se hubieran movido.

Cuando un cuerpo absorbe calor, es decir se calienta, aumenta la velocidad de sus moléculas, y a la inversa, cuando se enfría, es decir cede calor, la velocidad de sus moléculas disminuye.

## 2.3.3. Estado sólido

### 2.3.3.1. Movimiento molecular

Las moléculas en los sólidos se mueven, pero con muy poca libertad, alrededor de su **punto de equilibrio**. Pueden ocupar cualquier posición dentro del espacio reducido que tienen para moverse.

Cuando se calienta un sólido sus moléculas se mueven con mayor velocidad y cuando se enfrían su velocidad se reduce.

### 2.3.3.2. Choques entre moléculas

Las moléculas de los sólidos están chocando continuamente con sus moléculas vecinas.

Cuando se calienta un sólido se incrementa el número de choques entre sus moléculas y cuando se enfría el número de choques se reduce.

### 2.3.3.3. Forma y volumen

**La forma** de los cuerpos está relacionada con la posición de los puntos de equilibrio de sus moléculas. En el estado sólido, los puntos de equilibrio siempre se encuentran en las mismas posiciones respecto a sus moléculas vecinas, por lo que **en el estado sólido la forma es constante**.

**El volumen** de los cuerpos está relacionado con el espacio intermolecular, es decir, con el espacio que ocupan y puedan ocupar las moléculas en sus movimientos alrededor de su punto de equilibrio. En el estado sólido este espacio intermolecular se mantiene prácticamente constante, por lo que, **en el estado sólido el volumen es prácticamente constante**.

### Relación de fuerzas

Entre las moléculas de los cuerpos en estado sólido **las fuerzas de atracción son muy superiores a las de repulsión** y como consecuencia de ello:

- **Sus moléculas se mantienen fuertemente unidas (enlaces del estado sólido)**
- Los puntos de equilibrio se mantienen prácticamente a la misma distancia unos de otros y en las mismas posiciones.
- Los sólidos tienen forma y volumen constante.

## 2.3.4. Estado líquido

### 2.3.4.1. Movimiento molecular

Las moléculas de los cuerpos en estado líquido se mueven con toda libertad dentro del líquido.

Su velocidad es mayor que la de los sólidos porque disponen de más espacio para moverse.

Cuando se calienta un líquido aumenta la velocidad de sus moléculas y se reduce cuando el líquido se enfría.

### 2.3.4.2. Choques entre moléculas

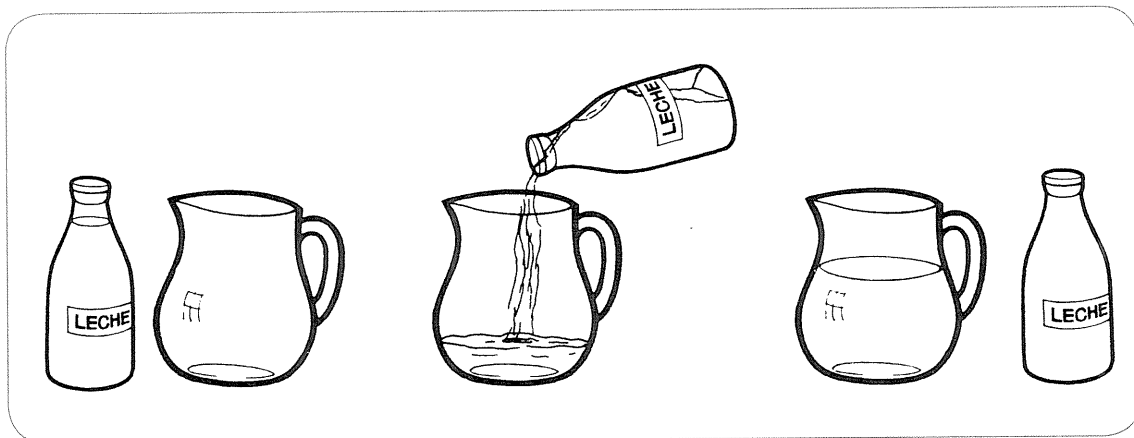
Las moléculas de los líquidos están continuamente chocando unas con otras y con las paredes del recipiente que los contiene.

Cuando se calienta un líquido se incrementa el número de choques entre sus moléculas y cuando se enfría el número de choques se reduce.

### 2.3.4.3. Forma y volumen

Debido a que las moléculas de los líquidos no mantienen siempre las mismas posiciones respecto a las moléculas vecinas, **los líquidos no tienen forma propia, adoptan la del recipiente que los contiene**.

El espacio intermolecular de los cuerpos en estado líquido se mantiene prácticamente constante, las variaciones de presión y temperatura afectan muy poco al volumen de los líquidos (siempre y cuando no les provoquen un cambio de estado), por ello, **los líquidos tienen volumen constante**.



### Relación de fuerzas

En el estado líquido, **las fuerzas de atracción y de repulsión** que se ejercen entre sus moléculas **son prácticamente iguales**. Como consecuencia de ello:

- No existen puntos de equilibrio.
- Las moléculas mantienen prácticamente la misma distancia entre moléculas vecinas pero no las mismas posiciones.
- Las fuerzas que se ejercen son relativamente débiles y permiten el libre movimiento de las moléculas pero son lo suficientemente fuertes como para evitar que las moléculas salgan y se escapen con facilidad del seno del líquido (**enlaces del estado líquido**).
- Los líquidos tienen volumen constante.
- Los líquidos no tienen forma constante por lo que adoptan la del recipiente que las contiene.

## 2.3.5. Estado gaseoso

### 2.3.5.1. Movimiento molecular

Las moléculas de los gases están en continuo movimiento y gozan de completa libertad.

Las moléculas de los gases disponen de mucho espacio para moverse y su velocidad es muy elevada.

Cuando se calienta un gas la velocidad de sus moléculas aumenta y cuando se enfría la velocidad se reduce.

### 2.3.5.2. Choque molecular

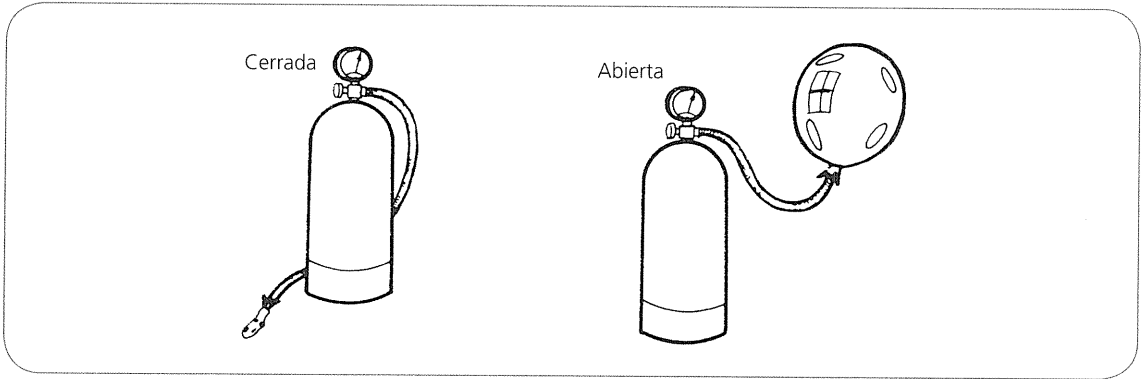
Las moléculas de los gases están continuamente chocando entre ellas y con las paredes del recipiente que las contiene.

Cuando se calienta un gas se incrementa el número de choques entre sus moléculas y con las paredes del recipiente que las contiene. El número de choques se reduce cuando el gas se enfría.

La presión que ejerce un gas encerrado en un recipiente está producida por los choques de las moléculas del gas contra las paredes del recipiente.

### 2.3.5.3. Forma y volumen

Las moléculas de los gases no mantienen las mismas posiciones respecto a las moléculas vecinas ni el espacio intermolecular no se mantiene constante, por lo que **los gases adoptan la forma del recipiente que los contiene, llenándolo completamente. Su volumen es el de los recipientes que los contienen.**



Fijémonos que cuando la llave de la bombona está cerrada el gas adopta la forma y el volumen de la botella, cuando la llave se abre adopta la forma y el volumen de la botella, el tubo y el globo.

Relación de fuerzas

Entre las moléculas de los cuerpos en estado gaseoso **predominan las fuerzas de repulsión sobre las de atracción**. Como consecuencia de ello:

- Las moléculas tienen gran libertad de movimiento.
- Se mueven en todas las direcciones y con todas las velocidades posibles.
- Tienen tendencia a alejarse unas de otras (expandirse) y ocupan todo el volumen disponible.
- Los gases no tienen forma ni volumen constante, adoptan la del recipiente que los contienen.

Fluidos

Los gases y los líquidos son fluidos porque pueden fluir, es decir, escapar por los orificios de los recipientes que los contiene.

2.4. FUERZA, MASA, ACELERACIÓN Y PESO

2.4.1. Masa

La masa de un cuerpo es la cantidad de materia que contiene.  
La masa de los cuerpos es invariable, es decir, no depende del lugar en el cual se mida.

2.4.1.1. Unidades de medida de la masa en el SI

En el Sistema Internacional de Unidades, SI, **la unidad de masa es el kilogramo (kg)**. El kilogramo es la única unidad del SI que en su nombre contiene uno de los prefijos (kilo) empleados para formar los símbolos de los múltiplos de las unidades. De todos modos, los múltiplos y submúltiplos se forman anteponiendo los prefijos a la palabra **gramo** y al símbolo **g**.

Los submúltiplos más usados del kilogramo son los siguientes:

Nombre	Símbolo	Equivalencia
hectogramo	hg	1 hg = 0,1 kg
decagramo	dag	1 dag = 0,01 kg
gramo	g	1 g = 0,001 kg
decigramo	dg	1 dg = 0,000 1 kg
centigramo	cg	1 cg = 0,000 01 kg
miligramo	mg	1 mg = 0,000 001 kg
microgramo	μg	1 μg = 0,000 000 001 kg

En cuanto a los múltiplos del kilogramo, el megagramo (Mg), equivalente a 1000 kg, no se usa. En su lugar se usa una unidad no perteneciente al SI, pero aceptada por basarse en unidades del SI: la **tonelada**, cuyo símbolo es **t**. Es corriente, incluso, que para cantidades mayores, las unidades empleadas no sean múltiplos del kilogramo, sino unos múltiplos híbridos resultantes de emplear prefijos del SI a la unidad tonelada. Así, por ejemplo, kilotonelada, equivalente a 1000 toneladas, o megatonelada, equivalente a un millón de toneladas.

El kg de masa no debe confundirse con el peso. Este nos indica la fuerza con la cual la Tierra atrae a un cuerpo, y depende del lugar en el cual se mida.

### 2.4.2. Velocidad

La **velocidad** nos indica el espacio recorrido en una unidad de tiempo.

$$v = \frac{e}{t}$$

donde:

$v$  = velocidad (m/s)

$e$  = espacio recorrido (m)

$t$  = tiempo (s)

Ejemplo:

Un coche recorre 60 m en 5 segundos. Su velocidad será:

$$\text{velocidad} = \frac{\text{espacio recorrido}}{\text{tiempo}} = \frac{e}{t} = \frac{60 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 12 \text{ m/s}$$

#### 2.4.2.1. Unidades de medida de la velocidad en el SI

En el **SI** la **velocidad se mide en metros por segundo (m/s)**, e indica el espacio en metros recorrido en un segundo.

### 2.4.3. Aceleración

Podemos suponer que el coche del ejemplo no ha mantenido la velocidad constante durante los 60 m recorridos. Al menos ha debido arrancar al iniciar el trayecto y parar al finalizarlo.

La aceleración expresa la variación de la velocidad en una unidad de tiempo.

$$a = \frac{V_2 - V_1}{t}$$

donde:

$a$  = aceleración (m/s<sup>2</sup>)

$V_1$  = velocidad inicial (m/s)

$V_2$  = velocidad final (m/s)

$t$  = tiempo (s)

Al arrancar el coche el conductor tiene que acelerar hasta conseguir la velocidad deseada. Del mismo modo el conductor frenará el coche hasta que se pare al final el recorrido, desacelerará el coche.

Tanto a la aceleración como a la desaceleración, se le llama aceleración, y lo que las distingue es el signo.

- Cuando se produce un aumento de velocidad la aceleración tiene signo + (positivo).
- Cuando se produce una disminución de velocidad la aceleración tiene signo - (negativo).

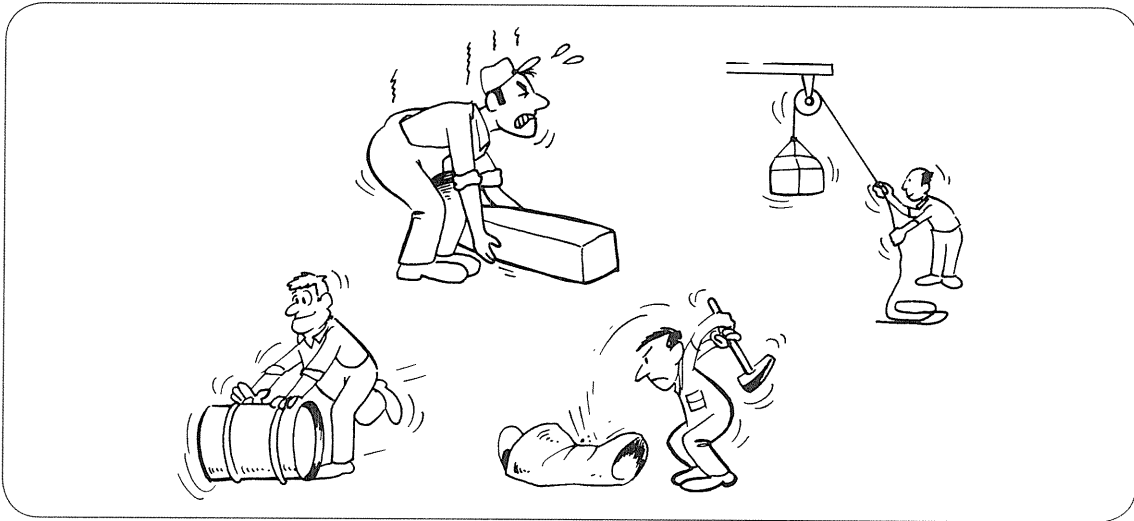


### 2.4.3.1. Unidades de medida de la aceleración en el SI

En el SI la aceleración se expresa en metros por segundo al cuadrado ( $m/s^2$ ), e indica la variación de velocidad en un segundo.

### 2.4.4. Fuerza

Fuerza es todo lo que es capaz de:



- modificar el estado de reposo de los cuerpos
- modificar el estado de movimiento de los cuerpos
- producir deformación (cambio de forma) de los cuerpos

Cuando se aplica una fuerza ( $F$ ) a un cuerpo de masa ( $m$ ) le provoca una aceleración ( $a$ ). La fórmula que los relaciona es:

$$F = m \times a$$

donde:

$F$  = fuerza (N)

$m$  = masa (kg)

$a$  = aceleración ( $m/s^2$ )

### 2.4.4.1. Unidades de medida de la fuerza en el SI

En el SI la unidad de fuerza es el newton (N), el cual se expresa con la letra N. El newton es el producto de la unidad de masa (kg) por la unidad de aceleración ( $m/s^2$ ).

$$N = kg \times \frac{m}{s^2}$$

### 2.4.5. Peso

De una forma no consciente hemos manejado el concepto de peso. Es usual hablar del peso de una pieza, de unos tubos, etc.

El **peso** es la **fuerza** de atracción que la Tierra ejerce sobre la masa de los cuerpos.

La fuerza de atracción de la Tierra disminuye con la altura, por ello un cuerpo pesa más al nivel del mar que en la cima de una montaña, aunque esta diferencia de peso sea mínima.

**Aceleración de la gravedad**

Un cuerpo que cae libremente aumenta su velocidad con el paso del tiempo, es decir, tiene una aceleración debida a la fuerza de atracción de la Tierra denominada **aceleración de la gravedad** que se representa por **g**. Esta aceleración ha sido medida y su valor a nivel del mar es 9,806 65 m/s , en la práctica podemos tomar 9,8 m/s<sup>2</sup>.

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Sabemos que 

fuerza = masa x aceleración

 por tanto:

el peso será:

$$P = m \times g$$

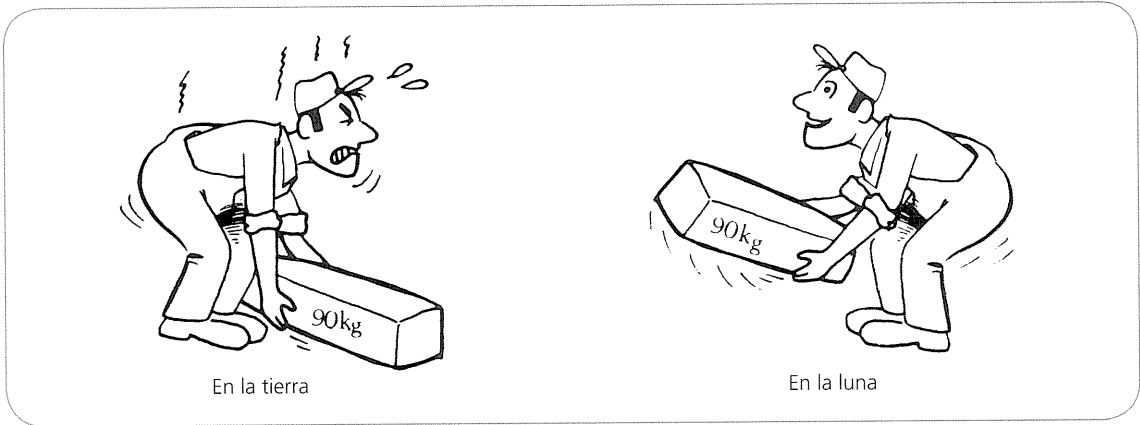
donde:

P = peso

m = masa

g = aceleración debida a la gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>)

Se ha de destacar que el concepto de peso está ligado al lugar en que se mide. Todos los cuerpos pesan seis veces más en la Tierra que en la Luna, ello siendo debido a que la atracción de la gravedad es seis veces mayor en la Tierra que en nuestro satélite. Por el contrario, la masa es independiente del lugar en que se mida, es decir, un cuerpo tiene siempre la misma masa.



**2.4.5.1. Unidades de medida del peso en el SI**

Puesto que el peso es una fuerza, se mide con la misma unidad que ésta: el **newton (N)**.

En la práctica se utiliza también como unidad de fuerza el kilogramo fuerza (kg f), llamado también “kilo”. Esta unidad **no pertenece al SI** y es la fuerza con que la Tierra atrae 1 kg de masa.

La equivalencia entre el kilogramo fuerza y el newton es la siguiente:

$$1 \text{ kg f} = 9,8 \text{ N}$$
$$1 \text{ N} = 0,102 \text{ kg f}$$

2.5. MASA VOLUMÉTRICA Y DENSIDAD RELATIVA:  
CONCEPTOS. UNIDADES SI

2.5.1. Masa volumétrica. Conceptos

Todos los cuerpos poseen una masa y un volumen. **La masa volumétrica nos indica la masa que contiene una unidad de volumen.**

La masa volumétrica se indica con la letra griega  $\rho$  (se lee ro), y la fórmula que nos determina la masa volumétrica es:

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

donde:

$\rho$  = masa volumétrica (kg/m³)

$m$  = masa del cuerpo (kg)

$V$  = volumen del cuerpo (m³)

En general, las variaciones de presión y temperatura afectan muy poco al volumen de los cuerpos sólidos y líquidos, sin embargo, a los gases les ocurre todo lo contrario, por ello al dar la masa volumétrica de un gas hay que indicar las condiciones de presión y temperatura en las que fue medida.

En lo que se refiere a este manual, siempre que no se diga lo contrario, los gases se encuentran en **condiciones normales**, es decir, a la temperatura de 0 °C y a la presión de 1,013 25 bar (equivalente a 760 mm de columna de mercurio).<sup>1</sup>

En tales casos la unidad de volumen en condiciones normales se indica como m³(n).

Ejemplo:

La masa de cinco metros cúbicos de aire en condiciones normales es 6,465 kg. Calcula la masa volumétrica del aire.

$$\rho = \frac{6,465 \text{ kg}}{5 \text{ m}^3} = 1,293 \text{ kg / m}^3 \text{ (n)}$$

La masa volumétrica del aire en condiciones normales, es decir, a 0 °C y 760 mm de columna de mercurio (1,013 25 bar) es 1,293 kg/m³.

La masa volumétrica es una propiedad característica de la materia, es decir, cada sustancia tiene su propia masa volumétrica:

Gas puro	$\rho$ (kg/m³ (n))
Metano puro	0,72
Etano puro	1,36
Propano puro	2,02
Iso butano puro	2,67
Normal butano puro	2,70

1. Ver en los apartados 2.6.5 y 2.6.9 más adelante las unidades de presión.

En la siguiente tabla se da la masa volumétrica de distintos gases combustibles. (Al ser los gases combustibles una mezcla de distintos componentes puros cuya composición puede variar según el proceso de fabricación, las masas volumétricas que a continuación se relacionan se han de considerar como valores aproximados).

Gas combustible	ρ (kg/m³(n))
Gas manufacturado	0,853
Aire propanado (1ª familia)	1,513
Gas Natural	0,802
Aire propanado (2ª familia)	1,784
Propano comercial	2,095
Butano comercial	2,625

Referencia	ρ (kg/m³(n))
Aire (valor exacto)	1,293
Agua (valor exacto)	1000

De la fórmula anterior podemos despejar la masa y el volumen.

$$m = \rho \times V$$

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

Ejemplo:

La masa volumétrica de un gas natural es  $\rho = 0,77 \text{ kg/m}^3$ . Calcula la masa que hay en  $20 \text{ m}^3$  de este gas natural

$$m = 0,77 \times 20 = 15,4 \text{ kg}$$

En  $20 \text{ m}^3$  de este gas natural hay  $15,4 \text{ kg}$  de masa.

Ejemplo:

Calcula el volumen que ocupan  $50 \text{ kg}$  de aire.

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{50}{1,293} = 38,67 \text{ m}^3$$

Los  $50 \text{ kg}$  de aire ocupan  $38,67 \text{ m}^3$ .

### 2.5.2. Unidades de medida de la masa volumétrica en el SI

Como en el SI la unidad de masa es el kilogramo (kg) y de volumen el metro cúbico ( $\text{m}^3$ ), **la unidad de la masa volumétrica es el kilogramo por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ).**

**Para trabajar con gases el  $\text{kg/m}^3$  es la unidad adecuada**, sin embargo, cuando se trabaja con sólidos y líquidos es una unidad muy pequeña e incómoda de utilizar.

En el caso de los **sólidos y líquidos la masa volumétrica se expresa en  $\text{kg/dm}^3$  o bien en  $\text{g/cm}^3$** . La relación entre estas unidades se expone en la siguiente **tabla de equivalencias**

kg/m³	kg/dm³	g/cm³
1	0,001	0,001
1000	1	1
1000	1	1

Ejemplo:

Un tablero de madera de 4 cm de grueso, mide 1 m de largo y 20 cm de alto y tiene una masa de 5,6 kg. Hallar la masa volumétrica de la madera expresándola en kg/m³ y en kg/dm³.

1. Cálculo de la masa volumétrica de la madera en kg/m³

Volumen del tablero:  $V = 0,04 \times 1 \times 0,20 = 0,008 \text{ m}^3$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{5,6 \text{ kg}}{0,008 \text{ m}^3} = 700 \text{ kg/m}^3$$

2. Cálculo de la masa volumétrica en kg/dm³

De la tabla de equivalencias se obtiene:  $1 \text{ kg/m}^3 = 0,001 \text{ kg/dm}^3$

luego  $\rho = 700 \times 0,001 = 0,7 \text{ kg/dm}^3$

La masa volumétrica de la madera del tablero es de 700 kg/m³, o bien, 0,7 kg/dm³

2.5.3. Densidad relativa. Conceptos y unidades SI

La densidad relativa de un **cuerpo sólido o líquido** es el cociente entre la masa volumétrica de dicho cuerpo y la **masa volumétrica del agua**, la cual se toma como referencia.

La densidad relativa de **un gas** es el cociente entre la **masa volumétrica del gas y la masa volumétrica del aire** medidas ambas en las mismas condiciones de presión y temperatura.

La densidad relativa la podemos formular como:

$$d = \frac{\rho}{\rho_a}$$

donde:

d = densidad relativa (sin unidades)

$\rho$  = masa volumétrica del cuerpo (kg/m³)

$\rho_a$  = masa volumétrica del **agua, para sólidos o líquidos**, o del **aire, para gases** (kg/m³)

**Masa volumétrica del aire en condiciones normales**  $\rho_a = 1,293 \text{ kg/m}^3(n)$

**Masa volumétrica del agua**  $\rho_a = 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$

**La densidad relativa no tiene unidades, es un número abstracto.**

**La densidad relativa es característica para cada sustancia.**

Gases puros	d
Metano puro	0,554
Etano puro	1,049
Propano puro	1,562
Iso butano puro	2,064
Normal butano puro	2,091

En la siguiente tabla se da la densidad relativa de distintos gases combustibles. (Valores aproximados, los valores reales de cada gas se han de solicitar a la Empresa Suministradora.)

Gases combustibles	d
Gas manufacturado	0,66
Aire propanado (1.ª familia)	1,17
Gas natural	0,62
Aire propanado (2.ª familia)	1,38
Propano comercial	1,62
Butano comercial	2,03

Referencia	d
Aire (valor exacto)	1
Agua (valor exacto)	1

A partir de la fórmula de la densidad relativa se puede calcular con facilidad la masa volumétrica.

$\rho = d \times \rho_a$

donde:

- $\rho$  es la masa volumétrica (kg/m³)
- $d$  es la densidad relativa (sin unidades)
- $\rho_a$  es la masa volumétrica del aire para los gases o del agua para sólidos y líquidos.

Ejemplo:

Calcula la masa volumétrica en condiciones normales del aire propanado de la primera familia dado en la tabla anterior:

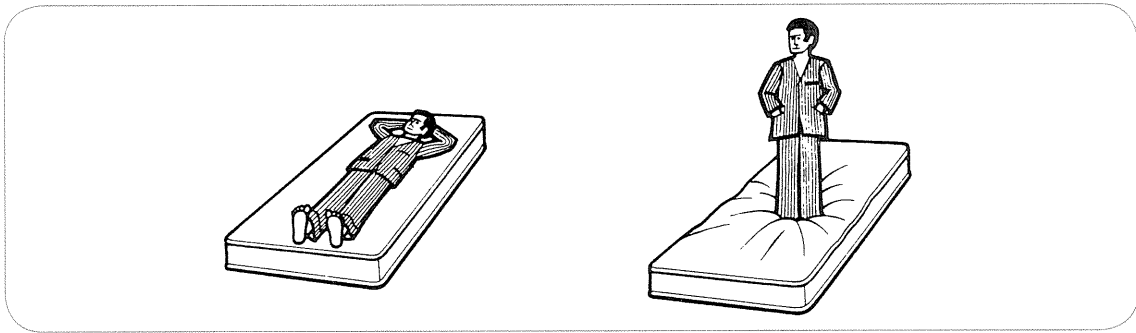
$\rho = d \times \rho_a = 1,17 \times 1,293 \text{ kg/m}^3 = 1,5128 \text{ kg/m}^3(\text{n})$

La masa volumétrica de este aire propanado es 1,513 kg/m³(n).

2.6. PRESIÓN

2.6.1. Concepto de presión

Los cuerpos pesan y la fuerza debida a su peso se ejerce sobre la superficie en que se apoyan.



Como vemos en la figura anterior, el colchón se hunde más cuando estamos de pie que acostados, esto es debido a que en el primer caso la superficie de apoyo es mucho mayor que en el segundo, por tanto, la presión ejercida sobre la superficie de apoyo por nuestro peso será mucho menor en el primer caso que en el segundo.

**La presión es el resultado de dividir una fuerza por la superficie sobre la cual está aplicada.**

La presión ejercida al aplicar una fuerza sobre una superficie viene expresada por la siguiente fórmula:

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

donde:

$p$  = presión

$F$  = fuerza

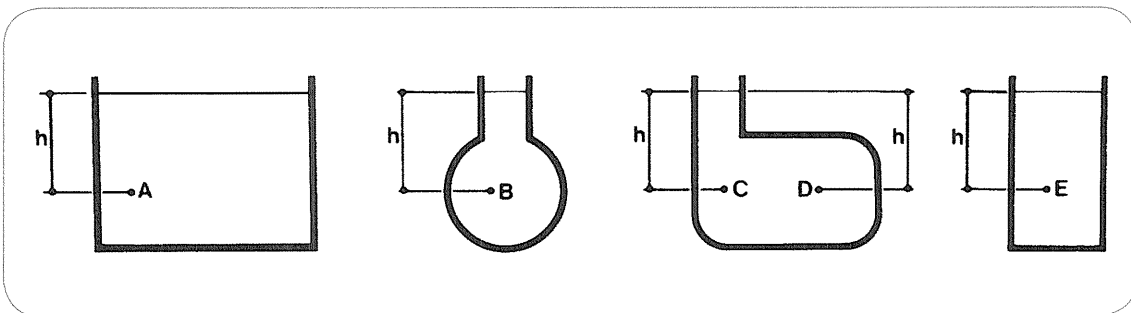
$S$  = superficie

### 2.6.2. Presión estática

Los fluidos, es decir, los líquidos y los gases, ejercen una presión sobre las paredes del recipiente que los contiene, siendo esta presión debida a la fuerza que hace el fluido sobre dichas paredes.

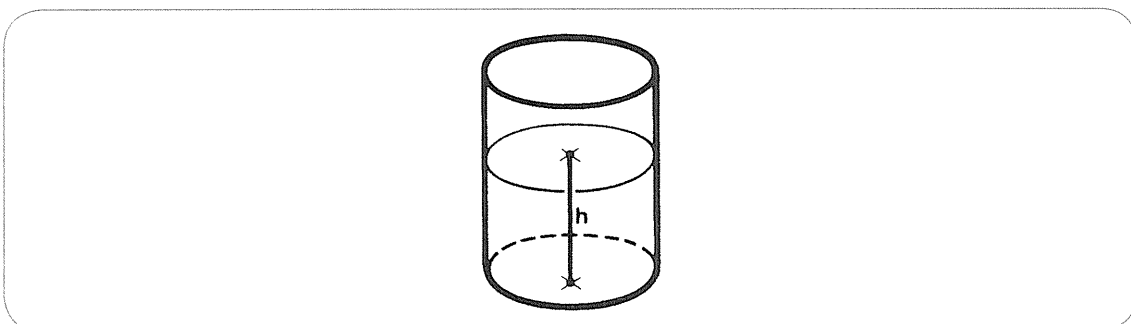
**Se llama presión estática a la presión debida al peso del propio fluido cuando se encuentra en reposo.**

La presión estática en un punto de un líquido sólo depende de la distancia de este punto a la superficie libre del líquido.



La presión estática en los puntos A, B, C, D y E es igual.

Por tanto los puntos situados en la superficie libre no se encuentran sometidos a presión estática alguna debida al líquido, y los puntos situados en el fondo del recipiente se encuentran sometidos a la máxima presión estática debida al propio líquido.



Las fórmulas que nos permiten calcular la presión estática en los puntos interiores del fluido son:

$$p = \rho \times g \times h$$

o bien

$$p = \gamma \times h$$

donde:

$p$  = presión estática

$\rho$  = masa volumétrica del fluido

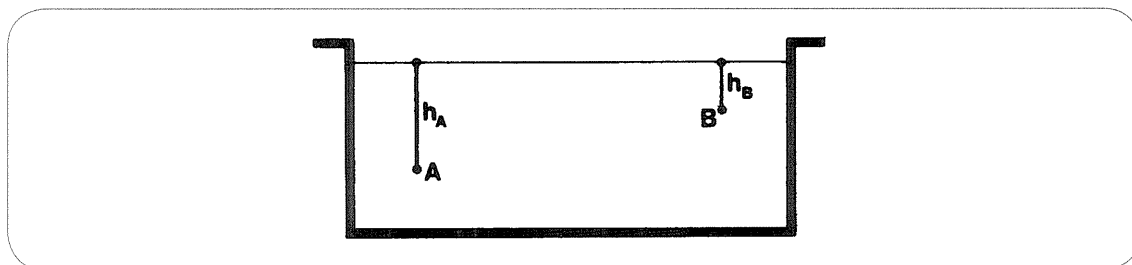
$g$  = aceleración de la gravedad  $9,8 \text{ m/s}^2$

$h$  = distancia entre el punto en el cual queremos medir la presión estática y la superficie libre del fluido.

$\gamma = \rho \cdot g$  (peso específico del fluido)

### 2.6.3. Diferencia de presiones

Las fórmulas anteriores permiten calcular la diferencia de presión estática entre dos puntos de un mismo fluido.



$$p_A - p_B = \rho \times g \times h_A - \rho \times g \times h_B = \rho \times g (h_A - h_B) = \gamma (h_A - h_B)$$

### 2.6.4. Principio de Pascal

**El principio de Pascal nos dice que la presión ejercida en un punto de un fluido se transmite íntegramente a todos sus puntos, y en todas direcciones.**

El principio de Pascal nos indica que si sometemos un fluido a una presión exterior a éste, la presión se transmite a través del fluido. Una aplicación práctica del principio de Pascal es la prensa hidráulica.

### 2.6.5. Unidades (Pa, bar)

**En el SI la unidad para medir la presión es el pascal (Pa),** que representa la fuerza ejercida por un newton sobre una superficie de un metro cuadrado.

En la práctica el Pa es una unidad muy pequeña, por ello se emplean más frecuentemente el **kilopascal (kPa)** y el **megapascal (MPa)**. Por la misma razón el SI admite el **bar** y el **milibar (mbar)**.

$$1 \text{ kPa} = 1000 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ MPa} = 1\,000\,000 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa}$$

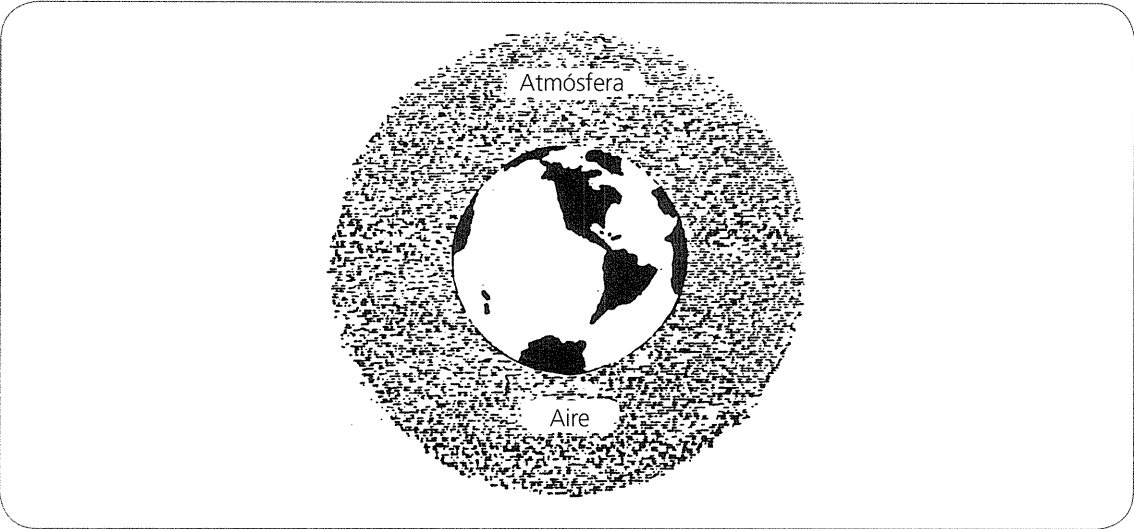
$$1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$$



El milibar equivale también al **hectopascal** (hPa), que se suele emplear para medir la presión atmosférica.<sup>2</sup>

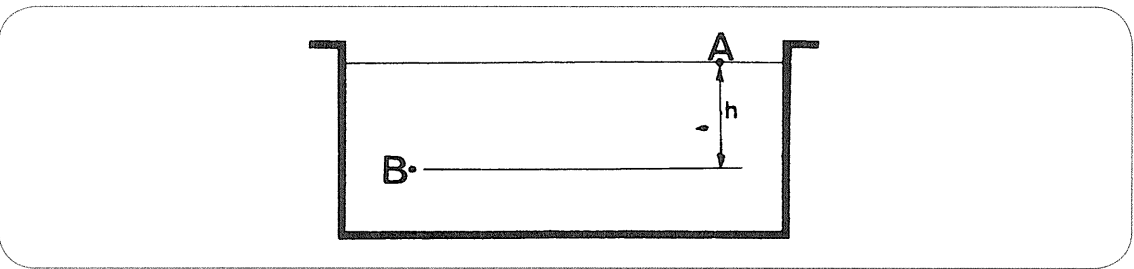
2.6.6. Presión atmosférica

La presión atmosférica es debida al peso de la capa de aire que rodea la superficie en la Tierra. La presión atmosférica es una presión estática.



Debido a las variaciones de temperatura, la diferencia de altitud, etc., la presión atmosférica varía de un momento a otro y de una localidad a otra. La presión atmosférica medida en una determinada localidad y en un momento determinado se llama **presión atmosférica local**.

La presión a la que se encuentran sometidos los puntos del interior de un líquido cuya superficie libre se encuentre en contacto con la atmósfera es la suma de la presión atmosférica local y la presión estática debida al peso del líquido.



$$P_B = P_A + \gamma \times h$$

donde:

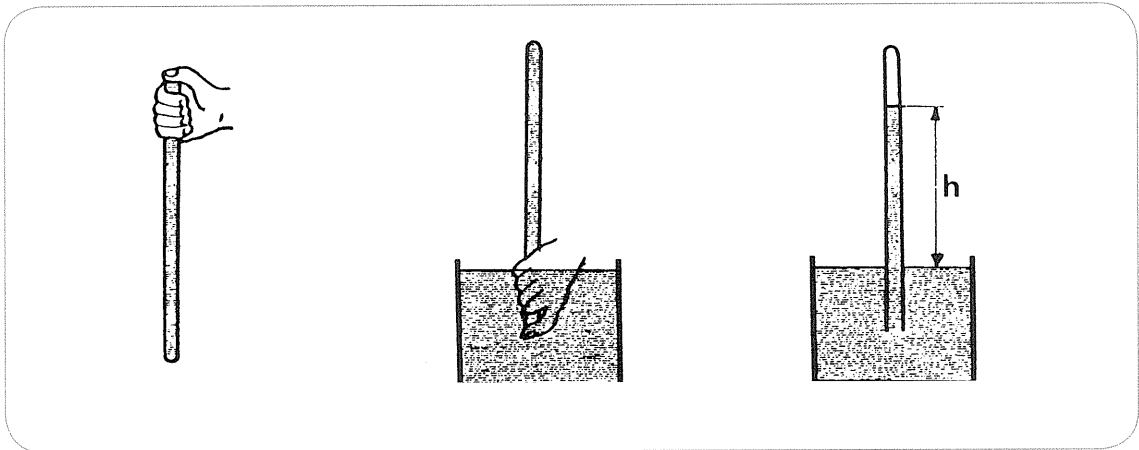
$p_B$  = presión a la que está sometido el punto B

$p_A$  = presión atmosférica local

$\gamma \cdot h$  = presión estática debida al peso del líquido.

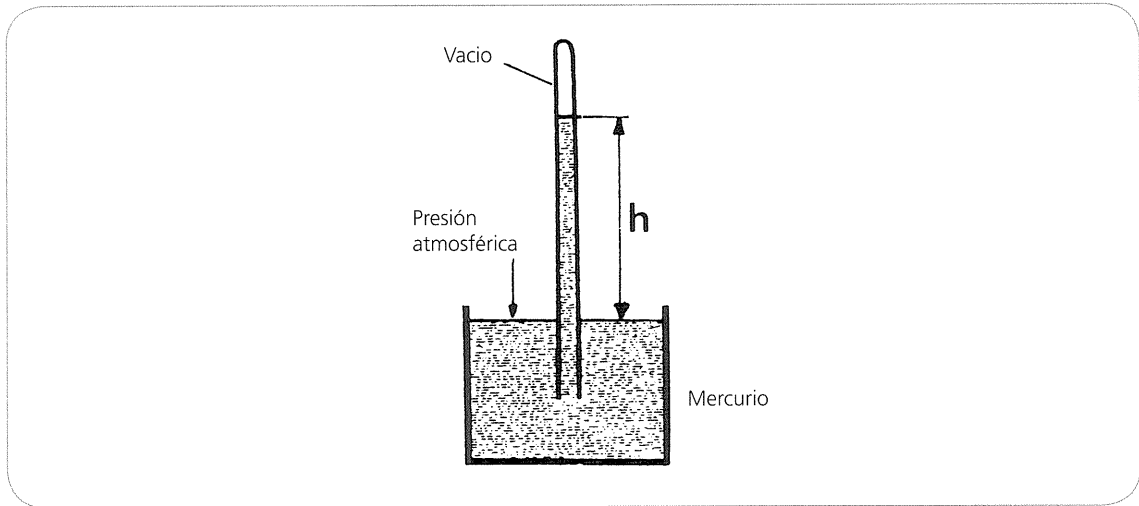
El físico italiano Torricelli demostró que la presión atmosférica local se puede conocer midiendo la altura de la columna de mercurio en un **barómetro de cubeta**.

2. Véase también el apartado 2.6.9 para otras unidades de presión fuera del SI.



Este barómetro es una aplicación directa de la fórmula anterior ( $p_b = p_A + \gamma h$ ).

A medida que la presión atmosférica local aumenta, también lo hace  $h$ , si disminuye la presión, la altura de la columna de mercurio disminuye. **Se considera que la presión atmosférica normal al nivel del mar es de 760 mm de altura de columna de mercurio**, equivalentes a 1,013 25 bar.



Los barómetros son aparatos que miden la presión atmosférica. Además del barómetro de Torricelli existen otros muchos, uno muy usual consiste en un recinto de paredes deformables en el cual se ha hecho el vacío, siendo la deformación de las paredes proporcional a la presión atmosférica local. Actualmente existen sensores electrónicos que permiten medir la presión.

### 2.6.7. Presión absoluta y presión relativa o efectiva

Existen dos escalas que permiten medir las presiones en un fluido:

- 1) Escala absoluta
- 2) Escala efectiva o relativa

#### 2.6.7.1. Presión absoluta

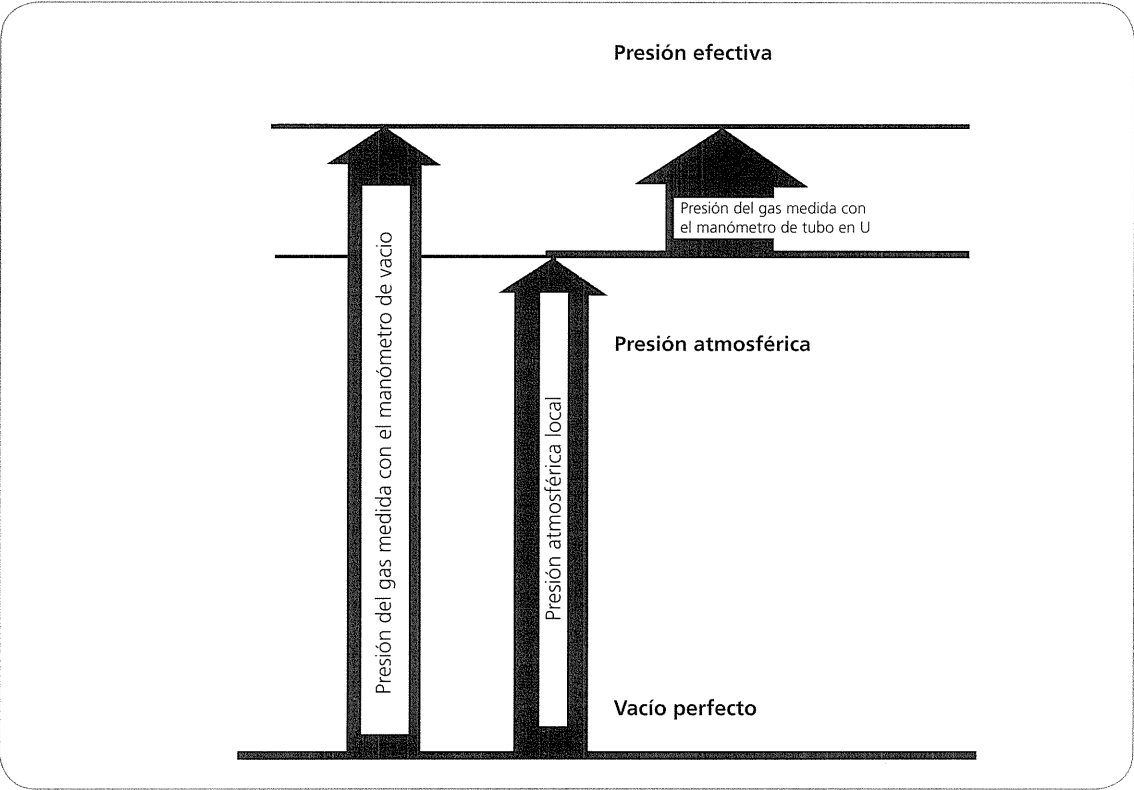
En un recinto en el cual se realizase un vacío perfecto extrayendo todas las moléculas del gas que contenga, la presión sería cero, por lo que no existiría presión.

La escala absoluta de presiones toma como origen la presión en el vacío absoluto.

No pueden existir presiones absolutas negativas, todas las presiones absolutas son superiores a cero.

2.6.7.2. Presión efectiva o relativa

La escala efectiva o relativa toma como origen la presión atmosférica local.  
Las presiones relativas pueden ser positivas o negativas, según sean superiores o inferiores a la presión atmosférica local.



$$\text{presión relativa} = \text{presión absoluta} - \text{presión atmosférica local}$$

Cuando la presión relativa es superior a la presión atmosférica local decimos que hay una **sobre-presión**, y si es inferior decimos que hay una **depresión**.

De la fórmula anterior se deduce la siguiente:

$$\text{Presión absoluta} = \text{presión relativa} + \text{presión atmosférica local}$$

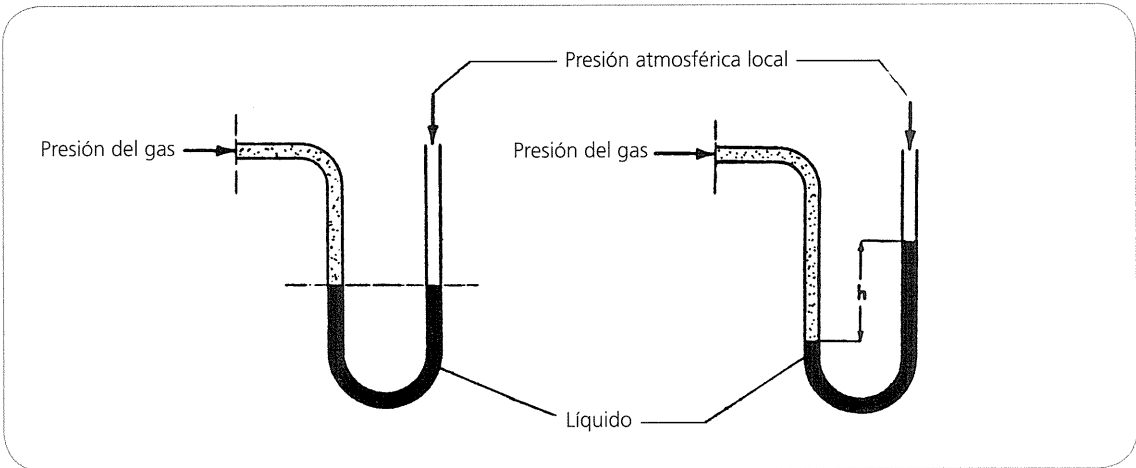
2.6.8. Manómetros: de líquido y metálicos

Para medir la presión de un fluido se emplean los manómetros. La mayoría de manómetros miden presiones efectivas, aunque también los hay que miden presiones absolutas.  
Es frecuente llamar a la presión efectiva, presión manométrica, lo cual es incorrecto, ya que como hemos visto, los manómetros pueden medir presiones efectivas y presiones absolutas. Es preferible hablar de presiones efectivas y de presiones absolutas.

2.6.8.1. Manómetros de líquido

Estos manómetros están formados por dos tubos verticales transparentes, unidos por sus bases, los cuales tienen agua o mercurio en su interior. Uno de los tubos se encuentra abierto y en comunicación con la atmósfera, y el otro unido al recipiente cuya presión deseamos conocer. La diferencia de nivel entre las dos columnas de líquido determina la presión relativa o efectiva del fluido contenido en el recipiente.

Manómetro de tubo en U

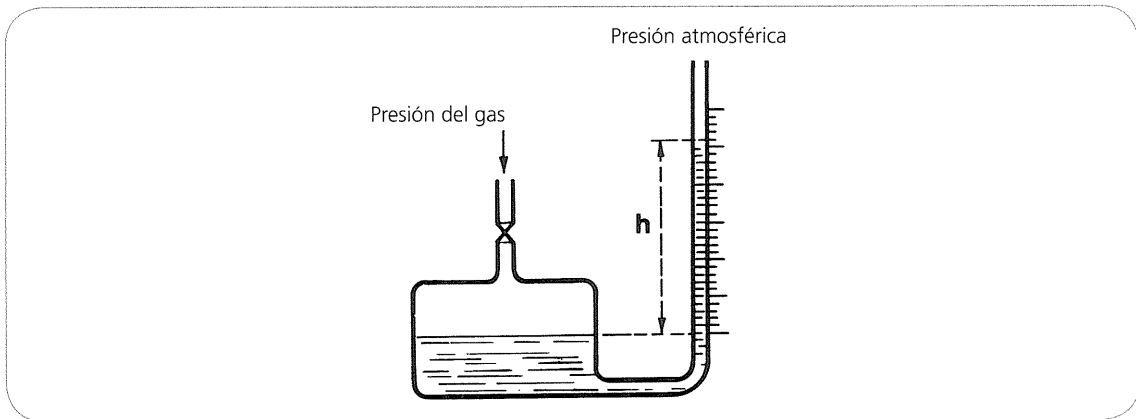


Cuando la presión absoluta del gas es igual a la atmosférica el nivel de ambas columnas se encuentra a la misma altura (figura de la izquierda), es decir, la presión efectiva es cero.

Si la presión absoluta del gas es superior a la atmosférica, la diferencia de niveles (h) nos indica la presión efectiva (figura de la derecha).

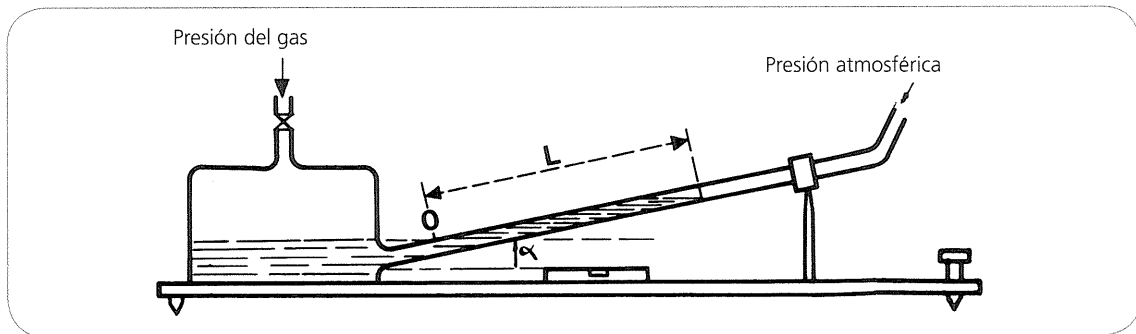
Manómetro de tubo vertical

Este manómetro tiene la particularidad que la sección del tubo vertical es mucho menor que la de la cuba, por lo cual el nivel del líquido en la cuba prácticamente no sufre variaciones por efecto del ascenso del líquido en el tubo, en cambio si sufre una gran variación el nivel del líquido en el tubo vertical.



El tubo vertical se encuentra graduado en mm, y de una sola lectura se puede conocer la presión.

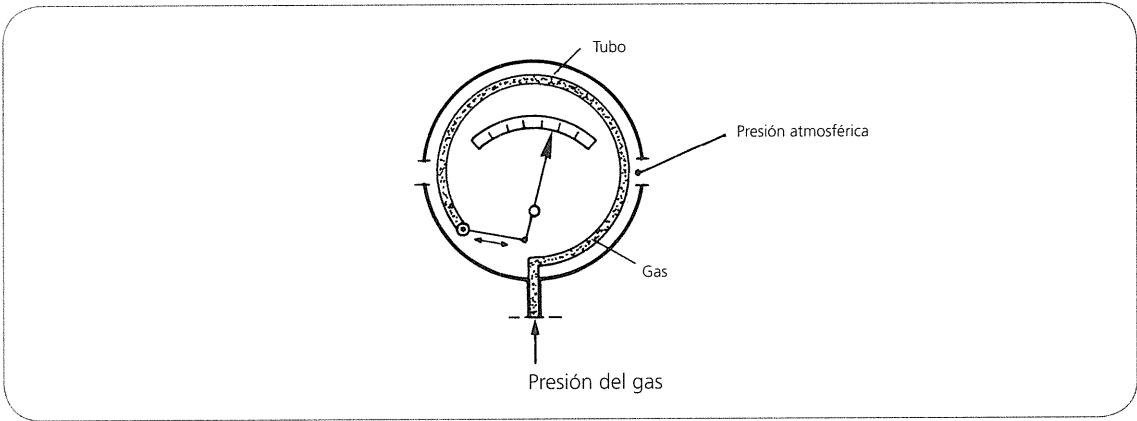
Manómetro de tubo inclinado



El funcionamiento de este manómetro es similar a la del manómetro de tubo vertical, sin embargo, al encontrarse el tubo inclinado permite medir variaciones menores de presión, siendo más sensible.

2.6.8.2. Manómetros metálicos

Estos manómetros se destinan principalmente a la medida de presiones elevadas, y se utilizan principalmente en la industria. El más conocido es el manómetro Bourdon, que nos muestra la siguiente figura.



El manómetro Bourdon está formado por un tubo metálico de sección elíptica y forma circular, el cual se encuentra conectado a la conducción de gas.

El tubo se encuentra fijo en un extremo y libre en el otro. Debido a la presión del gas el tubo tiende a enderezarse, transmitiéndose los desplazamientos de la extremidad libre a una aguja, la cual indica la presión en una escala.

Existen manómetros metálicos que permiten medir tanto presiones efectivas como absolutas. El representado en la figura anterior mide presiones efectivas o relativas ya que por su cara exterior el tubo se encuentra sometido a la presión atmosférica local.

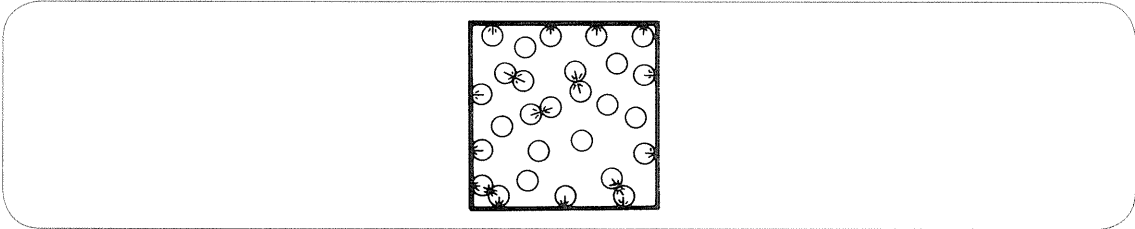
2.6.9. Otras unidades de presión (m c.d.a., mmHg, atm)

En la industria se utilizan otras unidades, no pertenecientes al SI las cuales detallamos en la siguiente tabla de equivalencias:

kilopascal kN/m²  (kPa)	atmósfera técnica kg f/cm²  (at)	milímetros de columna de Mercurio  (mmHg)	metros de columna de Agua (m c.d.a.) (m H₂O)	atmósfera física 760 mmHg  (Atm)	bar 100 000 Pa  (bar)
1	0,010 2	7,500 6	0,102	0,009 9	0,01
98,066	1	735,56	10	0,967 8	0.980 7
0.133 322	0,001 4	1	0,013 6	0,001 3	0,001 3
9,806 4	0,1	73,554	1	0.096 8	0,098 1
101,325	1,033 2	760	10,332 6	1	1,013 25
100	1,019 7	750,06	10,197	0,986 9	1

2.6.10. Pérdida de carga

Hemos dicho que un gas es un cuerpo formado por moléculas que tienen gran libertad de movimiento, las cuales se mueven en todas direcciones dando lugar a un movimiento totalmente desordenado, y como consecuencia del mismo las moléculas chocan entre sí y con las paredes del recipiente que las contiene.



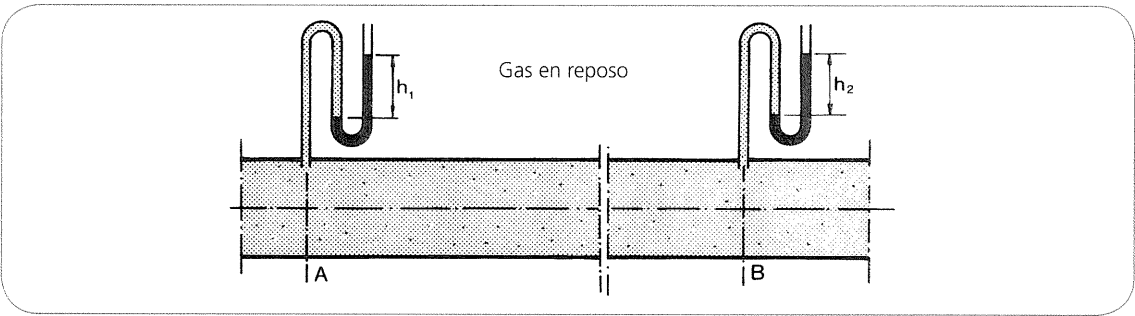
Cada golpe de una molécula contra la pared, da lugar a que la pared deba realizar una fuerza para resistir el golpe.

O lo que es lo mismo, cada unidad de superficie de pared debe resistir la fuerza debida a la suma de todas las moléculas que impactan sobre ella.

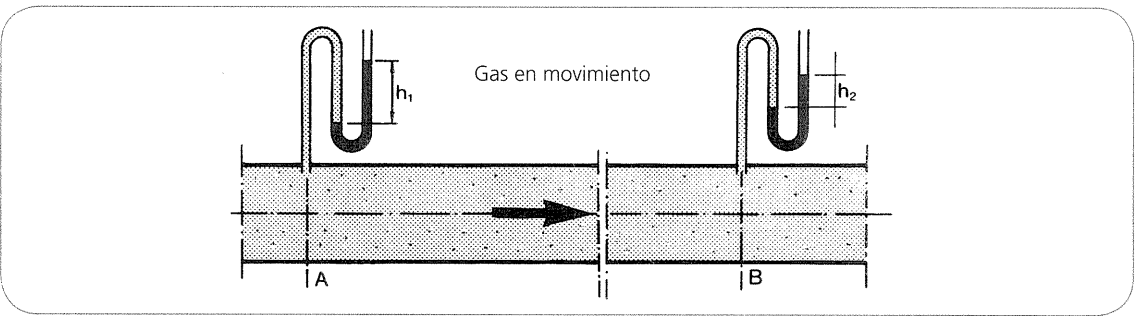
La presión de un gas dentro de un recipiente cerrado es la fuerza por unidad de superficie que la pared resiste o que las moléculas del gas ejercen.

Por las tuberías el gas circula a presión. Esta presión, llamada presión de distribución, es la causa que permite que el gas llegue a los puntos de consumo.

El gas cuando circula por las tuberías roza con las paredes de la conducción. Este rozamiento lleva consigo una pérdida de presión.



En la figura superior el gas está en reposo y  $h_1 = h_2$ , por consiguiente, no existe diferencia de presión entre los puntos A y B.



En la figura superior; cuando el gas se mueve,  $h_2$  es menor que  $h_1$ , lo cual indica que la presión en A es mayor que la presión en B.

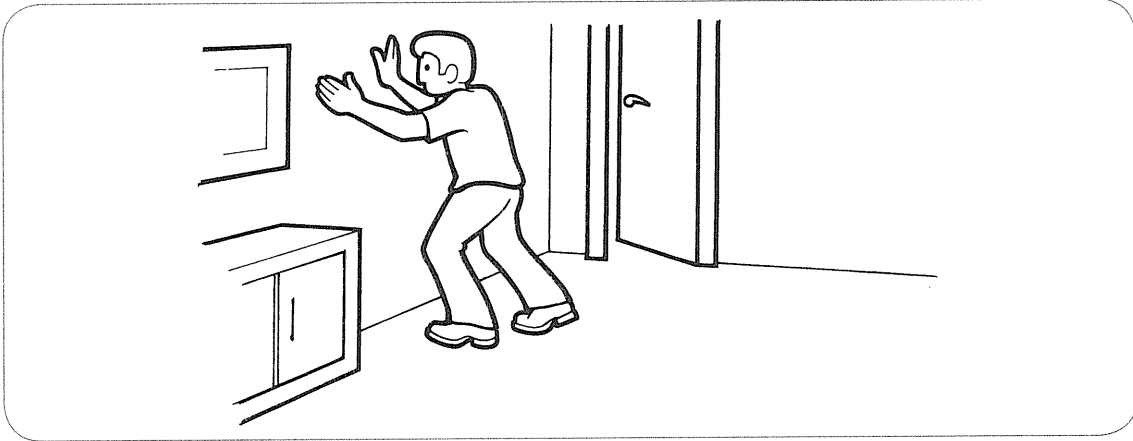
**Se llama pérdida de carga a la pérdida de presión debida al rozamiento del gas contra las paredes y accesorios de la conducción.**

## 2.7. ENERGÍA, POTENCIA Y RENDIMIENTO

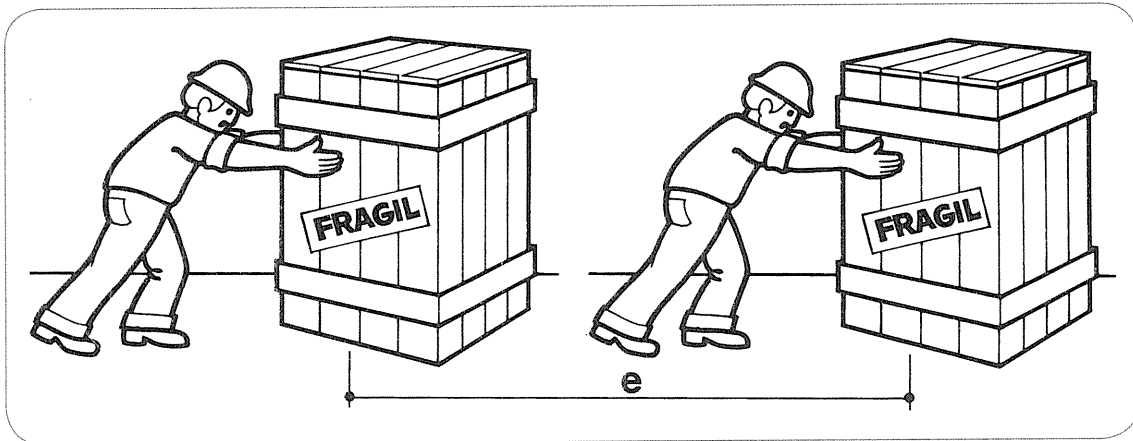
### 2.7.1. Trabajo

En Física el trabajo tiene un significado distinto al que se le da ordinariamente.

Si ejercemos una fuerza sobre un cuerpo y éste no se mueve hacemos un esfuerzo físico, pero no realizamos ningún trabajo mecánico. En el caso de la figura, la persona realiza un gran esfuerzo, pero al no moverse la pared, no se ha realizado trabajo.



Cuando una fuerza se aplica sobre un cuerpo y le hace recorrer un espacio, se realiza un trabajo.



El trabajo realizado depende de:

- la fuerza aplicada
- el espacio recorrido

$$T = F \times e$$

donde:

T = trabajo

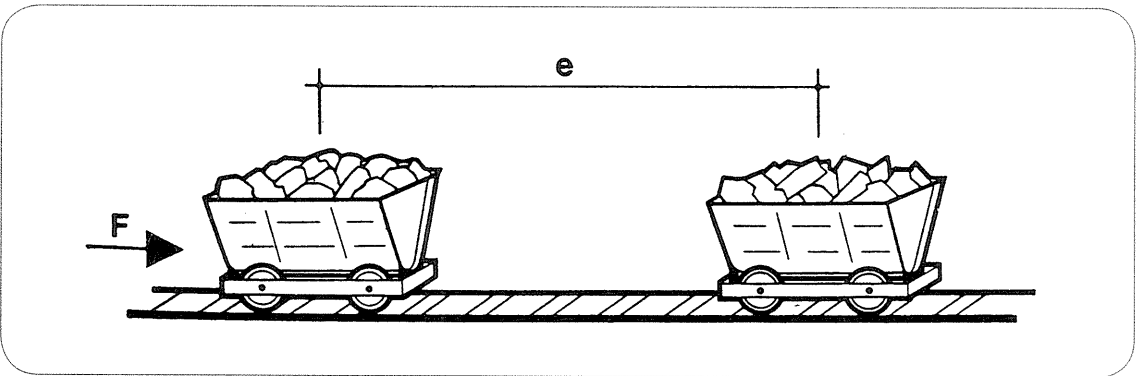
F = fuerza

e = espacio recorrido

2.7.1.1. Unidades de medida del trabajo

En el SI la unidad de medida del trabajo es el **julio**, que se indica por la letra **J**.  
El trabajo realizado por una fuerza de 1 newton que se desplaza 1 metro se denomina 1 julio.

$T = F \times e = 1 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 1 \text{ Julio}$



Ejemplo:

Para desplazar la carretilla 10 m aplicamos una fuerza de 15 N. Vamos a calcular el trabajo realizado.

$T = F \times e = 15 \times 10 = 150 \text{ J}$

En la práctica, además del julio, también se utilizan otras unidades para medir el trabajo. El siguiente cuadro nos da la equivalencia entre las mismas.

Denominación	Símbolo	Equivalencia
vatio segundo	1 Ws =	1 J
kilovatio hora	1 kWh =	3 600 000 J
	1 kWh =	860 kcal
caballo vapor hora	1 CVh =	2 647 795 J
caloría <sub>IT</sub>	1 cal =	4,186 8 J
kilocaloría <sub>IT</sub> *	1 kcal =	4186,8 J
termia*	1 te =	1000 kcal

\* La kilocaloría y la termia han sido muy utilizadas tradicionalmente en la industria del gas.

2.7.2. Energía

**Energía es la capacidad para realizar trabajo.**

- Una persona tiene la capacidad de levantar una piedra porque posee energía.
- El agua embalsada en una presa tiene la capacidad de mover la turbina porque posee energía.
- El caballo que tira del carro realiza un trabajo porque posee energía.

La energía se mide por el trabajo realizado, luego ambas magnitudes se miden con la misma unidad. En general la energía se representa con la letra E y a veces con un subíndice, para diferenciar la forma en que se manifiesta.



## Manifestaciones de la energía

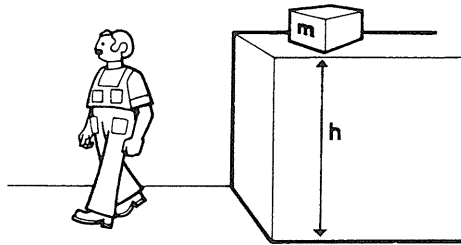
La energía es única pero se manifiesta de distintas formas:

- Cuando quemamos un gas la energía se manifiesta en forma de calor. El calor es una de las muchas formas de manifestarse la energía, es energía calorífica.
- La luz que emiten las bombillas se debe a que su filamento está muy caliente, luego la luz que emiten las bombillas es **energía luminosa** ( $E_l$ ). El ojo humano es sensible a este tipo de energía.
- La electricidad que hace girar un motor es energía y se llama **energía eléctrica** ( $E_e$ ).
- La energía almacenada en un combustible es **energía química** ( $E_q$ ).
- La energía almacenada en los átomos se llama **energía atómica** ( $E_a$ ).
- **La energía mecánica** ( $E_m$ ) es la que poseen los cuerpos en reposo o en movimiento.

## Energía potencial

Los cuerpos, aunque se encuentren en reposo, son capaces de realizar un trabajo ya que poseen energía, como el agua de un embalse, o una piedra a punto de caer.

La energía que poseen los cuerpos debida a la posición se llama **energía potencial** ( $E_p$ ).



La fórmula que nos permite calcular la energía potencial de un cuerpo es:

$$E_p = m \times g \times h$$

donde:

$E_p$  = energía potencial

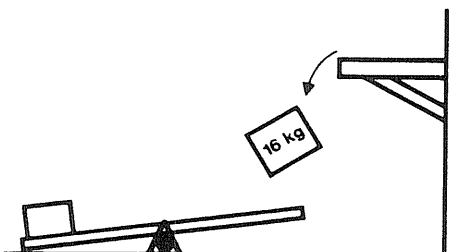
$m$  = masa

$g$  = aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

$h$  = altura

## Energía cinética

También los cuerpos en movimiento poseen energía, y se llama energía cinética ( $E_c$ ).



La fórmula que nos permite calcular la energía cinética de un cuerpo es:

$$E_c = \frac{1}{2} m \times v^2$$

donde:

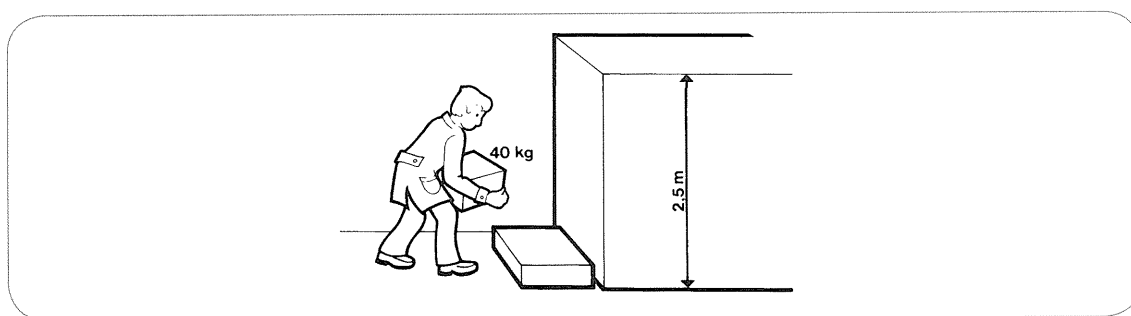
$E_c$  = energía cinética

$m$  = masa

$v$  = velocidad

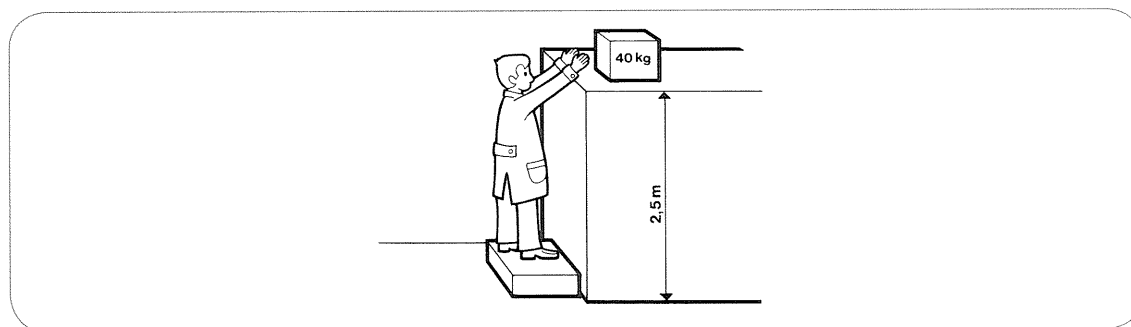
Ejemplo:

Al colocar un cuerpo de 40 kg de masa sobre un estante situado a 2,5 m, el trabajo desarrollado será:



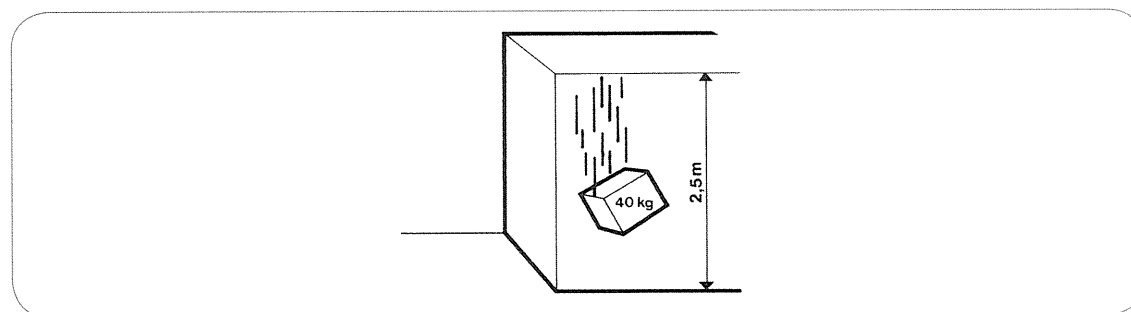
$$T = F \times e = m \times g \times e = 40 \times 9,8 \times 2,5 = 980 \text{ J}$$

Una vez colocado el cuerpo en la estantería, su energía potencial es:



$$E_p = m \times g \times h = 40 \times 9,8 \times 2,5 = 980 \text{ J}$$

Si el cuerpo cae del estante, choca contra el suelo a una velocidad de 7 m/s. La energía cinética que posee es:

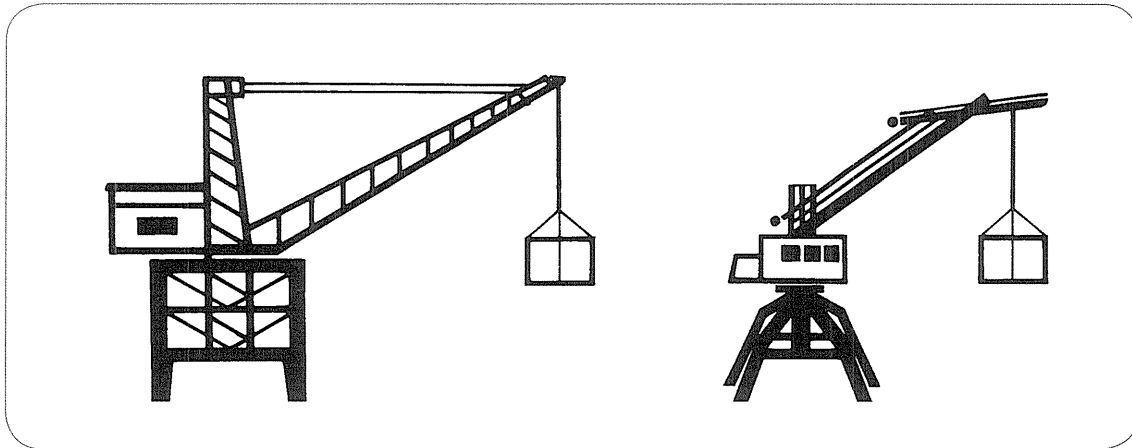


$$E_c = \frac{1}{2} m \times v^2 = \frac{1}{2} 40 \times 7^2 = 980 \text{ J}$$

Observemos que el trabajo realizado para subir el bloque a la estantería es igual a la energía potencial que posee el bloque a esa altura, e igual a la energía cinética que pone de manifiesto al caer hasta su posición primitiva.

### 2.7.3. Potencia

Como podemos observar en la fórmula del trabajo no influye el tiempo que se tarda en realizarlo. Es decir, el mismo trabajo se puede realizar en mucho o poco tiempo.



Las dos grúas de la figura levantan cajas del mismo peso, la primera tarda 3 segundos en levantarla y la segunda 7 segundos.

La primera es más potente que la segunda porque realiza el mismo trabajo en menos tiempo. **Se llama potencia al trabajo realizado en la unidad de tiempo.**

Al dividir el trabajo realizado por la grúa, entre el tiempo que tarda en hacerlo, estamos calculando la potencia de la grúa.

$$P = \frac{T}{t}$$

donde:

P = potencia

T = trabajo

t = tiempo

De la fórmula anterior se deducen:

▪ Trabajo  $T = P \times t$

▪ Tiempo  $t = \frac{T}{P}$

#### 2.7.3.1. Unidades de medida de la potencia

En el **SI** la unidad de medida de la potencia es el vatio que se indica por **W**.

En el SI el trabajo se mide en julios, el tiempo en segundos y la potencia en vatios.

Si una máquina realiza el trabajo de 1 julio en un segundo, tiene la potencia de un vatio:

$$P = \frac{T}{t} = \frac{1 \text{ julio}}{1 \text{ segundo}} = 1 \text{ vatio}$$

Ejemplo:

Una máquina cuya potencia es 1.000 W realiza un trabajo de 5.000 J. Vamos a calcular el tiempo que ha empleado en realizar este trabajo:

Sabemos que

$$P = \frac{T}{t}$$

si despejamos el tiempo

$$t_c = \frac{T}{P} = \frac{5.000}{1.000} = 5 \text{ segundos}$$

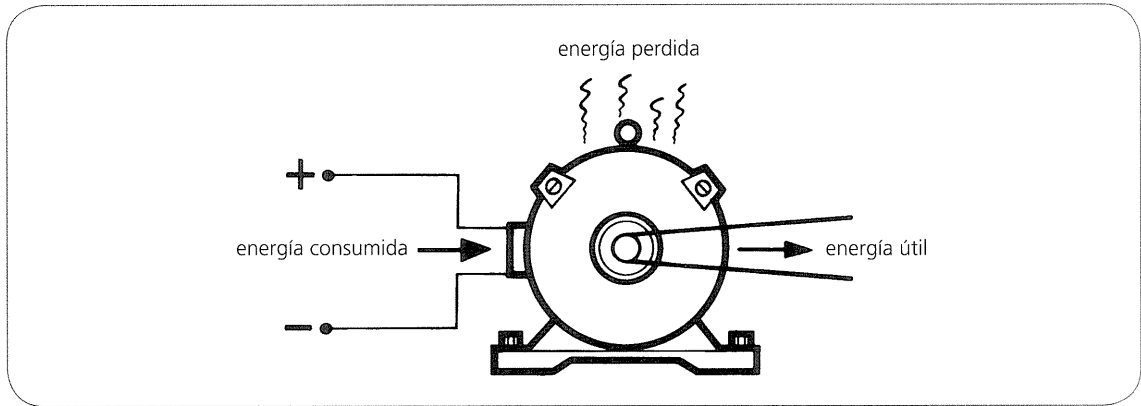
En la práctica, además del vatio, también se utilizan otras unidades para medir la potencia. El siguiente cuadro nos las muestra:

Nombre	Símbolo	Equivalencia
kilovatio	1 kW	1000 W
megavatio	1 MW	1 000 000 W
gigavatio	1 GW	1 000 000 000 W
caballo vapor	1 CV	735,5 W
kilocaloría por segundo	1 kcal/s	4186,8 W

El kilovatio, equivalente a 1.000 W, es un múltiplo del vatio que se utiliza mucho debido a que el W es una unidad muy pequeña.

2.7.4. Rendimiento

En toda transformación de energía, una parte se aprovecha y otra se pierde.



En el motor de la figura la **energía** útil que nos proporciona es siempre menor a la energía total consumida ya que parte se pierde en forma de calor. Siempre se cumple que:

$$E_{\text{total consumida}} = E_{\text{útil}} + E_{\text{perdida}}$$

**El rendimiento nos indica el grado de aprovechamiento en las transformaciones de energía.** En el caso del motor, la energía total consumida se transforma en energía mecánica útil y energía calorífica que por lo general no se aprovecha.

El rendimiento se calcula dividiendo la energía útil que nos proporciona el sistema por la energía total consumida y se representa por la letra griega  $\eta$  (se lee eta).

$$\eta = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{total consumida}}}$$

Ejemplo:

Una máquina consume en total 1.200 J, de los cuales se convierten en energía útil sólo 720 J. El rendimiento de la máquina será:

$$\eta = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{total consumida}}} = \frac{720 \text{ J}}{1.200 \text{ J}} = 0,60$$

El rendimiento de esta máquina es del 60%, lo que nos indica que de la energía suministrada a la máquina el 60% se convierte en energía útil y el 40% se pierde sin que la podamos aprovechar.

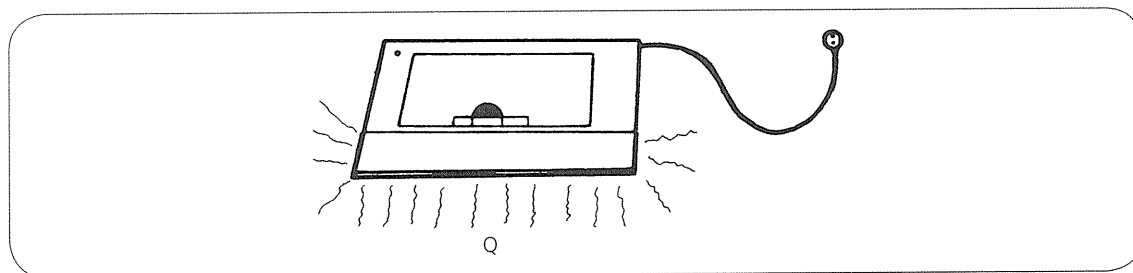
Como hemos visto el rendimiento se puede expresar en tanto por ciento, o en tanto por uno.

## 2.8. EL CALOR: CONCEPTO DE CALOR. UNIDADES. CALOR ESPECÍFICO INTERCAMBIO DE CALOR. CANTIDAD DE CALOR. PCS Y PCI

### 2.8.1. Concepto de calor

El calor ni pesa ni ocupa un lugar en el espacio, por tanto no es materia. El calor es una de las formas en que puede manifestarse la energía.

Todas las formas en que se manifiesta la energía se pueden transformar, con facilidad, en calor. En la plancha la energía eléctrica es transformada en calor.



Las **variaciones de calor** que experimenta un cuerpo se indican por la letra **Q**.

### 2.8.2. Unidades

En el Sistema Internacional de Unidades **la energía se mide en julios**, por tanto, al ser **el calor** una forma de energía, **también se mide en julios**.

En la práctica el calor se ha venido midiendo en calorías.

Una caloría es la cantidad de calor necesaria para elevar de 14,5 a 15,5 °C la temperatura de un gramo de agua en estado líquido a la presión atmosférica normal.

La caloría se indica abreviadamente por cal.

La kilocaloría es un múltiplo de la caloría y es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado centígrado la temperatura de un kilogramo de agua en estado líquido a la presión atmosférica normal. La kilocaloría se expresa por kcal.

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal}$$

$$1 \text{ cal} = 0,001 \text{ kcal}$$

En la industria del gas como unidad de calor también se ha empleado la termia que se representa por te.

1 te = 1000 kcal = 1 000 000 cal

En la siguiente tabla de equivalencias se resumen las diferentes unidades en las cuales se puede medir la energía.

julio J	kilovatio·hora kWh	caballo vapor.hora CVh	kilocaloria kcal	termia te
1	0,000 000 278	0,000 000 378	0,000 238 85	0,000 000 239
3 600 000	1	1,359 62	859,8	0,859 8
2 647 795	0,735 5	1	632,42	0,632 42
4186,8	0,001 163	0,001 581	1	0.001
4 186 800	1,163	1,581	1000	1

Como puedes ver en la tabla, 1 kcal equivale a 4186,8 J. En la práctica podemos tomar:

- 1 julio = 0,24 calorías
- 1 caloría = 4,18 julios
- 1 kWh = 860 kcal
- 1 kWh = 1,36 CVh
- 1 te= 1,16 kWh

Actualmente se tiende a emplear el kWh como unidad de cantidad de calor.

2.8.3. Calor específico

Hemos visto que a la presión atmosférica normal para elevar 1 grado centígrado la temperatura de 1 kilogramo de agua en estado líquido necesitamos 1 kilocaloría.

No todas las sustancias necesitan 1 kilocaloría para elevar 1 grado centígrado la temperatura de 1 kilogramo de esa sustancia. Por ejemplo, para elevar 1 grado centígrado la temperatura de 1 kilogramo de mercurio necesitamos 0,033 kilocalorías.

Se llama calor específico de una sustancia a la cantidad de calor necesaria para elevar un grado absoluto<sup>3</sup> un kilogramo de dicha sustancia. El calor específico se representa por c.

En la siguiente tabla se dan los calores específicos medios a la presión atmosférica normal de diversas sustancias en los estados en que se indican.

3. Ver apartado 2.9.2 para todo lo referente a escalas de temperatura.

Calores específicos medios a la presión atmosférica normal (1,013 25 bar)			
Estado	Sustancia	Calor específico medio	
		kcal/kgK	J/kgK
Sólido	Agua (hielo)	0,5	2094
	Acero	0,12	502
	Aluminio	0,22	921
	Cobre	0,094	394
Líquido	Agua	1	4187
	Mercurio	0,033	138
	Metano (puro)	0,83	3475
	Etano (puro)	0,54	2261
	Propano (puro)	0,58	2428
	Normal butano (puro)	0,55	2303
Gas o vapor	Agua	0,45	1884
	Aire	0,24	1005
	Metano (puro)	0,53	2219
	Etano (puro)	0,42	1759
	Propano (puro)	0,40	1675
	Normal butano (puro)	0,40	1675
	Iso butano (puro)	0,40	1675

El calor específico de un cuerpo es distinto según el estado físico, la presión y la temperatura a la que se encuentra. Por ello en la tabla anterior se especifica el estado y se da el calor específico medio, aceptable en un amplio margen de temperaturas a la presión atmosférica normal.

$c_s$ = calor específico medio de un cuerpo en estado sólido

$c_l$ = calor específico medio de un cuerpo en estado líquido

$c_g$ = calor específico medio de un cuerpo en estado gaseoso (vapor)

Así para el agua el calor específico medio a la presión atmosférica normal es:

Estado sólido (hielo)  $c_s = 0,5 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$  ( $2,1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ )

Estado líquido  $c_l = 1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$  ( $4,19 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ )

Estado gaseoso, vapor  $c_g = 0,45 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$  ( $1,88 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ )

2.8.3.1. Unidades para la medida del calor específico

En el SI la unidad de calor específico es el julio por kilogramo y Kelvin ( $\text{J/kg K}$ ), pero por ser ésta una unidad muy pequeña se emplea el  $\text{kJ/kg K}$ , que es mil veces mayor.

En la práctica el calor específico puede darse todavía en  $\text{kcal/kg } ^\circ\text{C}$  o bien en  $\text{cal/g } ^\circ\text{C}$  aún cuando estas unidades no pertenecen al SI.

$\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$	$\text{kcal/kg } ^\circ\text{C}$	$\text{cal/g } ^\circ\text{C}$
1	0,23885	0,23885
4,1868	1	1
4,1868	1	1

En esta tabla se pone de manifiesto que el calor específico en  $\text{kcal/kg } ^\circ\text{C}$  y  $\text{cal/g } ^\circ\text{C}$  son iguales.

### 2.8.4. Intercambio de calor

Siempre que dos cuerpos a distintas temperaturas se ponen en contacto, **el calor del cuerpo más caliente (con mayor temperatura) pasa al más frío (de menor temperatura)**, cumpliéndose que: **la cantidad de calor cedida por un cuerpo es igual a la cantidad de calor absorbida por el otro.**

**El intercambio de calor cesa cuando se igualan las temperaturas de los dos cuerpos.**

En la práctica, cuando se pretende aprovechar el calor de un foco caliente, como por ejemplo el de una llama de gas, de un vapor o el de un líquido a temperatura elevada, etc. siempre se producen unas ciertas pérdidas de calor que por diversas razones no se pueden recuperar. Por ello, la igualdad anterior se debe corregir con un cierto coeficiente que refleje el rendimiento del intercambio de calor, cumpliéndose:

**Calor absorbido por el cuerpo de menor temperatura =  $\eta$  × calor cedido por el cuerpo de mayor temperatura**

donde:  $\eta$  es el rendimiento de intercambio y siempre es menor que la unidad y mayor que cero. Cuanto más se acerque a la unidad mejor es el intercambio de calor. El rendimiento varía de un proceso de intercambio a otro y según el aparato intercambiador utilizado.

### 2.8.5. Cantidad de calor

Tal como se ha descrito en el apartado anterior, cuando se ponen en contacto dos sistemas a temperatura diferente se produce una transferencia de calor desde el sistema que está a mayor temperatura al que está a menor temperatura.

La **cantidad de calor  $\Delta Q$**  transferida es proporcional a la diferencia de temperaturas  $\Delta T$ . La constante de proporcionalidad  $C$  se denomina capacidad calorífica del sistema. Se cumple:

$$\Delta Q = C \times \Delta T$$

### 2.8.6. Poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI)

Se llama **Poder calorífico** a la cantidad de calor producido por la combustión completa de una unidad de volumen o de masa del gas, a una presión constante e igual a 1013,25 mbar, tomando los componentes de la mezcla combustible en las condiciones de referencia y llevando los productos de la combustión a las mismas condiciones.

Se distinguen dos tipos de poder calorífico, el Poder calorífico superior (PCS), suponiendo que se condensa el agua producida por la combustión, y el Poder calorífico inferior (PCI), suponiendo que el agua producida por la combustión permanece en estado de vapor.

La relación entre los Poderes Caloríficos Superior e Inferior depende del tipo de combustible. Para el gas natural se emplea la relación:

$$PCI/PCS = 0,90$$

Para los GLP se emplea la relación:

$$PCI/PCS = 0,92$$

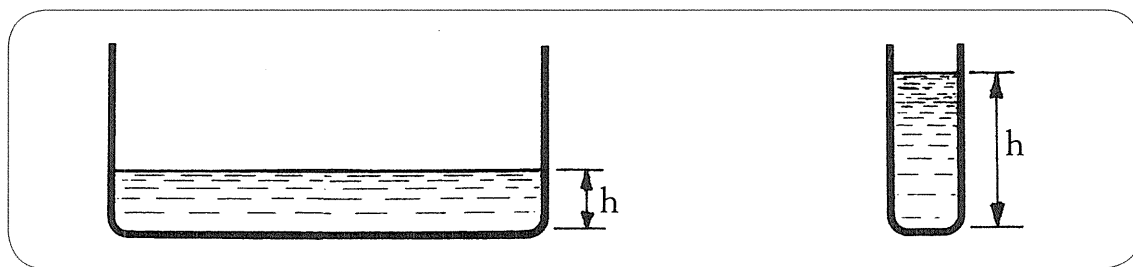
## 2.9. TEMPERATURA: CONCEPTO, MEDIDAS, ESCALA CELSIUS

### 2.9.1. Concepto

El calor es energía, la temperatura es una magnitud que nos indica el nivel de calor. Supongamos que la cantidad de agua es el calor y la temperatura el nivel del agua.

La cantidad de agua es mucho mayor en el recipiente de la izquierda, sin embargo, el nivel del agua es mucho mayor en el recipiente de la derecha.





Veamos con un ejemplo similar al anterior la diferencia entre calor y temperatura.

Para calentar 2 kg de agua desde 0 °C hasta 98 °C se han de aportar al agua 196 kcal (821 kJ) y para calentar 49 kg de agua desde 0 °C hasta 4 °C hay que aportar también 196 kcal (821 kJ).

En ambos casos necesitamos aportar la misma cantidad de calor, 196 kcal (821 kJ), pero si metemos la mano en el agua que está a 98 °C tendríamos la sensación de quemarnos, sin embargo, al meterla en el agua que está a 4 °C sentiríamos el agua como muy fría.

En ambos casos la cantidad de calor es la misma, sin embargo, la temperatura es distinta y los efectos que ésta produce muy diferentes.

De lo anterior se deduce que:

**NO ES LO MISMO CALOR QUE TEMPERATURA**

Veamos otro ejemplo:

Para aumentar la temperatura de 1 kg de aluminio en 30 °C hay que aportarle 6,6 kcal (27,7 kJ) y para incrementar la temperatura de 10 kg de aluminio en sólo 20 °C hay que aportarles 44 kcal (184 kJ).

Como podemos observar, en el primer caso el aumento de temperatura es mayor que en el segundo. Sin embargo en el segundo caso se precisó más energía para producir un incremento de temperatura menor debido a que la masa del cuerpo es mayor.

### 2.9.2. Medidas, escala Celsius

**Para medir la temperatura se utilizan los termómetros graduados.** Graduar un termómetro es construir su escala.

Existen distintas escalas, las más empleadas son:

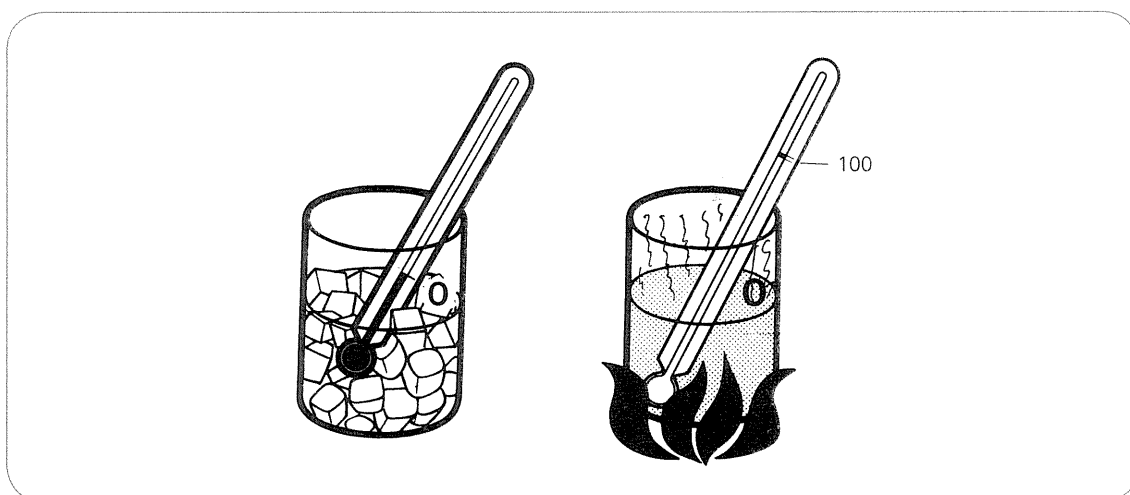
- Escala Celsius (también llamada centígrada, denominación no recogida por el Sistema Internacional de Unidades)
- Escala absoluta o Kelvin

En el SI la temperatura se mide en grados absolutos o Kelvin, sin embargo, este sistema acepta el uso de la escala Celsius.

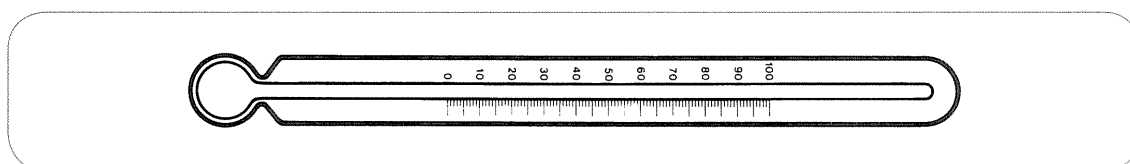
#### Escala Celsius

Normalmente los termómetros que utilizamos están graduados en la **escala Celsius**.

En esta escala existen dos puntos importantes:



- El 0 que corresponde a la temperatura de congelación del agua.
- El 100 que corresponde a la temperatura de ebullición del agua a la presión atmosférica normal.



La distancia entre el punto que corresponde al 0 y el punto que corresponde a 100 se divide en 100 partes iguales, siendo cada una de ellas **un grado Celsius**.

**El grado Celsius se representa por °C y la temperatura en grados centígrados por la letra t.**

De esta forma para indicar que la temperatura es de 25 grados centígrados escribiremos:

$$t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Las temperaturas inferiores a 0 °C se expresan con el signo “-” (menos) delante o simplemente decimos **“bajo cero”** a continuación del valor en grados.

### Escala absoluta

Se dice que a la temperatura de -273,15 °C hay ausencia total de calor y por consiguiente las moléculas no se mueven. A esta temperatura se le llama **cero absoluto**.

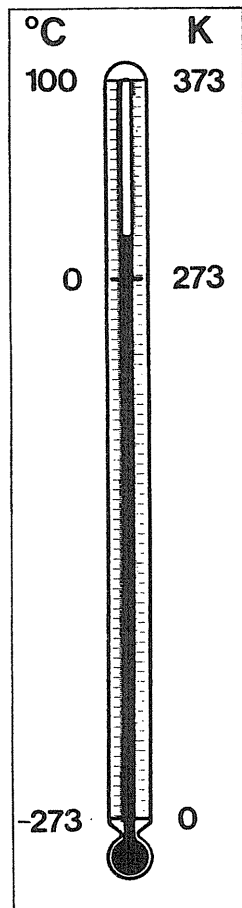
**La escala absoluta tiene como origen el cero absoluto, siendo su unidad el kelvin, que se representa por K.**

**La temperatura en kelvin se indica con la letra T.** De esta forma 500 kelvin se indican por

$$T = 500\text{ K}$$

Solamente en los casos en los que se necesite una gran precisión tomaremos el cero absoluto en -273,15 °C. En la práctica el cero absoluto lo consideraremos en -273 °C.

Observa la figura:



En la parte izquierda la graduación corresponde a la escala Celsius, la graduación de la derecha corresponde a la escala absoluta.

0 °C corresponde a 273 K

0 K corresponde a -273 °C

100 °C corresponden a 373 K

Las divisiones de la escala absoluta son iguales a las de la escala Celsius, y la temperatura absoluta es igual a la temperatura centígrada más 273.

$$T = t + 273$$

Y a la inversa, la temperatura centígrada es igual a la absoluta menos 273.

$$t = T - 273$$

Ejemplo:

Calculemos cuántos grados absolutos corresponden a 25 °C.

$$T = t + 273 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

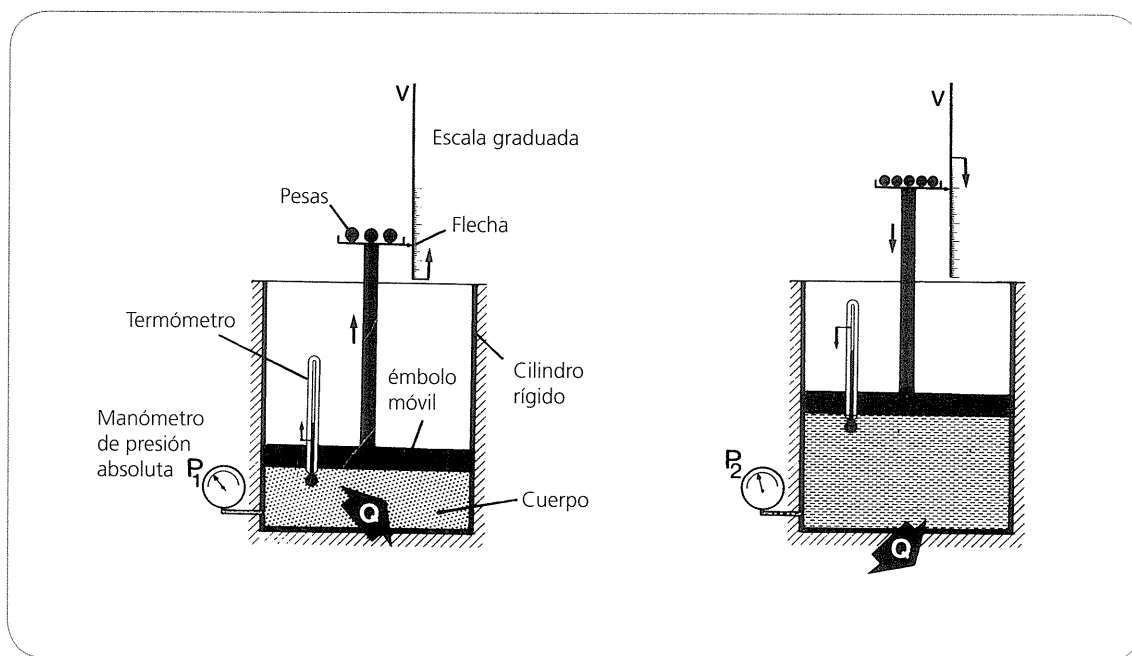
Y ahora vamos a calcular a cuántos grados centígrados equivalen a 288 K.

$$t = T - 273 = 288 - 273 = 15 \text{ °C}$$

## 2.10. EFECTO DEL CALOR

Al objeto de facilitar el estudio del resto de este Capítulo es conveniente realizar las siguientes aclaraciones.

- Los cuerpos objeto de este estudio están constituidos por sustancias puras (las mezclas y aleaciones tienen un comportamiento más complejo que depende en gran medida de las proporciones en que se encuentran los componentes).
- Las evoluciones que sufren los cuerpos afectan a la estructura interna de la sustancia.
- Mientras no se indique explícitamente lo contrario en el texto o las figuras los procesos que se describen a continuación se realizan a presión constante y tienen lugar en un recinto cerrado de volumen variable, tal como el formado por el cilindro rígido tapado por un émbolo al que se ajusta perfectamente, representado en las figuras.



El émbolo cuyo peso es despreciable se puede desplazar sin rozamiento arriba y abajo en el cilindro. En el interior del recinto, al que se le ha extraído todo el aire, se introduce una sustancia pura y se la somete a una cierta presión, por ejemplo poniendo un número determinado de pesas sobre el émbolo. Las variaciones de temperatura se miden en un termómetro, la presión se controla con un manómetro que mide presiones absolutas y las variaciones de volumen se indican sobre una escala graduada por una flecha instalada en el extremo superior del émbolo.

Las paredes del recinto no representan dificultad alguna al paso del calor.

- Cuando se dice que **un cuerpo absorbe calor** del ambiente que lo rodea (figura de la izquierda) nos estamos refiriendo a que la sustancia de la que está constituido el cuerpo **aumenta su energía**. Este aumento de energía puede producir **un incremento de la temperatura** del cuerpo, por lo cual se dice que el **cuerpo se calienta**, o bien **provoca un cambio de estado**. En los dos casos el cuerpo, por lo general, incrementa su volumen y el émbolo se desplaza hacia arriba (figura de la derecha).

Por el contrario cuando se dice que **el cuerpo cede calor** al ambiente que lo rodea (figura 2) nos estamos refiriendo a que el cuerpo **disminuye su energía**. Esta disminución de energía puede producir en el cuerpo un **descenso de su temperatura** por lo cual se dice que **se enfría**, o bien **provocar en él un cambio de estado**. En los dos casos, por lo general, se produce una **reducción de volumen** y el émbolo se desplaza hacia abajo.

Los efectos más importantes que el calor produce sobre la materia son:

- Modificar su volumen (dilatación, contracción).
- Variar su temperatura.
- Provocar su cambio de estado.

### 2.10.1. Dilatación

El aumento de volumen que experimenta un cuerpo cuando se calienta se llama **dilatación**.

El calor absorbido por el cuerpo incrementa la energía cinética de sus moléculas, es decir, su velocidad, y por consiguiente aumenta el número y la intensidad de los choques entre moléculas, lo que provoca que se separen unas de otras y en definitiva que aumenten las dimensiones del cuerpo.

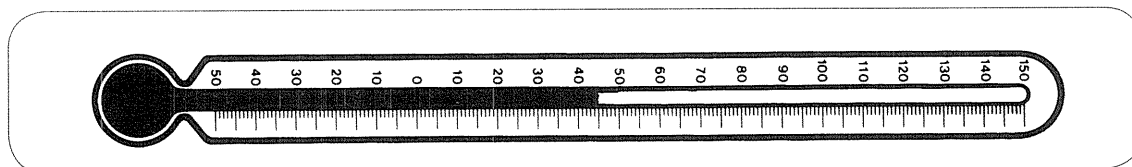
La reducción de tamaño que experimenta un cuerpo cuando se enfría se llama **contracción**. Ello se debe a que al descender la energía calorífica del cuerpo, la distancia entre sus moléculas disminuye.

Las variaciones de volumen debidas al calor se manifiestan en los cuerpos en estado sólido, líquido o gaseoso.

A presión constante las variaciones de temperatura provocan en los gases mayores variaciones de volumen que en los sólidos y líquidos.

Ejemplo:

El mercurio del termómetro por efecto del calor se dilata.

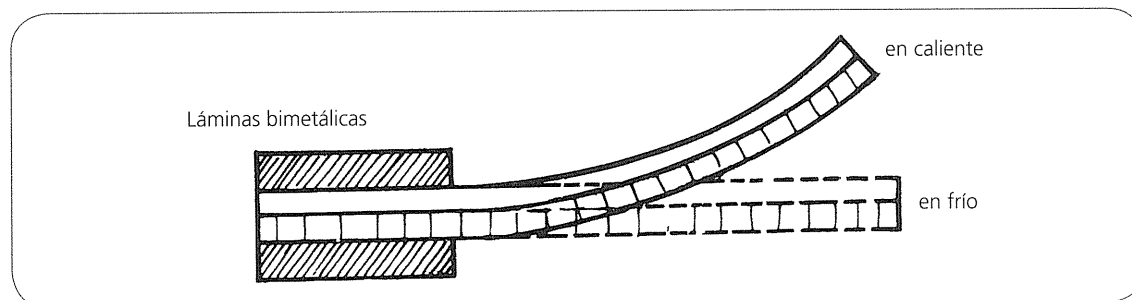


En este tipo de termómetros se emplea la dilatación de un líquido, mercurio, alcohol, etc. para medir la temperatura.

Con este ejemplo se demuestra como la dilatación o contracción están directamente relacionadas con las variaciones de su temperatura.

Ejemplo:

Los bimetales están formados por dos láminas metálicas con diferentes coeficientes de dilatación. Estas láminas metálicas están íntimamente unidas entre sí.



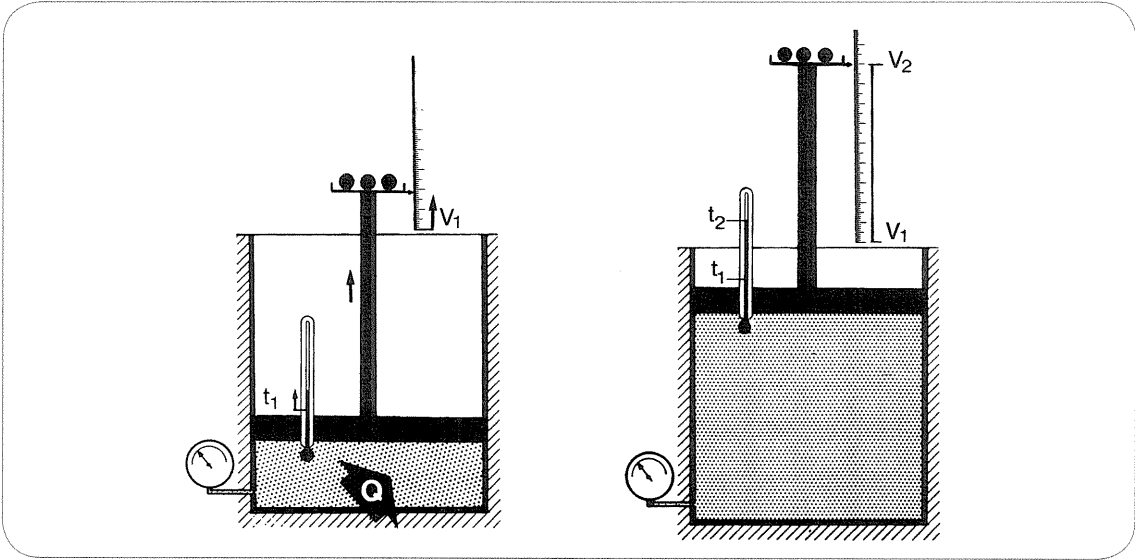
### Desplazamiento por dilatación de las láminas bimetálicas

Al calentar un bimetálico se deforma debido a que una lámina se dilata más que la otra. Por esta propiedad de deformarse los bimetálicos fueron utilizados en algunos dispositivos de seguridad de los aparatos a gas. Sin embargo hoy en día están en desuso aunque siguen siendo muy empleados en algunos aparatos eléctricos como planchas y estufas.

Casi todos los cuerpos cuando están calientes tienen menor masa volumétrica que cuando están fríos. Recuerda  $\rho = \frac{m}{v}$  La masa (m) es la misma cuando está fría que caliente, sin embargo el volumen aumenta o disminuye según el caso. El agua es una de las pocas excepciones. Al descender la temperatura de 4 °C a 0 °C aumenta de volumen. Por esta causa el hielo flota.

Cuando un cuerpo se dilata realiza un trabajo, para lo cual ha de consumir una cierta cantidad de energía que absorbe del ambiente que lo rodea.

Por el contrario cuando se contrae desprende la misma cantidad de energía que cede al ambiente que lo rodea.



Ejemplo:

Al calentar el gas desde la temperatura inicial  $t_1$  hasta la final  $t_2$  se expande (se dilata) desde el volumen  $V_1$  al  $V_2$  y realiza una cierta cantidad de trabajo contra el exterior, es decir, contra la presión atmosférica que actúa sobre el émbolo y desplazando las pesas hacia arriba.

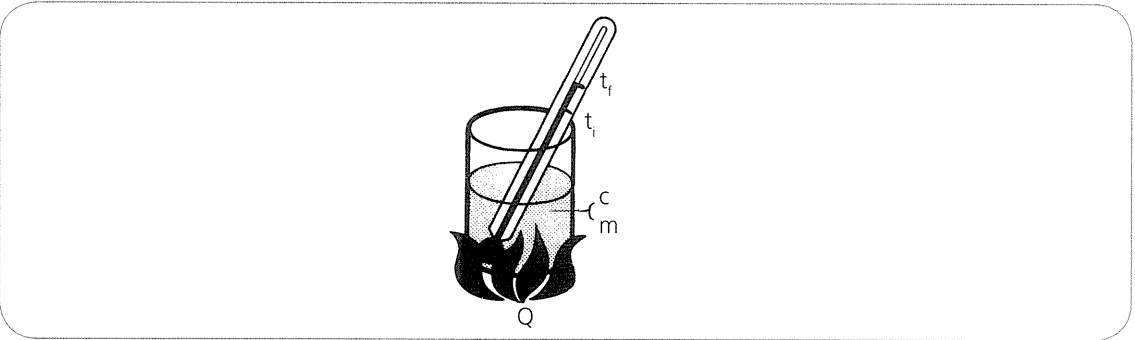
Si a continuación enfiamos el gas hasta la temperatura  $t_1$  inicial, se contraerá desde el volumen  $V_2$  hasta el  $V_1$  y recibirá del exterior la misma cantidad de trabajo.

2.10.2. Calor sensible

**Cuando un cuerpo absorbe calor sin cambiar de estado incrementa su temperatura y, tal como hemos visto, también su volumen.**

Estos incrementos de temperatura y volumen son las manifestaciones de lo que sucede en la estructura interna del cuerpo, a saber, el incremento de energía, es decir, el calor absorbido provoca un aumento de la velocidad de sus moléculas.

Por el contrario, cuando el cuerpo se enfría, es decir, cede calor al exterior sin cambiar de estado, reduce su energía y con ello la velocidad de sus moléculas, y por consiguiente su temperatura desciende a la vez que se reduce su volumen.



Al calor absorbido o cedido por un cuerpo que no produce un cambio de estado pero si una variación de su temperatura y volumen, se le denomina **calor sensible** y se rige por la fórmula:

$$Q = m \times c \times (t_f - t_i)$$

donde:

Q es el calor absorbido o cedido por el cuerpo (kJ)

m es la masa del cuerpo (kg)

c es el calor específico del cuerpo a presión constante en el estado en que se encuentre (kJ/kg °C)

$t_i$  es la temperatura inicial (°C)

$t_f$  es la temperatura final (°C)

La diferencia ( $t_f - t_i$ ) es el incremento de temperatura.

Si la temperatura final del cuerpo es mayor que su temperatura inicial, el **incremento de temperatura** es **positivo y el cuerpo absorbe calor del exterior**, es decir, el cuerpo **se calienta**. En caso contrario el **incremento de temperatura es negativo y el cuerpo cede calor al exterior enfriándose**.

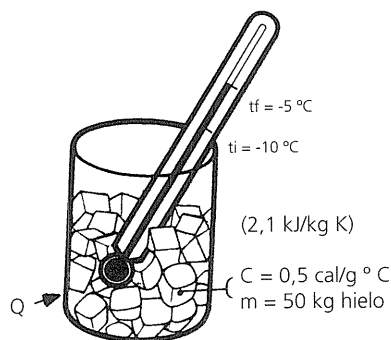
**La cantidad de calor que absorbe un cuerpo cuando pasa de una determinada temperatura a otra es igual a la que cede cuando pasa de esta última a la primera.**

El calor absorbido se considera positivo (+) y el cedido negativo (-).

**La fórmula del calor sensible**, al estar relacionada con la variación de temperatura que experimenta el cuerpo, **sólo se puede aplicar en los intervalos de temperatura correspondientes a cada estado concreto**: sólido, líquido o gaseoso, pero no cuando tiene lugar un cambio de estado.

Ejemplo:

Hallar la variación de calor sensible que experimentan 50 kg de hielo que pasan de -10 °C a -5 °C a la presión atmosférica normal.



El calor específico del hielo a la presión atmosférica normal es,  $c_s = 0,5 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$  (2,1 kJ/kg). La temperatura inicial del hielo es -10 °C y la final -5 °C y el incremento de temperatura es positivo, 5 °C.

$$Q = m \times c_s \times (t_f - t_i) = 50 \times 0,5 \times [-5 - (-10)] = 125 \text{ kcal (525 kJ)}$$

Respuesta:

Los 50 kg de hielo incrementan su temperatura en 5 °C, es decir se calientan, para lo cual precisan absorber 125 kcal (525 kJ).

Ejemplo:

Calcula la variación de calor sensible que experimentan 200 kg de agua cuando pasan de 15 °C a 65 °C a la presión atmosférica normal.

En estas condiciones el agua se encuentra en estado líquido y su calor específico es  $c_l = 1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$  (4,19 kJ/kg °C).

La temperatura inicial es de 15 °C y la final 65 °C.

Aplicando la fórmula del calor sensible:

$$Q = m \times c_l \times (t_f - t_i) = 200 \times 1 \times (65 - 15) = 10.000 \text{ kcal (41.900 kJ)}$$

Respuesta:

Los 200 kg de agua incrementan su temperatura en 50 °C, es decir, se calientan, para lo cual precisan absorber 10.000 kcal (41900 kJ).

Ejemplo:

Si los 200 kg de agua del ejemplo anterior pasan de 65 °C a 15 °C, el incremento de temperatura es negativo, -50 °C, por lo que se enfrían y ceden 10 000 kcal (41 900 kJ), es decir, el incremento de calor es -10 000 kcal (-41 900 kJ).

Ejemplo:

Calcular la variación de calor sensible de 100 kg de vapor de agua que pasan de 175 °C a 100 °C a la presión atmosférica normal.

El calor específico del vapor de agua a la presión atmosférica normal es 0,45 kcal/kg °C (1,88 kJ/kg °C). La temperatura inicial del vapor es 175 °C y la final 100 °C. El incremento de temperatura es negativo (-75 °C).

Aplicando la fórmula del calor sensible:

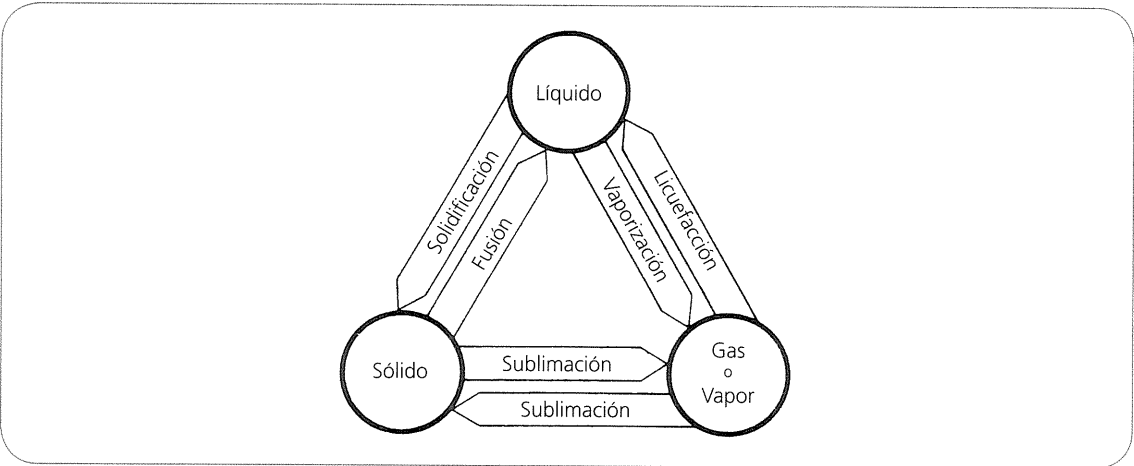
$$Q = m \times c_v \times (t_f - t_i) = 100 \times 0,45 \times (100 - 176) = -3.375 \text{ kcal (-14.100 kJ)}$$

Respuesta:

Los 100 kg de vapor de agua reducen su temperatura en 75 °C. es decir, se enfrían, por lo cual, ceden 3375 kcal (14 100 kJ).

### 2.10.3. Cambio de estado

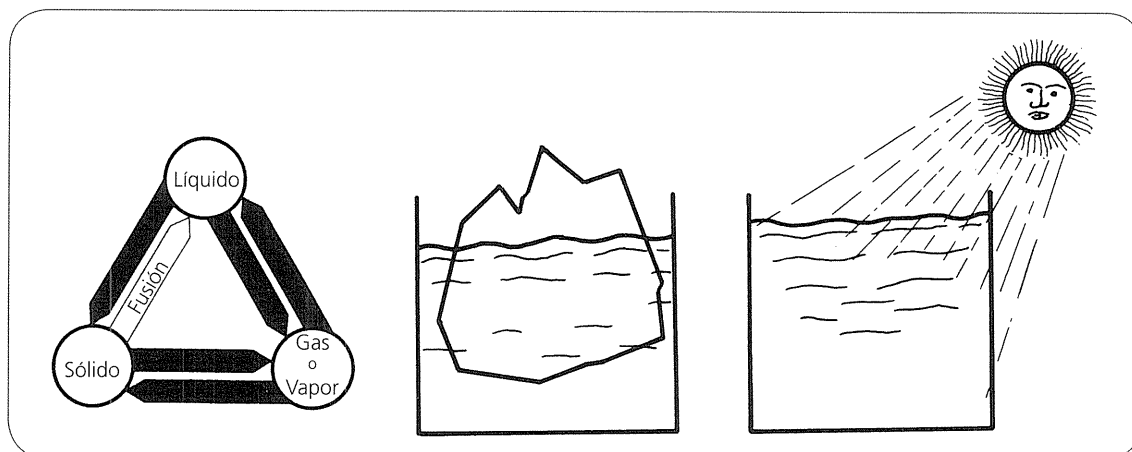
Ya hemos visto que la materia se presenta en la naturaleza en uno de los siguientes estados o fases: sólido, líquido o gaseoso. El estado o fase en que se muestra en un momento determinado depende de las condiciones a las que está sometida (presión, temperatura, etc). Cuando estas condiciones varían se producen modificaciones en la estructura interna de la materia que pueden provocar en ella un cambio de estado.





### 2.10.4. Fusión

La fusión es el paso de sólido a líquido.



La fusión es un cambio de estado que tiene lugar con **absorción de calor**.

El calor absorbido durante la fusión provoca la rotura de los enlaces entre moléculas correspondientes al estado sólido que pasan al estado líquido.

Por lo general, durante la fusión se produce un pequeño aumento de volumen. Muy pocas sustancias, entre ellas el agua, durante la fusión reducen su volumen.

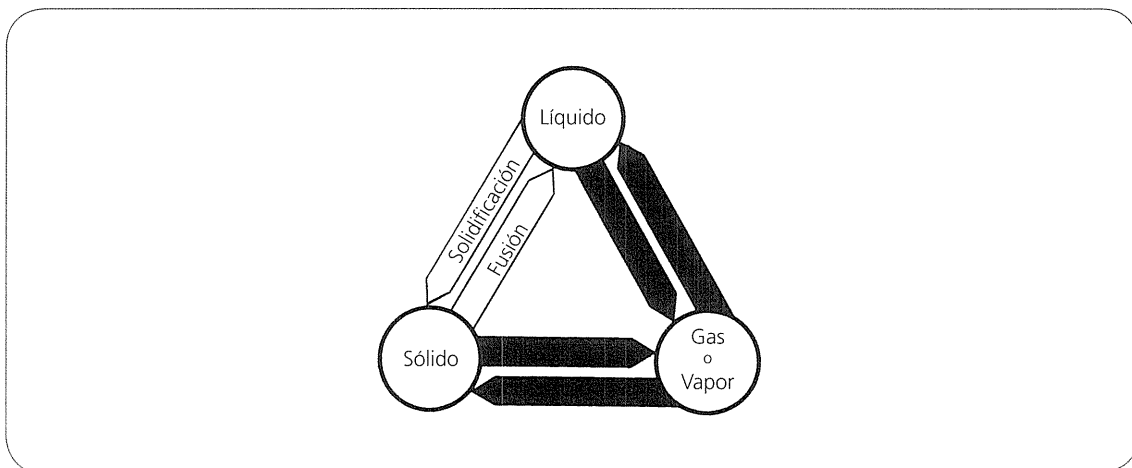
Cuando un cuerpo se encuentra en fusión se dice que se está **fundiendo o derritiendo**.

### 2.10.5. Solidificación

La **solidificación es el paso del estado líquido al sólido**. Este cambio de estado tiene lugar con cesión de calor. El calor cedido durante la solidificación procede de la formación de los enlaces entre moléculas correspondientes al estado sólido.

Por lo general, durante la solidificación se produce una pequeña reducción de volumen. El agua es una excepción ya que aumenta de volumen al solidificarse.

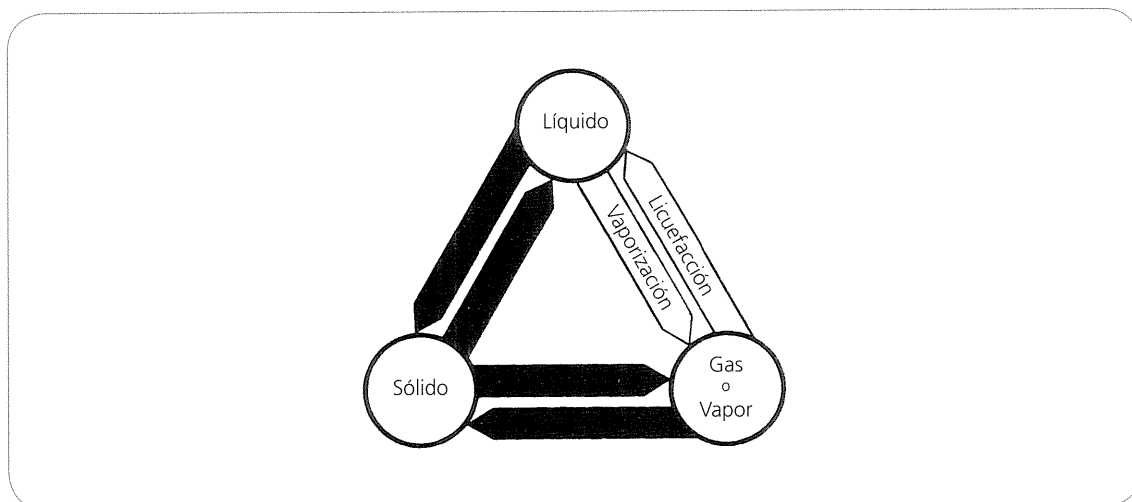
En lenguaje corriente cuando la temperatura de solidificación es baja, se dice que el cuerpo se congela.



La fusión y la solidificación son cambios de estado inversos.

### 2.10.6. Vaporización

La vaporización es el paso del estado líquido al gaseosos, dándose el nombre de vapores a los fluidos resultantes de este cambio de estado.



Cuando los vapores se forman lentamente, tan sólo en la superficie libre del líquido, el fenómeno se designa con el nombre de **evaporación, llamándose ebullición a la formación rápida de vapores en el seno del líquido y a temperatura constante.**

La evaporación se produce a cualquier temperatura, no así la ebullición que tiene lugar a una temperatura determinada para cada presión.

Los líquidos son volátiles o fijos según que su evaporación se verifique fácilmente o no. El alcohol y el éter son volátiles y el aceite de oliva no.

La evaporación se produce porque algunas de las moléculas del líquido que se encuentran en su superficie libre tienen la suficiente velocidad (energía cinética) y se mueven en la dirección adecuada para escapar del líquido. Por ello la evaporación se facilita aumentando la superficie libre del líquido y renovando el ambiente que lo rodea.

Por el contrario en la ebullición se ve implicada toda la masa del líquido produciéndose el vapor en forma de burbujas desde su interior.

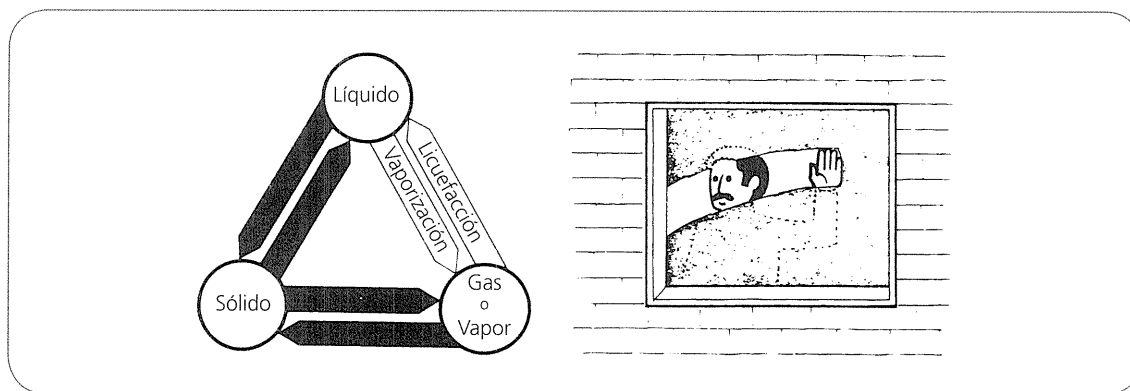
La vaporización tiene lugar con absorción de calor. El calor absorbido provoca la rotura de los enlaces entre moléculas correspondientes al estado líquido por lo que pasan al estado gaseoso (vapor). Por lo general durante la vaporización se produce un aumento espectacular de volumen.

### 2.10.7. Condensación

**La licuefacción o condensación es el paso del estado gaseoso o vapor a líquido, respectivamente.**

En la licuefacción o condensación se cede calor. El calor cedido se produce en la formación de los enlaces correspondientes al estado líquido y en la reducción de volumen que por lo general tiene lugar en este cambio de estado.

La licuefacción o condensación tiene lugar cuando un vapor reduce su volumen, o enfría o ambos a la vez.



Ejemplo:

El vapor de agua que se encuentra en el aire de la habitación al ponerse en contacto con el cristal frío se condensa y se convierte en líquido.

**La vaporización y la licuación o condensación son cambios de estado inversos.**

## 2.11. TRANSMISIÓN DEL CALOR

El calor es una energía que está continuamente en tránsito, es decir, que no puede almacenarse por largos períodos de tiempo, siempre se transmite de los cuerpos más calientes a los más fríos. La mejor forma de almacenar la energía es no transformarla en energía calorífica. La energía que tiene el gas se conserva indefinidamente mientras no se transforma en calor ya que en forma de calor se transmite a los cuerpos próximos.

La transmisión de calor puede realizarse de tres formas:

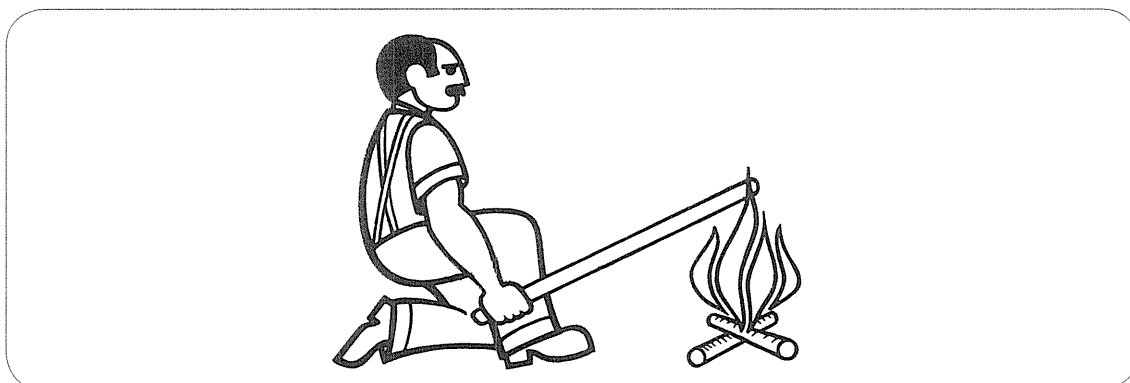
- por conducción
- por convección
- por radiación

### 2.11.1. Por conducción. Materiales conductores, aislantes y refractarios

Cuando distintas partes de un cuerpo se encuentran a diferente temperatura, las moléculas de las zonas más calientes tienen más energía que las de las zonas frías por lo que chocan con más velocidad y frecuencia entre ellas y con sus vecinas. Es en estos **choques** que se produce el intercambio de energía. A esta forma de transmitirse el calor se la denomina **transmisión de calor por conducción**.

**La transmisión de calor por conducción tiene lugar principalmente en los cuerpos en estado sólido**, si bien en cierto grado también se produce en los líquidos y gases.

Ejemplo:



Las diversas partes de un cuerpo están a distinta temperatura. La figura muestra una barra de hierro en contacto con una llama.

A través de la barra se transmite el calor de la llama hasta la mano.

La transmisión no fue instantánea, ya que la mano tardó en notar el calor, y más en hacerse insoportable el contacto. El calor se ha ido transmitiendo por conducción entre las moléculas de la barra. **Para la transmisión del calor por conducción se precisa la presencia de materia.**

#### 2.11.1.1. Materiales conductores

Entre los sólidos hay materiales que son muy buenos conductores del calor. Los metales destacan por encima de los demás. Los mejores metales desde el punto de vista de la conducción de calor son el oro, la plata, el cobre y el aluminio.

Los no metales son, en general, malos conductores del calor.

No todos los sólidos son efectivos como transmisores de calor por conducción: materiales como el vidrio, la madera, la paja y el corcho son malos conductores.

#### 2.11.1.2. Materiales aislantes y refractarios

**Los cuerpos que transmiten mal el calor se llaman aislantes.**

Muchos materiales que son buenos aislantes no soportan bien el impacto directo de las llamas de alta temperatura, por lo que se les ha de proteger.

Los **refractarios** son materiales que conducen mal el calor y pueden soportar altas temperaturas sin destruirse o deformarse.

En los recintos en los que se producen altas temperaturas (hogares, hornos, etc.) se interpone una capa de material refractario entre la llama y el aislamiento con el fin de protegerlo.

#### 2.11.2. Por convección

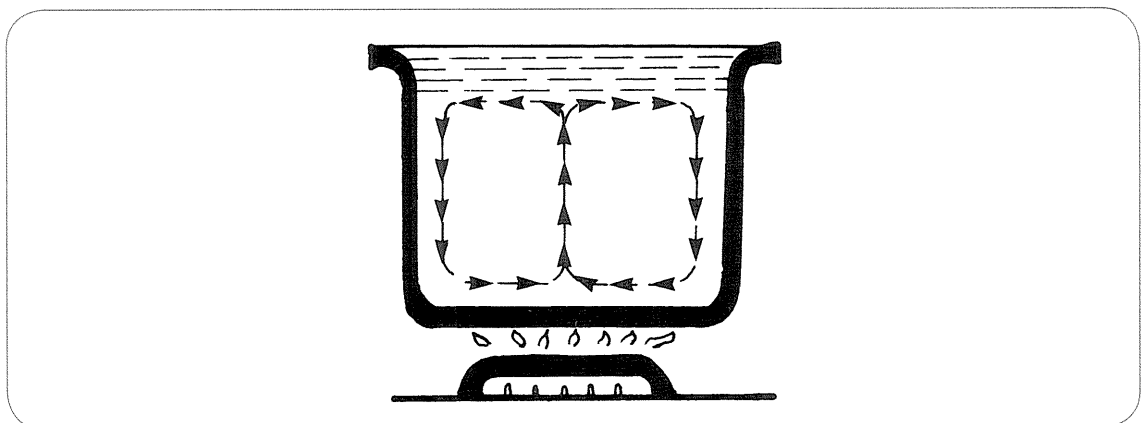
Ya hemos visto que los cuerpos cuando están calientes tienen menor densidad que cuando están fríos.

Esta menor densidad hace que las partes de un fluido, líquido o gas, que están calientes floten, es decir, se desplacen hacia arriba respecto a las partes frías del fluido, a la vez que éstas, por su mayor densidad, descienden.

En estos desplazamientos de materia se transmite el calor desde la parte baja de un recipiente a la superior. A esta forma de propagarse el calor se la denomina **transmisión del calor por convección.**

**En los fluidos el calor se transmite principalmente por convección.**

**Este tipo de transmisión del calor tiene lugar siempre con transporte y movimiento de materia.**



En la figura tenemos un ejemplo de convección. El agua al calentarse por contacto con la superficie inferior de la vasija asciende, debido a su menor densidad, y su puesto viene a ocuparlo el agua más fría que tiene una mayor densidad, formándose las **corrientes de convección**.

La convección que hemos descrito se llama **convección natural**. Cuando el movimiento del fluido viene provocado por un agente externo, por ejemplo una bomba aceleradora o un ventilador, la **convección se llama forzada**.

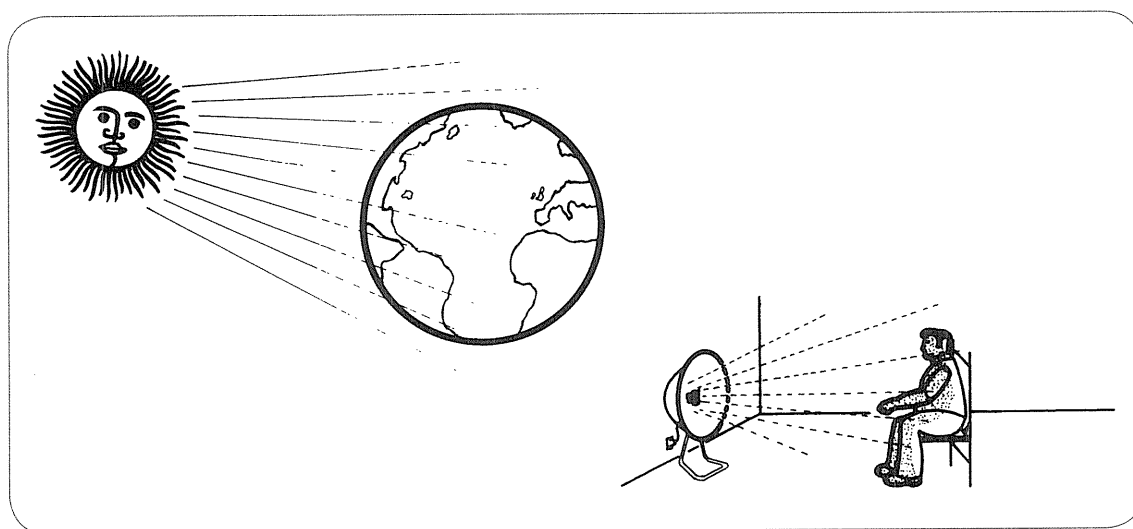
### 2.11.3. Por radiación. Radiaciones infrarrojas, visibles y ultravioletas

Los cuerpos cuando están calientes emiten energía en forma de radiaciones térmicas. Estas radiaciones cuando son absorbidas por un cuerpo se transforman en calor. A esta forma de transmitirse la energía se la denomina **transmisión de calor por radiación**.

Las radiaciones térmicas no precisan de un medio material para propagarse. Por el contrario, la presencia de materia puede ser un impedimento para ello. En todas las aplicaciones en que se utiliza la transmisión de calor por radiación se procura evitar que entre el foco emisor (cuerpo caliente) y el receptor (cuerpo frío) se interpongan objetos, partículas o vapores que puedan absorber las radiaciones térmicas.

Las radiaciones se transmiten en línea recta, por lo que sólo son captadas por la superficie de los objetos que están directamente expuestos a ellas. El resto del cuerpo está a la "sombra". Esta energía, ya en forma de calor, se transmite al interior del cuerpo por conducción y/o convección.

Ejemplo:



La energía generada en el Sol llega a la Tierra por radiación de igual manera que el calor generado por una estufa de infrarrojos.

La presencia de nubes dificulta el paso de una parte de la energía emitida por el Sol.

El ojo humano es sensible solo a una parte de las radiaciones térmicas, **las visibles**, las cuales al iluminar los objetos nos permiten percibir su presencia. Sin embargo los cuerpos calientes también emiten parte de su energía en forma de radiaciones a las que el ojo humano no es sensible, llamadas **radiaciones infrarrojas y ultravioletas** y que producen distintos efectos sobre nuestra piel.

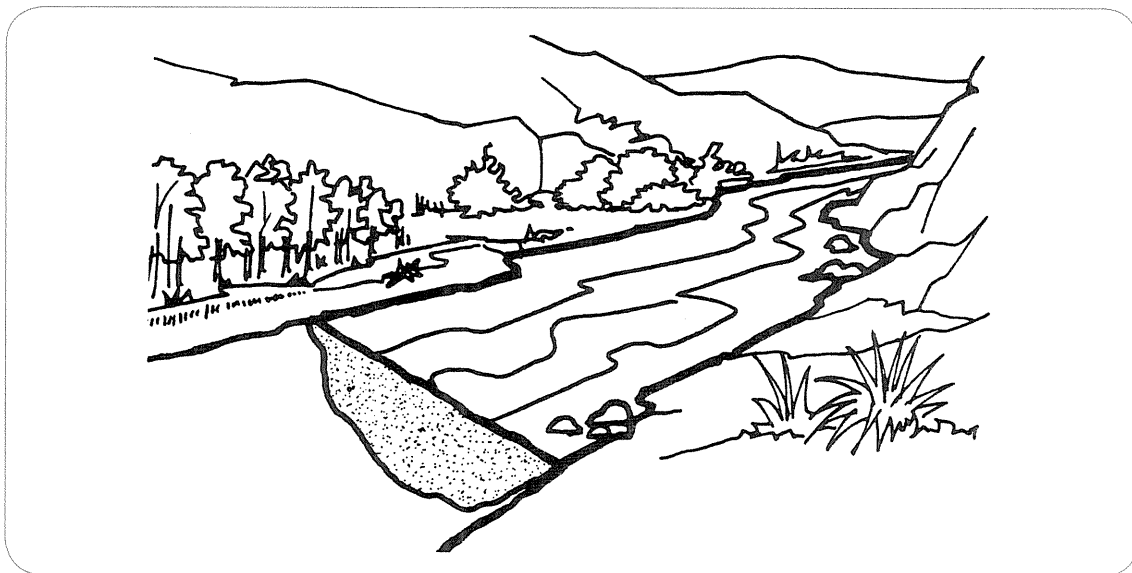
La transmisión de calor por radiación tiene gran importancia en muchos procesos industriales y domésticos.

## 2.12. CAUDAL

El caudal es la cantidad de fluido (líquido o gas) que pasa a través de una superficie dada en la unidad de tiempo.

### 2.12.1. Caudal volumétrico

El **caudal volumétrico** nos indica el volumen de un gas o de un líquido que circula por una sección en la unidad de tiempo.



Hemos oído la expresión “el caudal volumétrico de un río es de 2.000 metros cúbicos por segundo”, lo cual nos indica que si una superficie imaginaria cruzase el río de orilla a orilla, cada segundo lo atravesarían 2.000 metros cúbicos de agua.

El caudal volumétrico nos viene dado por

$$C = \frac{V}{t}$$

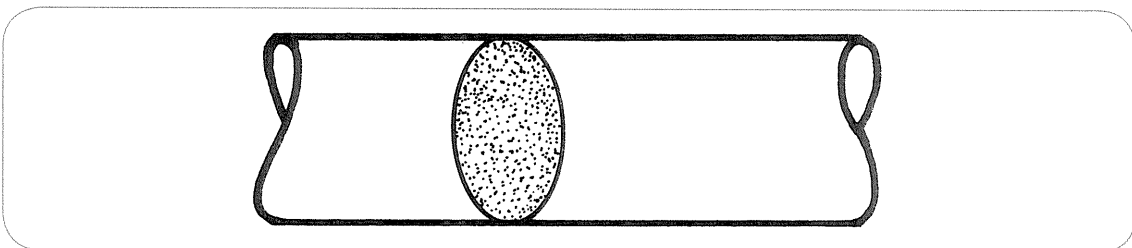
donde:

$C$  = caudal volumétrico ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$V$  = volumen ( $\text{m}^3$ )

$t$  = tiempo (s)

El mismo concepto se aplica para el gas. Por ello cuando nos dicen que el caudal que pasa por una tubería es de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  se están refiriendo a que una sección cualquiera perpendicular a la tubería, en una hora pasan  $30 \text{ m}^3$  de gas.



En el Sistema Internacional la unidad de volumen es el metro cúbico ( $\text{m}^3$ ) y la del tiempo el segundo (s), por tanto **la unidad de caudal volumétrico es el metro cúbico por segundo**

(m³/s). En el caso de los gases se han de especificar las condiciones de referencia (temperatura y presión).

En algunos casos es más adecuado utilizar otras unidades para el caudal volumétrico, la siguiente tabla nos las muestra y nos da sus equivalencias.

m³/s	m³/h	l/h (dm³/h)
1	3600	3 600 000
0,000 277 8	1	1000
0,000 000 277 8	0,001	1

Es preciso aclarar que un cambio de unidades no presupone un cambio de condiciones de referencia, es decir, si no se especifica lo contrario el gas antes y después del cambio de unidades se encuentra a la misma presión y temperatura. Así, si nos dicen que pasemos un cierto caudal de gas, que está a 25 °C y 1,065 bar dado en m³/s a m³/h se entiende que el caudal de gas, expresado en las nuevas unidades se encuentra a la misma temperatura y presión, es decir, a 25 °C y 1,065 bar.

2.12.2. Caudal másico

El caudal másico nos indica la **masa** de gas o de líquido que atraviesa una sección perpendicular a la tubería en la **unidad de tiempo**. Entonces el caudal másico se expresa por:

$$C = \frac{m}{t}$$

donde:

C = caudal másico (kg/s)

m = masa (kg)

t = tiempo (s)

Unidades

Como en el SI la unidad de masa es el kilogramo (kg) y la del tiempo es el segundo (s), **la unidad de caudal másico es el kilogramo por segundo (kg/s)**. Al no verse afectada la masa por la presión ni la temperatura no es necesario indicar las condiciones de referencia.

El caudal másico se emplea normalmente en el cálculo de instalaciones de GLP y la unidad práctica utilizada es el kilogramo/hora (kg/h).

En la siguiente tabla se relacionan entre sí distintas unidades de caudal másico.

kg/s	g/s	kg/h	g/h
1	1000	3600	3 600 000
0,001	1	3,6	3600
0,000 277 8	0,277 78	1	1000
0,000 000 28	0,000 277 8	0,001	1

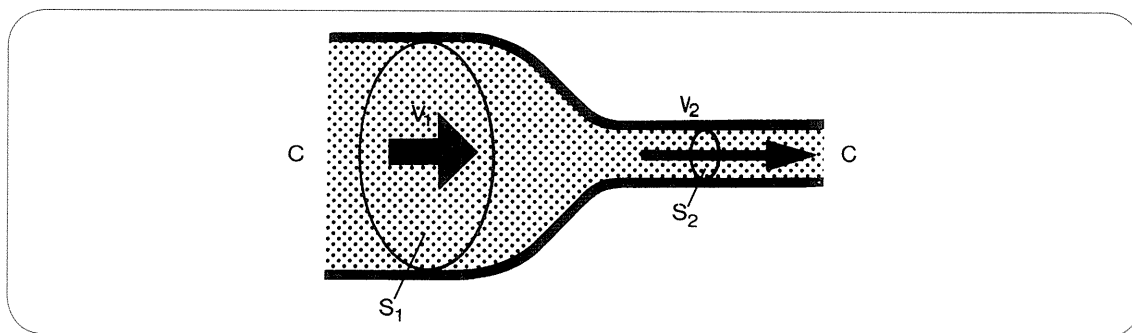
### 2.13. EFECTO VENTURI (sólo categorías B y A)

En una conducción por la que circula un fluido incompresible a régimen constante, se cumple que el caudal, en cualquier sección transversal de la conducción, es constante.

- Si la conducción es horizontal y de sección uniforme, la velocidad del fluido es constante.

$$V = \frac{C}{S}$$

- Si en la conducción horizontal existen variaciones de sección, como el caudal se ha de mantener constante en toda la conducción, debe cumplirse:



$$C = S_1 \times V_1 = S_2 \times V_2$$

donde:

C = caudal

$S_1$  = secciones en 1

$V_1$  = velocidad en 1

$S_2$  = sección en 2

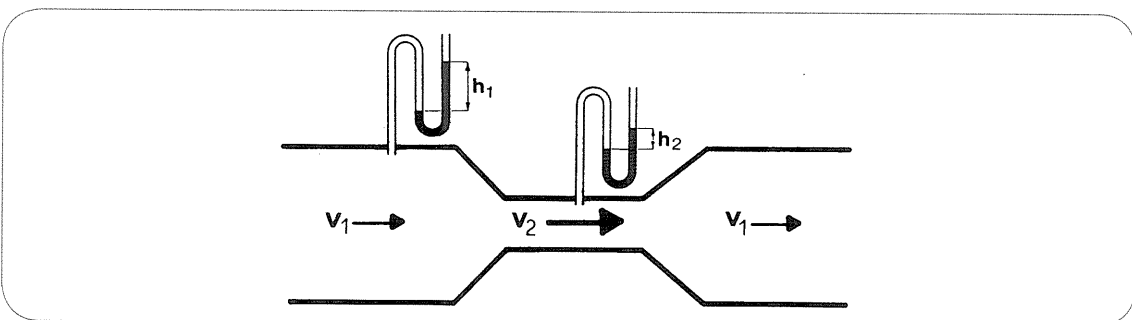
$V_2$  = velocidad en 2

Si la sección es menor en un punto determinado de la conducción, la velocidad aumenta en este punto en la misma proporción, debido a que el caudal ha de mantenerse constante.

En este caso se produce un efecto muy curioso, contrario a lo que pudiera esperarse por intuición. La presión que el líquido ejerce sobre las paredes del tubo en su parte angosta es inferior a la presión que ejerce el mismo líquido en la parte ancha del tubo.

Es decir, **la presión disminuye allí donde la velocidad aumenta**. Este fenómeno se llamó "efecto Venturi" por ser este físico su descubridor.

Este efecto puede comprobarse mediante la construcción que se representa en la figura:



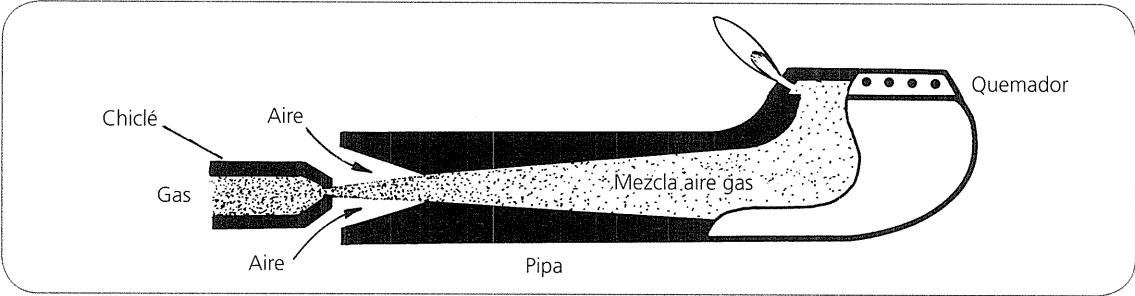
En esta figura se observa que el manómetro que mide la presión de la parte estrecha indica menor presión que el manómetro instalado en la parte ancha y se dice que en la zona de paso estrecho está en **depresión** respecto de la ancha.



2.13.1. Aplicaciones del efecto Venturi

El efecto Venturi tiene muchas aplicaciones de las que vamos a ver algunas:

Quemadores atmosféricos de gas

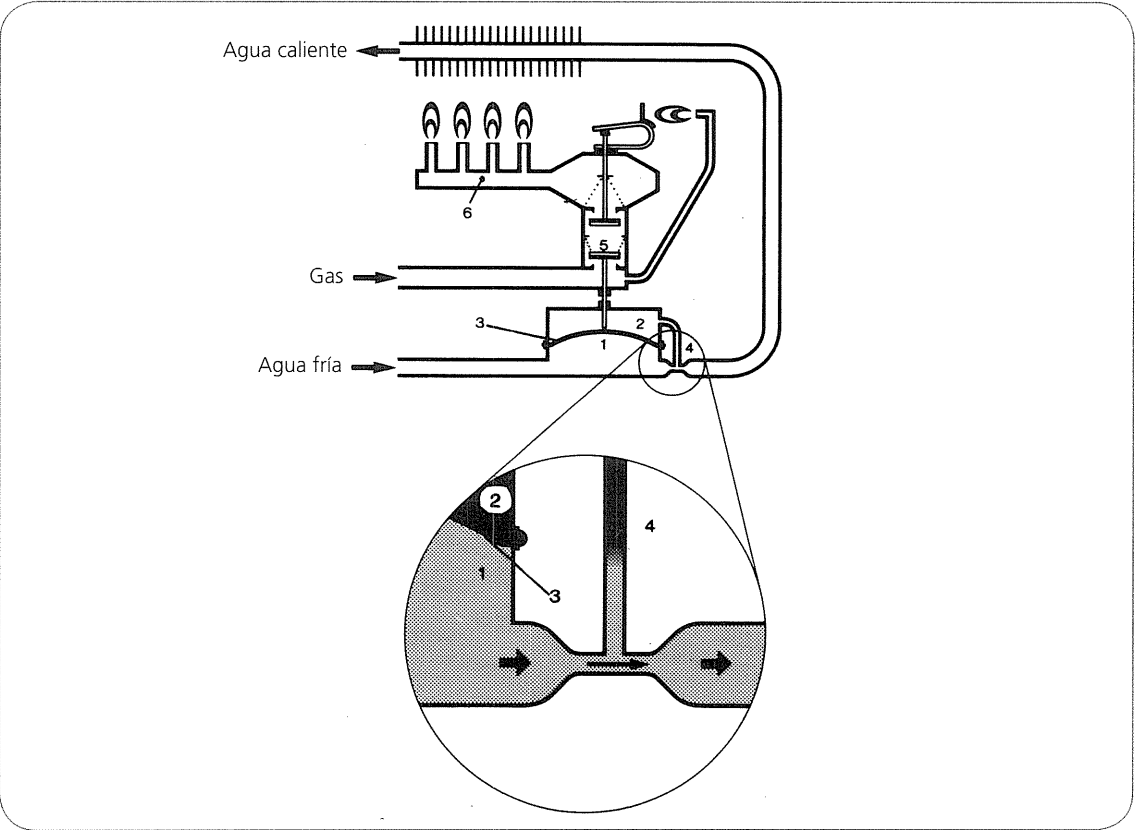


El tubo que conduce el gas se estrecha en el inyector obligando al gas a salir por un orificio muy pequeño justo frente a la entrada de la pipa del quemador. El gas, al entrar en el estrechamiento a una velocidad elevada produce una depresión que succiona el aire mezclándolo con el gas dentro de la pipa. En los quemadores atmosféricos de gas se emplea el efecto Venturi para aspirar el aire primario y conseguir una mezcla aire-gas.

Calentador instantáneo de agua

En un calentador instantáneo, mientras no se demanda agua caliente, el agua fría no circula. Por ello, la presión del agua en la cara inferior (1) y superior (2) de la membrana (3) son iguales y esta no se deforma.

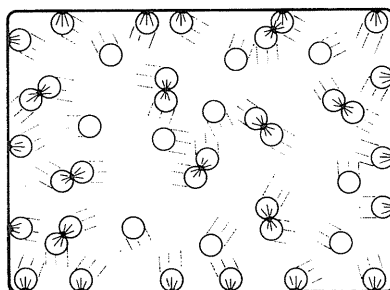
Al demandar agua caliente, el agua fría se pone en circulación provocando a su paso por el venturi una depresión, que se transmite por el tubo (4) a la cara superior de la membrana por lo que esta se deforma abombándose hacia arriba y desplazando la válvula (5) que deja paso al gas hacia el quemador principal (6).



## 2.14. RELACIONES PVT EN LOS GASES: ECUACIÓN DE LOS GASES PERFECTOS. TRANSFORMACIÓN A TEMPERATURA CONSTANTE. TRANSFORMACIONES A VOLUMEN CONSTANTE. TRANSFORMACIONES A PRESIÓN CONSTANTE (sólo categorías B y A)

### 2.14.1. Los gases reales

Los gases están constituidos por un gran número de moléculas que se mueven continuamente en todas las direcciones y con todas las velocidades posibles y **entre ellas se ejercen fuerzas de atracción y de repulsión, en general con predominio de estas últimas**, las cuales provocan que se alejen unas de otras. Por estas causas los gases siempre ocupan el máximo volumen posible.



De lo anterior es fácil deducir que el movimiento de las moléculas de los gases es totalmente desordenado y caótico en el cual las moléculas chocan entre sí y con las paredes del recipiente que las contiene. En estos choques, que son elásticos, las moléculas intercambian energía.

### 2.14.2. Los gases perfectos

Al objeto de explicar el comportamiento de todos los gases se desarrolló un modelo simplificado de gas que dio origen a la **teoría de los gases perfectos**, la cual, dentro de ciertos límites de presión y temperatura, explica satisfactoriamente el comportamiento de los gases reales.

La teoría de los gases perfectos también presupone el movimiento caótico y desordenado de las moléculas salvo que entre ellas no se produce ningún tipo de interacción, es decir, entre las moléculas de los gases perfectos no se ejercen fuerzas de atracción ni de repulsión y sus choques son puntuales y perfectamente elásticos.

### La presión absoluta y la temperatura absoluta en los gases

Cada choque de una molécula contra la pared del recipiente da lugar a que ésta reaccione con una fuerza igual y en sentido contrario, o lo que es lo mismo, cada unidad de superficie del recipiente ha de resistir la fuerza debida a la suma de todos los choques de las moléculas que impactan sobre ella en la unidad de tiempo.

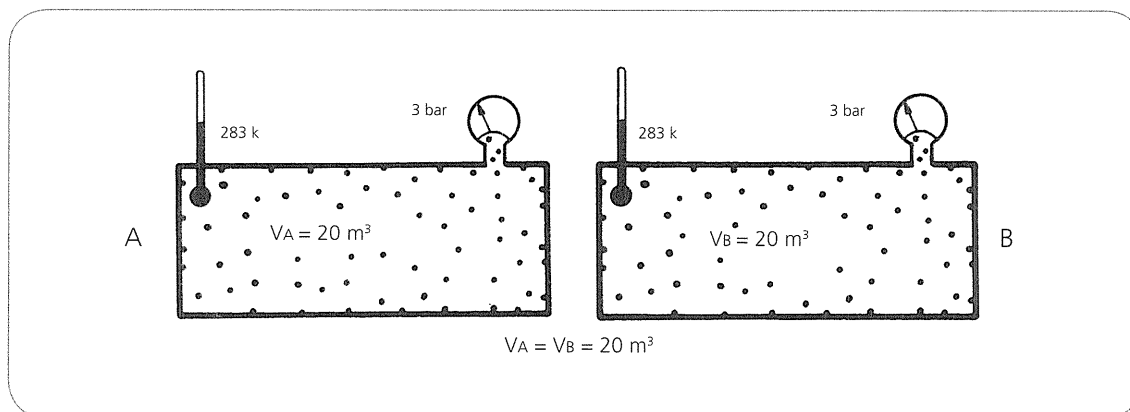
La presión absoluta de un gas contenido en un recipiente es la fuerza por unidad de superficie que las moléculas del gas ejercen sobre las paredes del recipiente y recíprocamente, toda la masa del gas se encuentra sometida a la misma presión absoluta.

En su momento se relacionó el movimiento de las moléculas de un cuerpo con su temperatura llegándose a la conclusión de que la temperatura absoluta mide el grado de agitación de las moléculas, es decir, si las moléculas de un cuerpo no se mueven, tampoco chocan, por lo cual no ejercen presión y su temperatura absoluta es cero grados.

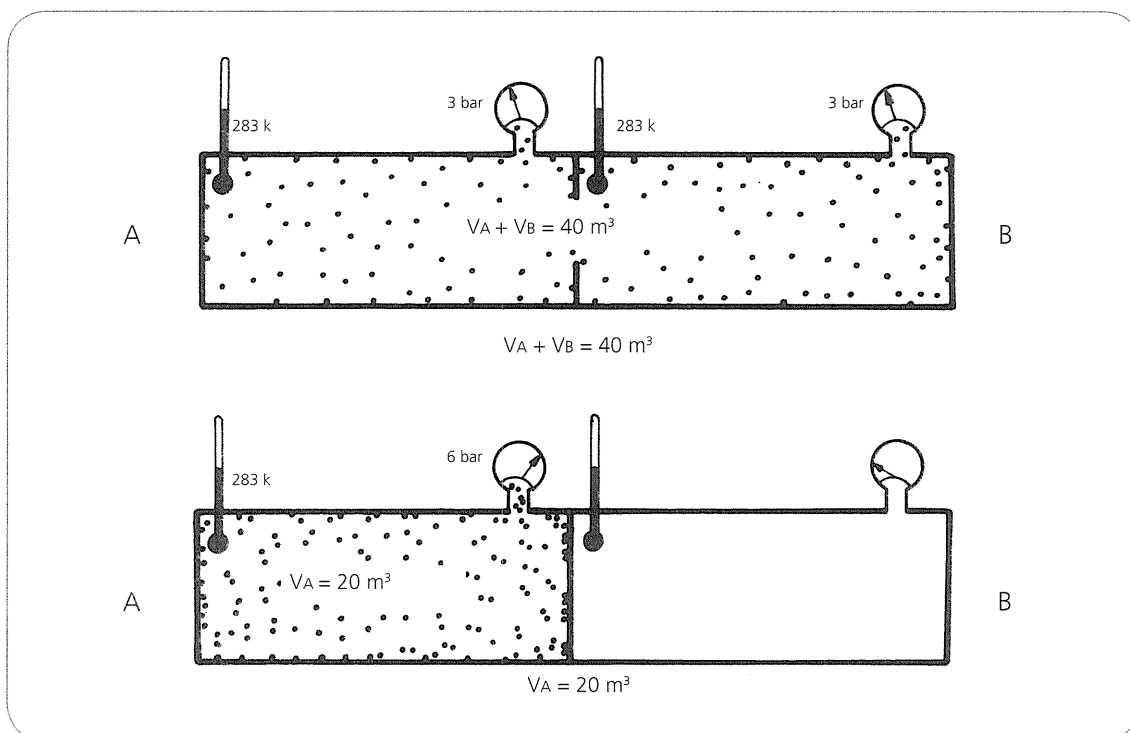
En general, y en concreto en el caso de los gases perfectos, cuando se hace referencia a la presión y a la temperatura se deben considerar presiones absolutas y temperaturas absolutas lo que se ha de tener en cuenta al aplicar las fórmulas.

### 2.14.3. Transformación a temperatura constante

Supongamos que se disponen de dos recipientes cerrados A y B exactamente iguales e independientes y que cada uno contiene el mismo número de moléculas de un gas perfecto. Los dos recipientes se encuentran a la misma presión absoluta, por ejemplo, a 3 bar, y a la misma temperatura absoluta, 283 K (10 °C). El volumen de cada recipiente es 20 m³.



Si comunicamos entre sí los dos recipientes, tal como se indica en la figura siguiente, tendremos un único recipiente con el doble de volumen ( $V_A + V_B = 40 \text{ m}^3$ ) que contiene el doble de moléculas. La presión absoluta no habrá variado ya que el número de choques que se produce por unidad de superficie es el mismo que el que tenía lugar en cada uno de los recipientes cuando estaban separados.



Si manteniendo la misma temperatura, 283 K (10 °C), se pasa todo el gas al recipiente A, como muestra la figura superior, **tendremos en la mitad de volumen** ( $V_A = 20 \text{ m}^3$ ) el doble de moléculas y como consecuencia de ello se producirán el doble de choques por unidad de superficie, es decir, **la presión absoluta será el doble, 6 bar**.

En el S. XVII el irlandés Boyle y el francés Mariotte realizaron por separado gran cantidad de experimentos con gases a los que hicieron evolucionar a temperatura constante. Como conclusión de sus estudios enunciaron la ley que lleva sus nombres: Ley de Boyle y de Mariotte o de las transformaciones isotérmicas que dice: **si mantenemos constante la temperatura de una determinada masa de gas, cuando aumenta la presión se reduce el volumen, y por el contrario, cuando se disminuye la presión aumenta el volumen. Es decir, a temperatura constante el volumen varía en razón inversa a la presión absoluta.**

$$\frac{P_i}{P_f} = \frac{V_f}{V_i}$$

Es decir

O lo que es lo mismo  $P_i \times V_i = P_f \times V_f$

donde:

$P_i$  es la presión absoluta inicial

$V_i$  es el volumen inicial

$P_f$  es la presión absoluta final

$V_f$  es el volumen final.

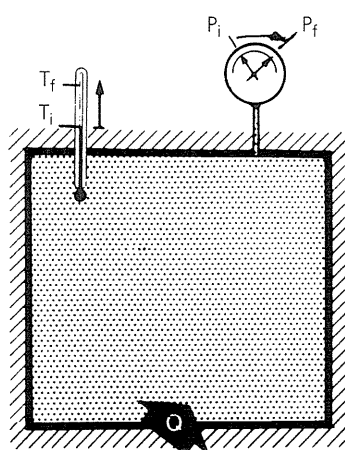
De la última fórmula se deduce que en cualquier instante de una transformación isotérmica se cumple que el producto de la presión absoluta del gas por el volumen que ocupa en dicho instante es constante.

$P_i \times V_i = \text{constante} = C$

$P_f \times V_f = \text{constante} = C$

#### 2.14.4. Transformaciones a volumen constante

Al calentar una cierta masa de gas perfecto contenida en un recinto herméticamente cerrado e indeformable se comprueba que aumenta su temperatura, es decir, aumenta la velocidad de sus moléculas y por consiguiente el número e intensidad de choques entre ellas y con las paredes del recipiente, como consecuencia de todo ello aumenta la presión absoluta del gas. Al realizarse la transformación en un recinto herméticamente cerrado el gas no puede entrar ni salir de su interior y por ser indeformable su volumen se mantiene constante. Cumpliéndose la siguiente ley: **manteniendo el volumen constante la presión absoluta de una determinada masa de gas varía en razón directa con la temperatura absoluta, es decir, si el gas aumenta su temperatura también aumenta la presión y por el contrario cuando se enfría su presión disminuye.**



A este tipo de transformaciones a volumen constante se denominan **transformaciones isócoras** y se rigen por la ecuación:

$$\frac{P_i}{P_f} = \frac{T_i}{T_f}$$

donde:

$P_i$  es la presión absoluta inicial del gas

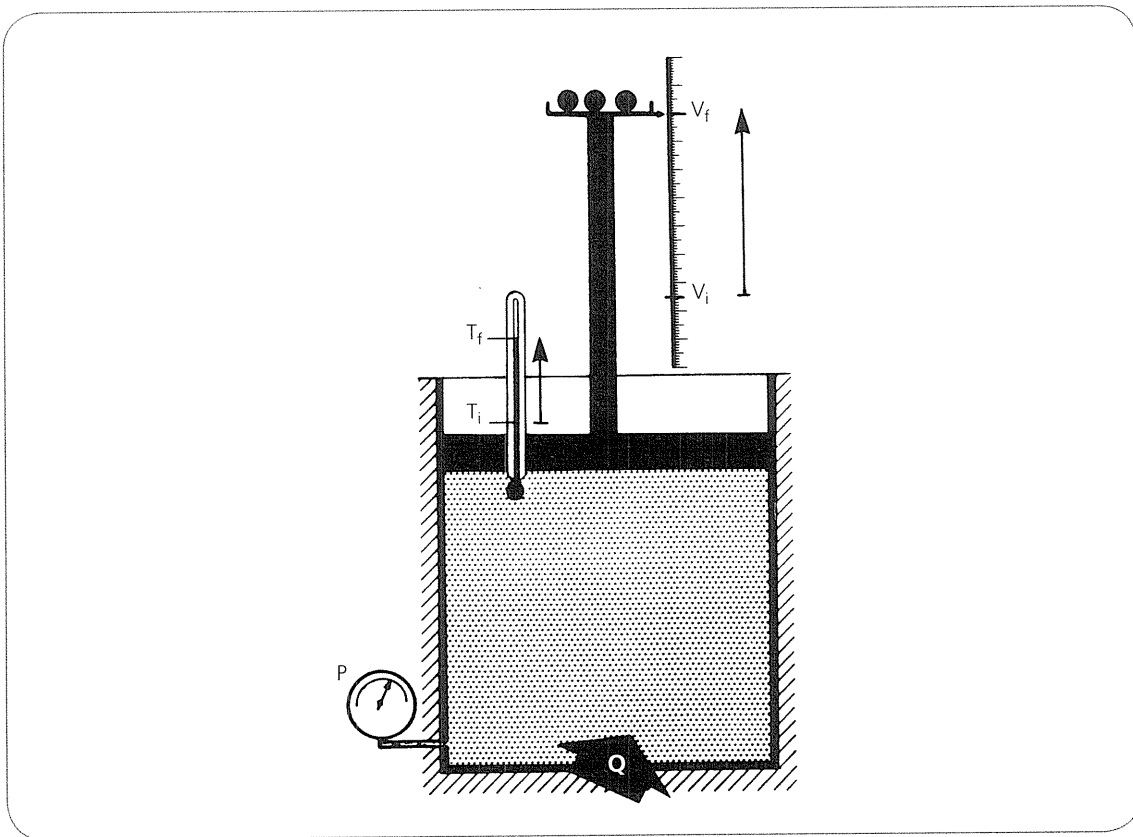
$T_i$  es su temperatura absoluta inicial

$P_f$  es su presión absoluta final

$T_f$  es su temperatura absoluta final

### 2.14.5. Transformaciones a presión constante

Se introduce una determinada masa de un gas perfecto en un recipiente de volumen variable, tal como el representado en la figura, que consiste en un cilindro de paredes y un émbolo que cierra herméticamente y puede deslizarse sin rozamiento por el interior del cilindro.



El gas perfecto encerrado en este recipiente se encuentra sometido a una presión absoluta constante como resultado de las pesas y de la presión atmosférica que actúa sobre el émbolo.

Cuando se calienta el gas aumenta la velocidad de las moléculas y los choques entre ellas y debido a que se pueden alejar unas de otras, el gas se dilata empujando el émbolo hacia arriba por lo que aumenta su volumen a la vez que se incrementa la temperatura absoluta, cumpliéndose que: **a presión constante los volúmenes ocupados por una masa determinada de gas son directamente proporcionales a las temperaturas absolutas, es decir, a presión constante cuando un gas aumenta su temperatura también aumenta el volumen y por el contrario, cuando se enfría reduce el volumen.**

A las transformaciones que se realizan a presión constante se denominan transformaciones **isóbaras** y se rigen por la ecuación de Gay-Lussac.

$$\frac{V_i}{V_f} = \frac{T_f}{T_i}$$

donde:

$V_i$  es el volumen inicial que ocupa el gas

$T_i$  es la temperatura absoluta inicial (K)

$V_f$  es el volumen final

$T_f$  es la temperatura absoluta final (K)

### 2.14.6. Ecuación de los gases perfectos

En el apartado anterior se han visto las principales transformaciones de los gases perfectos, todas ellas referidas a una determinada masa de gas que permanece invariable durante la transformación. Dichas transformaciones presuponen que el gas evoluciona según unas condiciones determinadas: a temperatura constante en las transformaciones isotérmicas, a volumen constante en las isócoras, o bien, a presión constante en las transformaciones isóbaras.

Sin embargo, el caso más general es que el gas evolucione de forma completamente arbitraria entre el estado inicial y final.

**La Ecuación de Estado o General de los Gases Perfectos determina el estado de una masa dada de un gas perfecto en función de sus tres variables: Presión absoluta (P), Volumen (V) y Temperatura absoluta (T), sin que en ella intervenga el camino seguido para pasar del estado inicial al final:**

$$\frac{P_i \times V_i}{T_i} = \frac{P_f \times V_f}{T_f}$$

donde:

$P_i$  es la presión absoluta inicial del gas

$V_i$  es el volumen inicial del gas

$T_i$  es la temperatura absoluta inicial del gas (K)

$P_f$  es la presión absoluta final del gas

$V_f$  es el volumen final del gas

$T_f$  es la temperatura absoluta final del gas (K).

Despejando en la ecuación general de los gases perfectos se deducen las siguientes:

Presión absoluta  $P_f = \frac{P_i \times V_i}{T_i} \times \frac{T_f}{V_f}$

Volumen  $V_f = \frac{P_i \times V_i}{T_i} \times \frac{T_f}{P_f}$

Temperatura absoluta  $T_f = \frac{T_i}{P_i \times V_i} \times P_f \times V_f$

De las ecuaciones anteriores se ha de destacar que las presiones siempre se refieren a presiones absolutas por ello cuando en el enunciado de un problema se da la presión efectiva o relativa ésta se ha de convertir a presión absoluta, y que si bien la presión absoluta y el volumen se pueden dar en cualquier tipo de unidades obteniéndose los resultados en el mismo tipo de unidades, no así **la temperatura que siempre se ha de dar en grados absolutos o Kelvin.**

Ejemplo:

Un gas que ocupa un volumen de 20 m³ a la temperatura de 15 °C y a la presión es efectiva de 1,2 bar, cuando se calienta hasta 30 °C su volumen es de 28 m³. Calcula la presión a la que se encontrará el gas suponiendo que se comporta como gas perfecto y que la presión atmosférica local es 1,014 bar.

Para resolver el problema la primera operación a realizar es identificar los datos e incógnita, para lo cual se aconseja construir una tabla como la siguiente en la que se transcriben las condiciones iniciales y finales del gas con las correspondientes unidades.

Condiciones	
iniciales	finales
$P_i$ (efectiva) = 1,2 bar $V_i$ = 20 m³ $T_i$ = 15 °C	$P_f$ (absoluta) = incógnita bar $V_f$ = 28 m³ $t_f$ = 30 °C
Presión atmosférica local = 1,014 bar	

La tabla anterior permite:

1. identificar la incógnita, y las unidades del resultado, así como la fórmula que se ha de aplicar: en este ejemplo, la incógnita es la presión absoluta final que vendrá dada en bar;
2. concretar los cambios de unidades que se han de realizar para poder aplicar la correspondiente fórmula. En este ejemplo, se ha de pasar la presión inicial, que es efectiva, a presión absoluta, y convertir las temperaturas inicial y final en absolutas:

$P_i$  (absoluta) =  $P_i$  (efectiva) + P atmosférica local = 1,2 + 1,014 = 2,214 bar

$T_i = t_i + 273,15 = 15 + 273,15 = 288,15$  K

$T_f = t_f + 273,15 = 30 + 273,15 = 303,15$  K

Con los datos en las unidades adecuadas se llevan a la fórmula que permite determinar la incógnita:

$$P_f = \frac{P_i \times V_i}{T_i} \times \frac{T_f}{V_f} = \frac{2,214 \times 20}{288,15} \times \frac{303,15}{28} = 1,664 \text{ bar}$$

Respuesta: Después de la transformación el gas ocupa un volumen de 28 m³ y se encuentra a la presión absoluta de 1,664 bar y a la temperatura absoluta de 303,15 K.

2.15. TENSIÓN DE VAPOR (BOTELLAS DE GLP)

Si en un recipiente cerrado tenemos gas almacenado, parte en forma líquida y parte en forma gas, las dos formas coexisten en equilibrio a una presión llamada **tensión de vapor**.

Si dejamos salir cierta cantidad de gas, el equilibrio se rompe, entonces se vaporiza la cantidad necesaria de líquido para que se recupere el equilibrio, produciéndose el fenómeno de **vaporización natural**.

El calor necesario para dicha transformación se obtiene del ambiente, a través de las paredes del recipiente. Si el caudal de gas extraído es elevado, puede llegar a congelarse el exterior de la botella, reduciéndose el proceso de vaporización, y por tanto el caudal de gas extraíble.

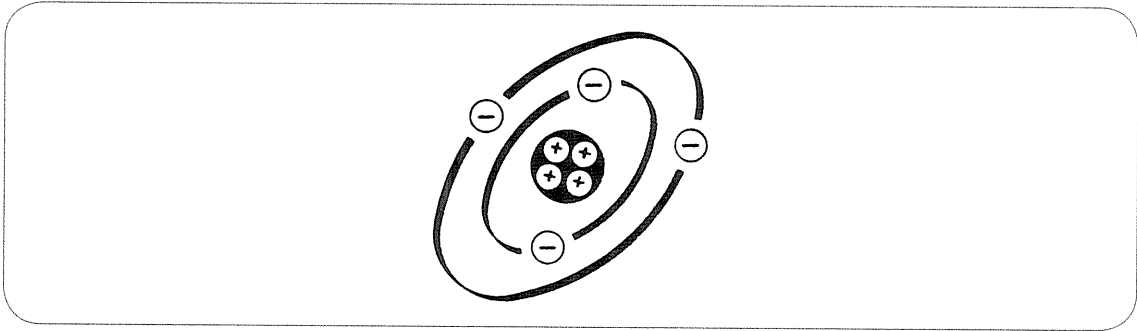
2.16. NOCIONES DE ELECTRICIDAD

Un átomo está constituido por una parte central fija, llamada **núcleo**, y otra exterior, llamada **envoltura**. El núcleo está formado esencialmente por dos tipos de partículas: los **protones** y los **neutrones**. El **protón es la carga elemental de electricidad positiva**.

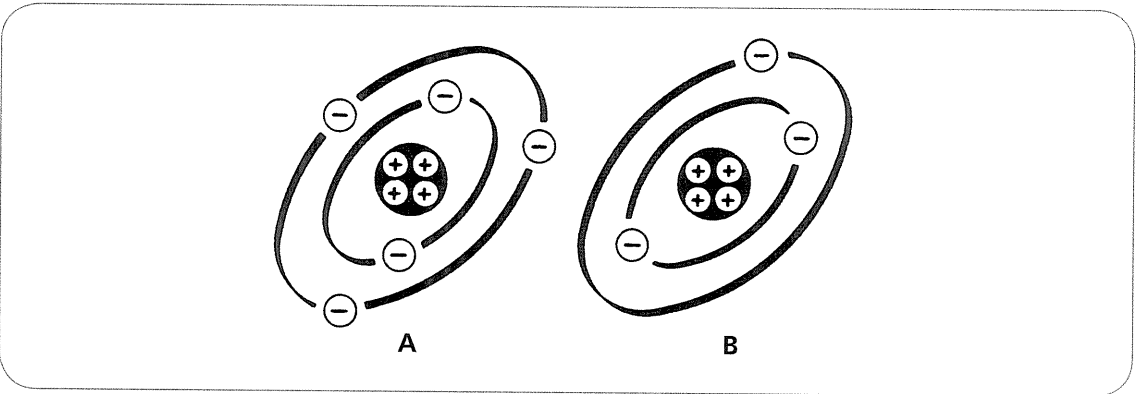
La envoltura está formada por un conjunto de partículas que giran alrededor del núcleo a gran velocidad, estas partículas se llaman **electrones**. El electrón es una partícula con electricidad negativa. **Es la carga elemental de electricidad negativa**.

Los electrones giran alrededor del núcleo en varias capas. Los electrones de la última capa se llaman electrones libres y los de las capas interiores electrones fijos. Los electrones fijos no pueden desplazarse de unos átomos a otros, los electrones libres sí que pueden hacerlo.

En la siguiente figura tenemos un átomo que tiene el mismo número de electrones que de protones, por lo que en conjunto no tiene carga eléctrica y se le llama átomo neutro.



Los siguientes átomos tienen un exceso o defecto de electrones, debido a que un electrón libre del átomo B se ha desplazado al átomo A, en conjunto el átomo A tiene carga eléctrica negativa y el átomo B positiva. Los átomos que tienen un exceso o defecto de electrones se llaman **átomos excitados**.



Los cuerpos normalmente, al igual que los átomos, se hallan neutros en la naturaleza, pero si un cuerpo pierde o gana electrones se carga eléctricamente. Así, la carga eléctrica positiva o negativa no es más que un defecto o exceso de electrones.

**El movimiento de los electrones libres de un átomo al siguiente constituye la corriente eléctrica.**

2.16.1. Tensión, resistencia. Intensidad: concepto y unidades

2.16.1.1. Tensión

En presencia de una o varias cargas eléctricas, un punto en el espacio tiene un potencial electrostático. Cuando el potencial electrostático de dos puntos no es el mismo, existe una **tensión eléctrica** (también llamada **diferencia de potencial**) entre ambos puntos. Si estos dos puntos



se ponen en contacto a través de un conductor se establece una corriente eléctrica que va del punto de mayor potencial al de menor.

La tensión eléctrica también se representa por la letra U. La diferencia de potencial y la tensión se miden con la misma unidad, el **voltio**, que se representa mediante la letra V.

El siguiente cuadro nos indica los múltiplos y submúltiplos habituales del voltio.

	Denominación	Símbolo	Equivalencia
Múltiplos	1 kilovoltio	1 kV =	1000 V
Unidad	1 voltio	1 V =	1 V
Submúltiplos	1 millivoltio	1 mV =	0,001 V

2.16.1.2. Resistencia

La resistencia de un conductor es la oposición que ejerce al paso de la corriente eléctrica.

La resistencia de un conductor depende de su longitud, de su sección transversal y de una propiedad característica del material con el que se ha construido el conductor llamada resistividad.

La resistividad es una constante de cada material y nos indica el grado de oposición al paso de una corriente eléctrica que ofrece un conductor de ese material de longitud unidad y sección unidad. La resistividad se representa por  $\rho$  (se lee ro).

La resistividad de un material depende de la temperatura a la que se encuentre. En casi todos los materiales aumenta al aumentar la temperatura.

A medida que la resistividad de un material es mayor, ofrece una mayor oposición al paso de la corriente eléctrica.

Resistividad $\rho$ ( $\Omega \times m^2/m$ ). (Los valores de la tabla se han de multiplicar por 0,000 000 01)			
Aluminio	2,6	Mercurio	94
Cobre	1,7	Nicron <sup>(1)</sup>	100
Hierro	49	Plata	1,5
Latón	7	Wolframio	5,5
(1) Nicron, nicrom o nichrome: aleación con un 80% de Ni y un 20% de Cr, aproximadamente.			

Ejemplo:

La resistividad del aluminio es:

$\rho = 0,000\ 000\ 01 \times 2,6 = 0,000\ 000\ 026\ \Omega \cdot m$

La resistividad del mercurio es:

$\rho = 0,000\ 000\ 01 \times 94 = 0,000\ 000\ 94\ \Omega \cdot m$

La resistencia de un conductor se calcula mediante la siguiente fórmula:

$R = \rho \frac{l}{S}$

donde:

R = resistencia ( $\Omega$ )

$\rho$  = resistividad ( $\Omega \cdot m$ )

l = longitud (m)

S = sección ( $m^2$ )

De esta fórmula se deducen las siguientes:

▪ Longitud del conductor

$$l = \frac{R \times S}{\rho}$$

▪ Sección del conductor

$$S = \frac{\rho \times l}{R}$$

▪ Resistividad del material

$$\rho = \frac{R \times S}{l}$$

En el **SI** la unidad de resistencia es el ohmio, que se representa por la letra  $\Omega$  (se lee omega).

En algunos casos el ohmio no es una unidad adecuada por ello se emplean múltiplos del mismo. Los múltiplos usuales del ohmio se muestran en la siguiente tabla:

	Denominación	Símbolo	Equivalencia
Múltiplos	1 megaohmio	1 M $\Omega$	1 000 000 $\Omega$
	1 kilohmio	1 k $\Omega$	1000 $\Omega$
Unidad	1 ohmio	1 $\Omega$	1 $\Omega$

Ejemplo:

Calcula la resistencia de un conductor de cobre de 200 m de longitud y cuya sección es de 3 mm<sup>2</sup>.

En la fórmula

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

la sección del conductor está en m<sup>2</sup>. Para poderla aplicar debemos efectuar un cambio de unidades de superficie, (consultar la correspondiente tabla) 1 mm<sup>2</sup> = 0,000 001 m<sup>2</sup>; luego 3 mm<sup>2</sup> = 3 x 0,000 001 = 0,000 003 m<sup>2</sup>.

En la tabla de resistividades se selecciona la del cobre:

$$\Omega = 0,000\ 000\ 01 \times 1,7 = 0,000\ 000\ 017\ \Omega \cdot m$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,000\ 000\ 017 \times \frac{200}{0,000\ 003} = 1,13\ \Omega$$

El conductor de cobre de 200 m de longitud y sección 3 mm<sup>2</sup> tiene 1,13  $\Omega$  de resistencia.

### 2.16.1.3. Intensidad: concepto y unidades

Si nos indican que el caudal que sale por un tubo es 200 litros por minuto, nos dicen que cada minuto salen 200 litros.

De forma análoga **la intensidad nos indica la carga que atraviesa la sección de un conductor cada segundo**. La fórmula que nos permite calcular la intensidad de corriente conociendo la cantidad de electricidad y el tiempo es:

$$I = \frac{Q}{t}$$

donde:

Q = carga eléctrica

t = tiempo

I = intensidad

De la fórmula anterior se deducen las siguientes:

▪ Carga eléctrica  $Q = I \times t$

▪ Tiempo  $t = \frac{Q}{I}$

La unidad de intensidad es el **amperio**, el amperio se representa mediante la letra A.

Como **la unidad de carga eléctrica es 1 culombio y la de tiempo 1 segundo**.

$1 \text{ amperio} = \frac{1 \text{ culombio}}{1 \text{ segundo}}$
--

Cuando deseamos medir corrientes más pequeñas que el amperio utilizaremos el **miliamperio (mA)**, que es un submúltiplo del amperio.

El miliamperio es mil veces más pequeño que el amperio, luego

$$1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A}$$

$$1 \text{ A} = 1000 \text{ mA}$$

Ejemplo:

Si por un conductor circulan 20 C durante 10 segundos, la intensidad de esta corriente es:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{20}{10} = 2 \text{ A}$$

Ejemplo:

Vamos a calcular la carga eléctrica que atraviesa un conductor durante 8 segundos cuando la intensidad es de 15 A.

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{si despejamos Q}$$

$$Q = I \times t = 8 \times 15 = 120 \text{ C}$$

Ejemplo:

Por un conductor circula una corriente de 100 mA. Vamos a calcular el tiempo necesario para que éste sea atravesado por 10 culombios.

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{si despejamos } t$$

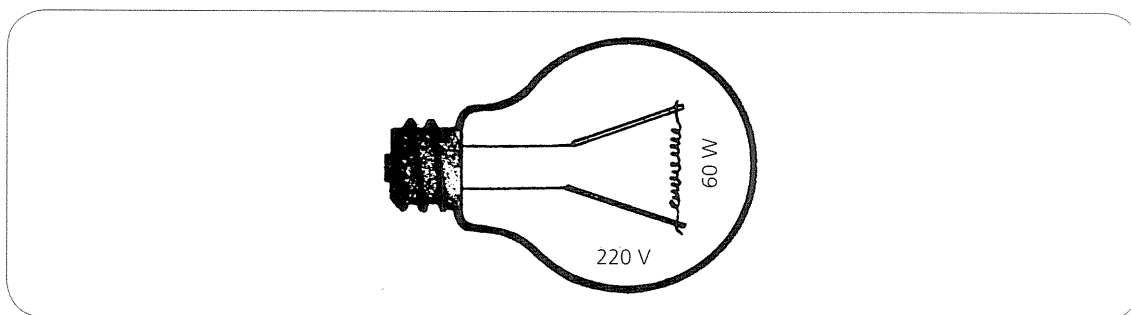
$$t = \frac{Q}{I} = \frac{10}{0,1} = 100 \text{ segundos}$$

## 2.16.2. Potencia y energía: concepto y unidades

### 2.16.2.1. Potencia eléctrica

La electricidad es una forma de energía, por tanto, la energía eléctrica es capaz de desarrollar un trabajo.

Si nos fijamos en la bombilla de la figura, observaremos que aparecen dos valores que nos indican las características de la lámpara.



Estos valores son 220 V y 60 W. 220 V nos indica la tensión de trabajo de la bombilla y 60 W la potencia que desarrolla.

Recordemos que la potencia es el trabajo desarrollado en la unidad de tiempo. El valor de **la potencia eléctrica** nos viene dado por la expresión:

$$\text{Potencia} = \text{Tensión} \times \text{Intensidad}$$

utilizando en lugar de las magnitudes los símbolos que las representan tenemos:

$$P = U \times I$$

donde:

P es la potencia eléctrica (W)

U es la tensión (V)

I es la intensidad (A)

De la fórmula anterior se deducen las siguientes:

▪ Tensión o diferencia de potencial  $U = \frac{P}{I}$

▪ Intensidad de la corriente  $I = \frac{P}{U}$

2.16.2.2. Unidades para la medida de la potencia eléctrica

La potencia eléctrica se mide en **vatios** (W). No obstante en algunos casos el vatio es una unidad muy pequeña y se utilizan múltiplos del vatio, la siguiente tabla nos los indica:

	Denominación	Símbolo	Equivalencia
Múltiplos	1 megavatio	1 MW	1 000 000 W
	1 kilovatio	1 kW	1000 W
Unidad	1 vatio	1 W	1 W

Ejemplo:

Calcular la intensidad que circula por una bombilla cuyas características son 220 V y 60 W.

De la fórmula  $P = U \times I$  despejamos I:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 0,272 \text{ A}$$

La intensidad de la corriente que circula por esta bombilla es de 0,272 A.

2.16.2.3. Energía eléctrica

Recordemos que la energía es el trabajo realizado, es decir la potencia multiplicada por el tiempo durante el cual se ha desarrollado.

Por tanto:

$$E = P \times t$$

donde:

E = energía

P = Potencia

t = tiempo

De la fórmula anterior se deducen las siguientes:

▪ Potencia       $P = \frac{E}{t}$

▪ Tiempo       $t = \frac{E}{P}$

2.16.2.4. Unidades para la medida de la energía eléctrica

En el SI **la energía se mide en julios**, sin embargo ésta es una unidad muy pequeña, por ello en la práctica **para medir la energía eléctrica se emplea el kilovatio hora (kWh)**.

1 kWh = 1000 Wh

1 kWh = 3 600 000 J

1 kWh = 860 kcal

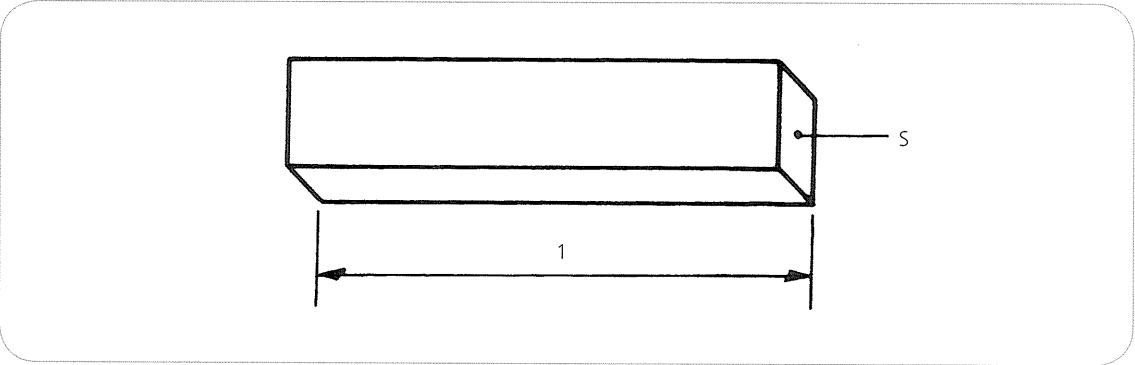
Ejemplo:

Calcular la energía que consume una bombilla de 60 W durante 10 horas. Da el resultado en kWh y kcal.

$$E = P \times t = 60 \text{ W} \times 10 \text{ h} = 600 \text{ Wh} = 0,6 \text{ kWh}$$

**2.17. CUERPOS AISLANTES Y CONDUCTORES (sólo categorías B y A)**

Como se ha indicado anteriormente, la resistencia que presenta un cuerpo al paso de la corriente eléctrica depende de la naturaleza del mismo, su sección y su longitud.



$$R = \rho \frac{l}{S}$$

donde:

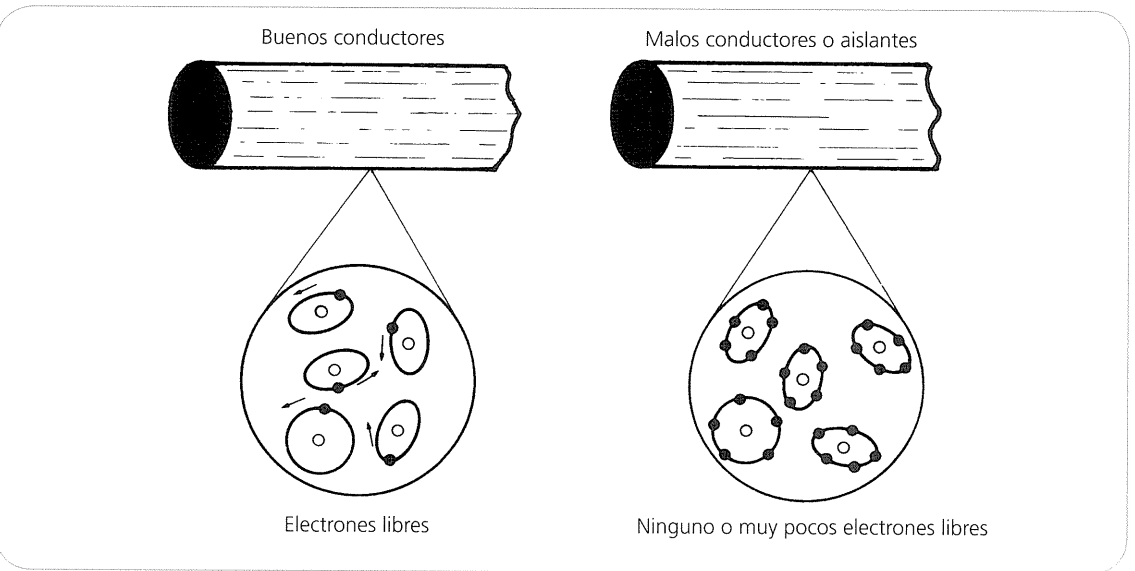
R = resistencia ( $\Omega$ )

$\rho$  = coeficiente de resistividad ( $\Omega\text{m}$ )

l = longitud (m)

S = sección ( $\text{m}^2$ )

Cuando el coeficiente de resistividad de un cuerpo es bajo decimos que es un buen conductor y cuando es elevado decimos que es un mal conductor o aislante. De esta forma el cobre es un buen conductor y la madera es un aislante.



Esto es porque los cuerpos que conducen la corriente eléctrica están formados por átomos que tienen electrones libres y los cuerpos aislantes están formados por átomos que no tienen electrones libres.

En ciertas circunstancias un cuerpo mal conductor puede perder sus propiedades aislantes. Por ejemplo al aumentar la tensión entre dos puntos separados por aire, éste se ioniza, permitiendo el paso de la corriente eléctrica. En estas condiciones el aire es conductor de la electricidad. También la madera mojada es un mal aislante.

## 2.18. LEY DE OHM. EFECTO JOULE. EJEMPLOS APLICADOS A LA SOLDADURA (sólo categorías B y A)

### 2.18.1. Ley de Ohm

La ley de Ohm nos relaciona la resistencia que un circuito ofrece al paso de la corriente eléctrica con la tensión que existe entre sus extremos y la intensidad de la corriente eléctrica que lo atraviesa, mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{U}{I}$$

donde:

R = resistencia ( $\Omega$ )

U = tensión (V)

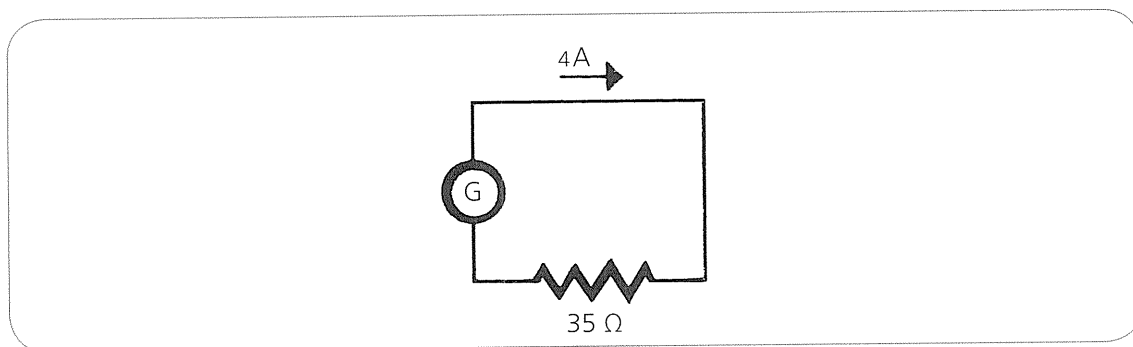
I = intensidad (A)

Despejando en la fórmula anterior se deducen las siguientes:

▪ Tensión o diferencia de potencial  $U = R \times I$

▪ Intensidad de la corriente  $I = \frac{U}{R}$

Ejemplo:



En el circuito de la figura observamos que por una resistencia de  $35 \Omega$  circula una corriente de 4 A. Vamos a calcular la tensión que proporciona el generador (G).

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{despejamos } U$$

$$U = R \times I = 35 \times 4 = 140 \text{ V}$$

### 2.18.2. Efecto Joule

Al desplazarse los electrones libres de unos átomos a otros los electrones chocan entre sí y con los núcleos de los átomos.

Estos choques entre electrones y entre los electrones y los núcleos provocan un calentamiento del conductor: el conductor disipa energía en forma de calor.

Cuanto mayor es el número de electrones que circulan por el conductor, mayor será el número de choques.

**A esta propiedad que tienen los conductores de calentarse cuando son atravesados por una corriente eléctrica se le llama efecto Joule.** James P. Joule, físico inglés, estudió la relación existente entre la corriente eléctrica y el calor producido por ésta. La **ley de Joule** nos dice:

**“En una determinada resistencia la cantidad de calor originada en ella al paso de la corriente eléctrica, es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad. A igualdad de intensidad, tal calor es proporcional a la resistencia. En todos los casos el calor desprendido es proporcional al tiempo que está pasando la corriente”.**

Fórmula de Joule

$$Q = 0,24 \times I^2 \times R \times t$$

donde:

Q = cantidad de calor (calorías)

I = intensidad (A)

R = resistencia ( $\Omega$ )

t = tiempo (s)

o bien:

$$Q = 0,000279 \times I^2 \times R \times t$$

donde:

Q = cantidad de calor (Wh)

I = intensidad (A)

R = resistencia ( $\Omega$ )

t = tiempo (s)

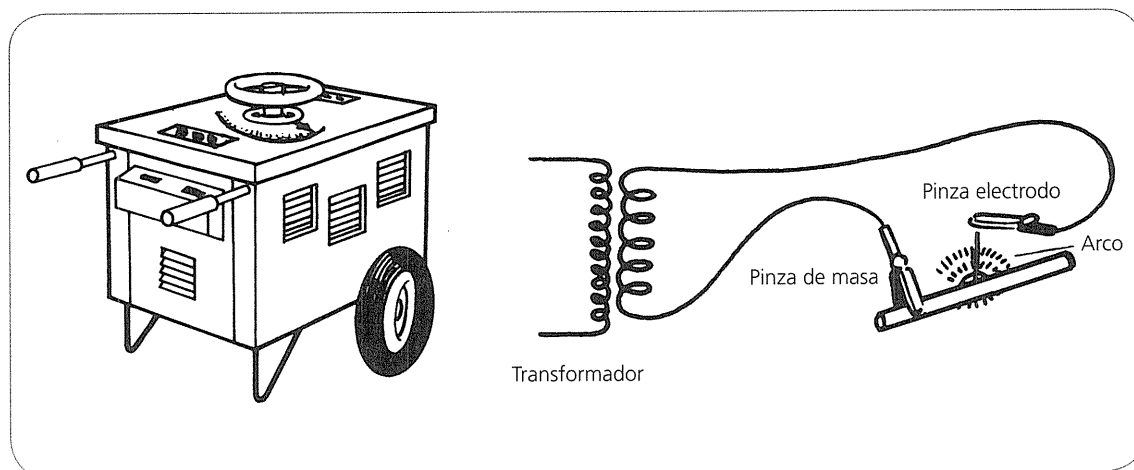
Si tenemos dos resistencias iguales, aquella en la que la densidad de corriente sea mayor, es decir que la intensidad es mayor, desprenderá más energía en forma de calor.

Si tenemos dos resistencias del mismo material, de la misma longitud pero, de diferente sección, las cuales están atravesadas por la misma intensidad, aquella que tiene menor sección disipa más calor, es decir, aquella en la que la densidad de corriente sea mayor disipa más energía en forma de calor.



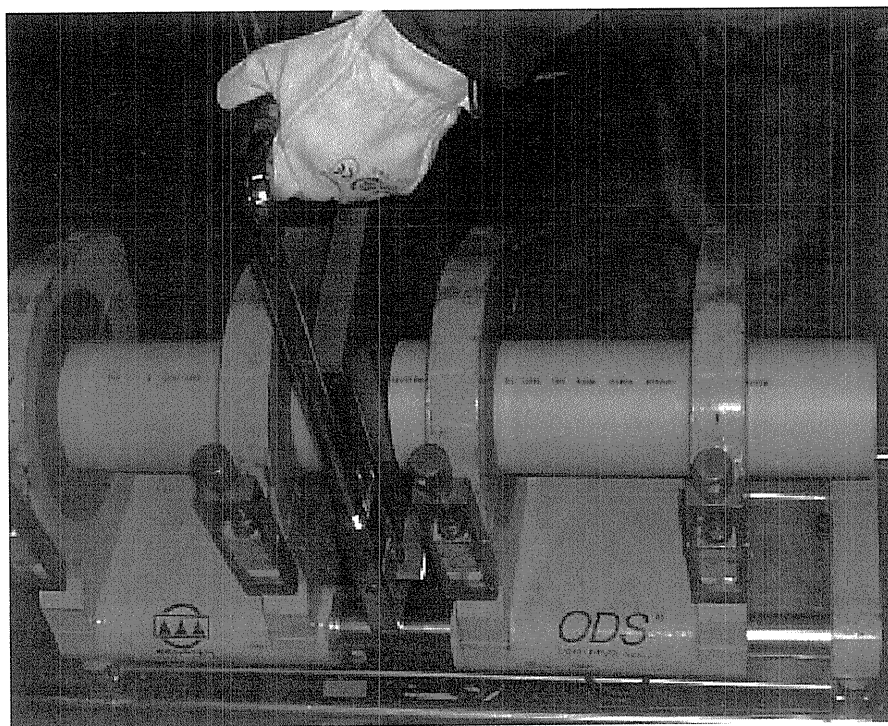
### 2.18.3. Ejemplos aplicados a la soldadura

La **soldadura por arco** es una aplicación del efecto Joule.

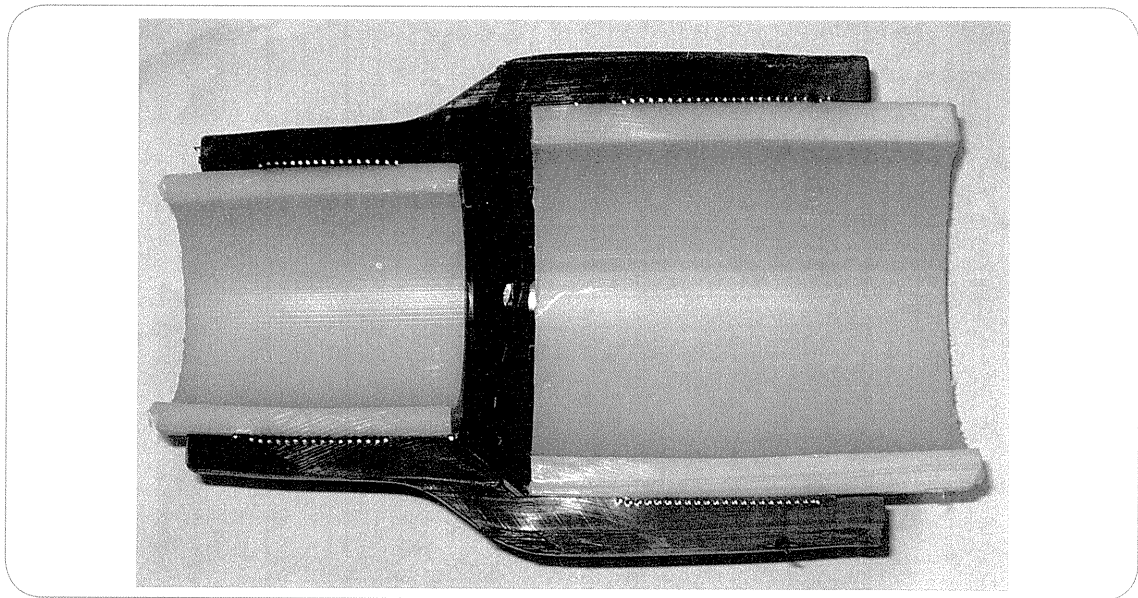


En ésta la corriente eléctrica funde las piezas a unir y el metal de aportación.

También en la **soldadura a tope** de tubos y accesorios de polietileno se utilizan placas calefactoras para fundir los extremos de las piezas a unir, antes de ponerlas en contacto y aplicar presión. Dichas placas calefactoras tienen en su interior una resistencia por la que pasa una corriente eléctrica que las calienta hasta la temperatura deseada.



Otra aplicación del efecto Joule la tenemos en los accesorios de **electrofusión** de polietileno.



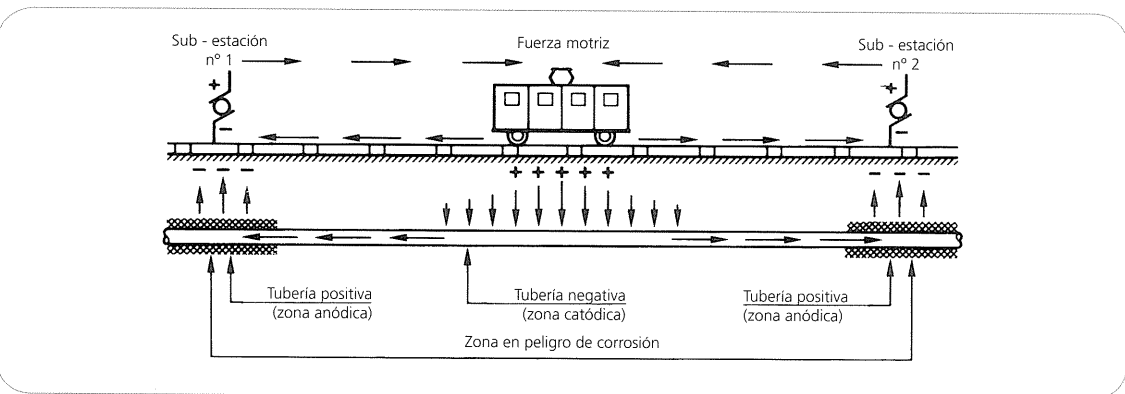
Estos tienen, en el interior de la embocadura, una resistencia en forma de filamento dispuesto en forma helicoidal, integrado o no en la pared del accesorio, cuyos extremos salen al exterior para su conexión a la unidad de control. Esta unidad suministra una corriente, a una tensión constante o variable en función del tipo y tamaño del accesorio, que produce en el filamento por efecto Joule el calentamiento necesario para la fusión de parte del material de la cara interna del accesorio y de parte del material del exterior del extremo del tubo al que se une el accesorio.

### 2.19. CORRIENTES DE FUGA (sólo categorías B y A)

Si en el entorno de una tubería metálica enterrada existe un campo eléctrico en el electrolito que define unas zonas de entrada y unas zonas de salida de corriente continua, las primeras (zonas catódicas) se verán favorecidas con una protección catódica suplementaria, y las segundas (zonas anódicas) verán acelerado su proceso de corrosión.

Estos campos eléctricos pueden tener su origen en un conductor de corriente continua al que le falla el aislamiento, pasando la corriente al suelo (electrolito) y de éste a la conducción de gas, encontrando en ésta un camino más fácil de retorno que el propio conductor. Estas corrientes se denominan **corrientes de fuga**.

Las fuentes de corriente continua que pueden causar problemas son los transportes electrificados tales como trenes, tranvías, metros y transportes de minas, los procesos electrolíticos industriales, las protecciones catódicas de terceros y los transportes

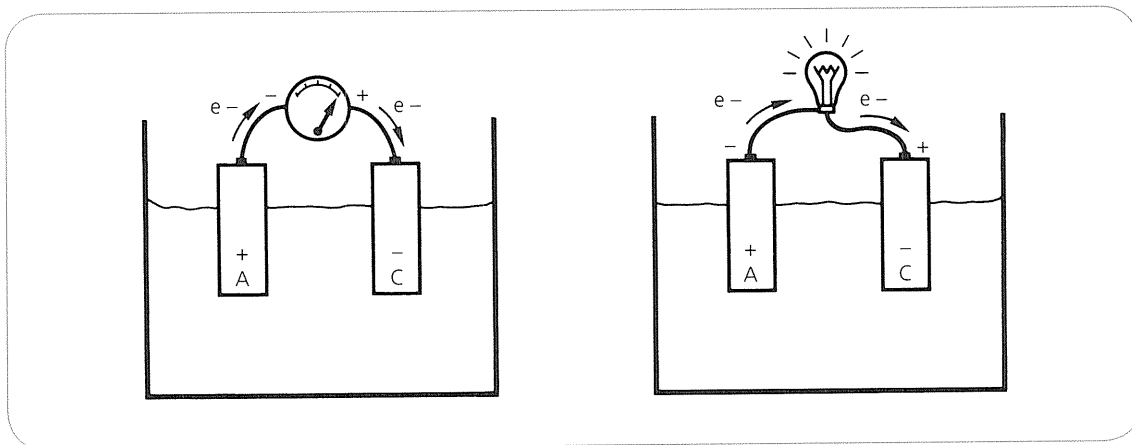


*Corrosión por corrientes vagabundas*

Estas corrientes, que reciben la denominación de corrientes vagabundas debido a que no se conoce exactamente su recorrido a través del electrolito, no son constantes, ya que dependen de factores variables como la resistividad del terreno, lluvias, vertidos industriales, tráfico de los transportes electrificados y utilización de las fuentes de corriente continua.

## 2.20. CORRIENTES GALVÁNICAS (sólo categorías B y A)

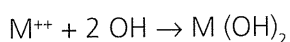
Si se sumergen dos metales distintos en una misma solución, éstos, tras ceder iones al electrolito, alcanzarán sus potenciales respectivos, existiendo entre ellos una diferencia de potencial eléctrico susceptible de ser medida con un voltímetro o incluso de ser aprovechada para alimentar un aparato eléctrico. En este fenómeno se basa el principio de la pila electroquímica.



*Pila electroquímica o galvánica*

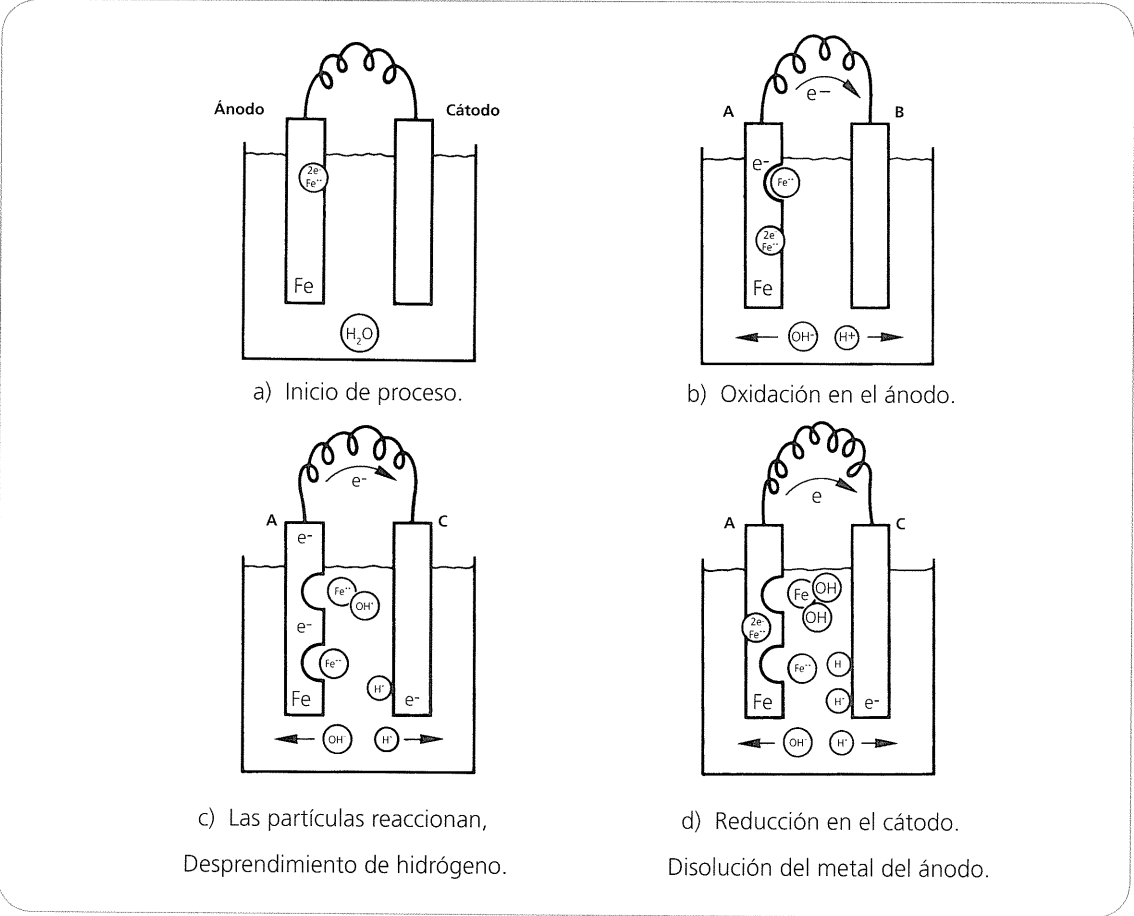
Aparte de la f.e.m. generada por los dos metales, si se cortocircuitan los dos metales por el exterior del electrolito mediante un cable conductor, sucede que:

- En el electrodo formado por el metal de potencial más electronegativo habrá salida de electrones a través del conductor exterior hacia el otro metal, y al mismo tiempo, sus iones positivos se precipitarán en el electrolito, corroyéndose y deteriorándose por ello el metal. Este electrodo constituye el **ÁNODO** del proceso y su polaridad es **POSITIVA**.
- Debido a sus cargas eléctricas, los dos iones presentes en el electrolito, hidroxilo,  $\text{OH}^-$ , e hidrógeno,  $\text{H}^+$ , se desplazarán hacia los electrodos de polaridad opuesta.
- Los iones desprendidos del metal que hace de ánodo,  $\text{M}^{++}$ , reaccionarán con los iones hidroxilo presentes en el electrolito, dando lugar a una molécula de hidróxido del metal,  $\text{M}(\text{OH})_2$ , el cual si es soluble, se disolverá en el electrolito, y si no lo es, precipitará como sólido.



- Los iones hidrógenos buscarán el electrón que les falta en el otro electrodo, en el cual hay exceso de electrones procedentes del ánodo, formando átomos de hidrógeno y éstos a su vez moléculas, con lo que habrá desprendimiento de hidrógeno en forma de gas sobre la superficie de este metal. Este electrodo constituye el **CÁTODO** del proceso y su polaridad es **NEGATIVA**.

Como se ha visto, al establecerse la pila electroquímica en el conductor exterior se genera una corriente eléctrica y a su vez, en el electrolito otra corriente, denominadas **corrientes galvánicas**, cuya naturaleza es diferente de la eléctrica. La corriente eléctrica es debida al desplazamiento en un solo sentido de los electrones en el seno de un conductor generalmente metálico. Las corrientes galvánicas se deben al desplazamiento en ambos sentidos de los iones positivos y negativos en el seno de un electrolito.

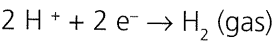


Procesos que tienen lugar en una pila electroquímica

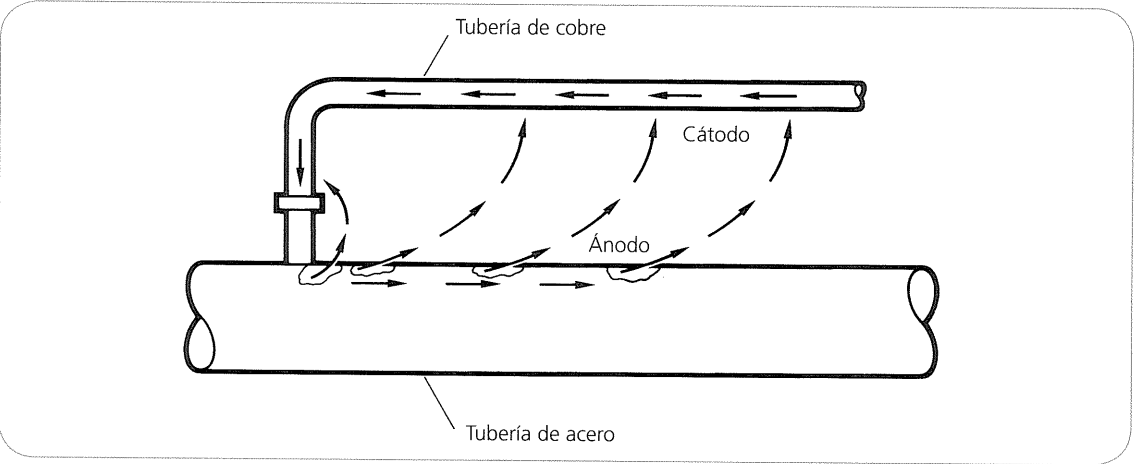
▪ Químicamente, **en el ánodo tiene lugar una oxidación (pérdida de electrones)**



y en el cátodo una reducción (ganancia de electrones):

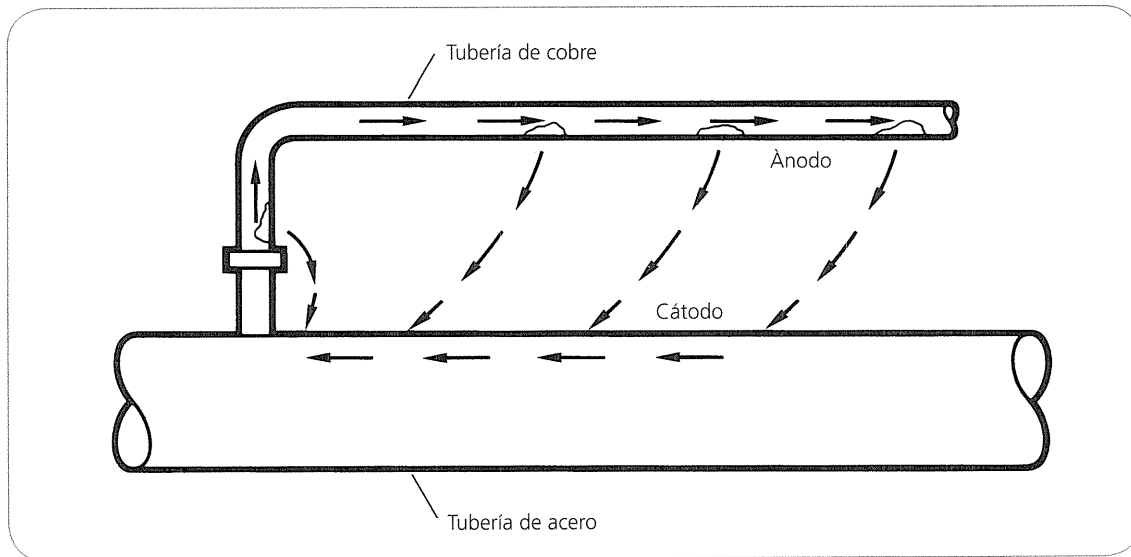


Obsérvese que es el ánodo el que sufre corrosión, mientras que el cátodo se mantiene protegido a expensas de aquél.



Pila electroquímica formada entre la tubería de cobre y la de acero.  
Corrientes galvánicas. El suelo actúa como electrolito

Ejemplo: Si en una conducción enterrada de acero se hace una acometida de cobre, debido a la diferencia de potencial electroquímico entre ambos materiales y a la acción del suelo, que actúa como electrolito, se crea una pila en la que la canalización de acero hace de ánodo, corroyéndose, y la acometida de cobre de cátodo.



*Pila electroquímica formada entre la tubería de acero galvanizado y la de acero.  
El suelo actúa como electrolito*

El efecto contrario tendrá lugar si a la conducción de acero se le hace una acometida con un tubo de acero galvanizado (acero recubierto de una película de cinc). La tubería de acero actuará de cátodo y el cinc de la acometida de ánodo. El cinc terminará disolviéndose en el electrolito.

## 2.21. BASES Y FUNCIONAMIENTO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA (ELECTRODOS) (sólo categorías B y A)

En apartados anteriores se trató sobre las pilas electroquímicas y los efectos que se producen en los electrodos. Como resumen de todo ello se destaca que el electrodo que actúa de ánodo se disuelve en el electrolito (se corroe) y el que hace de cátodo se protege.

La protección catódica consiste en crear las condiciones precisas para que la conducción o el depósito se convierta en un enorme cátodo (de ahí su nombre de protección catódica) a fin de que de esta forma quede protegido, al mismo tiempo que otra pieza de escaso valor, que actúa como ánodo, se consume en el electrolito en que ambos están inmersos.

Existen dos métodos principales de protección catódica que se diferencian en el suministro de la corriente eléctrica a la conducción:

- Protección por ánodos reactivos o de sacrificio
- Protección por corriente impuesta o impresa

Como complemento a estos métodos se puede considerar un tercero

- Protección por drenaje de las corrientes vagabundas.

Todos estos métodos están basados en descender el potencial de la estructura que se va a proteger respecto al electrolito en el que está inmersa.

### 2.21.1. Procedimientos de protección activa

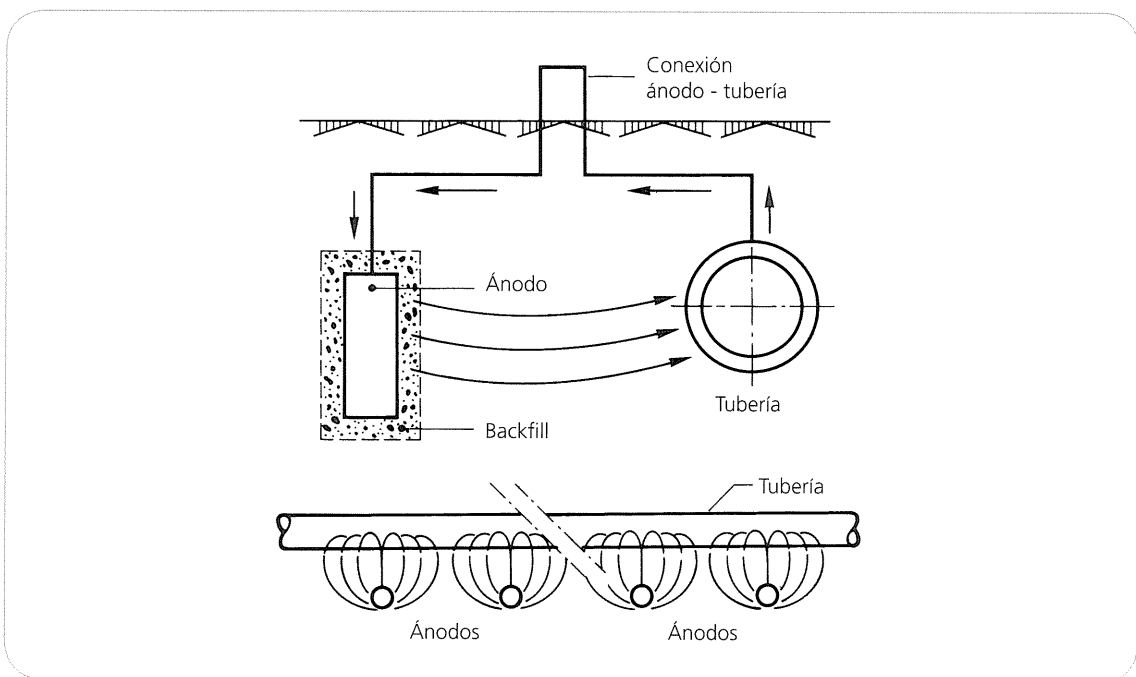
El objetivo de la protección catódica es convertir en cátodo la superficie total de la estructura que se desea proteger.

Para ello se provoca mediante el dispositivo eléctrico adecuado el descenso de su potencial respecto al electrolito en el que está inmerso.

Para el hierro se admite un valor del potencial de polarización de -850 mV con referencia al electrodo de cobre/sulfato de cobre,  $\text{Cu}/\text{SO}_4\text{Cu}$ , o de -800 mV con referencia al electrodo de plata/cloruro de plata,  $\text{Ag}/\text{Cl Ag}$ . Para el caso de corrosión por bacterias se rebaja el potencial de la estructura de hierro a proteger por debajo de -950 mV medidos respecto al electrodo de  $\text{Cu}/\text{SO}_4\text{Cu}$ .

#### 2.21.1.1. Protección por ánodos reactivos o de sacrificio

La protección catódica por el método de ánodos reactivos consiste en la creación de una pila en la que el cátodo es la estructura metálica que se va a proteger y el ánodo otro metal más electronegativo. Si estos dos metales se unen eléctricamente y se sumergen o entierran en un mismo electrolito se establece un paso de corriente del metal más electropositivo al más electronegativo, y dentro del electrolito en sentido contrario, es decir, del metal más electronegativo (ánodo) al metal más electropositivo (cátodo) cerrándose el circuito y disolviéndose el metal del ánodo (corrosión) en el electrolito, quedando así protegido el metal del cátodo.



*Protección catódica por ánodos reactivos o de sacrificio*

Los ánodos más empleados para estructuras enterradas suelen ser a base de cinc (Zn), y de magnesio (Mg) y aluminio (Al).

Para presentar una menor resistencia a tierra y una mayor dispersión de corriente, los ánodos van empaquetados en un relleno de material conductor y conservante de la humedad (polvo de carbón, bentonita, etc) denominado *backfill*. Los ánodos de magnesio ya se facilitan comercialmente con este "*backfill*".

Este método tiene la ventaja de ser relativamente económico y de instalación sencilla, pero en cambio tiene las desventajas de no proporcionar potenciales elevados, ya que el magnesio

puede dar como máximo  $-1,55\text{ V}$  respecto al electrodo  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ , y de que las cantidades de corriente generadas son reducidas, de forma que si ha de protegerse una red de considerable extensión han de instalarse bastantes ánodos. Una de sus principales aplicaciones es la protección de tramos cortos, derivaciones y acometidas, aislados de la red protegida cuando no hay posibilidad de efectuar un shuntaje con ésta.

Un caso particular de este tipo de protección activa es el galvanizado de las tuberías de acero. Dicha protección consiste en recubrir toda la superficie de acero con una fina película de cinc. Esta película protege a la tubería de acero de dos formas:

- aislándola del ambiente exterior: se podría decir que en este caso actúa como una protección pasiva
- actuando de ánodo, por ser más activo que el acero, corroyéndose, pudiéndose considerar como ánodo de sacrificio

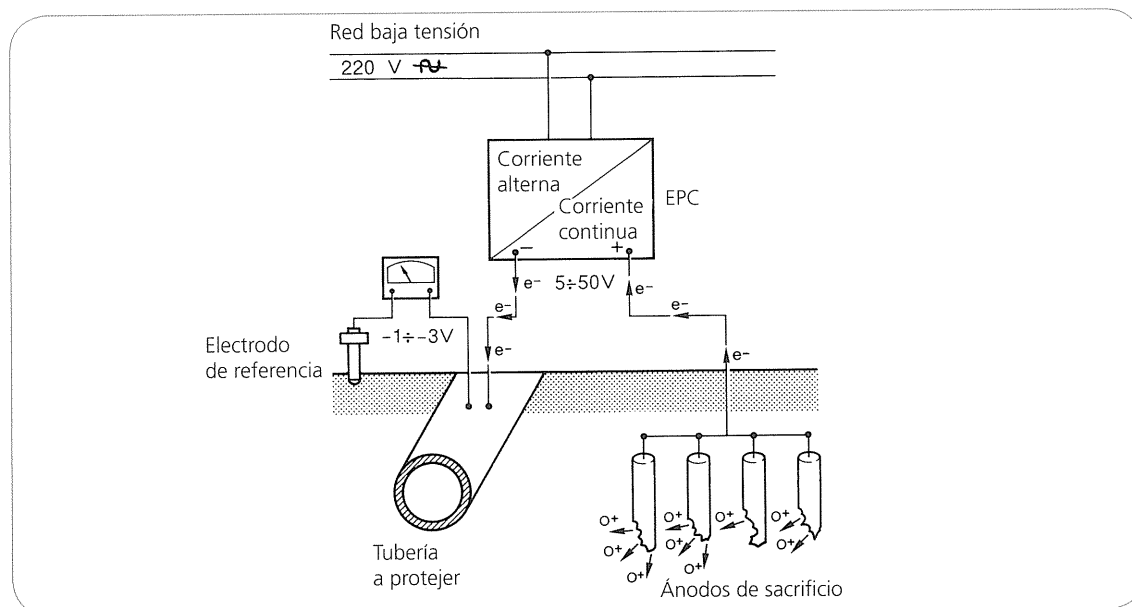
En el caso de que se produzca una pequeña rotura en la película de cinc que deje el acero al descubierto, entre ambos metales se forma una pila en la que el cinc, al actuar de ánodo, sigue protegiendo al acero. Según se va disolviendo el cinc, el punto defectuoso se va extendiendo y agrandando hasta que adquiere un cierto tamaño y se inicia la corrosión directa del acero. De todos modos con el galvanizado se alarga la vida útil de las tuberías de acero. El empleo de las tuberías de acero galvanizado está limitado a los tramos aéreos de las instalaciones.

### 2.21.1.2. Protección por corriente impuesta

Cuando es insuficiente el potencial generado por ánodos reactivos y es importante la extensión de la red que ha de protegerse, ha de recurrirse al empleo de la denominada corriente impuesta. Esta corriente, que es continua, se obtiene a partir de la red de baja tensión en corriente alterna (380, 220 ó 125 Voltios) transformada a una tensión más baja y rectificada.

Todo este proceso se realiza en unos aparatos llamados transforrectificadores (también llamados estaciones de protección catódica o EPC), cuyo polo positivo va unido a un lecho dispersor (ánodo), y su polo negativo conectado a la estructura que se va a proteger (cátodo), hallándose todo ello (ánodo y cátodo) inmerso en un electrolito (tierra, agua de mar, etc).

En el caso que más nos interesa (tuberías enterradas), el polo positivo va unido a un lecho dispersor de corriente formado por varios ánodos, y el polo negativo a la tubería que se va a proteger.



*Protección catódica por corriente impuesta*

El funcionamiento del sistema es el siguiente: la corriente que sale por el polo positivo del transformadorrectificador pasa al suelo (electrolito) a través del lecho dispersor formado por uno o varios ánodos, y de ahí a la tubería (cátodo), a través de la cual retorna hacia el polo negativo de dicho transformadorrectificador, cerrándose el circuito eléctrico.

De esta forma se crea una diferencia de potencial entre la conducción y los ánodos, la cual normalmente varía entre 5 y 50 voltios, dando lugar al paso de una corriente determinada que a su vez hará que la conducción alcance el nivel de potencial de protección preestablecido respecto a su electrolito, es decir; el terreno.

En este tipo de protección el material anódico puede ser cualquier metal, ya que se le fuerza a que se comporte como ánodo. En la práctica, por razones económicas y de rendimiento, los materiales principalmente empleados son chatarra de hierro o raíles, grafito y ferrosilicio. Tiene considerable importancia el tipo de terreno donde se hayan de enterrar los ánodos para la elección de su tipo.

### **2.21.1.3. Procedimientos para eliminar los efectos de las corrientes vagabundas**

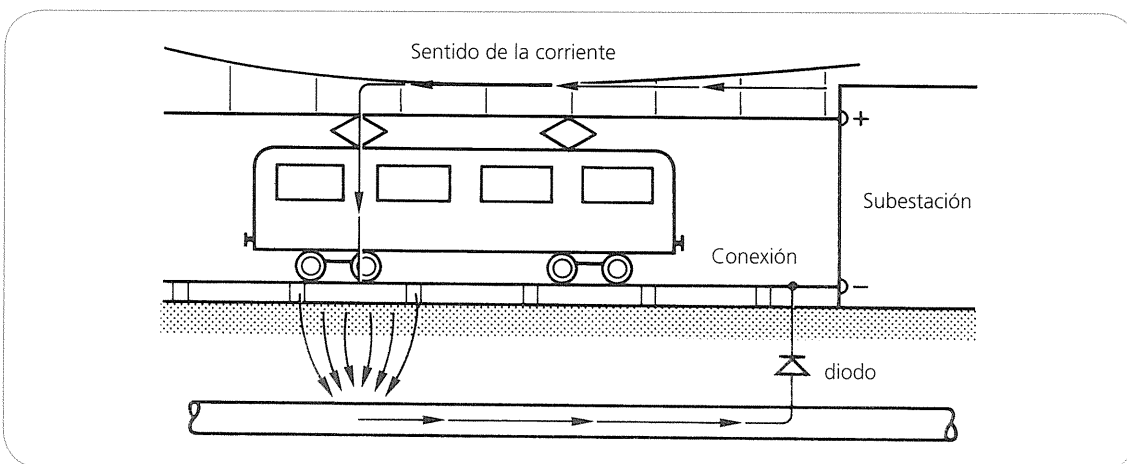
Si los métodos expuestos para suministrar corriente a la conducción se aplican adecuadamente, se conseguirá evitar la corrosión natural de la misma.

No obstante, si existen corrientes vagabundas, los métodos anteriormente expuestos no pueden compensar, sin peligro de sobreinyecciones de corriente, las salidas de corriente de la conducción, debiéndose entonces recurrir a uno de los siguientes métodos:

- Drenajes unidireccionales (directos o francos)
- Drenajes indirectos o dirigidos

#### **2.21.1.3.1. Drenajes unidireccionales**

La mejor solución para evitar los efectos perjudiciales de las corrientes vagabundas es retornarlas al ferrocarril a través de una conexión eléctrica directa tubo-carril, evitando de esta forma la salida de corriente a través del terreno, con la consiguientes pérdida de iones del material de la conducción.



*Protección contra las corrientes vagabundas por drenaje unidireccional*

Para evitar el que posibles potenciales positivos existentes en el carril puedan provocar circulación de corriente en sentido contrario, se intercala en serie con la conexión eléctrica un diodo, de forma que la corriente tan sólo pueda circular en un sentido: tubo → carril.

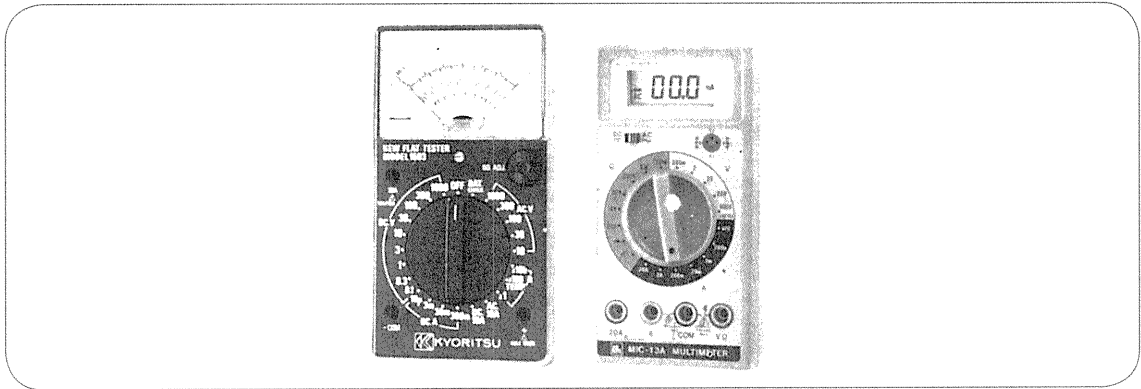


2.21.1.3.2. Drenajes indirectos o dirigidos

Lamentablemente muchas veces no es posible esta conexión eléctrica directa entre conducción y carril, tanto por problemas administrativos o legales como técnicos. Entonces se recurre a otras soluciones tales como la ya antes mencionada de seccionar la conducción mediante juntas aislantes o a instalar algún drenaje anódico, o apantallamiento entre la conducción y el carril en la zona de entrada de las corrientes.

2.21.1.4. Control del potencial de protección

El instrumento empleado para medir los potenciales entre la canalización del gas y el electrolito es un voltímetro para corriente continua cuyos polos se conectan al electrodo de referencia y a la canalización.



Voltímetros

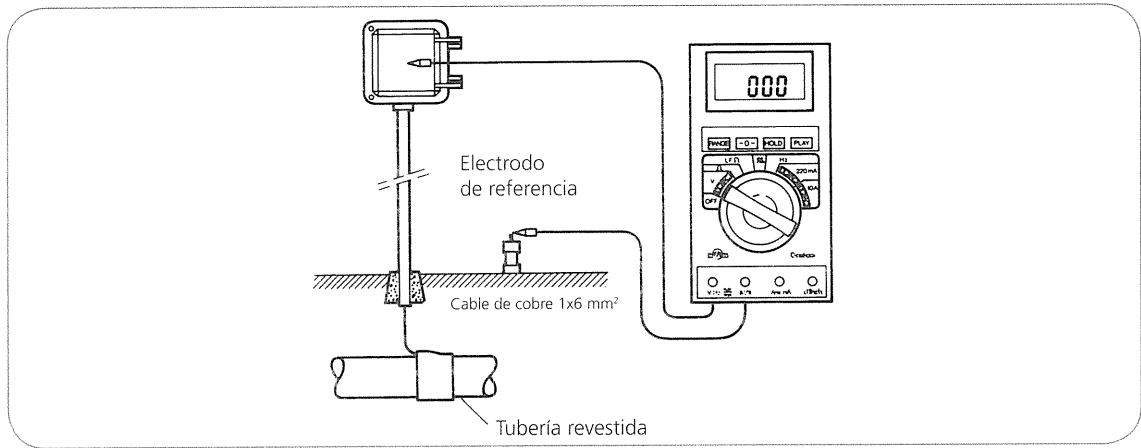
El electrodo de referencia se pondrá en contacto con el electrolito (tierra) a través del puente salino (tapón poroso) del electrodo de referencia.

Los voltímetros aptos para realizar estas medidas deben disponer de una elevada resistencia interna (50 kΩ como mínimo), para reducir los errores de lectura que podrían enmascarar los potenciales que deseamos conocer.

No obstante, si tuviéramos que medir potenciales con un aparato más corriente, el potencial real será igual al leído multiplicado por un factor de corrección (F) que será:

$$F = \frac{R_a + R_c}{R_a} \quad V_{\text{real}} = V_{\text{leído}} \times F$$

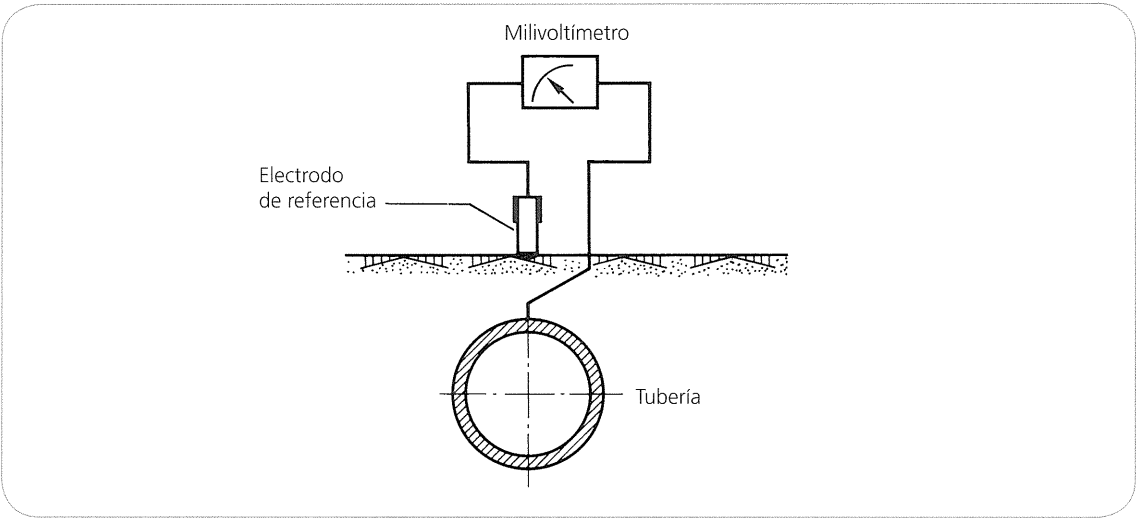
siendo F el factor de corrección,  $R_a$  la resistencia del aparato y  $R_e$  la resistencia del circuito externo (tubería + cables + electrodo).



Medida del potencial de protección

La toma de potencial puede realizarse en cualquier punto accesible en el que exista una conexión conductora hasta la tubería enterrada o en las cajas instaladas para tal efecto.

Para obtener una mejor conexión y disminuir resistencia es práctica habitual humedecer el lugar en donde va a emplazarse el electrodo de referencia, ya que en general la resistencia del electrodo respecto al suelo es la más elevada del circuito externo.



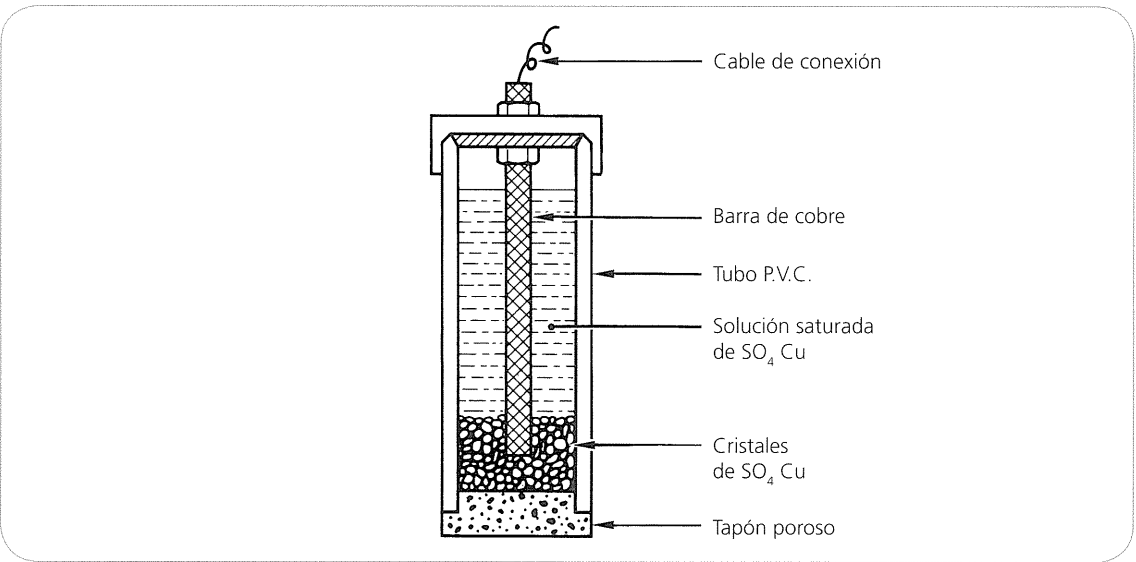
Posicionamiento del electrodo de referencia respecto a la tubería

Para una correcta lectura del potencial, el electrodo de referencia se situará en la vertical de la tubería.

Se asegura la protección catódica de la tubería enterrada cuando el potencial medido entre esta y el suelo alcanza un valor igual o inferior a -0,85 V medidos respecto al electrodo de referencia de cobre sulfato de cobre.

2.21.1.4.1. Electrodo de referencia cobre/sulfato de cobre (Cu/Cu SO<sub>4</sub>)

Este electrodo es en realidad media pila formada por una barra de cobre sumergida en una solución saturada de sulfato de cobre. Todo ello se encuentra en un recipiente cilíndrico cerrado por un lado por un tapón poroso, que es el que se pone en contacto con el suelo, saliendo por el otro lado el cable de conexión al voltímetro.



Electrodo de referencia Cu/Cu SO<sub>4</sub>

Existen otros electrodos de referencia, pero el más empleado es de  $\text{Cu}/\text{Cu SO}_4$ .

Cuando se mide el potencial de la conducción respecto al electrodo de referencia, se forma una pila electroquímica completa, uno de cuyos electrodos es el de referencia y el otro la tubería, actuando el suelo de electrolito y cerrándose el circuito exterior a través de los cables y el voltímetro.

## 2.22. ELECTRICIDAD ESTÁTICA Y SU ELIMINACIÓN (sólo categoría A)

La electricidad estática consiste en la formación de cargas eléctricas positivas y negativas sobre un objeto, que no se desplazan. Se forman mediante procesos mecánicos tales como la fricción, el contacto o la colisión entre objetos.

En la electrización por fricción el efecto del contacto entre dos objetos se acentúa por efecto de la presión aplicada, de la velocidad de deslizamiento y del calor generado.

Los efectos de la acumulación de electricidad estática varían. Es bastante común percibir descargas de electricidad estática al tocar ciertas partes de la carrocería de un automóvil, lo cual produce incomodidad pero no peligro. Pero no hay que olvidar que en determinados ambientes una descarga de electricidad estática puede producir una explosión, y consecuentemente lesiones muy graves e incluso muertes.

Un ejemplo típico es la descarga entre el extremo de una manguera de un camión cisterna y la boca de llenado de un depósito, si no están puestos a tierra previamente.

Otro ejemplo: el transporte por tubería es un proceso generador de cargas electrostáticas.

Para evitar la formación de cargas electrostáticas, hay que evitar que entren en contacto mutuo materiales que tengan afinidades electrónicas muy diferentes. Otra medida consiste en reducir la velocidad de circulación por el interior de las tuberías, especialmente si el fluido que transportan puede contener partículas en suspensión (por ejemplo, óxido de hierro en tuberías metálicas no revestidas interiormente).

## 2.23. TOMAS DE TIERRA Y MEDICIÓN (sólo categoría A)

### 2.23.1. Tomas de tierra

Como no se puede eliminar totalmente la aparición de cargas electrostáticas, hay que eliminar las diferencias de potencial entre objetos, conectándolos entre sí o poniéndolos a masa mediante una toma de tierra (picas), cuya resistencia no debe superar los 20 ohmios.

Para mejorar el contacto con el suelo la pica se rodea de carbón o bien se mantiene húmedo su entorno.

### 2.23.2. Medición

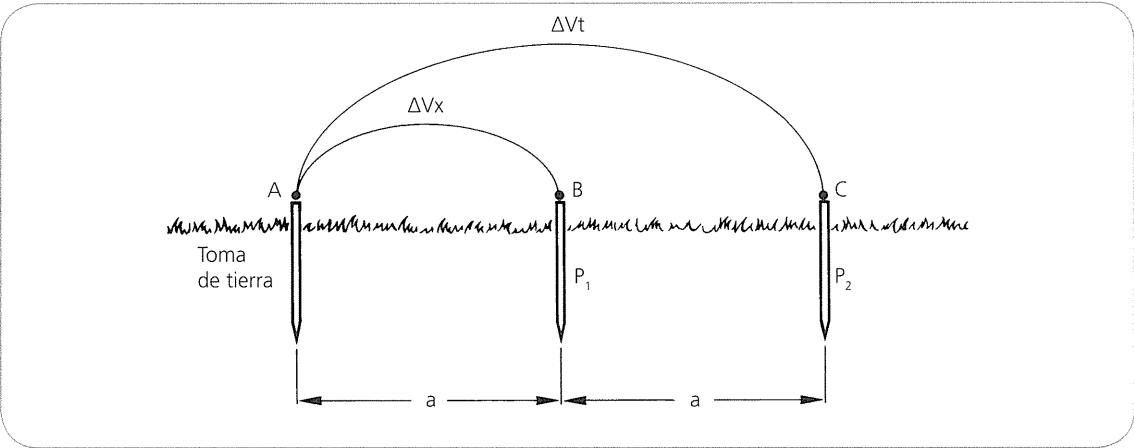
Para medir la resistencia se procede como se indica a continuación.

Para medir la resistencia se cogen dos picas  $P_1$  y  $P_2$ , se clavan a una distancia respecto de la toma de tierra de  $a$  y  $2a$ , respectivamente según puede apreciarse en la figura.

Para realizar la medición se hace pasar una corriente alterna, de una frecuencia especial, de modo que las corrientes vagabundas que eventualmente puedan circular por el terreno, no produzcan interferencias.

La corriente alterna que pasa del punto A al punto C crea un potencial  $AV$ , entre los puntos A y C, pero también crea un potencial  $AV_x$  entre los puntos A y B. El aparato dispone de un sistema interno de funcionamiento, que se acciona hasta que por el galvanómetro no haya paso de corriente, en ese momento la lectura del medidor nos da la resistencia a tierra en ohmios.

El valor se considera bueno, cuando al variar la distancia *a*, la resistencia leída no experimenta prácticamente variación.



Medida de la resistencia eléctrica.

2.23.3. Cálculo de la resistencia de la toma de tierra

Para poder calcular la resistencia, es necesario conocer el valor de la resistencia específica del terreno (resistividad). Se emplea la siguiente fórmula experimental

$$R = 0,366 \times \frac{\rho}{h} \times \log \frac{3 h}{d}$$

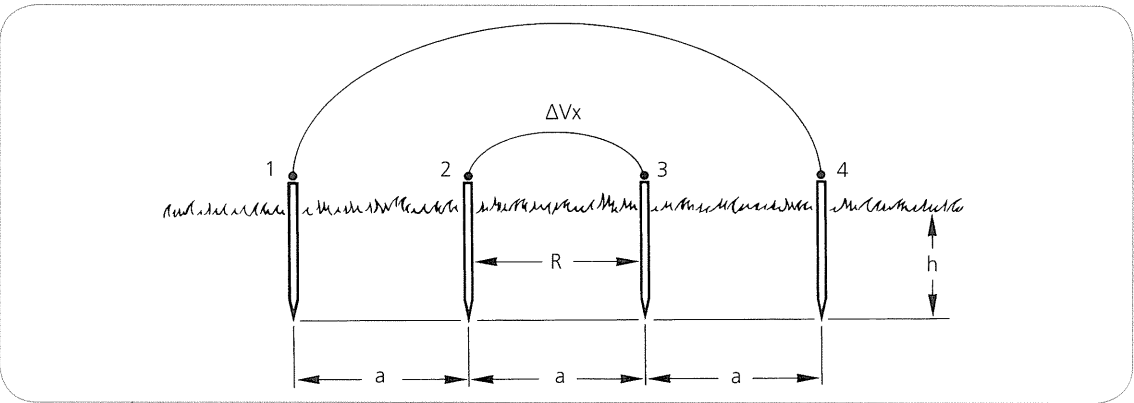
donde:

- $\rho$  = resistividad del terreno en ohmios por metro,
- h* = longitud de la pica en metros,
- d* = diámetro de la pica en metros.
- R* = resistencia de la toma de tierra

2.23.4 Medida de la resistividad

La resistividad, se mide generalmente por el sistema de Wenner o de las cuatro picas.

Consiste en clavar cuatro picas equidistantes y en línea, enviando una corriente alterna entre los extremos 1 y 4, y variar la resistencia variable del aparato, de tal forma que el puente de Wheatstone, que se establezca en el aparato entre su resistencia interna, la resistencia variable que se emplea para la medida y la del terreno entre las dos picas centrales, anula la corriente del galvanómetro.



Medida de la resistividad de un terreno.

El valor de la resistencia se mide a una profundidad (h) y para calcular la resistividad, se emplea la fórmula

$$\rho = 2 \times \pi \times a \times R$$

donde:

$\rho$  = resistividad del terreno en ohmios por metro.

$a$  = distancia en metros.

$R$  = resistencia medida en el aparato en ohmios.