

Guía práctica Física y Química para Bomberos



Índice

1. FÍSICA

- 1.1 Magnitudes físicas en los sistemas de unidades
- 1.2 Sistemas de unidades
- 1.3 Unidades de medida por dimensión
- 1.4 Cinemática
- 1.5 Dinámica
- 1.6 Máquinas elementales
- 1.7 Trabajo y energía
- 1.8 Notas sobre geometría

-
- 2.1 La materia: Átomo y molécula
 - 2.2 Cambios en la materia: Estados de agregación
 - 2.3 Los gases ideales y sus leyes
 - 2.4 Reacciones químicas
 - 2.5 Termoquímica
 - 2.6 Ácidos y bases

1. Física

1.1 Magnitudes físicas en los sistemas de unidades

1.1.1 Definiciones

Magnitud es todo aquello susceptible de ser medido o cuantificado, y **magnitud física** cualquier característica de un sistema que no comporte un cambio químico.

Medir es comparar una cantidad con su respectiva unidad patrón, con el fin de averiguar cuántas veces el patrón está contenido en la cantidad medida. Medir es comparar dos magnitudes de la misma especie, una de las cuales se toma como unidad.

Como resultado de la medición se obtiene una **cantidad** de magnitud, la cual es el número de unidades o de veces que es equivalente a la magnitud unitaria o patrón con que se ha comparado.

Toda **magnitud física** queda definida cuando se expresa mediante una **cantidad** o **valor** y una **unidad de medida**. Por ejemplo, en el enunciado “ha transcurrido un tiempo de 3 años” *tiempo* es una magnitud física, 3 es el valor o cantidad de esta magnitud y *año* es la unidad de medida en que se ha expresado.

Las magnitudes físicas pueden ser **intensivas** o **extensivas**:

- Son intensivas cuando su valor es **independiente** de la **cantidad del sistema** o sustancia a que está referida. Ejemplos: densidad, temperatura, calor específico o posición.
- Son extensivas, cuando el valor de la misma se obtiene como resultado de la **suma** de los valores de las partes del sistema. Ejemplos: masa, superficie, volumen o peso.

Independientemente de la clasificación anterior las magnitudes físicas pueden ser **escalares** o **vectoriales**:

- Son magnitudes escalares aquellas que quedan completamente definidas expresando el **valor** y la **unidad de medida** correspondiente. Por ejemplo, la masa, la temperatura, la densidad o la presión.
- Las magnitudes vectoriales se expresan mediante un **vector**, debido al carácter geométrico de la magnitud. Quedan completamente definidas expresando el **módulo** o **amplitud** del vector, esto es, su valor y unidad de medida, la **dirección**, determinada por una recta, y el **sentido** dentro de esta recta, determinada por una flecha. Ejemplos: velocidad, fuerza, aceleración o peso.

1.1.2 Magnitudes fundamentales y derivadas

Son **magnitudes fundamentales** aquellas cuyas unidades se eligen arbitrariamente tomándose como base para construir los diferentes sistemas de unidades y no tienen una ecuación que las defina. También se conocen como magnitudes básicas o simples.

La elección de un conjunto de **unidades patrón**, **unidades estándar** o **unidades básicas**, para cada una de estas magnitudes fundamentales elegidas, determina un **sistema de unidades**. De la misma manera que las magnitudes fundamentales, la elección de las unidades básicas se adopta por **convenio**.

Por ejemplo, eligiendo como magnitudes fundamentales el **espacio** y el **tiempo**, y estableciendo las unidades de centímetro y hora, respectivamente, podemos definir un sistema de unidades que abarcaría solamente la cinemática. Otros campos de la física no se podrían explicar con estas unidades por no poder definir las unidades apropiadas para otras magnitudes como la fuerza o la intensidad de corriente eléctrica.

A partir de las magnitudes fundamentales se definen las **magnitudes derivadas** cuando quedan terminantemente definidas por las primeras.

Siguiendo con el ejemplo anterior, en el sistema de unidades basado en el centímetro y la hora, el espacio y el tiempo serían **magnitudes fundamentales** mientras que la **velocidad** y la **aceleración** serían magnitudes derivadas de las básicas, que tendrían como unidades el **cm/h** y el **cm/h²**, respectivamente.

Esto pone de manifiesto que las magnitudes físicas son básicas o derivadas por convenio, solo depende del sistema de unidades elegido.

1.1.3 Análisis dimensional

También por acuerdo las magnitudes físicas se organizan en un sistema de dimensiones de la siguiente manera:

- Cada **magnitud fundamental** tiene asignada una **sola dimensión**, quedando así definida cada dimensión según la magnitud fundamental adoptada en el sistema de unidades. La magnitud tiempo tiene asignada la dimensión tiempo, la masa la magnitud masa, etc.
- Las **magnitudes derivadas** tienen asignada una combinación de dimensiones especificada por una **ecuación**. La ecuación de dimensiones de la magnitud derivada es la que se deduce de la ecuación física de la magnitud derivada en función de las magnitudes fundamentales. Por ejemplo, la magnitud derivada área tiene dimensiones de longitud por longitud, o longitud al cuadrado.

La ecuación física que define la velocidad es espacio dividido por tiempo, así la **ecuación de dimensiones** de la velocidad sería:

$$[v] = LT^{-1}$$

La ecuación de dimensiones de la fuerza se puede deducir a partir de la siguiente relación de magnitudes físicas:

$$F = ma = m \frac{v}{t} = m \frac{l/t}{t}$$

Una vez expresada la fuerza en función de sus magnitudes fundamentales, la ecuación de dimensiones es directa:

$$[F] = MLT^{-2}$$

El análisis de las dimensiones de una ecuación es una herramienta útil para determinar si una fórmula es correcta o no comprobando las dimensiones y unidades de las magnitudes que intervienen. Supongamos, por ejemplo, que estamos usando erróneamente la fórmula $A = 2\pi R$ para calcular el área de un círculo. Se puede comprobar inmediatamente que la ecuación no es correcta puesto que tiene dimensiones de longitud mientras que el área tiene dimensiones de longitud al cuadrado. La coherencia dimensional es una condición necesaria pero no suficiente para que una ecuación sea correcta. Una fórmula puede tener las dimensiones correctas en cada término pero no describir una situación física.

Existen ciertas magnitudes físicas que carecen de dimensiones o, lo que es lo mismo, su ecuación de dimensiones es igual a uno, $[Q] = 1$, y reciben el nombre de magnitudes adimensionales.

Cualquier magnitud expresada en tanto por ciento o tanto por uno, por su misma definición, es adimensional. Otro caso son todas aquellas que son cociente de magnitudes de la misma dimensión, como espacio por espacio, densidad por densidad, o los números adimensionales como el Reynolds o el número de Mach. Ejemplos de magnitudes físicas adimensionales son el ángulo sólido, el ángulo plano, la densidad relativa, la fracción de masas, etc.

1.1.4 Magnitudes vectoriales

Las magnitudes vectoriales son aquellas que quedan definidas por un vector. Geométricamente un vector está representado por un segmento de recta de cierta amplitud, un sentido dentro de dicha recta y un punto de la recta en el que comienza.



Figura 1 - Representación de un vector

Los **elementos constitutivos** de un vector son:

- **Dirección.** Todo vector está contenido en una recta que indica la dirección en que se manifiesta la magnitud física.
- **Sentido.** Uno de los dos lados hacia el que puede desplazarse un punto de la recta. Se representa por una flecha.
- **Módulo.** Es el valor, cantidad o amplitud de la magnitud que gráficamente se representa con la longitud del segmento de recta. Como toda magnitud física debe tener su unidad de medida.

1.1.4.1 Sistema de referencia

Debido al **carácter geométrico** de los vectores se hace preciso tener un sistema de referencia para definir las **coordenadas** del vector.

El sistema de referencia más común es el de **ejes cartesianos**, formado por dos rectas perpendiculares. En dos dimensiones este sistema se representa por dos rectas graduadas en la dimensión de la magnitud correspondiente que se cortan en el cero u origen, normalmente representado por O.

La recta horizontal recibe el nombre de **eje de abscisas** y se representa por la letra x . La recta vertical se denomina **eje de ordenadas** y se representa por la letra y .

Las **coordenadas de un punto** en un sistema de referencia son el par de valores x e y que representan el valor de la magnitud en el eje de abscisas y el valor de la magnitud en el eje de ordenadas. Un punto cualquiera A se define por sus coordenadas genéricas (x, y) .

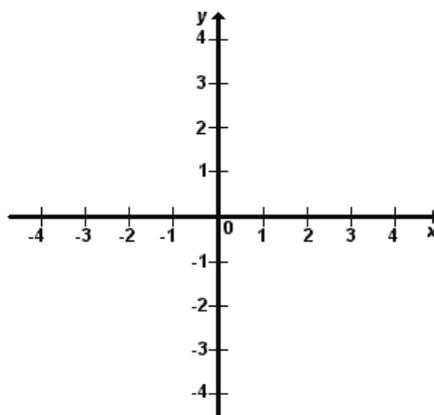


Figura 2 - Sistema de coordenadas

La representación de un punto A mediante sus coordenadas nos vale para definir completamente el **vector OA**, quedando establecidos sus elementos constitutivos:

- Módulo, la amplitud del segmento OA.
- Dirección, la de la recta que pasa por los puntos O y A.
- Sentido, el que recorre la recta del punto O al punto A.
- Punto de aplicación, un punto de la recta, en este caso el origen de coordenadas O.

1.1.4.2 Módulo de un vector

El módulo de un vector es la amplitud del segmento de recta que lo define. Como las coordenadas del vector determinan los catetos de un triángulo rectángulo la amplitud del vector es la hipotenusa de este triángulo.

El teorema de Pitágoras proporciona el valor del módulo. Observar que la dimensión del módulo es el mismo que el de las coordenadas.

$$\text{módulo} = \sqrt{x^2 + y^2}$$

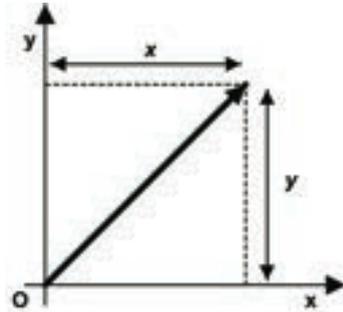


Figura 3 - Módulo de un vector

1.1.4.3 Suma y resta de vectores

Por tratarse de elementos matemáticos pueden realizarse ciertas operaciones algebraicas con vectores como son la suma y la resta.

La suma y la resta de un vector se pueden realizar de dos maneras diferentes: **geoméricamente** o **algebraicamente**. La suma de dos vectores tiene como resultado otro vector.

- La suma geométrica de dos vectores \vec{a} y \vec{b} consiste en dibujar el vector \vec{a} y a continuación el vector \vec{b} con origen en el extremo del vector \vec{a} . Uniendo el origen del vector \vec{a} con el extremo del vector \vec{b} así dibujado se obtiene el vector suma $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$.
- La resta geométrica consisten en proceder como el caso anterior sumando al vector \vec{a} el vector $-\vec{b}$, que es el mismo vector con sentido opuesto. Observar que la suma o la resta geométrica de vectores no precisa de sistema de referencia.
- La suma algebraica de dos vectores \vec{a} y \vec{b} consiste en sumar las coordenadas correspondientes obteniendo otro vector \vec{c} referido al mismo sistema de referencia:

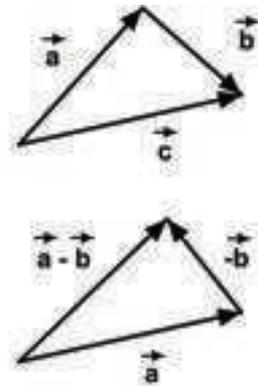


Figura 4 - Suma y resta de vectores

$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b} \begin{cases} \vec{a} = (x_a, y_a) \\ \vec{b} = (x_b, y_b) \end{cases} \rightarrow \vec{c} = (x_a + x_b, y_a + y_b)$$

1.1.4.4 Descomposición de un vector en un sistema de referencia

Al abordar problemas en física muchas veces son conocidos los vectores y su ubicación y se ha de elegir un sistema de coordenadas para abordarlos. Como da igual el sistema de referencia elegido por simplicidad se toma aquel que simplifica más la resolución del problema.

Un problema típico de la dinámica es el movimiento de un cuerpo en el **plano inclinado**. Para abordar este problema se elige un sistema de coordenadas centrado en el cuerpo con uno de los ejes en la misma dirección del plano inclinado. De esta manera el problema se simplifica. La descomposición de la **fuerza peso** de un cuerpo en el plano inclinado es la siguiente:

$$P_x = P \sin \theta$$
$$P_y = P \cos \theta$$

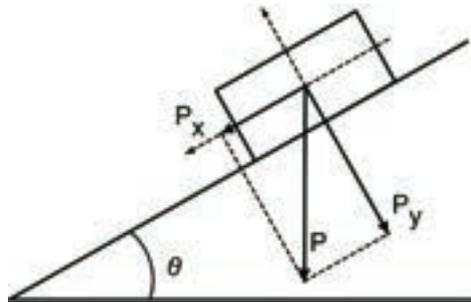


Figura 5 - Descomposición de la fuerza peso en el plano inclinado

1.1.4.5 Notación vectorial

Las magnitudes físicas vectoriales suelen representarse normalmente de dos maneras diferentes, bien con una **flecha** encima del símbolo que las representa, o bien en letra **negrita**.

Por ejemplo, para la velocidad suele emplearse la letra uve, de modo que el vector velocidad se representa como \vec{v} o como \mathbf{v} .

Para referirnos al módulo de una magnitud vectorial se emplea el mismo símbolo **sin negrita** o **sin flecha** encima. Otra manera más explícita de referir el módulo de una magnitud vectorial es poniendo el símbolo con flecha entre **dos barras** verticales. Siguiendo con el ejemplo de la velocidad, su módulo se representa como $|\vec{v}|$ o v .

1.2 Sistemas de unidades

Un sistema de unidades se define como un **conjunto de unidades** provenientes de unas **unidades básicas**, las cuales pertenecen también a dicho conjunto, conformando todas ellas el sistema de unidades.

Las unidades básicas han sido elegidas arbitrariamente para unas magnitudes fundamentales, adoptadas también arbitrariamente, para definir así el sistema de unidades.

Según las magnitudes fundamentales elegidas y su número se pueden abarcar unos campos u otros de la física. Por ejemplo, con dos magnitudes fundamentales se abarca la cinemática, con tres la mecánica, con cuatro la electricidad, etc. La física actual se explica con un total de siete magnitudes fundamentales.

1.2.1 La unidad de medida

La **unidad de medida** es una cantidad arbitraria adoptada para comparar con ella magnitudes de su misma especie. En la elección de cada unidad influye la extensión de la cantidad a medir, es decir, aunque todas las magnitudes pueden expresarse en cualquiera de sus unidades de medida, no se emplea la misma unidad para la medir la distancia entre estrellas que para la distancia entre ciudades.

La expresión de una medida es un número concreto. Esto es, el número de veces que la magnitud medida contiene a la unidad, seguida del nombre o expresión de la unidad empleada. Por ejemplo, 25 kilómetros, 3 horas o 123 kilogramos.

Toda unidad de medida debe poder expresar la **igualdad** y la **suma**. Así, se puede establecer que dos medidas son iguales, o que una magnitud contiene 2, 3, 4 o un número de veces la unidad. De aquí surge el concepto de **múltiplo** de la unidad y, por oposición, de **submúltiplo** como divisiones de la unidad.

1.2.2 Sistema Internacional de Unidades

Se adoptó este sistema de unidades en la XI Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM) de 1960, fecha en que se le dio este nombre y su abreviatura SI.

1.2.2.1 Tipos de unidades SI

El Sistema Internacional de Unidades se basa en establecer siete magnitudes fundamentales para las cuales se adoptan unas **unidades básicas** a partir de las cuales se definen:

- Unidades derivadas. Definidas como productos de potencias de las unidades básicas (m^2 , m/s o m^3/kg).
- Unidades derivadas con nombre propio. Son aquellas unidades derivadas que, para simplificar su expresión, se les ha dado un nombre propio como julio, vatio, pascal o newton.

Las unidades derivadas que no tienen ningún factor en el producto de potencias de unidades básicas que las definen se denominan **unidades derivadas coherentes**. Por ejemplo, el km no es una unidad derivada coherente porque la unidad metro tiene un factor de 1.000 correspondiente al prefijo kilo.

Las unidades básicas y las derivadas coherentes forman el denominado conjunto de **unidades SI coherentes**. El uso de estas unidades en las leyes físicas garantiza obtener los resultados en unidades de este mismo conjunto.

El **conjunto completo de unidades SI**, **unidades SI** o simplemente **SI** está formado por:

- Unidades SI coherentes.
- Múltiplos y submúltiplos de las anteriores formados por su combinación con los prefijos SI.

Hasta 1995 las unidades SI podían pertenecer a una de estas clases:

- Básicas.
- Derivadas.
- Suplementarias (radián y estereorradián).

Desde 1995, en la XII CGPM, se decide **anular** la clase de unidades suplementarias considerándose desde entonces **unidades derivadas adimensionales**.

Así pues, a partir de 1995, las clases o tipos de unidades SI son:

- Unidades básicas.
- Unidades derivadas. Estas, a su vez y sin ser categorías excluyentes, pueden ser:
 - Unidades derivadas con nombre propio.
 - Unidades derivadas coherentes.

1.2.2.2 Magnitudes fundamentales y unidades básicas

Las magnitudes fundamentales que definen el Sistema Internacional y sus unidades básicas correspondientes se muestran en la **Tabla 1**. El símbolo usado para representar la dimensión se puede ver en la Tabla 66 del apéndice.

Magnitud fundamental		Unidad básica SI	
Nombre	Símbolo	Nombre	Símbolo
Longitud	$l, x, r, \text{etc.}$	metro	m
Masa	m	kilogramo	kg
Tiempo, duración	t	segundo	s
Corriente eléctrica	I, i	amperio	A
Temperatura termodinámica	T	kelvin	K
Cantidad de sustancia	N	mol	mol
Intensidad luminosa	I_v	candela	cd

Tabla 1 - Magnitudes fundamentales y unidades básicas SI

1.2.2.3 Unidades derivadas y unidades derivadas con nombre propio

Las unidades derivadas del SI son cualquier combinación de unidades básicas o combinación de unidades derivadas entre sí. Ejemplos de unidades derivadas más usuales son: el metro cuadrado (m^2) para el área, el metro cúbico para el volumen (m^3), el metro por segundo (m/s) para la velocidad, el kilogramo por metro cúbico (kg/m^3) para

la densidad, etc. Se pueden consultar más ejemplos de unidades derivadas del SI en la Tabla 67 del apéndice.

A algunas unidades derivadas, por uso común o por motivos históricos se les ha dado un nombre propio. El número de unidades derivadas con nombre propio definidas por el Sistema Internacional son veintidós, ni una más ni una menos. Ejemplos de estas unidades son el newton (N) para la fuerza, el pascal (Pa) para la presión, el hercio (Hz) para la frecuencia, el vatio (W) para la potencia, el voltio (V) para la tensión eléctrica, el julio (J) para la energía, etc. Se pueden consultar más ejemplos de unidades derivadas con nombre propio en la Tabla 68 del apéndice.

1.2.2.4 Prefijos SI

Entre otras definiciones, el Sistema Internacional estandarizó los factores para la creación de **múltiplos** y **submúltiplos** de las unidades SI y poder adaptarlas a la magnitud a medir, son los denominados prefijos SI mostrados en la Tabla 2. A lo largo de los años la lista se ha ido completando hasta llegar a los múltiplos más grandes y submúltiplos más pequeños de exponente 24.

Factor	Prefijo	Símbolo	Factor	Prefijo	Símbolo
10	deca	da	0,1	deci	d
100	hecto	h	0,01	centi	c
1.000	kilo	k	0,001	mili	m
10^6	mega	M	10^{-6}	micro	μ
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y

Tabla 2 - Múltiplos y submúltiplos SI

1.2.3 Otros sistemas de unidades

La Tabla 3 muestra otros sistemas de unidades y las magnitudes fundamentales y unidades básicas adoptadas para definirlos.

Sistema de unidades	Magnitudes fundamentales	Unidades básicas	
		Nombre	Símbolo
CGS	Longitud	centímetro	cm
	Masa	gramo	g
	Tiempo	segundo	s
MKS	Longitud	metro	m
	Masa	kilogramo	kg
	Tiempo	segundo	s
MKSA	Longitud	metro	m
	Masa	kilogramo	kg
	Tiempo	segundo	s
	Corriente eléctrica	amperio	A
Práctico	Longitud	metro	m
	Masa	kilogramo	kg
	Tiempo	segundo	s
	Corriente eléctrica	amperio	A
	Temperatura termodinámica	kelvin	K
	Intensidad luminosa	candela	cd
Técnico	Longitud	metro	m
	Fuerza	kilogramo-fuerza	kgf
	Tiempo	segundo	s

Tabla 3 – Definición de otros sistemas de unidades

Los sistemas de unidades detallados en la Tabla 3 son los principales. Existen diversos sistemas de unidades usados, los cuales han ido evolucionando históricamente conforme la física abarcaba más campos y precisaba de nuevas unidades para las magnitudes descubiertas:

- Sistema métrico decimal.
- Sistema inglés de unidades.
- Sistema CGS, o cegesimal.
- Sistema MKS.
- Sistema MKSA, Giorgi o Giorgi eléctrico.
- Sistema práctico, antecesor del SI con seis unidades básicas.
- Sistema técnico.
- Sistema natural.
- Sistema atómico.

1.2.3.1 Sistema métrico decimal

Fue adoptado internacionalmente en la primera Conferencia General de Pesos y Medidas en 1889, ocasión en la que se establecieron los prototipos internacionales de metro y kilogramo.

El **sistema métrico decimal** o simplemente **sistema métrico** es un sistema de unidades basado en el **metro** y en el **kilogramo** en el cual se establecen múltiplos y submúltiplos decimales de estas unidades definidos mediante los prefijos mostrados en la Tabla 4.

Prefijo	Factor	Símbolo
miria	10.000	ma
kilo	1.000	k
hecto	100	h
deca	10	da
deci	0,1	d
centi	0,01	c
mili	0,001	m

1.2.3.2 Sistema inglés

Conocido también como sistema **anglosajón**, **imperial** o **imperial británico**, es el conjunto de unidades **no decimales** que se utilizan actualmente en muchos territorios de habla inglesa o de influencia anglosajona, como Estados Unidos, Australia, Panamá, Puerto Rico, Nueva Zelanda, etc.

Tabla 4 – Múltiplos y submúltiplos del sistema métrico decimal

Debido a su evolución histórica a lo largo de los siglos existen diferencias entre el sistema utilizado en países influenciados por el Reino Unido e influenciados por Estados Unidos, así como diferencias de valor para una misma magnitud o empleo de unidades específicas para medir determinadas sustancias.

Nombre	Símbolo	Dimensión
Milla terrestre	mi	Longitud
Yarda	yd	Longitud
Pie	ft	Longitud
Pulgada	in	Longitud
Pinta	pt	Capacidad
Galón	gal	Capacidad
Onza	oz	Masa
Libra	lb	Masa
Tonelada	T	Masa
Libra fuerza	lbf	Fuerza
Libra pulgada cuadrada	psi	Presión
Grado Fahrenheit	°F	Temperatura

Tabla 5 – Unidades del sistema inglés

Física

La principal característica del sistema de unidades inglés es que las partes de una unidad o sus múltiplos no guardan relaciones decimales (potencias de 10), sino otros factores enteros *arbitrarios*.

Cabe destacar que ciertas unidades inglesas son diferentes a las americanas, por ejemplo:

- 1 gal (USA) = 3,78 L
- 1 gal (imperial) = 4,54 L

También se diferencia la **tonelada larga** o británica de 2.240 lb y la **tonelada corta** o americana de 2.000 lb.

Las unidades inglesas de masa basadas en la libra, pueden tener una equivalencia diferente según pertenezcan al sistema **troy**, basado en una libra de 12 onzas, o al sistema **avoirdupois**, con una libra de 16 onzas.

Otras unidades comunes son la **onza** como medida de capacidad o masa, el **grado Fahrenheit** para la temperatura o las **psi** para la presión.

1.2.3.3 Sistema CGS

En la Tabla 6 se muestran algunas de las unidades CGS.

Magnitud	Nombre	Símbolo
Energía	Ergio	erg
Fuerza	Dina	dyn
Viscosidad dinámica	Poise	P
Viscosidad cinemática	Stoke	St
Presión	Baria	baria
Aceleración	Gal	Gal
Flujo magnético	Maxwell	Mx
Densidad de flujo magnético	Gauss	G

Tabla 6 – Unidades CGS

1.2.3.4 Sistema técnico

También recibe el nombre de **sistema terrestre** o **gravitatorio** por estar basado en la fuerza con que la Tierra atrae a una masa de un kg.

En este sistema se define el kilogramo fuerza (**kgf**) o kilopondio (**kp**) como la fuerza con que la Tierra atrae a un kg tomando como aceleración de la gravedad el valor $980,655 \text{ cm/s}^2$.

El sistema terrestre es similar al MKS pero elige como magnitud fundamental la **fuerza** en vez de la **masa**. Esto da lugar a que la masa sea una **magnitud derivada** y no

básica. El nombre que recibe la unidad de masa en el sistema técnico es **unidad técnica de masa (utm)**.

La **equivalencia** entre utm y kg se puede obtener a partir de la definición de kp, que es la fuerza de atracción gravitatoria correspondiente a un kg:

$$m = \frac{P}{g_n} = \frac{1 \text{ kgf}}{9,80655 \text{ m/s}^2} = \frac{1}{9,80655} \text{ utm} = 0,102 \text{ utm} = 1 \text{ kg}$$

La **unidad de presión** en el sistema técnico es el kgf/m². Por resultar muy pequeña esta unidad se adopta un múltiplo más útil, cuyo valor unitario es aproximadamente igual al valor de la presión atmosférica estándar: el **kgf/cm²**, muchas veces escrito como kg/cm², también denominado **atmósfera técnica (at)**:

$$10^4 \text{ kgf/m}^2 = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 1 \text{ at}$$

La **unidad de energía** se denomina **kilográmetro (kgm)** o **kilopondímetro (kpm)**. La **unidad de potencia** se denomina **kilográmetro por segundo (kgm/s)** múltiplo del caballo de vapor (CV), siendo 1 CV = 75 kgm/s.

1.3 Unidades de medida por dimensión

1.3.1 Unidades de longitud

La unidad de longitud en el SI es el metro, definido como la "longitud del camino recorrido por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de 1/299.792.458 de segundo". Otras unidades de longitud y su equivalencia SI se muestran en la Tabla 7.

Unidad	Símbolo	Equivalencia
Miriámetro	mam	10.000 m
Legua		4.828 m
Milla marina	M	1.852 m
Milla	mi	1.609 m
Yarda	yd	91,44 cm
Pie	ft	30,48 cm
Pulgada	in o "	2,54 cm
Año-luz	año-luz	$9,46 \cdot 10^{12}$ m
Micrómetro o micra	μm	10^{-6} m
Nanómetro	nm	10^{-9} m
Angstrom	Å	10^{-10} m

Tabla 7 - Unidades de longitud

1.3.2 Unidades de velocidad y aceleración

En navegación la velocidad se mide en **nudos** cuya definición es una milla marina por hora (1,85 km/h o 0,514 m/s) , uno de sus símbolos más comunes es “kn” (abreviatura del inglés *knot*) .

El **gal** (Gal) es la unidad de aceleración en el sistema CGS empleada en geodesia y geofísica para medir la aceleración debida a la gravedad.

Unidad	Símbolo	Equivalencia
Revoluciones por minuto	rpm	1/60 Hz
Hercios	Hz	$1/2\pi$ rad/s
Radianes por segundo	rad/s	2π Hz
Vueltas por minuto		1 rpm
Ciclos por minuto		1 rpm

Tabla 8 – Unidades de velocidad angular o frecuencia

Para cuantificar la velocidad del viento y su fuerza se emplea una antigua escala dividida del 0 al 12 que recibe el nombre de **escala Beaufort**, debido a su creador. Puesto que se trata de una escala de aplicación en marina la velocidad del viento se expresa en nudos, ver la Tabla 69 del apéndice.

1.3.3 Unidades agrarias

Se conoce por unidades agrarias las unidades usadas para medir **superficies en el campo**. Se basan en el **área** (a) de 100 m² y su múltiplo y submúltiplo **hectárea** (ha) y **centiárea** (ca), respectivamente. Las equivalencias entre las unidades agrarias se muestran en la Tabla 9.

Unidad agraria	Equivalencia SI	
1 ha	10.000 m ²	1 hm ²
1 a	100 m ²	1 dam ²
1 ca	1 m ²	

Tabla 9 – Unidades agrarias

1.3.4 Unidades de volumen y capacidad

Ambas son unidades de la magnitud física volumen, con dimensión [L³]. Se conocen por **unidades de volumen** aquellas expresadas como una unidad de longitud elevada al cubo: m³, dm³, cm³ o cc, in³, etc. Las **unidades de capacidad** son aquellas que expresan una cantidad elegida arbitrariamente de volumen a la cual se le ha dado un

nombre concreto: litro, media, quinto, o pinta. La equivalencia de las unidades de volumen y capacidad se muestra en la Tabla 70 del apéndice.

1.3.5 Unidades de masa

El **kilogramo** fue la unidad de masa definida por el sistema métrico decimal sancionándose posteriormente en 1889 su patrón internacional por la I CGPM. Dicho patrón es el que perdura hasta hoy como definición de kilogramo adoptada por el SI: “un kilogramo es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo”, adoptado por la III CGPM en 1901. Ver la Tabla 71 del apéndice para consultar las equivalencias.

1.3.6 Unidades de fuerza

El **newton** (N) es la unidad de fuerza en el Sistema Internacional que puede definirse como la fuerza que aplicada a una masa de un kilogramo provoca una aceleración de un metro por segundo, cada segundo (1 m/s^2). El **decanewton** (daN) es una unidad de fuerza comúnmente usada en catálogos y aplicaciones prácticas de elementos usados por personas por tener una equivalencia del orden del kilogramo-fuerza. Otro múltiplo común del newton es el **kilonewton** (kN).

Análogamente la **dina** (dyn), unidad CGS, es la fuerza que aplicada a una masa de un gramo le imprime una aceleración de un centímetro por segundo, cada segundo, (1 cm/s^2), o bien la aceleración de un gal (Gal).

En el **sistema técnico** la unidad de fuerza es el **kilopondio** (kp), unidad básica, definido como la fuerza con que la Tierra atrae a una masa de un kilogramo, esto es, definido como el peso de un kilogramo de masa. El kilopondio también recibe la denominación de **kilogramo-fuerza** (kgf).

En el sistema técnico, por la relación establecida entre kilopondio y kilogramo en la definición del kilopondio, y por economía parlante, se tiende a llamar a la unidad de fuerza *kilogramo*, en vez de kilopondio o kilogramo-fuerza. Así, es frecuente encontrar en la bibliografía, sobre todo técnica, valores de fuerza expresados en *kilogramos*. Por ejemplo, las resistencias de cuerdas, de mosquetones, de puntales, la fuerza máxima que ejercen las herramientas de descarceración, etc. Igual sucede con la tonelada-fuerza (tf), equivalente al peso de 1.000 kg, que tiende a llamarse *tonelada*. El **pondio** o **gramo-fuerza** (gf) sería un submúltiplo.

La equivalencia entre unidades de fuerza puede consultarse en la Tabla 72 del apéndice y se puede determinar a partir de la definición de cada una de las unidades:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 = 1.000 \text{ g} \cdot 100 \text{ cm/s}^2 = 10^5 \text{ g} \cdot \text{cm/s}^2 = 10^5 \text{ dyn}$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 = 0,102 \text{ utm} \cdot 1 \text{ m/s}^2 = 0,102 \text{ utm} \cdot \text{m/s}^2 = 0,102 \text{ kgf}$$

$$1 \text{ kgf} = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,81 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 9,81 \text{ N}$$

$$1 \text{ kgf} = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 1.000 \text{ g} \cdot 9,81 \cdot 100 \text{ m/s}^2 = 9,81 \cdot 10^5 \text{ dyn}$$

1.3.7 Unidades de energía y trabajo

La unidad de trabajo y energía en el SI es el **julio** (J), definido como el trabajo que realiza una fuerza de un newton cuando el punto de aplicación se desplaza un metro en la misma dirección y sentido de la fuerza.

En el sistema CGS la unidad de trabajo o energía es el **ergio** (erg), definido como el trabajo realizado por una fuerza de una dina cuando su punto de aplicación se desplaza un centímetro en la misma dirección y sentido de la fuerza.

En el sistema técnico la unidad de trabajo es el **kilogrametro** (kgm o kgfm) o **kilopondímetro** (kpm), definido como el trabajo que se realiza al elevar verticalmente una masa de un kilogramo a un metro de altura y, por extensión, el trabajo realizado por una fuerza de un kilopondio cuando su punto de aplicación se desplaza un metro en la misma dirección y sentido de la fuerza.

Las equivalencias entre ergio, julio y kilopondímetro se obtiene fácilmente a partir de las correspondientes equivalencias de las unidades de fuerza. Consultar la Tabla 73 del apéndice para ver las equivalencias de las unidades de energía.

La unidad usada para medir el consumo de energía eléctrica es el **kilovatio-hora** (kW-h o kWh), que es la unidad en que se establece el precio de la energía eléctrica en España.

Además de la **caloría** (cal), existen otras unidades de energía utilizadas para la medición del calor: la **termia**, y otras unidades anglosajonas como la tonelada equivalente de petróleo (TEP), la tonelada equivalente de carbón (TEC) y la más extendida la unidad térmica inglesa (BTU o Btu). El BTU, *British thermal unit*, se define como la cantidad de calor necesaria para elevar un grado Fahrenheit la temperatura de una libra de agua, en condiciones ambientales de 1 atm y 60 °F (15 °C) y equivale a 252 calorías o 1.054 julios.

La equivalencia mecánica del calor establece relación entre calorías y julios, siendo una caloría equivalente a **4,18 J** o, lo que es lo mismo, un julio equivalente a **0,24 cal**.

1.3.8 Unidades de potencia

La unidad de potencia en el SI es el vatio (W) definido como la potencia que en un segundo proporciona la energía de un julio.

En el sistema técnico la unidad de potencia es el **kilopondímetro por segundo** (kpm/s) y el CGS es el **ergio por segundo** (erg/s), ambas unidades sin nombre propio.

El **caballo de vapor** (CV) es otra unidad de potencia, equivalente a 75 kgm/s y utilizada en la Europa no inglesa. Fue definido en los orígenes del sistema métrico decimal, intentando obtener un valor similar al caballo de fuerza inglés (abreviado HP, del inglés *horse power*), como la potencia necesaria para elevar verticalmente una masa de 75 kg a una altura de un metro en un tiempo de un segundo. Ver las equivalencias del caballo de fuerza y otras unidades de potencia en la Tabla 74 del apéndice.

Las unidades eléctricas de potencia hay que interpretarlas adecuadamente para diferenciar la potencia **real** o **activa** expresada en vatios (W) de la potencia **aparente** expresada en voltamperios (VA) o *kaveas* (kVA, kilovoltioamperios), como se explica en el apartado 4.7.3. De la misma manera que la unidad $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ es una unidad de fuerza por corresponderse con el producto de masa por aceleración, pero le denominamos newton (N) por simplicidad, podríamos decir que la unidad VA (voltio por amperio) es una unidad de potencia, pues tiene dimensión de potencia y, efectivamente, es equivalente al vatio (W). Sin embargo, por **convención** no significan lo mismo y se utiliza el vatio para identificar la potencia real y la kavea para indicar la potencia aparente, debiéndose analizar una y otra a través del factor de potencia.

1.3.9 Magnitud de cantidad de sustancia. El mol

La **cantidad de sustancia** es una magnitud empleada para contar el número de entidades de un grupo. Unidades de esta magnitud podrían ser el par, el trío o la docena, pero en realidad la magnitud se utiliza en química y física de partículas para contar un número muy grande de entidades: átomos o moléculas. Tiene carácter discreto, en el sentido que su valor es un número entero positivo.

El origen del mol se establece al fijar en 12 la masa atómica (12 uma) de uno de los isótopos del carbono, el carbono-12¹, y definir el **mol** como:

- La cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kg de carbono 12.
- Su símbolo es "mol".

Cuando el mol es usado, las entidades elementales deben especificarse y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas, o grupos específicos de estas partículas.

A partir de la definición de mol, contando los átomos de ¹²C que hay en una muestra de 12 g se obtiene el valor del **número de Avogadro** N_A , que determina las unidades que contiene un mol².

$$N_A = 6,0221415 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

El número de unidades $N(X)$ de cualquier muestra X de sustancia se pueden calcular conociendo el número de moles n así:

$$N(X) = N_A \cdot n(X)$$

Según la definición de mol, el **peso atómico** o **masa atómica** cuya unidad es la unidad de masa atómica (uma o u) de una sustancia tiene dimensiones de masa dividido por cantidad de sustancia, kg/mol en el SI. La unidad usada comúnmente en química es el g/mol. Al establecer en 12 el peso atómico del carbono significa que 12 gramos de carbono es la cantidad de masa que tiene un mol de átomos de este elemento.

¹ Los isótopos de un elemento se representan con un superíndice en la parte superior izquierda del símbolo del elemento, en este caso es ¹²C.

² Este valor es de Chang, 2010. Otros autores dan otras cifras, por ejemplo Burns en *Fundamentos de Química* (2003), aporta $6,022045 \cdot 10^{23}$.

1.3.10 Magnitudes y unidades angulares

Las magnitudes angulares son dos:

- El ángulo plano.
- El ángulo sólido.

Mientras que el ángulo plano se puede medir en radianes y en grados de diferentes escalas el ángulo sólido se mide en estereorradianes. Además de en radianes, los ángulos se miden en **grados, minutos y segundos**, bien de la división centesimal o bien de la división sexagesimal. La circunferencia se divide en cuatro cuadrantes o ángulos rectos iguales.

1.3.10.1 El radián

El **radián** se define como el ángulo correspondiente a un arco de circunferencia de igual longitud que su radio y es el cociente entre esta longitud de arco y el radio. Es la unidad de ángulo plano en el SI.

En el valor de los ángulos expresados en radianes interviene muchas veces el número π cuando se trata de divisiones enteras de la circunferencia (π rad, $\pi/2$ rad, 2π rad, etc.). Una vuelta completa se corresponde con la longitud de la circunferencia $2\pi R$, con lo cual el ángulo en radianes para esta circunferencia de radio R es:

$$\alpha = \frac{2\pi R}{R} = 2\pi \text{ rad}$$

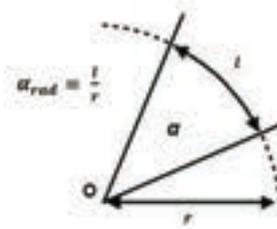


Figura 6 - Radián

1.3.10.2 Grados sexagesimales

En la **división sexagesimal** el ángulo recto se divide en 90 grados, lo que hace una circunferencia de **360 grados**. El grado se divide en 60 minutos y el minuto, a su vez, en 60 segundos. El grado sexagesimal, o simplemente **grado**, se representa con el símbolo «°», el minuto con el símbolo «'» y el segundo con el símbolo «"». También pueden denominarse por **deg** (del inglés *degree*). Por ejemplo $83^{\circ} 45' 27,5''$.

1.3.10.3 Grados centesimales

En la **división centesimal** el ángulo recto se divide en cien grados, lo que da lugar a una circunferencia de **400 grados**. El grado se divide en cien minutos y el minuto en cien segundos. El grado centesimal se denomina **gonio, gon o grad**, pudiéndose representar con el superíndice «^g» a la derecha del número: 34 gonios o 34^g . Los minutos y los segundos centesimales se representan bien con el símbolo «'» para el minuto y «"» para el segundo, o bien con los superíndices «^m» y «^s», respectivamente. Es lo mismo $34^g 45' 78''$ que $34^g 45^m 78^s$.

1.3.10.4 Milésima

Otra unidad para medir ángulos es la **milésima militar**, **milésima** o milésima artillera definida como el ángulo menor de un triángulo rectángulo cuya proporción entre el cateto mayor y el cateto menor es de 1/1.000, es decir la correspondiente a una pendiente de 0,1 %. Esta medida angular equivale, aproximadamente, a dividir la circunferencia en 6.400 partes, lo cual determina una equivalencia de $1^\circ = 17,6$ milésimas.

Ángulo	Denominación	División Sexagesimal	División Centesimal	Radianes
Vuelta	1 ciclo	360°	400^g	2π
Tres cuartos de vuelta	$\frac{3}{4}$ revolución	270°	300^g	$3\pi/2$
Media vuelta	Ángulo llano	180°	200^g	π
Cuadrante	Ángulo recto	90°	100^g	$\pi/2$

Tabla 10 – Equivalencia entre las diferentes escalas de ángulo plano

1.3.10.5 Ángulo sólido

Extrapolando el concepto de ángulo plano a las tres dimensiones del espacio se define el **ángulo sólido** como la porción de esfera limitada por un cono que tiene por vértice el centro de la esfera y por base el casquete esférico delimitado por la superficie cónica.

La definición analítica de ángulo sólido ω se hace en base a la superficie del casquete esférico abarcado por el cono. Denominando S_{ce} a esta superficie y siendo R el radio de la esfera, tenemos:

$$\omega = \frac{S_{ce}}{R^2}$$

La unidad en que se mide el ángulo sólido es el **estereorradián** (sr), y es la unidad en el SI. El valor de los estereorradianes correspondientes al ángulo sólido que abarca toda la superficie del casquete esférico se calcula a partir de la superficie de la esfera $4\pi R^2$:

$$\omega = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi \text{ sr}$$

1.3.11 Escalas termométricas

Una definición elemental de temperatura puede ser decir que la **temperatura** es la causa de la sensación de frío y de calor, siendo los términos caliente, frío, templado o tibio formas no cuantitativas de expresar esta magnitud.

Un **termómetro** es el dispositivo que registra la variación de una propiedad termométrica a partir de la cual se determina la temperatura. No es posible reproducir un patrón de unidad térmica.

Una **propiedad termométrica** es una magnitud física relacionada directamente con la temperatura. Los termómetros registran las variaciones de estas propiedades para

determinar la temperatura, por ejemplo variaciones de presión, variaciones de volumen o variaciones de resistencia eléctrica.

La temperatura es una magnitud especial en el sentido que no se puede definir la suma pero sí la **igualdad**. Es decir, no tiene sentido sumar las temperaturas de dos cuerpos, pero sí se puede comprobar si tienen igual temperatura. Basándose en la igualdad de temperaturas se comprueba experimentalmente que mientras dura el cambio de fase de una sustancia pura esta no varía. El cambio de estado sucede siempre a una misma temperatura fija, para cada presión, denominada **punto fijo**.

Las **escalas termométricas** se definen estableciendo dos puntos fijos y asignando a cada uno de ellos un valor arbitrario que mide la temperatura en esa escala. La elección de dos puntos fijos determina el **intervalo fundamental** de temperaturas, que dividido en n partes iguales da lugar a los grados de la escala. Los dos puntos fijos elegidos para definir las diferentes escalas termométricas son la **ebullición del agua** y la **fusión del hielo**, ambos considerados a una atmósfera estándar de presión.

1.3.11.1 Escalas absolutas

Una **escala absoluta** de temperatura es aquella que tiene como origen de temperaturas el cero correspondiente a una presión nula en un termómetro de gas. Es decir, la temperatura correspondiente al vacío perfecto. Puesto que la presión y la temperatura de un gas son variables ligadas, la temperatura cero del gas se corresponde con su presión cero.

El **cero absoluto** se encuentra a $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Así pues, en las escalas termométricas absolutas basta definir un solo punto fijo, al que se le asigna un valor arbitrario, puesto que el otro punto tomado como referencia ya está definido.

1.3.11.2 Escalas de temperatura

Las **escalas de temperatura** más comunes son:

- Escala Celsius o centígrada.
- Escala Reaumur.
- Escala inglesa o Fahrenheit.
- Escala absoluta Kelvin, o absoluta centígrada.
- Escala absoluta Rankine, o absoluta Fahrenheit.

La **escala Celsius** toma como puntos fijos la fusión del hielo, asignándole el valor de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, y la ebullición del agua con un valor de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, quedando dividido el intervalo termométrico en 100 partes iguales, 100 grados Celsius. Esta escala de temperatura es la de **temperatura Celsius** (t) y su unidad se representa por " $^{\circ}\text{C}$ ", siendo su denominación correcta **grado Celsius** y no grado centígrado o grado centesimal.

La **escala Reaumur**, completamente en desuso, toma como puntos fijos los mismos que la escala Celsius pero les asigna valores diferentes. El intervalo fundamental se divide en 80 partes iguales o grados Reaumur. El símbolo usado puede ser " $^{\circ}\text{Re}$ ", " $^{\circ}\text{r}$ " o " $^{\circ}\text{R}$ ". La fusión del hielo se fija en $0\text{ }^{\circ}\text{Re}$ y la ebullición del agua $80\text{ }^{\circ}\text{Re}$.

La **escala Fahrenheit** toma como puntos fijos la fusión y ebullición del agua, asignándole al primero un valor de 32 grados y al segundo 212 grados, quedando dividido el intervalo fundamental en 180 partes iguales. El grado Fahrenheit se representa por “°F”.

La **escala absoluta Kelvin** elige el **punto triple del agua** como punto fijo al que le asigna un valor de 273,16 K (0,01 °C). Desde 1967 la CGPM **anuló** la utilización de los nombres “grado” o “grado Kelvin” y el símbolo “°K” para referirse a esta unidad de medida, quedando establecido su nombre en “kelvin” y su símbolo en “K”. El kelvin tiene la misma amplitud que el grado Celsius por lo que las diferencias de temperatura en estas dos escalas pueden expresarse indistintamente en K o °C.

La escala **absoluta Rankine**, es la escala Fahrenheit absoluta en el sentido de que sus grados tienen la amplitud del grado Fahrenheit. Esto hace que la fusión del hielo se sitúe en 491,67 °Ra y la ebullición del agua en 671,67 °Ra, obteniéndose un intervalo fundamental dividido en 180 grados, como la escala Fahrenheit. Los grados Rankine se representan por “°Ra”, “°R” o “R” sin el símbolo “°” por similitud con el kelvin.

1.3.11.3 Equivalencias entre las distintas escalas

El kelvin y el grado Celsius tienen la misma amplitud $\Delta T = \Delta t(^{\circ}\text{C})$, siendo la relación entre ambas escalas:

$$T = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

La amplitud del grado Celsius $\Delta t(^{\circ}\text{C})$ y la del kelvin ΔT es 1,8 veces más grande que la amplitud del grado Fahrenheit $\Delta t(^{\circ}\text{F})$ y la del Rankine $\Delta t(^{\circ}\text{Ra})$, así la relación entre las amplitudes de las escalas es:

$$\Delta t(^{\circ}\text{Ra}) = \Delta t(^{\circ}\text{F}) = 1,8 \Delta T = 1,8 \Delta t(^{\circ}\text{C})$$

El grado Reaumur es 1,25 veces más grande que el grado Celsius siendo la relación entre ambas escalas:

$$t(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{4} t(^{\circ}\text{Re})$$

Por último, las escalas Celsius y Fahrenheit están relacionadas así:

$$t(^{\circ}\text{F}) = 1,8 t(^{\circ}\text{C}) + 32 ; t(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9} [t(^{\circ}\text{F}) - 32]$$

Punto fijo	°C	°Re	°F	K	°Ra
Ebullición del agua	100,00	80,00	212,00	373,15	671,67
Fusión del agua	0,00	0,00	32,00	273,15	491,67
Cero absoluto	-273,15	-218,52	-459,67	0,00	0,00

Tabla 11 – Equivalencia entre los puntos fijos de las escalas de temperatura

1.4 Cinemática

La **mecánica** es la parte de la física que trata de las leyes generales del equilibrio o movimiento de los cuerpos sometidos a la acción de fuerzas que le son aplicadas. El estudio del movimiento de los cuerpos prescindiendo de las causas que lo producen y de su contenido material constituye la parte de la dinámica denominada **cinemática**.

La **mecánica clásica** se divide en: dinámica, estática y cinemática.

1.4.1 Definiciones

Supongamos el estudio de una partícula que se mueve en el espacio con respecto a un sistema de referencia O, recorriendo una curva entre los instantes t_1 y t_2 . La partícula se encuentra en el punto A en el instante t_1 y posteriormente en el punto B en el instante t_2 .

- **Posición.** La posición \vec{r} de la partícula queda determinada por las coordenadas que tiene en cada instante con respecto al sistema de referencia O. Las coordenadas de la partícula se representan por el vector \vec{r} . En el instante t_1 tiene la posición \vec{r}_1 y en el instante t_2 la posición \vec{r}_2 .
- **Trayectoria.** Conforme la partícula se desplaza y transcurre el tiempo va ocupando unos lugares en el espacio que determinan su recorrido. La curva que describe en el espacio la partícula al desplazarse se denomina trayectoria. La trayectoria es una curva geométrica cualquiera como pueda ser una recta, una circunferencia, una espiral o una curva de forma arbitraria.
- **Distancia o espacio recorrido.** Es la longitud de curva recorrida por la partícula a lo largo de su trayectoria entre los instantes t_1 y t_2 . Se trata de una magnitud escalar, representada muchas veces por s .
- **Desplazamiento.** Es el cambio de posición de la partícula entre dos instantes dados. El desplazamiento es una magnitud vectorial que determina la variación del vector posición entre los instantes t_1 y t_2 . Suele expresarse matemáticamente por $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$.
- **Velocidad.** Magnitud que determina el espacio recorrido por la partícula por unidad de tiempo cuando recorre la trayectoria. Se trata de una magnitud vectorial representada por \vec{v} .
- **Aceleración.** Magnitud que determina la variación del vector velocidad con el tiempo. Esta magnitud vectorial \vec{a} tiene una incidencia doble sobre la velocidad: por una parte determina la variación del módulo de la velocidad y por otra la variación de su dirección, es decir, determina la trayectoria que sigue la partícula. La aceleración mide la tasa de variación de la velocidad con el tiempo y la dirección de su vector es independiente de la trayectoria de la partícula.

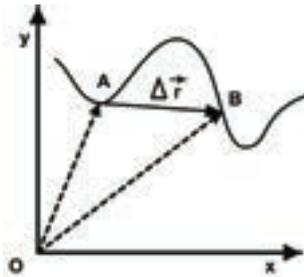


Figura 7 - Posición y trayectoria de una partícula

1.4.1.1 Valores instantáneos

Se define el vector \vec{r} como la **posición instantánea** de la partícula en un instante determinado de tiempo. A partir de las definiciones anteriores, la **velocidad instantánea** \vec{v} de la partícula en un punto P de la trayectoria es un vector **tangente** a la curva de la trayectoria en dicho punto, y sentido el del movimiento de la partícula. La **aceleración instantánea** \vec{a} en el punto P es otro vector, que en el caso general no tiene por qué tener la misma dirección que la velocidad.

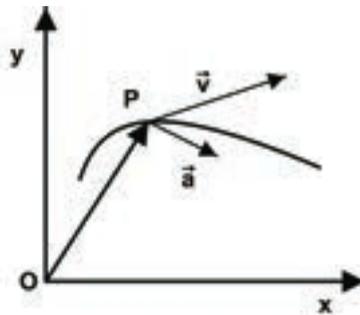


Figura 8 - Valores instantáneos para una partícula

1.4.1.2 Valores medios

Se define la **velocidad media**, magnitud sin carácter vectorial, como la velocidad constante que hubiera seguido la partícula a lo largo de la trayectoria entre los puntos A y B cuando hubiera empleado el intervalo de tiempo $\Delta t = t_2 - t_1$. Si se denomina s el recorrido sobre la curva de la trayectoria entre los puntos A y B, la velocidad media es:

$$v_{med} = \frac{s}{\Delta t}$$

Se define la **aceleración media**, magnitud escalar, como la aceleración constante que hubiera tenido la partícula al desplazarse entre los puntos A y B entre los instantes t_1 y t_2 :

$$a_{med} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Donde v_1 y v_2 son el módulo de las velocidades instantáneas en los puntos A y B, respectivamente.

1.4.2 Clasificación del movimiento según la forma de la trayectoria y de la aceleración

En función de las características geométricas de la **trayectoria**, el movimiento de una partícula se puede clasificar en:

- Movimiento **rectilíneo**. Cuando su trayectoria es una recta.
- Movimiento **curvilíneo plano** o **bidimensional**. Cuando su trayectoria es una curva contenida en un plano, por ejemplo una parábola, una elipse o una circunferencia.
- Movimiento **curvilíneo en el espacio** o **tridimensional**. Cuando su trayectoria es una curva alabeada. Se denominan curvas alabeadas aquellas que no están contenidas en un plano, como una hélice.

1.4.2.1 Movimiento rectilíneo

Es el más sencillo de analizar. El sistema de coordenadas elegido tiene **un solo eje**, por ejemplo el eje x . Los vectores posición, velocidad y aceleración descritos anteriormente tienen todos la **misma dirección**, la de la recta de la trayectoria, y su sentido viene determinado por su **signo** positivo o negativo, según el origen de referencia elegido. Así, todas las magnitudes pierden su carácter vectorial, representándose por su **módulo con signo**.

Según su aceleración, el **movimiento rectilíneo** se clasifica de esta manera:

- Movimiento rectilíneo de **aceleración variable**. La aceleración es una función del tiempo, de la posición o de la velocidad.
- Movimiento rectilíneo de **aceleración constante**. La aceleración toma un valor fijo y establecido. Por ejemplo en la caída vertical de los cuerpos, donde la aceleración es la aceleración de la gravedad. Se diferencian dos tipos:
 - Movimiento uniforme, cuando la aceleración es nula, conocido por las siglas MU o MRU.
 - Movimiento uniformemente acelerado, cuando la aceleración es distinta de cero, conocido por las siglas MUA o MRUA.

1.4.2.2 Movimiento curvilíneo plano

Destacamos dos casos especiales de este tipo de movimiento, ambos basados en las ecuaciones del MRUA:

- El movimiento circular, en el que la trayectoria es una circunferencia.
- El movimiento parabólico desarrollado por cualquier cuerpo en movimiento de caída libre afectado por la gravedad en una trayectoria distinta de la recta vertical.

1.4.3 Ecuaciones del MRUA

Estas son las ecuaciones básicas de la cinemática con las que es posible resolver multitud de problemas reales en los que se cumplan los siguientes requisitos:

- Se analiza el movimiento del cuerpo entre un instante de tiempo inicial y otro final, siendo dicho intervalo de tiempo t .
- El cuerpo se desplaza entre dos puntos de su trayectoria empleando para ello un tiempo t y recorriendo un espacio x .
- La aceleración del movimiento es nula o un valor constante a , positivo o negativo.
- La trayectoria del cuerpo es una línea recta, o se puede suponer que es recta.

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$v = v_0 + a t$$

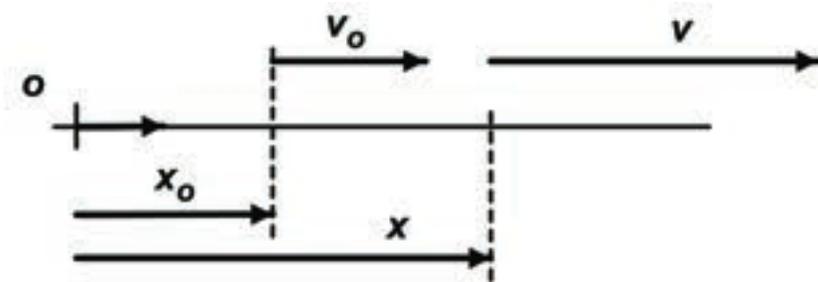


Figura 9 - Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado

La velocidad del cuerpo en el punto de inicio de la trayectoria es v_0 y al final, transcurrido el tiempo t , es v . El espacio anteriormente recorrido, antes de considerar el intervalo de tiempo t , es x_0 , muchas veces considerado nulo según se elija el sistema de referencia.

1.4.4 Aceleración

1.4.4.1 Componentes intrínsecas

En un movimiento plano curvilíneo se definen dos direcciones características en cada punto de la trayectoria: la **normal** y la **tangencial**. La dirección tangencial es la de la recta tangente en el punto considerado. La dirección normal es la perpendicular a la recta tangente a la curva en dicho punto.

Descomponiendo la aceleración en las direcciones normal y tangencial se obtiene la siguiente expresión:

$$\vec{a} = a_t \vec{t} + \frac{v^2}{\rho} \vec{n}$$

La cual representa la aceleración del movimiento descompuesta en sus **componentes intrínsecas**:

- **Aceleración tangencial**, \vec{a}_t responsable de la variación del módulo de la velocidad.
- **Aceleración normal**, \vec{a}_n responsable del cambio de dirección del movimiento.

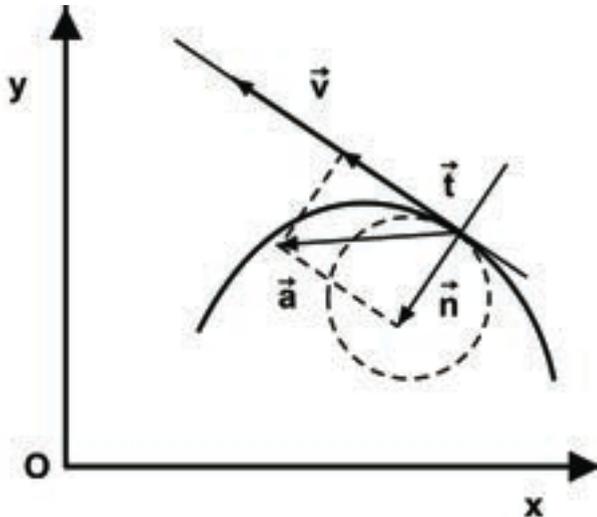


Figura 10 - Componentes intrínsecas de la aceleración

Según la trayectoria del movimiento se distinguen dos casos en los que las componentes intrínsecas de la aceleración se anulan:

- En el movimiento **rectilíneo** la **aceleración normal** es nula, solo existe aceleración tangencial.
- En el movimiento **circular** la aceleración tangencial toma un valor distinto de cero si varía el módulo de la velocidad. Si el módulo de la velocidad es constante la aceleración tangencial es nula pero la aceleración normal toma el valor $a_n = v^2/R$, donde v es el módulo de la velocidad y R es el radio de la circunferencia de trayectoria.

1.4.4.2 Aceleración de Coriolis

Cuando un cuerpo se desplaza a lo largo de una trayectoria rectilínea la cual a su vez tiene un movimiento giratorio aparece una aceleración sobre el cuerpo de valor:

$$a_c = 2\omega v \sin \alpha,$$

donde ω es la velocidad angular del giro, v la velocidad lineal del cuerpo en la trayectoria rectilínea y α el ángulo que forman la vertical del giro con el vector velocidad lineal.

La aceleración de Coriolis explica varios fenómenos terrestres en los que debido a la rotación de la Tierra y el movimiento rectilíneo sobre su superficie se pone de manifiesto:

- El sentido de giro de los vórtices de agua en los sumideros, el cual es opuesto en cada hemisferio terrestre: en el hemisferio norte es antihorario y en el sur es el de las agujas del reloj.
- El sentido de giro de las borrascas atmosféricas, siendo en cada hemisferio terrestre diferente: antihorario en el norte y horario en el sur.
- El desgaste más acusado en uno de los lados de los raíles ferroviarios.

1.4.5 Cinemática angular

Uno de los casos más comunes de **movimiento curvilíneo plano** es aquel con trayectoria circular. La partícula se mueve dando vueltas a un centro siguiendo una circunferencia de radio fijo R . Las magnitudes que caracterizan este movimiento son **escalares** y no tienen la dimensión distancia sino que están basadas en el ángulo plano o distancia angular, a saber:

- **Ángulo o distancia angular** θ . Es el ángulo recorrido desde el origen tomado como referencia. Tiene dimensiones de ángulo plano, midiéndose en **rad** en el SI.
- **Velocidad angular** ω . Es el espacio angular recorrido por unidad de tiempo. Tiene dimensiones de $[T^{-1}]$, **rad/s** en el SI. Otras unidades usadas para esta magnitud son las vueltas por minuto, **rpm**, o vueltas por segundo **Hz**.
- **Aceleración angular** α . Es la variación de la velocidad angular con el tiempo. En unidades SI se mide en **rad/s²**.

1.4.5.1 Magnitudes periódicas

Debido al carácter periódico o cíclico de este tipo de movimiento, existen otras magnitudes que es preciso definir. Cada ciclo o vuelta del movimiento se caracteriza temporalmente por:

- **Periodo**. Es el intervalo de tiempo que tarda un ciclo en completarse. Magnitud con dimensiones de tiempo, se mide en segundos (s) en el SI.
- **Frecuencia**. Se define como el inverso del periodo o como el número de ciclos que se producen por unidad de tiempo. Aplicado al movimiento circular el ciclo corresponde a una vuelta, pero esta magnitud se usa en otros campos. Tiene dimensiones de s^{-1} y se mide en el SI en hertzios (**Hz**). Si representamos el periodo por T y la frecuencia por f la relación entre ambas magnitudes es:

$$f = \frac{1}{T}$$

Aplicado al movimiento circular uniforme, si el periodo es el tiempo que transcurre en dar una vuelta completa la partícula y 2π rad es el espacio angular recorrido, la relación entre el periodo, la frecuencia y la velocidad angular será:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

1.4.5.2 Relación entre magnitudes angulares y lineales

Las magnitudes angulares están relacionadas con las lineales a través del radio de la circunferencia:

$$\theta = \frac{l}{R}; \quad \omega = \frac{v}{R}$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

$$\alpha = \frac{a_t}{R}$$

Ecuaciones del MCUA:

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$
$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

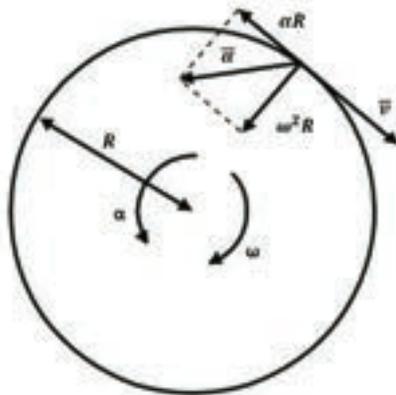


Figura 11 - Esquema del movimiento circular acelerado

1.5 Dinámica

La dinámica estudia el estado de movimiento y reposo de los cuerpos atendiendo a la causa que lo produce. Para ello se analiza la interacción entre los cuerpos y su contenido material. Para definir las magnitudes de la dinámica se hace preciso utilizar una magnitud fundamental más que en la cinemática: la masa.

La magnitud física que expresa la medida cuantitativa de la interacción mecánica de los cuerpos se denomina **fuerza**. El estudio de los cuerpos en movimiento bajo la acción de las fuerzas que actúan sobre ellos corresponde a la **dinámica**.

1.5.1 Magnitudes mecánicas

1.5.1.1 Fuerza

La **fuerza** es la magnitud física que mide la intensidad de la interacción de los cuerpos. La acción de una fuerza sobre un cuerpo se caracteriza por su intensidad o módulo, dirección y sentido así como por su punto de aplicación. Es decir, la fuerza es una **magnitud vectorial**.

Cuando varias fuerzas actúan sobre un mismo cuerpo este conjunto de fuerzas se denomina **sistema de fuerzas**. La suma un sistema de fuerzas actuando sobre un cuerpo es una única fuerza denominada **resultante** o fuerza resultante.

Las **fuerzas fundamentales** de la naturaleza son:

- Fuerza gravitatoria.
- Fuerza nuclear fuerte.
- Fuerza electromagnética.
- Fuerza nuclear débil.

El resto de las fuerzas que podemos observar son manifestaciones macroscópicas de las fuerzas fundamentales o combinaciones de estas. Destacan las siguientes:

- Fuerzas de rozamiento.
- Fuerzas elásticas.
- Fuerzas de contacto, ligadura o vínculo. Son las que aparecen entre cuerpos en contacto físico, como por ejemplo la fuerza normal.

Los **efectos** que provocan las fuerzas al actuar sobre los cuerpos son:

- Poner en movimiento.
- Modificar el movimiento.
- Deformar los cuerpos.
- Someterlos a presión en caso de fluidos.
- Someterlos a tensión en caso de los sólidos: compresión y tracción.

1.5.1.2 Momento y par de fuerzas

El momento de una fuerza \vec{F} con respecto a un punto P es un vector \vec{M} de dirección perpendicular al plano formado por la línea de acción de la fuerza y el punto P. El **módulo** de este momento es el producto del módulo de la fuerza por la distancia del punto P a la línea de acción de la fuerza.

$$M = Fd$$

$$|\vec{M}| = |\vec{F}|d$$

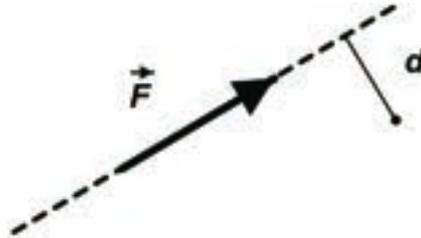


Figura 12 – Momento de una fuerza

El momento de una fuerza se mide en N·m en unidades SI y es una magnitud vectorial.

Si existe una semejanza entre las magnitudes lineales y angulares en cinemática, como el espacio lineal y el espacio angular, o la velocidad lineal y velocidad angular, se puede establecer otra semejanza entre la fuerza y momento como magnitud lineal y magnitud angular, respectivamente.

Dos fuerzas paralelas, iguales en módulo y sentidos opuestos pero con diferentes líneas de acción se denominan **par de fuerzas** o simplemente par.

Aunque la resultante de las fuerzas del par es nula este sistema no está equilibrado. La acción del par de fuerzas se mide por su momento, definido como el producto del módulo de una fuerza por la distancia que separa sus líneas de acción. La distancia entre las fuerzas se denomina brazo del par.

$$M = F \frac{d}{2} + F \frac{d}{2} = Fd$$

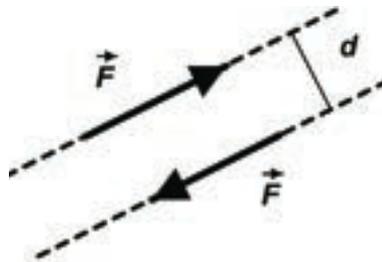


Figura 13 - Par de fuerzas

1.5.1.3 Cantidad de movimiento

Se define la **cantidad de movimiento** o momento lineal como el producto de la velocidad por la masa de un cuerpo, es una magnitud vectorial con la misma dirección y sentido que la velocidad:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

La cantidad de movimiento mide, de alguna manera, la inercia que tiene un cuerpo en movimiento a alcanzar el reposo, o en caso de encontrarse en reposo, la resistencia que ofrece a ponerse en movimiento.

Se define el **impulso mecánico** o impulsión como el producto de una fuerza por un intervalo de tiempo, tiene también carácter vectorial, con sentido y dirección el de la fuerza, siendo su módulo:

$$I = F\Delta t$$

Las dimensiones de la cantidad de movimiento y del impulso mecánico son las mismas, y sus unidades SI, por tanto, también (kg·m/s).

1.5.2 Leyes de Newton de la mecánica

Describen tanto el estado de reposo o de movimiento de una partícula sometida a la acción de fuerzas debidas a la interacción con los cuerpos de su entorno, así como el hecho de que las fuerzas aparecen siempre a pares.

Las tres leyes se consideran **axiomas** y no derivan de una teoría anterior, su veracidad está justificada por cientos de miles de experimentos realizados durante años que las corroboran.

1.5.2.1 Primera ley o principio de inercia

En relación al estado de reposo o de movimiento uniforme (MRU) de una partícula, si la resultante de fuerzas que actúa sobre la partícula es nula, esta mantendrá su estado inicial de reposo o de movimiento uniforme.

1.5.2.2 Segunda ley o ley fundamental de la dinámica

Establece la relación que existe entre la fuerza que actúa sobre una partícula y su aceleración, enunciando que: si la resultante \vec{F} de las fuerzas que actúa sobre una partícula es no nula, esta tiene una aceleración \vec{a} tal que la fuerza y la aceleración son vectores proporcionales, siendo la masa de la partícula m la constante de proporcionalidad. Esta ley es:

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

1.5.2.3 Tercera ley o principio de acción y reacción

Cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro cuerpo, denominada **acción**, este a su vez ejerce otra fuerza sobre el primer cuerpo, denominada **reacción**, de igual módulo, en la misma recta soporte y de sentido opuesto.

Las fuerzas de acción-reacción no se cancelan entre sí porque cada una de ellas está aplicada sobre un **cuerpo distinto**. La normal o reacción que actúa sobre un cuerpo en reposo no forma un par acción-reacción con el peso del cuerpo.

1.5.3 Ley de gravitación universal y peso de un cuerpo

Fue Newton quien, observando la caída de una manzana, se inspiró y enunció esta ley, estableciendo que dos cuerpos con masas respectivas m y M , separados una distancia r se atraen mutuamente ejerciendo cada uno de ellos una fuerza sobre el otro, constituyendo ambas fuerzas un par acción-reacción.

Estas fuerzas tienen el mismo módulo, la misma recta de acción y sentidos opuestos, estando aplicadas en el centro de gravedad de cada uno de los cuerpos. Si m es la masa del cuerpo 1, y M es la masa del cuerpo 2, \vec{F}_1 es la fuerza que ejerce el cuerpo 1 sobre el cuerpo 2, estando aplicada en 2, y \vec{F}_2 es la fuerza que, aplicada en el cuerpo 1, ejerce el cuerpo 2 sobre él. Es decir, la fuerza ejercida por cada cuerpo está aplicada en el otro.

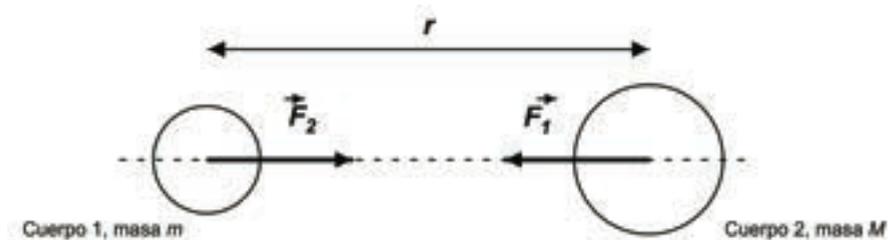


Figura 14 - Ley de la gravitación universal

Newton estableció que esta fuerza de atracción es directamente proporcional a cada una de las masas de los cuerpos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. La ley queda formulada con una constante de proporcionalidad, denominada **constante de gravitación universal** y representada por G de valor $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg s}^2)$. El módulo de esta fuerza es:

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

La fuerza con que la tierra atrae a los cuerpos cercanos a su superficie recibe el nombre de **fuerza gravitacional**, fuerza de atracción gravitatoria o **fuerza peso**. Si M_T es la masa de la Tierra, r_T su radio y m la masa de los cuerpos que atrae, se denomina g a la **intensidad de campo gravitatorio** o **intensidad de la fuerza gravitacional**, es decir, la fuerza que se ejerce por unidad de masa (N/kg), cuyo módulo es:

$$g = G \frac{M_T}{r_T^2}$$

La **fuerza peso**, o simplemente **peso** P , de un cuerpo es la fuerza con que la Tierra lo atrae siendo la misma que la anterior. Es un vector con dirección el radio terrestre y sentido hacia el centro de la Tierra. Su módulo es:

$$P = mg$$

1.5.3.1 Aceleración de la gravedad

Analizando la definición de la intensidad del campo gravitatorio, todas las variables que intervienen en ella son constantes a excepción del radio de la Tierra. Debido a la forma real del planeta, distinta de una esfera, la distancia desde su superficie al centro varía de un lugar a otro. Esto y otros factores hacen que el valor de la aceleración no sea constante sino que dependa del punto de la Tierra considerado.

El valor normalizado de aceleración de la gravedad fue adoptado por la III CGPM de 1901 y se tomó $980,665 \text{ cm/s}^2$ como valor estándar de **aceleración de la gravedad**, representándose por g_n . Este valor se redondea a $9,81 \text{ m/s}^2$, $9,8 \text{ m/s}^2$ y 10 m/s^2 .

1.5.3.2 Masa gravitatoria y masa inerte

Newton enunció dos leyes diferentes y axiomáticas para la fuerza en las que la masa interviene en ambas, la **ley fundamental de la dinámica** y la **fuerza de atracción universal**, las cuales dan lugar a la **masa inerte** o inercial y la **masa gravitatoria**, respectivamente.

Puesto que ambas leyes son independientes podríamos pensar que la masa inerte es diferente de la gravitatoria, pero esto no es así. Ambas son iguales constatándose por el hecho de que todos los cuerpos se mueven con la misma aceleración, independientemente de su masa, en su caída gravitatoria hacia el suelo. Como ejemplo: prescindiendo de las fuerzas de rozamiento con el aire, dos objetos como una bola metálica y una pluma partiendo de la misma altura caen en el mismo tiempo.

1.5.3.3 Centro de gravedad

Se define el centro de gravedad (CDG) de un cuerpo como el punto en el que se aplica la fuerza de atracción gravitatoria correspondiente a la masa de todo el cuerpo. Así, la acción gravitatoria sobre todas las partículas del cuerpo es equivalente a un sistema formado por una sola fuerza peso aplicada en el CDG. El CDG puede ser un punto perteneciente al propio cuerpo o estar en un punto del espacio no perteneciente a él.

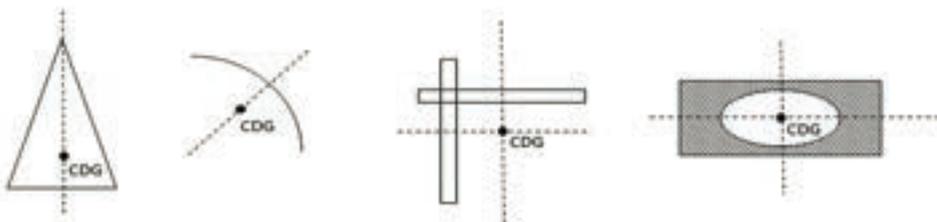


Figura 15 - Centros de gravedad en distintos cuerpos

1.5.4 Principio de conservación de la cantidad de movimiento

Supongamos que un cuerpo o una partícula se encuentran en movimiento con una velocidad \vec{v} sin que actúe ninguna fuerza sobre ellos, entonces su cantidad de movimiento $\vec{p} = m\vec{v}$ permanece constante. Este es el enunciado del principio de

conservación de la cantidad de movimiento o conservación del momento lineal, y es una consecuencia de la segunda ley de Newton.

La conservación de la cantidad de movimiento explica los fenómenos de choque entre cuerpos, distinguiéndose dos posibilidades:

- **Choque elástico.** Es el caso ideal donde se conserva toda la cantidad de movimiento, no se consideran las pérdidas de energía.
- **Choque inelástico.** Es el caso real en que parte de la cantidad de movimiento se transmite a los otros cuerpos y parte se disipa.

1.5.5 Sistemas de fuerzas

1.5.5.1 Pares de fuerzas acción-reacción

La tercera ley de Newton establece que toda fuerza-acción tiene una fuerza-reacción como contrapartida: “Cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, este ejerce una fuerza sobre el primero de igual intensidad y dirección pero sentido contrario.”

Analizando y matizando esta ley se extrae lo siguiente:

- Las fuerzas representan la interacción entre cuerpos. Es preciso identificar y aislar estos cuerpos.
- Las fuerzas no aparecen solas sino por pares.
- La fuerza acción y la fuerza reacción están aplicadas cada una en un cuerpo diferente.

Cuando se representan las fuerzas que actúan sobre un libro en reposo apoyado en una mesa, como ilustra la Figura 16, se puede destacar:

- La normal y el peso no son un par de fuerzas acción-reacción.
- El peso P representado en la figura es la fuerza con que la Tierra atrae al libro, su reacción correspondiente es la fuerza con que el libro atrae a la Tierra, aplicada en el centro del planeta.
- La normal N es la fuerza ejercida por la mesa sobre el libro, la cual tiene su opuesta del par acción-reacción en la fuerza que ejerce el libro sobre la mesa F_{ml} , ambas de igual intensidad y sentidos opuestos y aplicadas en cuerpos diferentes.

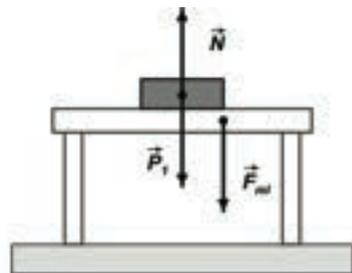


Figura 16 – Interacción de fuerzas que actúan en un libro apoyado en una mesa

1.5.5.2 Fuerzas elásticas

Se entiende por elasticidad la capacidad de los cuerpos de recuperar su posición o forma inicial cuando son sometidos a una fuerza que les produce una deformación con respecto a un estado inicial.

Las fuerzas elásticas se explican mediante el comportamiento de un muelle o resorte, que, cuando se comprime o se alarga una pequeña cantidad, la fuerza con que este responde, según se demuestra experimentalmente, es directamente proporcional al desplazamiento.

La fuerza elástica viene determinada por la **ley de Hooke**, donde k es la constante de elasticidad del cuerpo elástico y Δx es el desplazamiento del cuerpo con respecto a su posición de equilibrio:

$$F = -k\Delta x$$

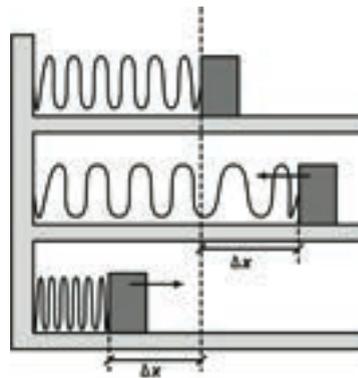


Figura 17 - Fuerzas elásticas

1.5.5.3 Fuerzas de rozamiento

Cuando sobre un cuerpo apoyado o en contacto con una superficie se ejerce una fuerza para intentar ponerlo en movimiento aparecen unas **fuerzas de rozamiento** en toda la superficie de contacto que se oponen al movimiento del cuerpo y son debidas a la **rugosidad** de las superficies y al grado de **adherencia** entre ellas.

Las fuerzas de rozamiento son parte de las **reacciones** producidas por las fuerzas activas que se ejercen sobre el cuerpo y tienen la **dirección tangencial** a las superficies en contacto.

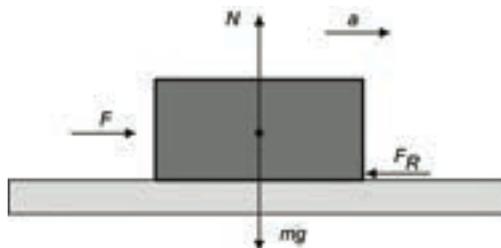


Figura 18 - Fuerzas de rozamiento

Física

Al aplicar una fuerza activa para mover el cuerpo este responde de la siguiente manera:

- Mientras la fuerza aplicada no es suficiente para poner el cuerpo en movimiento la fuerza de rozamiento se opone a esta variando de intensidad hasta un valor máximo $F_{R,máx}$ a partir del cual el cuerpo se desliza.
- Una vez producido el movimiento la fuerza de rozamiento disminuye de intensidad estabilizándose en un valor fijo $F_R < F_{R,máx}$.

La fuerza de rozamiento se determina según el modelo de rozamiento de **Coulomb** que sigue la ley:

$$F_R = \mu N,$$

donde μ es un valor adimensional denominado **coeficiente de rozamiento** determinado empíricamente y que depende de las dos superficies puestas en contacto, y N es la normal al cuerpo.

Se distinguen dos coeficientes de rozamiento según, al aplicar una fuerza, el cuerpo se mueva o no:

- Coeficiente de rozamiento estático μ_s a partir del cual, si la fuerza aplicada $F \geq \mu_s N = F_{R,máx}$ el cuerpo se desliza. Produce la denominada fuerza de rozamiento estático.
- Coeficiente de rozamiento cinético μ_c , de valor ligeramente inferior al anterior, a partir del cual, si el cuerpo se desliza, produce una fuerza de rozamiento de valor $F_R = \mu_c N$.

Las fuerzas de rozamiento son fuerzas disipativas porque el trabajo que realizan se transforma en calor disipado en el entorno. Este es el motivo por el cual el rozamiento puede ser una fuente de ignición y que explica también el calentamiento de mosquetones y otras piezas metálicas de seguridad vertical producido por el deslizamiento y roce con la cuerda.

1.5.5.4 Fuerza centrípeta y fuerza centrífuga

La **fuerza centrípeta** es la acción producida en todo movimiento de trayectoria no recta correspondiente a la **aceleración normal** aparecida sobre un cuerpo de masa m cuando describe una trayectoria curva de radio r a una velocidad v , según establece la segunda ley de Newton.

Tiene la misma dirección y sentido que la aceleración normal y su nombre significa *hacia el centro*. En el caso de una trayectoria circular la fuerza centrípeta es:

$$F_{cp} = m \frac{v^2}{r}$$

Se suele decir que la fuerza centrífuga no es una **fuerza real**. Razón no le falta a esta afirmación porque dependiendo desde dónde observemos se puede apreciar o no. Cuando viajamos en un coche y este frena bruscamente sentimos una fuerza que nos aplasta contra el asiento. Esto es debido a la primera ley de Newton, porque nuestra inercia tiende a continuar el estado de movimiento que teníamos. Sin embargo, un observador situado en el exterior del vehículo es incapaz de medir o apreciar esta fuerza. Se trata pues de una fuerza existente en un sistema de referencia **no inercial**, definido como aquel sometido a fuerzas.

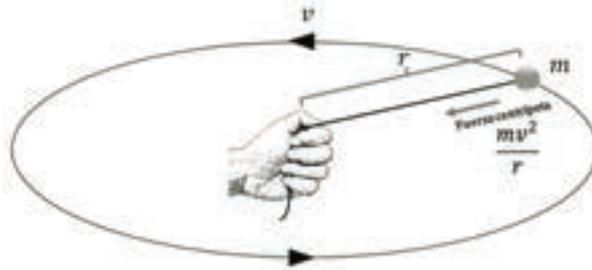


Figura 19 - Fuerzas centrífuga y centrípeta

La **fuerza centrífuga** es la fuerza que se aprecia desde un sistema de referencia no inercial cuando el cuerpo se mueve en una trayectoria curva sometido a la fuerza centrípeta. Es una fuerza de sentido opuesto a la centrípeta y de igual dirección e intensidad.

1.5.5.5 Movimiento de un cuerpo en el plano

Para analizar el movimiento de un cuerpo sometido a una fuerza exterior F y fuerzas de rozamiento, supongámoslo con una masa m y desplazándose horizontalmente sobre una superficie plana la cual tiene un coeficiente de rozamiento con el cuerpo de valor μ , como muestra la Figura 18.

Si el cuerpo se encuentra en movimiento es porque se ha superado en algún momento la fuerza de rozamiento máxima $F_{R,máx}$, pero no es posible determinar en qué condiciones se desplaza, pudiendo ocurrir una de estas tres situaciones:

- Si $F > F_R$ se mueve con velocidad creciente y por tanto con una aceleración no nula y positiva, $a > 0$.
- Si $F = F_R$ se mueve con velocidad constante y aceleración nula.
- Si $F < F_R$ se desplaza cada vez más despacio hasta detenerse. La aceleración es no nula y de valor negativo, $a < 0$.

En estas tres situaciones la aceleración del cuerpo en el eje vertical de ordenadas es nula: $a_y = 0$, y en el eje de abscisas la aceleración toma un valor $a_x = a$ determinado. Planteando la **ley fundamental de la dinámica** $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ en ambos ejes se tiene: $N - mg = 0$ en el eje vertical de ordenadas y $F - F_R = ma$ en el eje horizontal de abscisas.

De la primera ecuación se tiene el valor de la normal $N = mg$, la cual es igual al peso del cuerpo siempre que se trate de un movimiento de trayectoria horizontal. Conocida el valor de la normal, la fuerza de rozamiento viene determinada por la ley de Coulomb como:

$$F_R = \mu N = \mu mg$$

Introduciendo esta última expresión en la ecuación del eje horizontal $F - F_R = ma$ se obtiene:

$$F = m(a + \mu g),$$

de donde se puede despejar la fuerza, la masa o la aceleración según sea la incógnita del problema.

1.5.5.6 Tensión en cables

Se llama **tracción** el estado de fuerzas a que se ve sometido un sólido cuando estas actúan en la misma dirección y sentidos opuestos hacia el exterior de este, tendiendo a separar sus fibras o alargarlo.

El concepto opuesto a la tracción es la **compresión**, definida como el estado de fuerzas a que se ve sometido un cuerpo cuando estas actúan en la misma dirección y sentidos opuestos hacia el interior del cuerpo y tienden a disminuir su volumen o acortar su longitud en una determinada dirección.

Cuando un cable está involucrado en sostener o ejercer cualquier fuerza siempre está sometido a esfuerzos de **tracción**. Hay que tener presente que un cable en tensión está sometido a la misma fuerza a lo largo de toda su extensión. Por el contrario, una columna o un pilar está sometido a esfuerzos de compresión cuando soporta un peso simple.

Un caso sencillo de un cable trabajando a tracción es aquel sosteniendo un peso. El esfuerzo T a que el cable se ve sometido es el mismo peso $P = mg$ del cuerpo:

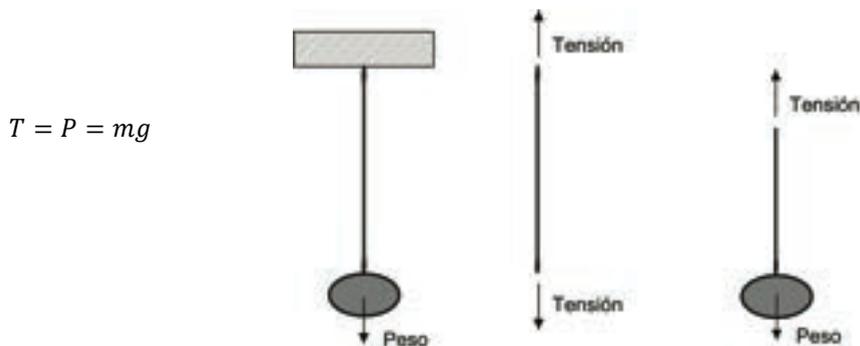


Figura 20 – Efecto del peso del cuerpo y equilibrio de fuerzas en el cable y en el conjunto cable-peso

Cuando varios cables iguales soportan un mismo peso el esfuerzo o tensión que soporta cada cable es el mismo. En el ejemplo de la Figura 21, $T_1 = T_2 = T_3$ y el valor de la tensión de cada uno de estos tres cables es la de la tercera parte del peso: $T = P/3$.

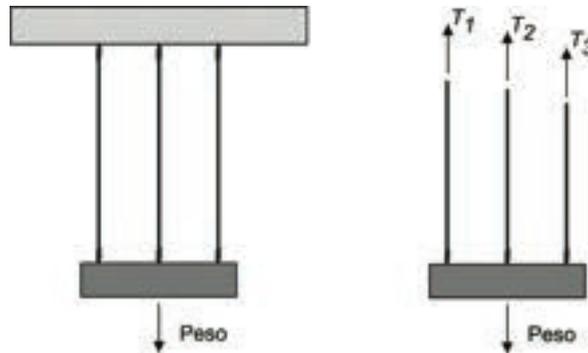


Figura 21 – Equilibrio del peso del cuerpo con la tensión de los cables

Una de las situaciones que es importante considerar y tener en cuenta es la **triangulación** que se hace en **anclajes** para cuerdas en sistemas de **protección personal** y movimiento y sustentación de **cargas**:

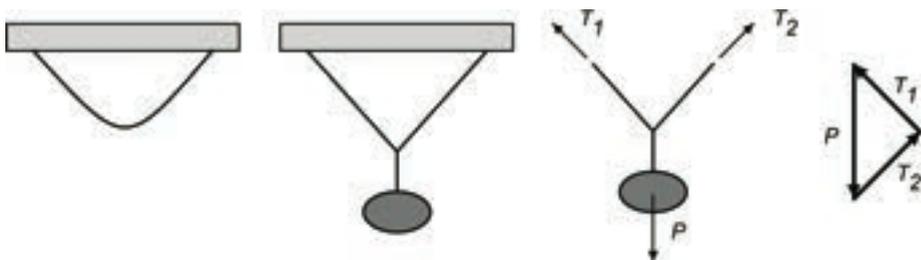


Figura 22 - Triangulaciones de fuerzas

El problema que se plantea en las triangulaciones es conocer el **ángulo crítico** para no someter a cargas excesivas la cuerda de la triangulación, así como los puntos de anclaje.

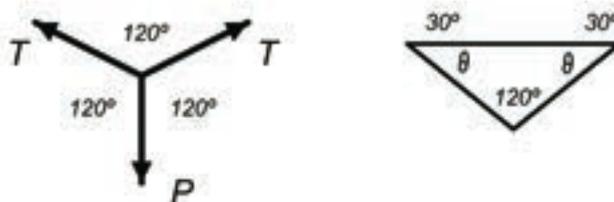


Figura 23 - Ángulo crítico

Cuando el cable de la triangulación y el cable vertical que soporta el peso forman un ángulo de 120° todos los cables soportan la misma tensión: el peso colgado $T = P$.

Cuando el ángulo θ es de 90° el cable de la triangulación soporta la mitad del peso $T = P/2$, y cuando el ángulo θ toma un valor próximo a cero la tensión en el cable aumenta mucho, por ejemplo, para un ángulo $\theta = 2^\circ$ la tensión de tracción en el cable de la triangulación es más de catorce veces el peso del cuerpo: $T > 14 P$.

1.6 Máquinas elementales

Las máquinas son dispositivos tecnológicos diseñados con el fin de aprovechar, dirigir o regular la acción de una fuerza, bien recibir cierta forma de energía y transformarla en otra más adecuada, o bien para producir un efecto determinado. La característica principal de una máquina es su capacidad de **transformar** o **transmitir** energía.

Un motor de explosión **transforma** el calor de combustión de una sustancia en energía mecánica. El sistema de transmisión de un coche **transmite** la energía mecánica del cigüeñal del motor en energía mecánica de rotación en las ruedas motrices.

Existen siete máquinas **simples**, también denominadas máquinas **elementales** o **fundamentales**. Cualquier otra máquina es una modificación o combinación más o menos compleja de una de estas, a saber: la palanca, la polea, el torno, el plano inclinado, la cuña, el tornillo y el engranaje.

Se define la **ventaja mecánica VM** de una máquina como el cociente entre la fuerza resistente F_r que realiza la máquina y la fuerza motora F_m que la acciona.

$$VM = \frac{F_r}{F_m}$$

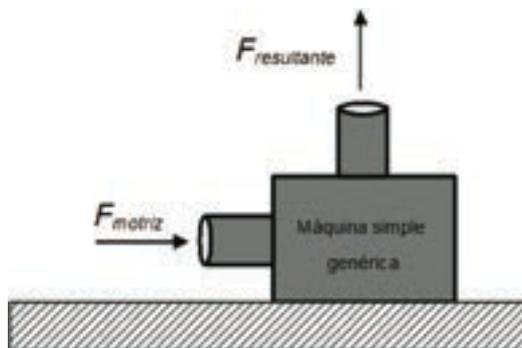


Figura 24 – Transformación de fuerzas en una máquina genérica

1.6.1 La palanca

La palanca es una máquina que transforma una fuerza aplicada o motora, denominada **potencia** P , en otra fuerza denominada **resistencia** R o fuerza resistencia. Está formada por una barra rígida que apoya en un punto fijo llamado **fulcro**.

La distancia entre el punto de apoyo de la fuerza (potencia o resistencia) y el fulcro se denomina **brazo**. Así, se distingue el **brazo potencia** BP y el **brazo resistencia** BR

como las distancias consideradas entre la potencia y el fulcro, y entre la resistencia y el fulcro, respectivamente.

La barra rígida que forma la palanca se ve sometida a dos momentos opuestos e iguales, uno producido por la potencia $M_p = P \cdot BP$ y otro producido por la resistencia $M_r = R \cdot BR$, de manera que, en una situación de equilibrio, debe cumplirse que la suma de ambos es nula: $M_p + M_r = 0$:

$$P \cdot BP - R \cdot BR = 0 \Rightarrow \frac{R}{P} = \frac{BP}{BR}$$

Expresión conocida como ley de la palanca, la cual determina la ventaja mecánica de esta máquina:

$$VM = \frac{F_r}{F_m} = \frac{R}{P} = \frac{l_{bp}}{l_{br}}$$

Según la posición relativa del fulcro y los puntos de aplicación de la potencia y de la resistencia se distinguen tres géneros o grados: palanca de primer género, palanca de segundo género y palanca de tercer género.

1.6.1.1 Palanca de primer género

El fulcro se encuentra entre la potencia y la resistencia. La ventaja mecánica puede ser mayor o menor que la unidad. Ejemplos: tenaza, tijera, balanza, el columpio de balancín, la carretilla de mano con ruedas centradas en la carga, el maneral de freno de motos y bicicletas, el alzaprima, el cuello humano, etc.

1.6.1.2 Palanca de segundo género

El punto de aplicación de la resistencia se encuentra entre el fulcro y la potencia. La $VM > 1$, es decir, la fuerza potencia se amplifica. Ejemplos: el cascanueces, el remo, la carretilla, las guillotinas de palanca para cortar, el tobillo humano, etc.

1.6.1.3 Palanca de tercer género

El punto de aplicación de la potencia se encuentra entre el fulcro y la resistencia. La $VM < 1$, es decir, la potencia es mayor que la fuerza resistencia. Ejemplos: pinzas, la pluma de una grúa, la caña de pescar, la pala de mano, o el antebrazo humano.



Figura 25 - Tipos de palancas

1.6.2 La polea

Una polea real está formada por una **roldana** móvil y un **cuerpo** o estructura que la sustenta y que dispone de un **punto de anclaje**. La roldana o rueda está acanalada, con una anchura determinada, para albergar un cable de cierto diámetro el cual se desplaza solidario a la roldana sin existir deslizamiento entre ambos. El cuerpo sustenta el eje de la roldana sobre el cual gira loca.

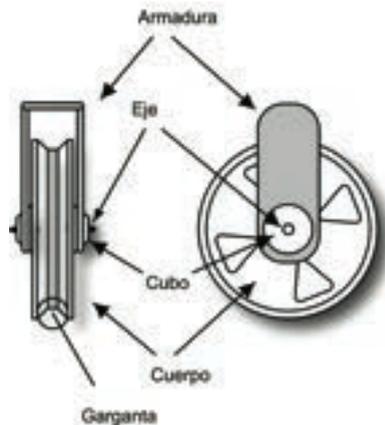


Figura 26 - Partes de una polea

1.6.2.1 Polea fija

Una polea fija no desmultiplica, solo cambia la dirección de la fuerza, su $VM = 1$ por lo que la potencia es igual a la fuerza resistencia.

1.6.2.2 Polea móvil

Una polea móvil anclada a la carga que se pretende elevar sí ofrece una potencia menor que la resistencia con una $VM = 2$.

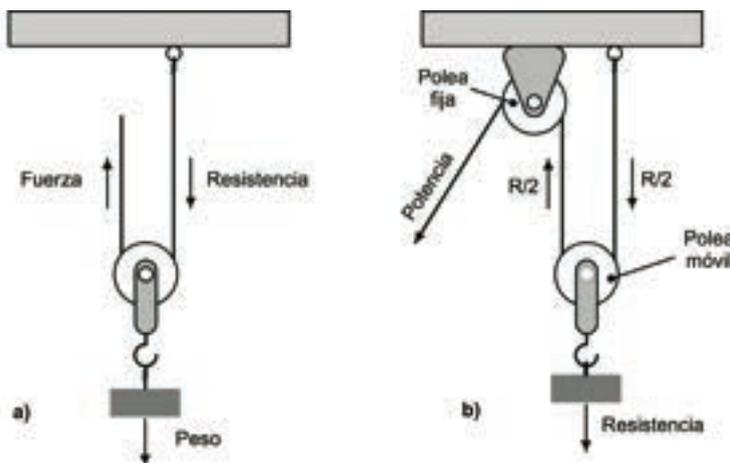


Figura 27 - Polea móvil

La Figura 27a representa el caso más simple de polea móvil solidaria a la carga a elevar. En la Figura 27b se muestra la misma polea móvil en combinación con una fija, la cual solo cambia la dirección de la fuerza sin aumentar la desmultiplicación, la $VM = 2$ como en el caso anterior.

1.6.2.3 Polipastos

Un **polipasto** es un aparato compuesto por dos grupos de poleas: uno fijo y otro móvil. El fin perseguido con esta combinación de poleas es obtener una ventaja mecánica superior a la de la polea fija. La ventaja mecánica o desmultiplicación del polipasto es siempre mayor de dos.

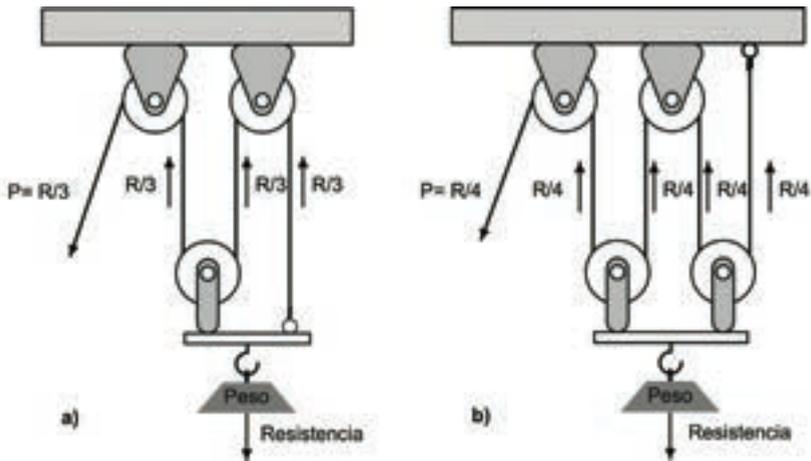


Figura 28 - Polipastos con desmultiplicación (a) 1:3 y (b) 1:4

El polipasto mostrado en la Figura 27b representa el montaje real de una polea móvil y es el polipasto más simple que se puede montar. Tiene una **desmultiplicación 1:2**, $VM = 2$. Añadiendo una polea y anclando el extremo de la cuerda a la carga se obtiene el polipasto de la Figura 28a con una $VM = 3$, o una **desmultiplicación 1:3**.

Para lograr la **desmultiplicación 1:4** mostrada en la Figura 28b se precisa una polea móvil más. Nótese que en la desmultiplicación anterior, $VM = 3$, el cable se ancla a la carga y en este caso el cable se ancla a un punto fijo.

El polipasto mostrado en la Figura 29 es otra forma de montar una desmultiplicación 1:4, pero en esta ocasión con **dos cables** en vez de con uno, a diferencia de los ejemplos anteriores. El primer cable sustenta la carga, está anclado a un punto fijo y a la otra polea móvil soportando la mitad de la carga, esto es una tensión de tracción de $R/2$. Sobre el otro cable se realiza la fuerza potencia, sostiene una polea móvil con una resistencia de valor $R/2$ y está anclado a un punto fijo, soportando una tensión de tracción de $R/4$.

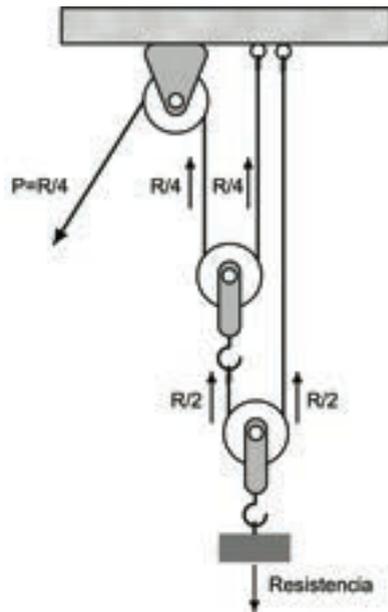


Figura 29 - Polipasto con desmultiplicación 1:4

La fórmula que determina la **ventaja mecánica** o factor de desmultiplicación de un polipasto depende de que esté formado por uno o varios cables.

De este modo:

- En polipastos de **varios cables** cada uno de ellos soporta una tensión diferente. Si n es el número de poleas móviles, la ventaja mecánica viene dada por $VM = R/P = 2^n$.
- En polipastos de **un solo cable**, este está sometido a la misma fuerza de tensión de valor igual a la fuerza potencia. Si n es el número de veces que se corta el cable para aislar la carga, la ventaja mecánica es $VM = R/P = n$. Si se considera que n es el número de poleas móviles existentes en el polipasto la ventaja mecánica es entonces $VM = 2n$.

1.6.3 El torno

El **torno** es otra máquina elemental consistente en una manivela que hace girar un cilindro sobre el cual se enrolla un cable. Al accionar la manivela con la fuerza potencia el cable se enrolla y eleva la carga que tiene colgada.

Una manera de analizar esta máquina es suponer que fuera una palanca de primer género rotatoria, donde el desplazamiento de la fuerza potencia se realiza cíclicamente en forma de vueltas.

$$F \cdot B_F = R \cdot B_R \Rightarrow \frac{R}{F} = \frac{B_F}{B_R}$$

$$VM = \frac{R}{P} = \frac{B_F}{B_R}$$

1.6.4 El plano inclinado

El plano inclinado es una máquina simple utilizada para elevar una carga sin realizar el desplazamiento en la vertical. La ventaja mecánica del plano inclinado es la relación entre el desplazamiento en el plano inclinado y la altura elevada, esto es, entre la hipotenusa L y el cateto h del triángulo formado. Despreciando las pérdidas por rozamiento la **ventaja mecánica ideal** del plano inclinado es:

$$VM = R/P = L/h$$

1.6.5 La cuña

La cuña es una máquina simple que amplifica la fuerza aplicada transformándola en dos fuerzas de mayor intensidad y perpendiculares a las caras de la cuña. Las fuerzas de rozamiento que aparecen son importantes, y debido a ello solo podemos decir que la ventaja mecánica es inversamente proporcional al ángulo de la cuña o, lo que es lo mismo, directamente proporcional a la relación entre su largo y su ancho L/a , en cualquier caso $VM > 1$. Se puede determinar la **ventaja mecánica ideal** de la cuña obteniendo un valor de $VM = 2/\sin(\alpha/2)$. Un ejemplo de aplicación de esta máquina elemental a la realidad es el hacha o el cuchillo.

1.6.6 El tornillo

Al recortar un triángulo rectángulo y enrollarlo sobre un lápiz como se ve en la Figura 30 se puede entender que el funcionamiento de un tornillo es *realmente* un plano inclinado torneado sobre un cilindro.

La distancia entre dos hilos de **rosca** se llama **paso** del tornillo. El desplazamiento longitudinal por cada vuelta completa del tornillo alojado en su tuerca o taladro roscado se denomina avance. Para roscas simples el avance es igual al paso.

Como en el caso del plano inclinado y de la cuña, no es posible obtener una expresión analítica de la ventaja mecánica del tornillo debido a las fuerzas de rozamiento que aparecen. No obstante, es posible determinar una expresión de la **ventaja mecánica ideal** en función del brazo de palanca R de la fuerza que hace girar el tornillo y del paso de rosca p , cuando las fuerzas de rozamiento son despreciables, la cual tiene la siguiente expresión: $VM = 2\pi R/p$.

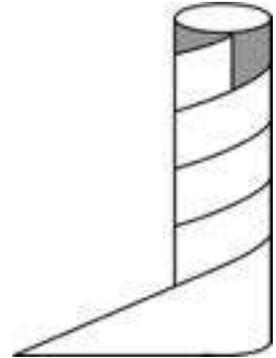


Figura 30 - Tornillo

1.6.7 Engranajes

Un engranaje es un sistema formado por, al menos, dos ruedas dentadas, una conducida y otra conductora.

El engranaje es una máquina cuya finalidad es transmitir **potencia** modificando el **par** y/o la **velocidad** del eje de entrada en el otro eje.

De las dos ruedas que forman el engranaje, a la de menor diámetro se le llama **piñón** y a la de mayor diámetro **corona**. Un sistema compuesto por más de una rueda se denomina **tren de engranajes**.

Las protuberancias que hacen el engrane de las ruedas se denominan **dientes**.

La característica cinemática principal de dos ruedas girando por contacto entre ellas es que la **velocidad lineal** del punto de contacto es la misma. Así, cuando dos ruedas de radios r_1 y r_2 , están acopladas y girando a velocidades distintas ω_1 y ω_2 , la relación entre estas velocidades de rotación viene dada por la relación existente entre sus radios:

$$\omega_2 = \omega_1 \frac{r_1}{r_2}$$

Efectivamente, puesto que la velocidad lineal del punto de contacto es la misma, $v_1 = v_2 = v$, y la relación entre la velocidad lineal y angular de un movimiento circular depende del radio $v = \omega_1 r_1 = \omega_2 r_2$, se obtiene la fórmula anterior.

Esta relación de velocidades se cumple tanto en los **engranajes** como en **ruedas lisas** conducidas por fricción, en sistemas de **cadena**s y sistemas de **poleas** conducidas.

En el caso de los engranajes la **relación de velocidades** anterior se puede establecer tanto entre sus radios como entre el número de dientes de cada rueda. Llamando N a la velocidad de rotación y Z al número de dientes, se tiene:

$$N_2 = N_1 \frac{Z_1}{Z_2}$$

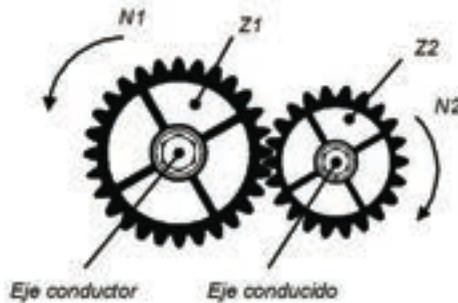


Figura 31 - Relación de velocidades

Los engranajes transmiten una **potencia** P desde el eje motriz al eje conducido modificando la velocidad ω y el par T de este eje con respecto al primero. La potencia que suministra el eje conductor es $P_1 = \omega_1 T_1$, la cual se transmite, salvo las pérdidas, al eje conducido y de valor $P_2 = \omega_2 T_2$. Suponiendo las pérdidas por rozamiento nulas, toda la potencia del eje conductor se transmite al eje conducido, con lo que se tiene $P_1 = P_2 = P = \omega_1 T_1 = \omega_2 T_2$, expresión a partir de la cual se puede obtener el par o la velocidad de uno de los ejes a partir de los otros tres valores conocidos:

$$\omega_2 = \omega_1 \frac{T_1}{T_2}; T_2 = T_1 \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

1.7 Trabajo y energía

La naturaleza es esencialmente dinámica, está sujeta a cambios, los cuerpos que la forman sufren cambios de posición, cambios de velocidad, cambios de composición o cambios de estado físico. Pues bien, existe algo que subyace a todos los cambios materiales y que siempre los acompaña: un intercambio de energía.

La **energía** se puede definir como la capacidad de un sistema o de un cuerpo de realizar un **trabajo** o de transmitir **calor**.

1.7.1 Energía

A diferencia del **calor** y del **trabajo**, la **energía** es una propiedad de los cuerpos como lo pueda ser su masa, su densidad, su calor específico o su temperatura. Sin embargo, el calor y el trabajo no son propiedades de los cuerpos sino manifestaciones de la energía que estos poseen.

Tanto calor como trabajo son formas de **energía en tránsito**, maneras en las que la energía fluye de un cuerpo a otro.

Dependiendo de la manera en que se pone de manifiesto la energía de un cuerpo se diferencian los distintos **tipos de energía**: cinética, potencial gravitatoria, interna, elástica, eléctrica, luminosa, acústica, química, nuclear, de presión, etc.

La **energía total** de un cuerpo o sistema es la suma de todas ellas.

1.7.1.1 Energía cinética

Es la energía que tiene un cuerpo de masa m en virtud de su **velocidad**. Todo cuerpo por el hecho de estar desplazándose a una velocidad v posee una energía cinética determinada por la siguiente fórmula:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

1.7.1.2 Energía potencial

La energía potencial gravitatoria es la energía que tiene un cuerpo de masa m en virtud de su **altura** h con respecto al suelo u otra referencia en el seno del campo gravitatorio terrestre. Se calcula por la siguiente fórmula:

$$E_p = mgh$$

Como la altura h depende del origen de coordenadas considerado, y esto es algo arbitrario, los valores de energía potencial calculados no son valores absolutos sino valores incrementales. Esto es, para una variación de altura Δh de un cuerpo se determina su variación de energía potencial como $\Delta E_p = mg\Delta h$.

1.7.1.3 Energía potencial elástica

Es la energía que almacena un **cuerpo elástico**, con constante de elasticidad k que se comporta siguiendo la ley de Hooke, al desplazarse una distancia Δx de su posición de equilibrio. También recibe el nombre de energía elástica:

$$E_e = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$$

1.7.1.4 Energía mecánica

La energía mecánica de un cuerpo es la suma de su energía potencial y su energía cinética:

$$E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$$

1.7.1.5 Principio de conservación de la energía

Es una de las leyes fundamentales de la física junto con la conservación de la masa: la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma de un sistema a otro o de una forma a otra.

1.7.2 Trabajo

Cuando se aplica una fuerza \vec{F} sobre un cuerpo produciéndose un desplazamiento $\Delta\vec{r}$ se define el trabajo W realizado por esta fuerza como el **producto escalar** del vector fuerza por el vector desplazamiento:

$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{r}$$

El producto escalar de dos vectores es una magnitud escalar, que depende del ángulo θ que forman ambos vectores, y es igual al producto del módulo de cada vector por el coseno del ángulo que forman.

El **trabajo de una fuerza** se define como el producto del módulo de la fuerza por el producto del módulo del desplazamiento que produce y por el coseno del ángulo que forman los vectores fuerza y desplazamiento.

$$W = F\Delta r \cos \theta$$

Así, dependiendo del valor del coseno del ángulo, el trabajo de una fuerza podrá ser una cantidad positiva de valor $F\Delta r$, una cantidad negativa de valor $-F\Delta r$, o incluso cero cuando el coseno del ángulo es nulo.

Cuando se aplica una fuerza \vec{F} sobre un cuerpo solo produce trabajo la componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento:

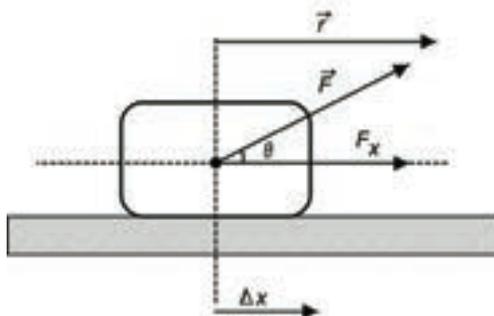


Figura 32 - Trabajo realizado por una fuerza

Analizando la Figura 32 se destacan algunos casos significativos cuando:

- La fuerza aplicada es perpendicular al movimiento, en cuyo caso el trabajo es nulo. Esta fuerza no produce trabajo alguno.
- El vector fuerza y el vector desplazamiento forman un ángulo de más de 90° . Entonces el coseno es un valor negativo y el trabajo, por tanto, también.
- Fuerza y desplazamiento tienen la **misma dirección** y **sentido**, entonces el coseno toma el valor 1. Este es el único caso en que el trabajo es el producto del módulo de la fuerza por el módulo del desplazamiento.

Dirección y sentido de los vectores fuerza y desplazamiento	Ángulo	Trabajo
Mismo sentido y dirección	0°	$F\Delta r$
Misma dirección y sentido contrario	180°	$-F\Delta r$
Direcciones perpendiculares	90°	0
Direcciones en el mismo cuadrante	$0 < \theta < 90^\circ$	$F\Delta r \cos \theta > 0$
Direcciones en cuadrantes contiguos	$90 < \theta < 180^\circ$	$F\Delta r \cos \theta < 0$

Tabla 12 – Trabajo realizado por una fuerza según el ángulo formado por fuerza y desplazamiento

El trabajo realizado por un fluido o realizado sobre él cuando se ve sometido a una variación de volumen ΔV por efecto de aplicarle una presión constante p se denomina **trabajo de presión-volumen** y viene dado por:

$$W = p\Delta V$$

1.7.3 Termodinámica

La termodinámica es la ciencia que estudia la conversión de unas formas de energía en otras. En su sentido etimológico, podría decirse que trata del calor y del trabajo pero, por extensión, abarca el estudio y análisis de todas aquellas propiedades de las sustancias que guardan relación con el calor y el trabajo.

Históricamente la termodinámica se desarrolla a partir de la invención de la máquina de vapor, por la necesidad de entender cómo se transforma el calor generado en una caldera en movimiento mecánico.

La termodinámica tiene cuatro leyes o principios fundamentales en base a los cuales se desarrolla toda su teoría: primer, segundo y tercer principio y la ley cero.

1.7.3.1 Primer principio de la termodinámica

Este principio es el mismo que el de **conservación de la energía** pero expresado en términos del calor y trabajo intercambiados por un cuerpo. Se puede enunciar diciendo que la suma del trabajo y del calor intercambiado por un cuerpo se emplea en incrementar su energía total: $\Delta E_{tot} = Q + W$.

1.7.3.2 Fuerzas conservativas y no conservativas

Existen una serie de fuerzas en la naturaleza que cumplen una propiedad interesante: el trabajo que realizan para mover un cuerpo de un punto a otro es independiente del camino o recorrido seguido, solo depende del punto inicial y del punto final. Las fuerzas que cumplen esta propiedad se denominan **fuerzas conservativas**. Ejemplos de estas fuerzas son la atracción gravitatoria o la fuerza magnética de un imán.

Las fuerzas **no conservativas** o **disipativas** son las que no cumplen esta condición, tal es el caso, como ya se ha mencionado, de las fuerzas de rozamiento.

El **teorema de las fuerzas vivas** dice que el trabajo realizado por las fuerzas conservativas y las fuerzas no conservativas que actúan sobre un cuerpo se emplea en variar su energía cinética:

$$W_c + W_{nc} = \Delta E_c = \frac{1}{2} m \Delta v^2$$

Por otra parte, cuando se aplica una fuerza para elevar en altura un cuerpo se realiza un trabajo empleado en incrementar su energía potencial. Se define la variación de la energía potencial de un cuerpo como el trabajo negativo que realizan las fuerzas conservativas sobre él $-W_c = \Delta E_p$.

El trabajo realizado por la fuerza que eleva el cuerpo es $W = Fh$, donde la fuerza F tiene por módulo el peso del cuerpo. El trabajo realizado por la fuerza conservativa gravitatoria es $W_c = -mgh$ y es independiente del recorrido del cuerpo, solo depende de la diferencia de cota h salvada.

Como se ilustra en la Figura 33, el trabajo realizado por la persona al elevar su brazo solo depende de la diferencia de alturas entre la posición más baja y la posición más alta, no del recorrido del brazo.

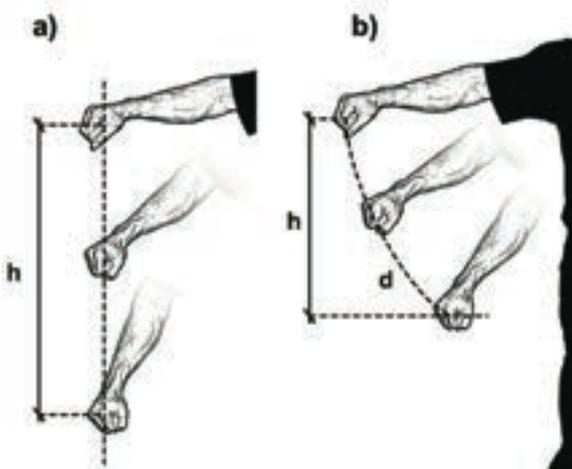


Figura 33 - Trabajo y distancia

1.7.3.3 Segundo principio de la termodinámica

Si combinamos las dos expresiones anteriores sobre el trabajo de las fuerzas conservativas $-W_c = \Delta E_p$, y el teorema de las fuerzas vivas $W_c + W_{nc} = \Delta E_c$, obtenemos la siguiente expresión:

$$W_{nc} = \Delta E_c + \Delta E_p = \Delta E_m,$$

lo cual significa que el trabajo de las fuerzas no conservativas se emplea siempre en variar la energía mecánica del sistema.

Como las fuerzas de rozamiento, que son fuerzas no conservativas, tienen siempre sentido opuesto al movimiento del cuerpo, su trabajo es siempre negativo, el trabajo que realizan se disipa en forma de **calor**, es decir $W_{nc} < 0$ y se dice que el trabajo de las fuerzas de rozamiento es **disipativo**. Que este trabajo sea negativo significa que la energía mecánica del cuerpo siempre disminuirá lo cual constituye uno de los enunciados del **segundo principio de la termodinámica**:

$$W_{nc} = \Delta E_m < 0 \Rightarrow E_{m, inicial} > E_{m, final}$$

El segundo principio define la **entropía** como magnitud no conservativa para determinar el sentido en que suceden los procesos en la naturaleza.

Este principio explica el sentido en el que suceden los fenómenos en la naturaleza. Valga el siguiente ejemplo como explicación. Al calentar el aire de un globo aerostático con el quemador este disminuye de densidad elevándose el globo hacia arriba. El primer principio establece que el calor aportado por el quemador se emplea en incrementar la energía interna del gas, aumentando su temperatura, en aumentar el volumen del gas, en aumentar la energía potencial del globo y el resto se disipa en el entorno. Asimismo, el primer principio también explicaría que el mismo globo elevado bajara de altura, disminuyera la temperatura del aire interior y lo comprimiera, absorbiera calor del entorno y todo ello realizándose en un proceso inverso en el que el quemador invirtiera la reacción de combustión y almacenara de nuevo el combustible en su interior absorbiendo todo el calor antes emitido. Desde el punto de vista de la conservación de la energía esto último es intachable. Sin embargo, este último proceso nunca sucederá, los fenómenos en la naturaleza no discurren en este sentido.

El segundo principio de la termodinámica determina el camino de solo ida o de ida y vuelta en que se realizan las transferencias y transformaciones de energía: la **reversibilidad** o irreversibilidad de los procesos.

1.7.3.4 Tercer principio de la termodinámica

Postula que la entropía absoluta de todas las sustancias a 0 K es cero. Lo cual supone que no se puede alcanzar el cero absoluto mediante un número finito de procesos físicos.

1.7.3.5 Ley cero

Es otro de sus principios fundamentales, denominado también **principio cero** de la termodinámica, que se puede enunciar así: si dos cuerpos A y B están en equilibrio térmico cada uno de ellos con un tercer cuerpo C, los cuerpos A y B están en equilibrio entre sí. En virtud de esta ley puede comprobarse que dos cuerpos están en equilibrio térmico, sin necesidad de ponerlos en contacto, a través de un dispositivo intermedio denominado *termómetro*.

1.7.4 Potencia

La potencia P se define como el trabajo realizado por unidad de tiempo que suministra o consume un sistema:

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

A partir de esta definición se obtienen otras expresiones de potencia, siempre como producto de dos magnitudes, las cuales guardan cierta analogía en sus ámbitos respectivos.

- Para un cuerpo en **movimiento lineal**, cuando lo mueve una fuerza F desplazándolo una distancia d a una velocidad v , el trabajo realizado durante un tiempo t es $W = Fd$ y la velocidad $v = d/t$, por lo tanto, la potencia $P = W/t$ en este caso es:

$$P = Fv$$

- La potencia de un cuerpo en **movimiento giratorio**, partiendo de la expresión anterior y poniendo la velocidad lineal en función de la velocidad angular y el radio $v = \omega r$, es:

$$P = T\omega,$$

donde $T = Fr$ es el par que aparece en el movimiento giratorio.

- En un **fluido**, a partir de la expresión del trabajo de presión-volumen $W = pV$, se determina la potencia en función de la presión p y el caudal $q = V/t$:

$$P = pq$$

1.7.5 Rendimiento

El rendimiento es un concepto que mide el grado de utilización de la energía aportada a un sistema en relación con la energía obtenida de él. Podemos definir el rendimiento de una máquina η como el cociente entre el trabajo que realiza o trabajo útil W_u , en un intervalo de tiempo determinado, y el trabajo consumido, motor o aportado W_m , durante el mismo intervalo de tiempo:

$$\eta = \frac{W_u}{W_m} = \frac{P_u}{P_m}$$

Según la definición, el rendimiento se puede expresar tanto en función del trabajo como de la potencia.

El rendimiento es un valor comprendido entre 0 y 1, debido a las fuerzas disipativas que existen en toda máquina real que convierten parte de la potencia suministrada en trabajo de las fuerzas de rozamiento que se disipa en forma de calor. Es decir, en toda

máquina real siempre hay que aportar más energía de la que se obtiene, $W_u < W_m \Rightarrow \eta < 1$.

Otra consecuencia, o forma de enunciar el segundo principio de la termodinámica, es decir que la máquina ideal, aquella con un rendimiento de valor la unidad no existe, es decir, las fuerzas disipativas siempre presentes hacen disminuir la energía mecánica útil aprovechable.

1.8 Notas sobre geometría

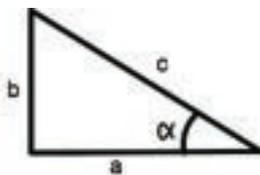
1.8.1 Trigonometría

La trigonometría es la parte de las matemáticas que trata del cálculo de los elementos de los triángulos planos y esféricos. Tiene su aplicación principal en la determinación de los lados y ángulos de los triángulos rectángulos planos.

Un **triángulo rectángulo** es aquel que tiene un ángulo recto. El **ángulo recto** es el que forman dos rectas perpendiculares entre sí. En la escala sexagesimal el ángulo recto vale 90° .

El seno y el coseno de un ángulo en un triángulo rectángulo son ciertas relaciones entre los lados del triángulo. Sea un **triángulo rectángulo** cualquiera de lados a , b y c y ángulo α entre el cateto inferior a y la hipotenusa c .

Se define el **seno del ángulo** alfa $\sin \alpha$, como el cociente entre el cateto opuesto al ángulo y la hipotenusa:



$$\sin \alpha = \frac{b}{c}$$

Figura 34 – Definición del seno de un triángulo

Por ser cociente de dos longitudes se trata de un valor adimensional, es decir, el seno de cualquier ángulo tiene siempre el mismo valor independientemente de la longitud del triángulo considerado.

De manera similar se define el **coseno del ángulo** alfa $\cos \alpha$, como el cociente entre el cateto contiguo al ángulo y la hipotenusa:

$$\cos \alpha = \frac{a}{c}$$

Igualmente que el seno, el coseno de un ángulo es también un valor adimensional por su propia definición.

Para entender el interés práctico del seno y el coseno, conviene recordar primero el teorema de Pitágoras, el cual dice que la suma de los cuadrados de los catetos de un triángulo rectángulo cualquiera es igual a su hipotenusa al cuadrado. En el triángulo de la figura anterior:

$$a^2 + b^2 = c^2$$

Lo cual quiere decir que conocido el valor de dos lados de un triángulo rectángulo siempre es posible determinar valor del otro. Pues bien, con la trigonometría y considerando lados y ángulos, conocidos dos elementos cualesquiera de un triángulo rectángulo siempre es posible determinar los otros lados. Por ejemplo, si es conocido el valor de un ángulo y la longitud de un cateto siempre puede determinarse el valor del otro cateto y de la hipotenusa. Los valores trigonométricos de los ángulos se encuentran **tabulados** y todas las calculadoras científicas los tienen almacenados, de modo que se puede operar con el seno y el coseno de un ángulo introducido en la calculadora.

Supongamos, en el triángulo de la figura, que el ángulo α tiene un valor de 40° y la longitud del cateto a es de 1,5 m. El valor de la hipotenusa se puede calcular como $c = a/\cos \alpha = 1,96$ m y el valor del otro cateto como $b = c \sin \alpha = 1,26$ m. Una calculadora da como valor de $\sin 40 = 0,643$ y de $\cos 40 = 0,776$, introduciendo primero el valor del ángulo y después pulsando la tecla “sin” o “cos”, respectivamente.

A continuación se muestra el valor del seno y coseno de algunos ángulos. Cabe destacar que siempre son valores comprendidos entre 0 y 1, y que a medida que uno crece el otro decrece.

Ángulo	sin	cos
0°	0	1
15°	0,288	0,965
30°	0,5	0,866
45°	0,707	0,707
60°	0,866	0,5
75°	0,965	0,288
90°	1	0

Tabla 13 – Algunos valores del seno y del coseno

Otro valor trigonométrico es la relación entre el seno y el coseno denominado **tangente del ángulo** y definido de la siguiente manera:

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{b}{a}$$

Los valores de la tangente también los tiene la calculadora. La tangente de un ángulo coincide con la **pendiente** de una recta, la cual determina la inclinación con respecto a la horizontal de dicha recta. Los valores de pendiente suelen expresarse en tanto por ciento, pero coinciden con los valores de la tangente expresados en valor porcentual. Así, por ejemplo, una pendiente del 7 % es la correspondiente a un valor de tangente del ángulo de 0,07. El ángulo de tangente 0,07 es 4°. Una pendiente del 100 % es la correspondiente a una tangente de valor 1 y un ángulo de 45°.

1.8.2 Cálculo de volúmenes y superficies

Figuras redondas, donde R es el radio:

- Longitud de la circunferencia: $L = 2\pi R$.
- Superficie del círculo: $S = \pi R^2$.
- Volumen de la esfera: $V = 4/3 \pi R^3$.
- Superficie de la esfera: $S = 4\pi R^2$.
- Volumen del cilindro: $V = \pi R^2 h$, donde h es la altura del cilindro.
- Superficie curva del cilindro: $S = 2\pi R h$.

Figuras rectas, donde a y b son los lados:

- Longitud del perímetro de un paralelogramo: $L = 2a + 2b$.
- Longitud del perímetro de un cuadrado: $L = 4a$.
- Superficie de un paralelogramo: $S = a \cdot b$.
- Superficie de un cuadrado: $S = a^2$.
- Superficie de un triángulo: $S = b \cdot h/2$, donde b es una base y h la altura correspondiente.

Volumen de un cuerpo prismático, donde h es la altura. Para cualquier figura regular es el producto del área de la base por la altura del cuerpo:

- Prisma cuadrado: $V = a^2 \cdot h$.
- Prisma rectangular: $V = ab \cdot h$.
- Prisma de base circular, cilindro: $V = \pi R^2 \cdot h$.
- Prisma de base triangular: $V = bh/2 \cdot h$.

2. Química

2.1 La materia: Átomo y molécula

La Química es la ciencia que estudia la estructura y las propiedades de la materia, así como las transformaciones de unas sustancias a otras.

El avance en la investigación sobre la materia y las partículas que la componen y que definen sus características, los átomos y las moléculas, ha ido proporcionando sucesivas teorías para explicar el modelo atómico (Dalton, Thomsom, Rutherford, Bohr, etc.) hasta llegar a los actuales modelos mecánico-cuánticos.

Sin embargo, el objetivo de este tema es ofrecer una visión general de aquellos conceptos de la química que servirán para comprender mejor los fenómenos relacionados con el cambio de estado de la materia, la química del fuego, los mecanismos de extinción de los agentes extintores y otros aspectos relacionados con el ámbito de actuación de los servicios de bomberos.

La materia se define como todo aquello que ocupa un lugar en el espacio y tiene masa. Los gases, aunque en apariencia no sean elementos tangibles, son también materia ya que tienen masa y ocupan un lugar en el espacio y, al igual que el resto de materia, están constituidos por átomos y moléculas.

Se define el átomo como la unidad básica de un elemento que puede intervenir en una combinación química, y está constituido por unas partículas aún más pequeñas denominadas partículas subatómicas:

- El electrón, que es una partícula elemental cuya masa es de $0,000549 \text{ uma}^3$ ($9,108 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$) y tiene una carga eléctrica negativa de $-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
- El protón es una partícula elemental con carga eléctrica positiva; su carga es igual a la del electrón pero con signo positivo, siendo su masa $1,007276 \text{ uma}$.
- El neutrón es otra partícula elemental sin carga eléctrica con una masa similar a la del protón de $1,008665 \text{ uma}$.

Los protones de un átomo son las partículas que definen su naturaleza, poseen la carga positiva y su número en cada tipo de átomo de un elemento no puede variar. Sin embargo, pueden diferir en el número de electrones o de neutrones del átomo, y por tanto en su masa atómica.

³ La uma es la “unidad de masa atómica”, unidad usada para medir la masa de átomos y moléculas. Ver apartado 1.3.9 y la equivalencia de masas en la Tabla 71 del apéndice.

Química

Las variaciones del número de neutrones dan lugar a los denominados **isótopos**, como por ejemplo el carbono-14 (en notación ^{14}C), empleado en la datación de objetos antiguos⁴.

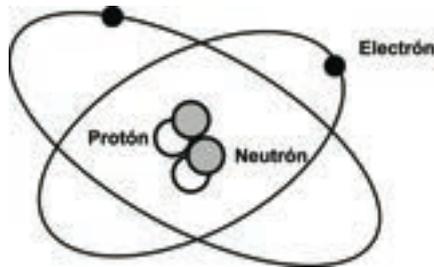


Figura 35 – Átomo de helio

Las variaciones en el número de electrones dan lugar a átomos o moléculas cargados eléctricamente denominados iones. Un ión es una unión estable de átomos, o átomos individuales, con una carga eléctrica neta. Por ejemplo, al disolver sal común (ClNa) en agua, los átomos de cloro y sodio que componen el cristal de sal se separan en los iones Cl^- y Na^+ los cuales fluyen en el líquido y se comportan a efectos eléctricos como cargas libres con capacidad de movimiento. Un ion puede ser:

- Cation. Ha perdido electrones, por lo que tiene carga positiva.
- Anión. Ha captado electrones, por lo que tiene carga negativa.

La ionización es un proceso que requiere una gran cantidad de energía en el que sustancias neutras adquieren carga eléctrica lo que facilita su combinación química y la transferencia de electrones. Estos fenómenos se pueden observar en las llamas, en las cuales la energía liberada es capaz de ionizar el aire y como resultado se pueden producir descargas eléctricas a tierra desde tendidos eléctricos debido a la mayor conductividad del aire.

Las propiedades de los elementos y su tendencia a reaccionar químicamente con otros dependen en buena medida del número de electrones que tengan en la capa más externa de dicho elemento, también llamada capa de valencia.

Los electrones giran alrededor del núcleo en unas zonas predefinidas, en lo que se denominan capas orbitales, las cuales tienen una capacidad limitada en función a su distancia del núcleo. Podemos decir que la capa más interna de todos los elementos, es decir, la órbita más cercana al núcleo, siempre contiene dos electrones, excepto en el caso del hidrógeno que solo tienen uno, ya que solo tiene un protón.

Los átomos tienden a buscar la configuración más estable, que es aquella en la que hay ocho electrones en la última capa de valencia, para lo que se combinan entre sí formando enlaces de distintos tipos con otros átomos de forma que toman sus electrones o bien los comparten.

⁴ Isótopo radiactivo del carbono que, en vez de tener 6 protones y 6 neutrones, cuenta con 6 protones y 8 neutrones.

En estas combinaciones los átomos se unen entre sí mediante los **enlaces químicos** que dan lugar a las moléculas cuya estructura, es decir, los átomos que las constituyen y la forma en la que están unidos unos con otros, determina los distintos tipos de sustancias.

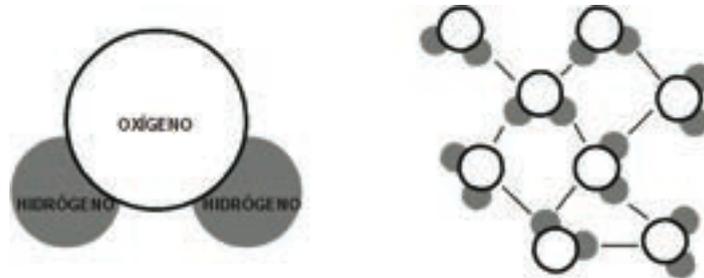


Figura 36 – Enlaces atómicos y fuerzas intermoleculares en el H₂O

2.1.1 Tipos de moléculas

Una definición más actual de molécula establece que es un conjunto estable y eléctricamente neutro de al menos dos átomos enlazados covalentemente⁵, lo que implica que átomos de un mismo elemento o de elementos distintos, pueden unirse para formar moléculas.

De esta forma podemos clasificar las moléculas como:

- Moléculas discretas. Constituidas por un número definido de átomos, formando moléculas diatómicas como el oxígeno en estado natural (O₂) o el nitrógeno en las mismas condiciones (N₂); triatómicas como el ozono (O₃) o el agua (H₂O); poliatómicas como el ácido sulfúrico (H₂SO₄).
- Macromoléculas o polímeros. Son sustancias que son repeticiones de grupos de moléculas, como puede ser el ADN o las cadenas que conforman los plásticos como el poliestireno, el polietileno o metacrilato, etc. que tienen un peso molecular elevado.

2.1.2 La tabla periódica

El sistema periódico de los elementos es la ordenación de todos los elementos químicos conocidos según el orden de su número atómico, de menor a mayor.

En la tabla periódica, los elementos se ordenan por su peso de menor a mayor de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, siendo el más ligero el hidrógeno que tiene un único protón que se coloca en el extremo superior izquierdo de la tabla. Con esta disposición, el número que indica el orden de cada elemento en la tabla es su número atómico, que coincide con su número de protones.

⁵ El enlace covalente es un tipo de enlace entre átomos en el que se comparten electrones. Un ejemplo es el agua.

Química

En ella podemos observar que los elementos alineados en columnas, denominadas familias o grupos, tienen características similares. Las filas, que se denominan periodos, indican el número de capas electrónicas que tiene el átomo. Según avanzamos de izquierda a derecha dentro del mismo periodo van aumentando su número atómico y su número de electrones en la última capa hasta completarla, momento en el que salta al siguiente periodo comenzando con un electrón en la nueva capa.

Los elementos que forman la última columna de la tabla (grupo VIIIA), son los denominados gases nobles, que al tener completa su última capa de valencia no reaccionan con otros elementos, por lo que se usan como gases inertizantes.

El resto los podemos clasificar de la forma más general entre metales y no metales. Una línea quebrada que comienza en el boro separa los elementos situados a su derecha (carbono, nitrógeno, azufre, etc.), los no metales, de los situados a la izquierda, que agrupan a los metales (aluminio, zinc, cobre, etc.). Los elementos situados a cada lado de la línea se denominan metaloides y tienen un carácter intermedio entre ambos.

El grupo previo a los gases nobles, dentro del grupo de los no metales, se denominan halógenos (grupo VIIA), y se emplean en la elaboración de agentes extintores debido a su elevada afinidad electrónica (electronegatividad).

Algunas de las características que se pueden estudiar en la tabla periódica son:

a) Volumen atómico

El volumen que ocupa un átomo está directamente relacionado, en primer término, con el número de capas de electrones que tenga y, en segundo término, con la atracción que ejerce la carga positiva del núcleo sobre esa capa.

En cada periodo, de arriba hacia abajo, se incrementa una capa electrónica, por lo que el radio aumenta, mientras que según avanzamos por el periodo de izquierda a derecha, los electrones permanecen en el mismo nivel pero aumenta el número de protones y con ello la fuerza atractiva del núcleo, por lo que el volumen atómico disminuye conforme avanzamos hacia la derecha.

b) Energía de ionización

Es la energía necesaria para arrancar un electrón del átomo. Los elementos como los gases nobles que tienen completa su última capa electrónica son los que presentan un mayor potencial de ionización, mientras que los elementos alcalinos, el primer grupo de la tabla, al tener un único electrón en el último nivel les es más fácil perderlo que captar siete para completarlo. Otro factor que influye en su bajo potencial de ionización es que al tener comparativamente un mayor volumen atómico, la distancia es mayor entre el núcleo y los electrones, con lo que la fuerza atractiva se reduce.

c) Electronegatividad

Es la tendencia de un átomo a captar electrones para completar su última capa de valencia formando enlaces químicos. Los elementos a los que solo les falte un electrón en el último nivel son los más electronegativos, ya que es la forma más fácil de completarla, y al igual que la energía de ionización, según avanzamos hacia la derecha

va aumentando al disminuir el radio atómico y aumentar la atracción del núcleo sobre los electrones.

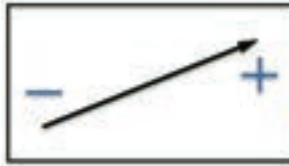


Figura 37 – Progresión del valor del potencial de ionización y electronegatividad

2.1.3 Molécula de agua

Debido a la importancia del agua como agente extintor, es preciso conocer algunas de sus características químicas.

La molécula está formada por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno formando un enlace covalente en el que el primero aporta los seis electrones de su última capa y cada uno de los hidrógenos uno.

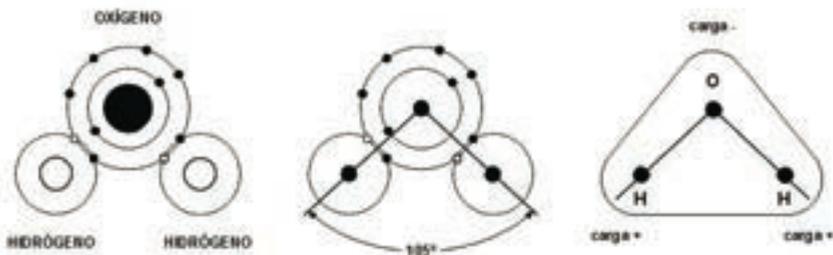


Figura 38 – Estructura atómica del agua

La geometría de la molécula dibuja al átomo de oxígeno en el centro con los dos átomos de hidrógeno situados en unos brazos formando un ángulo de aproximadamente 105° . Esta configuración le da un carácter fuertemente polar, ya que el átomo de oxígeno, al ser más electronegativo, mantiene a los electrones más cerca de sí que los de hidrógeno, lo que justifica dos fenómenos:

- Las propiedades disolventes del agua.
- La formación de lo que se conoce como puente de hidrógeno.

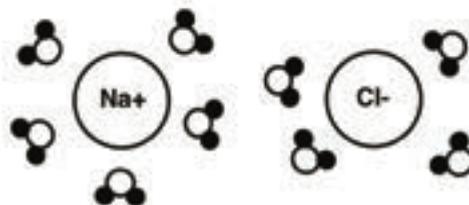


Figura 39 – Capacidad del agua como disolvente universal

Química

El agua es denominada “disolvente universal” ya que disuelve muchos de los compuestos conocidos, preferentemente aquellas sustancias iónicas y polares, aunque no tiene efectos visibles en sustancias apolares. Un ejemplo del mecanismo de disolución lo encontramos en el NaCl, o sal común, formado por los iones de sodio (Na^+) y de cloro (Cl^-).

Otro efecto de la polaridad es la organización en redes cristalinas al solidificarse, motivo por el que aumenta de volumen.

La descomposición térmica de la molécula de agua se produce por encima de los 2.000 °C, pudiendo darse en temperaturas entre los 800 y 1.200 °C en presencia de agentes catalíticos o mediante procesos en varias fases. Otra forma de descomponer las moléculas de agua es introduciendo electrodos de una fuente de corriente continua en un proceso denominado electrólisis.

El agua pura tiene una conductividad muy limitada, son las sustancias disueltas en ella las que le confieren la capacidad de conducir la electricidad.

2.2 Cambios en la materia: Estados de agregación

La materia puede experimentar cambios de dos tipos:

- Químicos. Producen un cambio en las propiedades y características de las sustancias. Por ejemplo la oxidación de hierro, en la que el óxido de hierro tiene unas propiedades distintas a las del hierro original.
- Físicos. Son cambios que no afectan a la naturaleza de la sustancia, como el aumento de la temperatura, que puede producir cambios de estado de agregación, aumento de volumen, etc. pero la sustancia sigue siendo la misma y sus propiedades químicas fundamentales se mantienen.

Podemos definir los “estados de agregación” o “estados físicos” como las distintas formas en las que se puede encontrar cualquier sustancia que se derivan del grado de unión existente entre los átomos o moléculas que la componen.

Según la teoría cinético-molecular, los átomos y las moléculas no están en reposo, sino que tienen un movimiento, ya sea de vibración, traslación o rotación como manifestación de su energía interna en forma de energía cinética. Si esta energía cinética es mayor que la energía potencial de las fuerzas que las unen unas a otras (fuerzas intermoleculares), los átomos se separan, o por el contrario, permanecen unidos. Esta unión es más rígida o permite más movimiento en función de la fuerza atractiva entre partículas.

Atendiendo a esta teoría, podemos prever el estado de agregación de una sustancia comparando su energía interna (de la cual es indicador su temperatura) y la energía potencial que une sus moléculas.

Una sustancia permanecerá en estado sólido mientras su energía cinético-molecular sea menor que la energía potencial de sus enlaces, se encontrará en estado líquido cuando ambas energías sean aproximadamente iguales y cuando la energía cinética de

las partículas de una sustancia sea superior a la fuerza de sus enlaces, la sustancia se encontrará en fase gaseosa.

Sólidos.- Las fuerzas de cohesión entre las moléculas son grandes, por lo que estas vibran alrededor de posiciones fijas manteniéndose invariables las distancias entre las mismas, lo que explica que los sólidos ofrezcan una gran resistencia a cambiar su forma y sean prácticamente incompresibles, es decir, la variación del volumen con la presión es muy pequeña.

Líquidos.- Las fuerzas de cohesión son pequeñas entre las moléculas, lo que les permite gran movilidad desplazándose unas sobre otras sin tendencia a separarse. Esto explica por qué los líquidos no ofrecen resistencia a adoptar la forma del recipiente que los contiene. Como las moléculas no tienden a separarse, el líquido tiene un volumen propio y no se modifica sensiblemente bajo presión.

Gases.- Las fuerzas de cohesión son prácticamente nulas, por lo que sus moléculas se mueven libremente tendiendo a separarse unas de otras, por ello los gases se difunden fácilmente ocupando todo el espacio de los recipientes que los contienen.

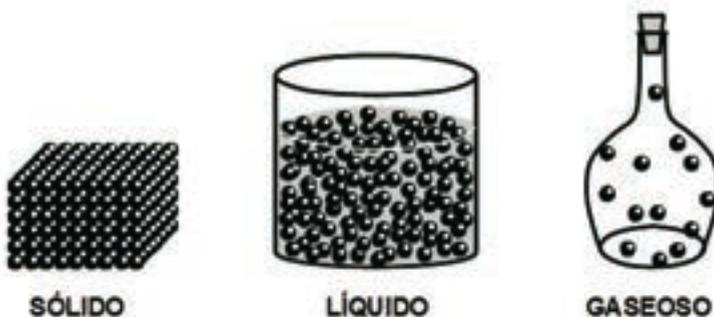


Figura 40 – Estados de agregación

Con respecto al **plasma** podemos decir que es un gas altamente ionizado, que se produce a temperaturas de millones de grados, con lo cual la agitación térmica provoca que las moléculas se rompan y que los átomos pierdan sus electrones. El plasma lo podemos encontrar en los rayos, los vientos solares, el propio sol...

Podemos resumir que el estado de agregación de una sustancia depende de las fuerzas intermoleculares que unen sus moléculas y de la temperatura.

Cuando la temperatura es baja las moléculas no pueden moverse, solo pueden vibrar, sin separarse unas de otras. Como las moléculas están prácticamente juntas y fijas, sin capacidad de movimiento, el cuerpo tiene un volumen y una forma fija, es decir es un **sólido**.

Si la temperatura aumenta, las moléculas ya pueden moverse, pero todavía permanecen unas al lado de otras. Se comportan de forma similar a un grupo de canicas dentro de una caja, es decir que pueden deslizarse unas sobre otras. Por lo tanto, el

Química

volumen seguirá siendo fijo, pero no la forma, que se adapta al recipiente que lo contiene. En este caso estamos hablando de **un líquido**.

Si la temperatura es todavía mayor, las moléculas no están retenidas por las fuerzas intermoleculares ya que la fuerza cinética es mayor que las fuerzas que las mantienen unidas entre sí, de forma que se separan unas de otras, moviéndose por todo el recipiente, en este caso hay un espacio vacío entre molécula y molécula, y es fácil acercarlas y alejarlas. Es decir, ni la forma ni el volumen son fijos, ambos cambian con facilidad, ya que estamos sobre todo ante un espacio vacío, en el que se mueven las moléculas. En este caso se trata de **un gas**.

Podemos establecer como norma general que la mayoría de las sustancias son sólidas a temperaturas bajas, líquidas a temperaturas medias, y gaseosas a altas temperaturas.

2.2.1 Transferencia de calor y calor específico

Cada sustancia tiene propiedades distintas, entre ellas la cantidad de calor necesario para elevar su temperatura. Esta propiedad, denominada **calor específico**, se define como la cantidad de calor que es necesario aportar a un gramo de masa de una sustancia para que ésta eleve su temperatura un grado Celsius. El agua en estado líquido⁶ tiene un calor específico de 1 cal/g·°C (o 4,18 kJ/kg·K en el SI), de forma que para elevar un grado la temperatura de un gramo de agua se requiere una caloría.

La cantidad de calor que es necesario aportar a una sustancia de masa m y calor específico C_e para incrementar su temperatura entre dos puntos recurrimos a la siguiente expresión:

$$Q = C_e m (t_f - t_0)$$

Donde Q es la cantidad de calor, t_f y t_0 , son las temperaturas final e inicial y C_e , el calor específico, que es una constante de la sustancia.

De esta forma, podemos conocer cuánto calor absorbe un litro de agua al pasar de 20 a 80 °C que, aplicando la fórmula, son 60.000 calorías.

Cuando aportamos energía a una sustancia, por ejemplo un líquido como el agua, observamos que su temperatura se eleva linealmente hasta que nos aproximamos a la temperatura a la que se produce el cambio de estado, en nuestro ejemplo del agua a los 100 °C a 1 atm de presión. Al llegar a esta temperatura la aportación de energía no se verifica en el aumento de temperatura debido a que la energía es invertida en el proceso de cambio de estado. Esto implica que la temperatura del agua no aumentará hasta que haya pasado de líquido a gas, siendo conocida la cantidad de energía que requiere este proceso y que se denomina **calor latente**.

⁶ El calor específico para el vapor de agua y el hielo es aproximadamente 0,5 cal/g °C. Los valores del calor específico experimentan variaciones atendiendo no solo al estado de la sustancia, sino también a la temperatura, de este modo para el vapor de agua varía de 0,451 cal/g °C a 100 °C a 0,478 cal/g °C a 300 °C.

2.2.2 Cambios en los estados de agregación

El estado de un sistema físico depende de varios factores, siendo los principales la **temperatura** y la **presión**, de los que prestaremos especial atención al primero ya que la mayoría de los cambios de estado que observamos se producen a presión atmosférica.

El cambio de estado es un proceso que se puede recorrer en ambos sentidos pasando por los tres estados fundamentales de la materia: sólido, líquido y gaseoso, en el que para ir avanzando o retrocediendo es necesario aumentar o disminuir la energía interna de la sustancia, de forma que para poder pasar de hielo a agua líquida y a vapor hay que ir aumentando la temperatura aportando energía y viceversa. Pero además, en las fronteras entre los estados, (que se denominan temperatura de fusión, vaporización, solidificación, etc. en función del sentido en el que se produzca el cambio) hay que pagar un peaje energético equivalente a la formación de la nueva estructura, por lo que el coste energético final es la suma de la energía necesaria para elevar la temperatura más la necesaria para los cambios de estado que se hayan producido.

Todo este proceso se aprecia en la Figura 41 en la que se observa la evolución de los cambios de estado del agua a una atmósfera de presión en función al calor que se le aporta.

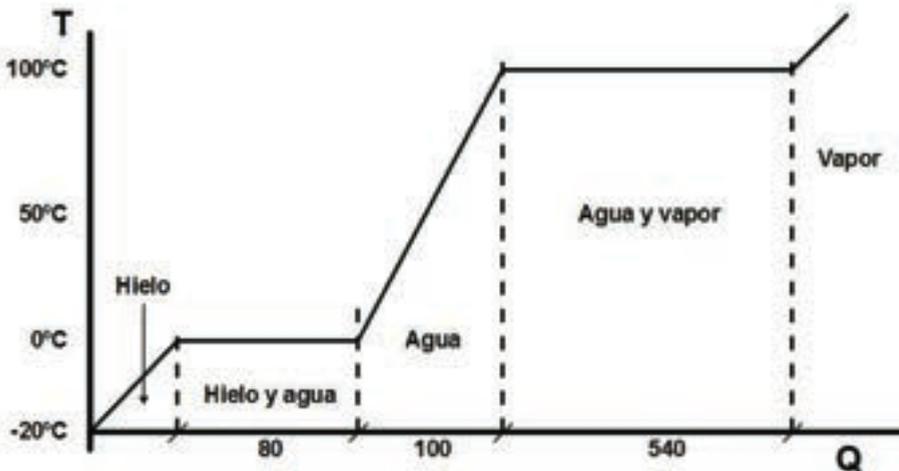


Figura 41 – Evolución de la temperatura y estado en función del calor aportado

De forma general, se puede afirmar que todo cambio de estado va acompañado de tres consecuencias:

1. Aporte o desprendimiento de una cantidad de calor
2. Cambio en la densidad y por lo tanto el volumen del sistema
3. El cambio de fase se produce siempre a una temperatura constante para cada presión.

Química

Los cambios de estado no son necesariamente secuenciales, es decir, en función de las características de la sustancia, presión y temperatura, una sustancia puede pasar de sólido a gas sin pasar por líquido o viceversa.



Figura 42 - Cambios de estado

2.2.3 Fusión

Se trata del cambio de estado de sólido a líquido por la acción del calor, que tiene como característica que todas las sustancias lo hacen a una temperatura determinada, fija e invariable para la misma presión.

No todos los cuerpos funden cuando se les aplica calor. Algunos, como la madera, se descomponen (en un proceso denominado pirólisis), mientras que otros resisten grandes temperaturas como es el caso de los materiales refractarios. Otras materias funden pero su forma líquida tiene una alta viscosidad como la lava o el caucho, dichas sustancias cambian de estado con relativa lentitud, como por ejemplo el vidrio.

El **calor latente de fusión** es la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa del sólido para convertirlo en líquido a la temperatura de fusión. En el agua el calor de fusión es de **80 cal/g**. Esto significa que un gramo de hielo absorbe 80 calorías para pasar a su forma líquida a 0 °C.

2.2.4 Solidificación

La fusión y la solidificación coinciden en el mismo punto siendo procesos inversos. La cantidad de calor empleada como energía para realizar el proceso de fusión es la misma cantidad de calor desprendida para realizar su solidificación.

Por lo tanto, podemos decir que la temperatura de solidificación para cada sustancia es exactamente igual a la de fusión.

Todos los líquidos enfriados convenientemente se solidifican, para ello es necesario que la temperatura esté por debajo de su punto de solidificación a la presión correspondiente.

El 0 °C es la temperatura de equilibrio (agua-hielo) que permite calibrar los termómetros. En todos los cambios de estado la temperatura del cuerpo no aumenta nunca durante el ciclo, aunque se le continúe aportando mayor cantidad de calor.

2.2.5 Vaporización

Es el tránsito de un líquido a vapor, diferenciándose dos procesos distintos: evaporación y ebullición. No deben confundirse los términos. Aunque el resultado sea el mismo, el proceso en ambos es distinto.

Por lo tanto cabe distinguir entre dos formas de vaporización, la que tiene efecto en la superficie libre de los líquidos es la denominada **evaporación**, que no necesita aporte de calor adicional a la energía que recibe de manera natural en condiciones normales. Las moléculas que posean la suficiente energía cinética como para vencer las energías potenciales de atracción del resto de moléculas y la tensión superficial, abandonarán el líquido. Este proceso se produce solamente en la superficie del líquido, por lo que a mayor superficie expuesta a la atmósfera, mayor grado de evaporación. Por otro lado, al ser un fenómeno producido por la energía cinética de la partícula, se acentúa con la temperatura.

Se conoce como **ebullición** a la evaporación tumultuosa o violenta que afecta a todo el líquido en la que es posible observar cómo salen burbujas del interior del líquido. Cuando se aumenta la temperatura del líquido, lo que se hace es incrementar la energía de las partículas, hasta que en un determinado momento las moléculas alcanzan suficiente energía como para desligarse del resto de moléculas convirtiéndose en gas, es decir, la energía cinética de la partícula es mayor a la energía de los enlaces entre ellas. En un primer momento podremos observar en los recipientes puestos al fuego como se van formando burbujas de vapor de agua en el fondo, que es donde reciben el calor, y una vez se iguala la presión en el interior con la atmosférica, las burbujas saldrán a la superficie, ya que hasta ese momento la presión sobre el líquido era superior al del interior de la burbuja. Esto nos indica que para cada presión a la que esté sometido el líquido, habrá una temperatura de ebullición. A mayor presión, mayor temperatura y, en sentido contrario, cuanto menor sea la presión a la que está sometido, menor será la temperatura a la que se produzca su ebullición.

A la presión atmosférica normal (1 atm), el agua entra en ebullición a 100 °C, sin embargo, si el agua se encuentra bajo una presión de 0,01 atm el agua entra en ebullición a 7 °C, y en la cumbre del Everest, en la que tenemos una presión de unos 0,4 bar, el agua hierve a 71 °C. Esta circunstancia es la que justifica fenómenos como la cavitación (véase apartado 12.4).

El fenómeno contrario lo podemos observar en una olla a presión. Se puede conseguir calentar el agua por encima de los 100 °C sin que llegue a vaporizar debido a que la presión del interior es superior a la presión atmosférica.

Otra característica de las sustancias es la **presión de vapor** que se puede definir como un equilibrio dinámico entre las fases líquida y gaseosa, entre las que existe un continuo intercambio de moléculas. Imaginemos un recipiente cerrado con un líquido en su interior en el que se hace el vacío. En los primeros instantes, a una presión de cero

Química

atmósferas, solo se produce evaporación del líquido, pero al ir aumentando la cantidad de gas y con ello la presión en el interior, una parte de este gas irá condensándose, de forma que la velocidad de vaporización disminuirá al tiempo que aumenta la de condensación hasta llegar a un punto de equilibrio en el que se afirma que el vapor está **saturado**. La presión que se alcance en el interior del recipiente es la presión de vapor de ese líquido a la temperatura que se haya realizado el experimento, la cual es la temperatura de vaporización correspondiente. A mayor temperatura, la presión de vapor aumenta.

Este dato sirve para clasificar la peligrosidad de las sustancias, ya que a una temperatura dada una presión de vapor elevada indica una mayor vaporización.

El **calor latente de vaporización** es la cantidad de calor necesaria para transformar la unidad de masa de un líquido en vapor, a la temperatura de ebullición. Para el agua es **540 cal/g**. Lo que quiere decir que un gramo de agua absorbe 540 calorías al formar un gramo de vapor de agua a 100 °C.

2.2.6 Condensación

Es el paso de gas a líquido. Es común apreciarlo sobre superficies frías como refrescos en los que la humedad se condensa en contacto con las paredes frías de los recipientes.

2.2.7 Sublimación

Es el paso de sólido a gas, como sucede en la naftalina en condiciones ambientales. El calor latente de sublimación es igual a la suma de los calores latentes de fusión y vaporización. El proceso inverso se denomina sublimación inversa, sublimación regresiva o deposición.

2.2.8 Diagrama de fases

Se conoce como diagrama de fases a la representación gráfica que permite predecir el estado de agregación de una sustancia en función de sus condiciones de presión y temperatura.

Existen unas condiciones de presión y temperatura en las cuales coexisten en equilibrio el estado sólido, el estado líquido y el estado gaseoso de una sustancia. Se definen con una temperatura y una presión de vapor y se denomina **punto triple**.

El punto triple del agua, por ejemplo, está a 273,16 K (0,01 °C) y a una presión de 0,006 atm. Este punto, debido a que da lugar a una temperatura fija, sirve para calibrar las escalas Kelvin y Celsius de los termómetros de mayor precisión.

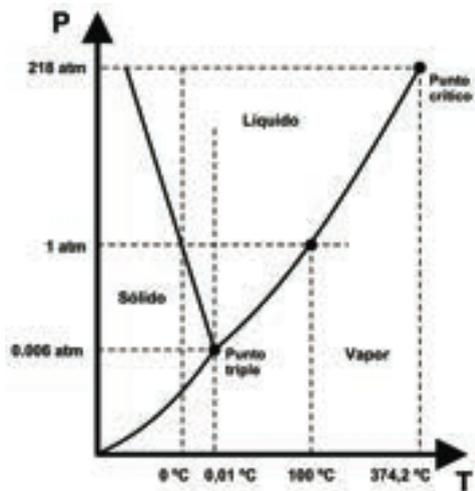


Figura 43 – Diagrama de fases del agua

El **punto crítico** es aquel límite para el cual, una misma masa de vapor y de líquido ocupan el mismo volumen o, dicho de otro modo, en el cual las densidades del líquido y del vapor son iguales, encontrándose para el vapor de agua en 374,2 °C y 218 atm. También puede definirse como el punto de temperatura y presión por encima del cual no se puede condensar un gas, lo que viene a significar que por encima de estos valores la sustancia solo se encontrará en estado gaseoso.

2.3 Los gases ideales y sus leyes

Se llama gas a toda sustancia en estado gaseoso. En este estado las sustancias se caracterizan por su facilidad de difusión y una gran capacidad de compresión y expansión, tendiendo a adoptar la forma del recipiente que los contiene y a ocupar todo el volumen disponible.

Las fuerzas de atracción entre las moléculas de los gases son prácticamente nulas, por lo que estas se mueven libremente por el recipiente que las contiene, chocando unas con otras y con el recipiente. El número de moléculas (cantidad de materia o cantidad de gas) y la velocidad que tengan sus moléculas se manifiesta en forma de presión en el recipiente. De esta forma, si aumentamos la cantidad de gas o aumentamos la velocidad del movimiento molecular aumenta la presión y viceversa.

El estado en que se encuentra un gas está determinado por las tres variables mencionadas: presión, volumen y temperatura, que se denominan las **variables de estado**.

Se define el **gas ideal** o **gas perfecto** como aquel en el que el volumen de sus moléculas y las fuerzas de cohesión entre ellas son nulas. Los gases ideales cumplen rigurosamente las leyes que a continuación se exponen, si bien los gases reales tienen un comportamiento ligeramente distinto, tendiendo hacia un comportamiento de gas ideal a bajas presiones y altas temperaturas.

2.3.1 Ley de Dalton de las presiones parciales

La presión total que ejerce sobre las paredes del recipiente una mezcla de gases es la suma de las presiones que cada gas ejercería si ocupase, a la misma temperatura, todo el volumen del recipiente.

Estas presiones que ejercerían aisladamente cada gas se denominan **presiones parciales**. La presión total es la suma de las presiones parciales, por consiguiente, los gases actúan en la mezcla independientemente unos de otros.

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3$$

2.3.2 Ley de Avogadro

Conocida como hipótesis de Avogadro, postula que volúmenes iguales de cualquier gas a la misma presión y temperatura contienen el mismo número de moléculas. Esto hace que la constante **R** de la ley de los gases ideales sea la misma para todos. El número de

moléculas que contiene un mol de cualquier gas se conoce como número de Avogadro (ver apartado 1.3.9).

2.3.3 Ley de Boyle-Mariotte

A temperatura constante, el volumen ocupado por una misma masa de gas es inversamente proporcional a la presión.

Es decir, que el producto de la presión y la temperatura es constante:

$$P \cdot V = cte$$

Esto quiere decir que si disminuimos el volumen en el que se encuentra contenido un gas, la presión aumenta, y a la inversa, aumentando el volumen, la presión descenderá.

La teoría cinético-molecular explica esto ya que al aumentar el volumen aumenta el espacio entre moléculas, disminuyendo el número de impactos contra el recipiente y a la inversa.

2.3.4 Ley de Gay-Lussac

Tras diferentes experimentos, ambos científicos llegaron a la conclusión de que existe una relación directa entre el volumen y la temperatura de un gas, a presión constante.

- Ley de Charles⁷.- A presión constante, el volumen de una determinada masa de gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta.

$$V / T = cte$$

Por este principio, al aumentar la temperatura de un gas contenido en un cilindro con émbolo este se expande manteniendo la presión constante aumentando su volumen.

- Ley de Gay-Lussac⁸.- A volumen constante, la presión de una masa determinada de gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta.

$$P / T = cte$$

A efectos prácticos, significa que si aumentamos la temperatura de un gas contenido en un recipiente, aumentará la presión y viceversa.

2.3.5 La ecuación de estado de los gases ideales

Esta ecuación establece la relación existente entre las tres variables de estado: presión, temperatura y volumen y viene dada por la combinación de las leyes de Boyle-Mariotte y la primera ley de Gay-Lussac.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

⁷ También conocida como ley de Charles y Gay-Lussac, debido a que fue publicada en primer lugar por Gay-Lussac sobre un trabajo previo de Charles.

⁸ También conocida como segunda ley de Gay-Lussac.

Por tanto:

$$\frac{PV}{T} = cte$$

De las distintas leyes de los gases, se obtiene la fórmula general:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Donde P es la presión,

V , el volumen

n , es el número de moles

R , es una constante igual a 0,082 (atm·L/mol·K)

y T es la temperatura absoluta (kelvin)

2.3.6 Aplicaciones de las leyes de los gases

Es fundamental para un bombero conocer el comportamiento de los gases ya que muchas de las herramientas y equipos funcionan con gases comprimidos, al margen de las emergencias en las que puedan encontrarse presentes.

Estas leyes explican, por ejemplo, por qué los gases al calentarse en un incendio se elevan y ocupan las capas superiores cuando el fuego se desarrolla en un local cerrado. Si aplicamos la fórmula:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Donde en el primer miembro expresaremos las condiciones de una cantidad V_1 de aire a 20 °C de temperatura y 1 atmósfera de presión y en el segundo miembro el gas a 80 °C a la misma presión, sin olvidar cambiar las temperaturas a la unidad del SI, obtendremos:

$$\frac{1 \text{ atm} \times V_1}{293 \text{ K}} = \frac{1 \text{ atm} \times V_2}{353 \text{ K}}$$

Simplificando la presión que es la misma en ambos miembros y despejando obtenemos que:

$$V_1 = V_2 \times \frac{293 \text{ K}}{353 \text{ K}} \Rightarrow V_1 \cong 0,83 V_2$$

Es decir, que el aire calentado a 80 °C es 0,83 veces menos denso que a 20 °C, motivo por el cual, según el principio de Arquímedes, al ser la densidad menor sufre un empuje ascendente. Con esta información es fácil deducir que cuanto mayor es la diferencia de temperatura mayor es la diferencia de densidad y, por consiguiente, el empuje es más intenso, lo cual se puede apreciar al observar una velocidad de ascensión de los gases mayor.

Química

Otra aplicación importante es calcular uno de los aspectos de la capacidad extintora del agua. Sabemos que al vaporizarse ocupa un volumen mucho mayor que en estado líquido, de forma que desplaza el aire y con ello el oxígeno que contribuye a la sofocación del incendio. Conociendo el peso molecular del agua⁹, sabemos que un mol de agua tiene una masa de 18 gramos, lo que implica que un litro de agua de 1.000 gramos de masa tendrá aproximadamente 55,55 moles de agua. De la fórmula de los gases ideales:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

y las condiciones en las que consideramos una presión de 1 atmósfera y una temperatura de 100 °C a la que encontramos el agua en estado gaseoso, podemos calcular el volumen que ocupará el gas. Sustituyendo estos valores se obtiene:

$$1 \text{ atm} \cdot V = 55,55 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atm L}/(\text{mol K}) \cdot 373 \text{ K}$$

$$V = (55,55 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atm L}/(\text{mol K}) \cdot 373 \text{ K})/1 \text{ atm} = 1.699,05 \text{ L}$$

Con lo que podemos determinar que un litro de agua cuando pasa a estado gaseoso a 100 °C ocupará un volumen aproximado de 1.700 litros a una atmósfera de presión.

Podemos ir más allá calculando qué volumen ocupará a 450 °C utilizando la ecuación de estado:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{1 \text{ atm} \times 1700 \text{ L}}{373 \text{ K}} = \frac{1 \text{ atm} \times V_2}{723 \text{ K}}$$

Suprimimos las presiones que se anulan, y despejamos:

$$V_2 = \frac{723 \text{ K} \times 1700 \text{ L}}{373 \text{ K}} \cong 3.295,2 \text{ L}$$

De esta forma se puede estimar el volumen que ocupará a cualquier temperatura.

Los equipos de respiración autónomos que permiten el acceso a atmósferas tóxicas o con déficit de oxígeno, como son los incendios de interiores, contienen en sus botellas aire comprimido, por lo que el conocimiento de las leyes que rigen los gases, así como los niveles de consumo de cada usuario, es fundamental para la seguridad de los bomberos.

⁹ El peso molecular se obtiene a partir del peso atómico según la fórmula de la molécula sumando las masas. El peso atómico del oxígeno es de 16 g/mol y el del hidrógeno es de 1 g/mol, por lo que la masa molecular del H₂O es (2·1 + 16) 18 g/mol.

Si queremos conocer la cantidad de aire que contiene una botella de aire de 6 litros cuyo manómetro marca 300 bar de presión, debemos volver a recurrir a la expresión:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Donde en el primer miembro expresaremos las condiciones del aire en el interior de la botella y en el segundo las condiciones del aire en el exterior a presión atmosférica.

Siendo rigurosos en el planteamiento teórico, puesto que la presión atmosférica es la presión final (considerémosla de 1 bar), el valor de la presión absoluta en la botella es de 301 bar (la presión manométrica más la presión atmosférica). De esta forma se expresaría:

$$\frac{301 \text{ bar} \times 6 \text{ L}}{373 \text{ K}} = \frac{1 \text{ bar} \times V_2}{373 \text{ K}}$$

Considerando que la temperatura del aire permanece constante nos permite eliminar la temperatura de la ecuación, obteniendo:

$$V_2 = \frac{301 \text{ bar} \times 6 \text{ L}}{1 \text{ bar}} = 1.806 \text{ L}$$

Sin embargo, en la botella, al ser un recipiente indeformable, quedarán 6 L de aire sin posibilidad de usarlos salvo que forcemos una depresión. Como consecuencia, habrá que restar esos 6 L al resultado final resultado 1.800 L como cantidad de aire total disponible.

Desde un punto de vista práctico, podemos resolver este problema expresando en el primer término las condiciones del aire en el interior de la botella y en el segundo las condiciones en el exterior a presión atmosférica, con lo que:

$$\frac{300 \text{ bar} \times 6 \text{ L}}{373 \text{ K}} = \frac{1 \text{ bar} \times V_2}{373 \text{ K}}$$

Despejando,

$$V_2 = \frac{300 \text{ bar} \times 6 \text{ L}}{1 \text{ bar}} = 1.800 \text{ L}$$

Aunque el planteamiento no es el más riguroso, de esta forma obtenemos el mismo resultado y es como se vienen resolviendo este tipo de problemas tradicionalmente.

Con el dato del volumen de aire disponible en la botella y conociendo el consumo del usuario, podemos calcular la autonomía del equipo. Pongamos por caso que el bombero que porta el equipo consume 80 litros por minuto, con lo que:

$$\frac{1.800 \text{ L}}{80 \text{ L/min}} = 22,5 \text{ min}$$

Química

Estos 22,5 minutos equivalen a 22 minutos y 30 segundos, que suponen la autonomía total que tendría el equipo con ese consumo. Si quisiéramos calcular la autonomía hasta llegar a la presión de reserva (50 bar), el desarrollo sería:

Calculamos la presión disponible para el consumo antes de llegar a la presión de reserva:

$$P_{disponible} = P_{total} - P_{reserva} = 300 \text{ bar} - 50 \text{ bar} = 250 \text{ bar}$$

Calculamos la cantidad de aire que suponen los 250 bar;

$$\frac{250 \text{ bar} \times 6 \text{ L}}{373 \text{ K}} = \frac{1 \text{ bar} \times V_2}{373 \text{ K}}$$
$$V_2 = \frac{250 \text{ bar} \times 6 \text{ L}}{1 \text{ bar}} = 1.500 \text{ L}$$

En función del consumo calculamos el tiempo de autonomía hasta agotar los 1.500 litros de aire:

$$\frac{1.500 \text{ L}}{80 \text{ L/min}} = 18,75 \text{ min}$$

Obtenemos un resultado de 18,75 minutos, que equivalen a 18 minutos y 45 segundos de autonomía hasta que llegamos al nivel de reserva marcado a 50 bar en el manómetro.

Otra de las aplicaciones de las leyes de los gases es explicar los cambios de temperatura que podemos observar en los recipientes con gases comprimidos, por ejemplo ya sea un spray doméstico o en una botella de aire de un ERA, cuando dejamos escapar rápidamente su contenido. Al disminuir la presión interior sin variar el volumen del recipiente, necesariamente debe disminuir la temperatura para mantener el equilibrio tal y como expresa en la ley de Gay-Lussac:

$$\frac{\downarrow P}{\downarrow T} = cte$$

Este fenómeno explica por qué si abrimos una botella de aire comprimido liberando gran cantidad de aire rápidamente de forma que la presión disminuya de igual modo, no solo podemos llegar a observar cómo se enfría el metal consiguiendo que se condense vapor de agua en su superficie, si no que puede llegar a congelarse en la grifería.

De forma inversa, cuando se cargan las botellas de aire, al aumentar la presión aumenta la temperatura del recipiente.

$$\frac{\uparrow P}{\uparrow T} = cte$$

Tal y como señalamos al principio de este apartado, estas fórmulas predicen y explican el comportamiento de los gases ideales. Sin embargo, se observa una desviación en el

comportamiento de los gases reales. Los factores que influyen en esta desviación son el peso molecular, la presión y la temperatura, lo que implica que para realizar aproximaciones más ajustadas para los gases reales deberíamos realizar cálculos bastante más complejos teniendo en cuenta estas tres variables. Dentro del ámbito de bomberos, la casuística más frecuente será el cálculo de aire disponible para su consumo en una botella a 300 bar de presión. Para este caso, y considerando un proceso isoterma a 300 K, se puede aplicar un coeficiente corrector de 0,9, de forma que en una botella de 6 L a 300 bar de presión, dispondríamos de 1.620 L en vez de 1.800 L. Para información adicional consultar www.fundamentosparabomberos.es.

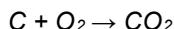
2.4 Reacciones químicas

Se denomina cambio químico, transformación química o reacción química a todo proceso en el que una o varias sustancias se transforman en otras diferentes. Las sustancias existentes antes de la transformación se conocen como **reactivos** o **sustancias reaccionantes**, mientras que las sustancias obtenidas se llaman **productos de la reacción**.

Toda reacción química consiste en la ruptura de unos enlaces en las moléculas de los reactivos, y en la reorganización de los átomos que, al establecer nuevos enlaces entre ellos, originan moléculas diferentes. Necesariamente, estas transformaciones van acompañadas de cambios energéticos, ya que los procesos de ruptura y formación de enlaces requieren o ceden energía.

Las reacciones químicas se representan mediante **ecuaciones químicas**, que constan de dos miembros separados por una flecha que indica el sentido de la reacción. A un lado tenemos los reactivos y al otro los productos.

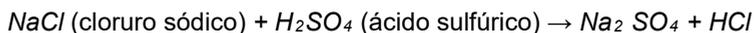
Aquí el carbono y el oxígeno son los reactivos y el dióxido de carbono el producto.



Decimos que la ecuación química está ajustada cuando en el primer miembro hay, para cada elemento, el mismo número de átomos que en el segundo miembro, para lo cual se suele recurrir al tanteo. Por ejemplo:

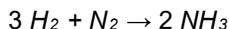


Formación del ácido clorhídrico:



Química

En una ecuación química ajustada, los coeficientes de los reactivos y los productos indican las proporciones en que intervienen; estas proporciones están referidas a moléculas individuales o a cualquier múltiplo de ellas, como es el mol. Así, en la siguiente ecuación ajustada:



sabemos que tres moléculas de hidrógeno se combinan con una de nitrógeno para formar dos moléculas de amoníaco. De esta forma es posible realizar cálculos **estequiométricos**, es decir, a partir de la masa o el volumen de uno de los reactivos o de los productos, nos permite calcular la masa o el volumen de los demás.

Las reacciones químicas están sujetas a una serie de leyes:

a) Ley de Lavoisier o de conservación de la masa

En toda transformación química la masa total de la sustancia que interviene en ella permanece constante, dicho de otro modo, la suma de las masas de los reactivos es igual a la suma de las masas de los productos de la reacción.

En una combustión en la que se combinan tres gramos de carbono en estado sólido con ocho gramos de oxígeno en estado gaseoso, originando dióxido de carbono gaseoso, de este compuesto se formarán once gramos.

b) Ley de Proust o de las cantidades constantes

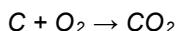
En la formación de un determinado compuesto intervienen siempre los mismos elementos y en la misma proporción en masa, independientemente del modo de preparación utilizado.

En el ejemplo anterior, tres gramos de carbono se combinan con ocho gramos de oxígeno, por lo que esta relación se mantendrá de forma que solo se combinarán en múltiplos. Por ejemplo, 3 g de carbono con 8 g de oxígeno, 6 g de carbono con 16 g de oxígeno, o 1,5 g de carbono con 4 g de oxígeno.

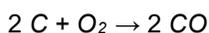
c) Ley de Dalton o de las proporciones múltiples

Cuando dos elementos se combinan entre sí para formar varios compuestos diferentes, mientras sea constante la masa de uno de ellos, la masa que se combina del otro elemento guarda una razón de números enteros sencillos.

El carbono puede reaccionar con el oxígeno formando dos compuestos diferentes, dióxido de carbono y monóxido de carbono. La reacción ajustada del primero es:



siendo las cantidades que se combinan 4,2 g de carbono y 11,2 g de oxígeno. La reacción para formar el monóxido es:



combinándose en este caso 4,2 g de carbono y 5,6 g de oxígeno.

Comprobamos que en ambas reacciones la cantidad de carbono permanece constante, mientras que la cantidad de oxígeno varía en una razón de número sencillo, en este caso dos ($11,2 / 2 = 5,6$). Esta proporción coincide con la de la fórmula estequiométrica.

2.4.1 Ley de los volúmenes de combinación.

Esta ley establece que: “los volúmenes, medidos en las mismas condiciones de presión y temperatura, de los gases que se combinan entre sí, están en razón de números enteros sencillos, y también con los volúmenes de los gases que se forman.”

Este enunciado, formulado por Gay-Lussac, viene a decir, que sabiendo que los elementos se combinan entre sí en *paquetes* que denominamos moles, y sabiendo que 1 mol ocupa 22,4 litros, cuando tratemos con reacciones en las que las sustancias sean gaseosas, podemos utilizar el volumen citado como equivalente a mol.

En la reacción de formación de agua a partir de átomos de oxígeno e hidrógeno, $2 H_2 + O_2 \rightarrow 2 H_2O$, sabemos que 2 moles de H_2 ($2 \text{ mol} \cdot 2 \text{ (átomos)} \cdot 1 \text{ g/mol} = 4 \text{ g}$) reaccionan con 1 mol ($2 \text{ (átomos)} \cdot 16 \text{ g/mol} = 32 \text{ g}$) de oxígeno para formar 2 moles de agua. Como el estado normal del hidrógeno y del oxígeno es gaseoso, podemos deducir por el enunciado de esta ley que 44,8 litros ($2 \text{ moles} \cdot 22,4 \text{ litros}$) de H_2 reaccionarán con 22,4 litros de O_2 .

2.4.2 Reacciones exotérmicas y endotérmicas

Atendiendo al balance energético de las reacciones las podemos clasificar en **exotérmicas**, cuando desprenden calor, y en **endotérmicas**, si necesitan absorber calor.

Las ecuaciones termoquímicas son aquellas en las que, además de las cantidades de las distintas sustancias que intervienen, se expresa también la cantidad de calor que se intercambia en la reacción, también llamada **entalpía** de la reacción y que se representa por ΔH .



Esta expresión nos indica que cuando se unen tres moléculas de H_2 con una de N_2 se forman dos moléculas de amoníaco (NH_3) desprendiendo 92,4 kJ de calor, por lo que es una reacción exotérmica.



En este caso observamos que una molécula de nitrógeno más dos moléculas de oxígeno más 68 kJ de energía dan como resultado dos moléculas de óxido nítrico.

El hecho de que la energía aparezca en el lado de los productos indica que es uno más de los productos de la reacción. En caso de aparecer la energía en el lado de los reactivos, debe considerarse que es un elemento más necesario para la reacción, por lo que es una reacción endotérmica.

2.4.3 Reacciones de reducción-oxidación

En la antigüedad se empleaba el término oxidación para describir la reacción de elementos con el oxígeno. Sin embargo, en la actualidad abarca un abanico más amplio ya que incluye reacciones en las que no participa el oxígeno.

Química

Actualmente estas reacciones se consideran desde el punto de vista del intercambio de electrones entre los elementos presentes en la reacción, mientras que uno de ellos gana electrones y se reduce, denominado agente oxidante, otro cede electrones, denominado agente reductor, y se oxida. De esta forma podemos definir la oxidación como la pérdida de electrones y la reducción como la ganancia de electrones, dando lugar a los términos de reacción reducción-oxidación, oxidación-reducción o simplemente reacción redox.

Existen varios tipos de reacciones de reducción-oxidación, siendo las más frecuentes las de combinación, descomposición, desplazamiento y combustión. Esta última de especial interés en la ciencia del fuego.

2.4.4 Reacciones de combustión

La combustión es una reacción de reducción-oxidación en la que una sustancia reacciona con un oxidante, generalmente oxígeno, por lo general con la liberación de calor y de luz que pueden manifestarse como incandescencia o llama.

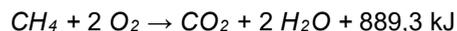
Otras definiciones de combustión son:

NFPA 53	Una secuencia compleja de reacciones químicas entre un combustible y un oxidante acompañada por la evolución de calor, y usualmente por la emisión de luz.
NFPA 99	Un proceso químico (como la oxidación) acompañado por la rápida evolución de calor y luz.

En la teoría del fuego, se denomina **comburente** al agente oxidante y **combustible** al agente reductor, quedando explicado en el siguiente cuadro las denominaciones y el papel de cada sustancia:

SUSTANCIA	AGENTE	COMPORTAMIENTO	CONSECUENCIA
COMBURENTE	OXIDANTE	CAPTA ELECTRONES	SE REDUCE
COMBUSTIBLE	REDUCTOR	CEDE ELECTRONES	SE OXIDA

Estas reacciones son siempre exotérmicas, y tienen como característica el **calor de combustión** (expresado en kJ/mol), que hace referencia al calor desprendido por la combustión de un mol del combustible.



Según la fórmula, la combustión de un mol de metano (CH₄) requiere dos moles de oxígeno y da lugar a un mol de dióxido de carbono y dos moles de agua, generando en

el proceso 889,3 kJ. Dicho de otro modo, puesto que el peso molecular del metano es de 16 g/mol (16 uma) , la combustión de 16 gramos de metano genera 889,3 kJ de energía.

2.5 Termoquímica

La termoquímica es la parte de la química que estudia los cambios energéticos que se producen en las transformaciones químicas. A través de su estudio se pretende:

- Deducir la posibilidad de que una reacción química se produzca o no espontáneamente.
- Determinar el procedimiento para obtener el máximo rendimiento en un proceso químico.

Toda reacción química va acompañada de intercambios de energía con el medio, es decir, en toda reacción química o se produce un desprendimiento o una absorción de energía.

Esto es debido a que cada sustancia tiene una energía en sus moléculas que depende de los enlaces de sus átomos. Como nunca son iguales las energías de los productos que de los reactivos, esta diferencia debe ser intercambiada con el medio que lo rodea. Esta energía puede adoptar diversas formas como luz, electricidad u otras, pero lo normal es que se manifieste en forma de calor, por lo que puede afirmarse que toda reacción química va acompañada de absorción o desprendimiento de calor.

2.5.1 Energía de activación

Toda reacción química supone la ruptura de unos enlaces para formar otros. Pero para iniciar una reacción, en determinados casos es necesario aportar inicialmente una energía que rompa los primeros enlaces y que, al liberar energía, dé comienzo a una reacción en cadena que dispare la reacción. Es el caso de muchos materiales combustibles, que se encuentran en equilibrio químico, pero al aportarles una energía suficiente comienzan a reaccionar liberando calor (reacción exotérmica) que continúa la reacción. A esta primera energía se le denomina **energía de activación** y es característica de cada reacción.

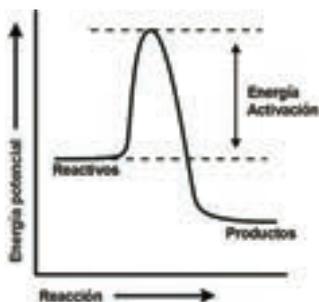


Figura 44 – Energía de activación

2.5.2 Velocidad de la reacción

La velocidad a la que se producen las reacciones está condicionada por varios factores, como son:

a) La naturaleza de los reactivos

La experiencia demuestra que la velocidad de una reacción depende principalmente de la naturaleza de los reactivos. Por ejemplo, el flúor y el hidrógeno reaccionan casi instantáneamente de forma explosiva, mientras que una masa de hierro tarda meses en oxidarse cuando se encuentra expuesto al oxígeno atmosférico, y el sodio se oxida inmediatamente en las mismas condiciones. Esta característica de las sustancias se denomina **reactividad** y es específica de cada combinación de elementos.

b) El grado de división de los reactivos

Como cabe imaginar, a menor tamaño de las partículas de los elementos que reaccionan, mayor velocidad de reacción, por ello dos sustancias en estado gaseoso reaccionarán más rápido que en estado sólido aunque sea en forma de polvo.

c) La temperatura

A mayor temperatura, mayor energía cinética y mayor número de choques entre las moléculas, lo que ofrecerá mayor probabilidad de combinaciones y por lo tanto una mayor velocidad de reacción.

d) La concentración de los reactivos

Cuanto mayor sea la concentración de los reactivos, es decir, el número de moléculas reaccionantes por unidad de volumen, más elevada será la frecuencia de los choques entre las mismas y, por consiguiente, mayor será la velocidad de la reacción.

En el caso de las oxidaciones, reciben la siguiente denominación en función de su velocidad de reacción:

Velocidad	Denominación
≤ 1 m/s	combustión
≥ 1 m/s	deflagración
≥ 340 m/s	detonación

Tabla 14 – Clasificación de las reacciones por su velocidad

En lo relativo a la ciencia del fuego, la norma UNE EN ISO 13943 desaconseja el término velocidad de combustión, proponiendo **velocidad lineal de combustión**, que se define como la longitud de material combustionado por unidad de tiempo en unas condiciones dadas, expresada en metros por segundo.

2.6 Ácidos y bases

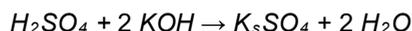
De forma general, podemos decir que un ácido es una sustancia capaz de donar un protón (H^+), y una base es aquella capaz de aceptar un protón. También se puede definir el ácido como la sustancia que en disolución libera iones hidrogeniones H_3O^+ y la base como la sustancia que libera iones hidroxilo OH^- .

Según esta clasificación, y de una manera más práctica, podemos distinguir:

Ácidos. Sustancias cuyas disoluciones tienen un sabor agrio o ácido, cambian a color rojo el color azul del tornasol, reaccionan liberando hidrógeno con ciertos metales y además producen efervescencia al actuar sobre la piedra caliza y otros carbonatos. Son ejemplos de sustancias ácidas el ácido sulfúrico (H_2SO_4), el ácido clorhídrico (HCl), el fluoruro de hidrógeno (HF) y se clasifican en ácidos fuertes y débiles.

Bases. Son sustancias cuyas disoluciones tienen sabor amargo o a lejía, de tacto jabonoso, hacen recuperar el color azul al tornasol enrojecido por los ácidos y les hacen perder sus propiedades (neutralizan) cuando se mezclan con ellos. Ejemplos de bases son la lejía (hipoclorito sódico, NaClO), la sosa cáustica (hidróxido de sodio, NaOH), amoníaco (NH_3) y se clasifican en bases fuertes y débiles.

Para neutralizar una sustancia ácida, la conjugamos con una base, lo que nos dará como resultado sal más agua.



Esta es una reacción de neutralización entre el ácido sulfúrico y el hidróxido de potasio que tiene como resultado sulfato de potasio (sal) y agua.

El pH es el indicador de la acidez de una sustancia que toma como referencia el agua pura, que tiene un valor de pH igual a 7, que se considera una concentración neutra. Si el pH de una disolución es inferior a 7 se considera ácida y si se encuentra por encima de 7 se considera básica, siendo el rango de la escala desde 0 para las sustancias más ácidas hasta 14 para las más básicas.

El tornasol es una sustancia que sirve para medir el pH (**indicador**), que se presenta en formato de tiras de papel azul que se torna rojo en contacto con sustancias ácidas, o vuelve azules tiras de papel rojo en contacto con bases. Otro medio para medir la acidez de un medio es el pH-metro, que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos.

Estos conceptos tienen aplicación en el manejo de mercancías peligrosas, por ejemplo: Un derrame de ácido sulfúrico, que es un ácido fuerte, necesita ser neutralizado con una base fuerte para que deje de ser un riesgo.

Cuando nos referimos a sustancias neutras, como los jabones para las labores de descontaminación NBQ, hacemos alusión a jabones que no sean ni ácidos ni básicos, con un pH en torno a 7.

Química

Algunas reacciones de neutralización ácido base producen dióxido de carbono, normalmente en las que intervienen carbonatos. Esta es la base de la generación de las espumas químicas, ya en desuso

Sustancia	pH	Contiene	Fórmula
Pilas y baterías	0	Ácido sulfúrico	H_2SO_4
Jugos gástricos	1	Ácido clorhídrico	HCl
Jugo de limón y cítricos	2,3	Ácido cítrico	$H_3C_6H_5O_7$
Vinagre	2,9	Ácido acético	$HC_2H_3O_2$
Aspirina	2,97	Ácido acetilsalicílico	$HC_9H_7O_4$
Agua pura	7		
Jabón de manos	9		
Limpiadores domésticos	11,9	Amoniaco	NH_3
Cal apagada (construcción)	12,5	Hidróxido de calcio	$Ca(OH)_2$
Lejía	12,5	Hipoclorito sódico	NaClO
Limpiadores de tuberías y hornos	13,5	Hidróxido sódico	NaOH

Tabla 15 – Algunos ácidos y bases comunes