

# Sobre el autor

César Utrillas Gómez es Ingeniero Técnico en Electricidad por la Universidad de Zaragoza e Ingeniero Industrial por la ETSII-UNED.

Funcionario de carrera del cuerpo de profesores de enseñanza secundaria por las especialidades de Sistemas Electrotécnicos y Automáticos, y de Tecnología, acumula veinte años de experiencia docente en Ciclos de FP y distintos niveles preuniversitarios, durante los cuales ha desempeñado entre otras, responsabilidades de Jefatura de Estudios y de Departamento.

Desde el año 2012 compatibiliza la docencia en Formación Profesional con la de profesor asociado en la Universidad de Zaragoza en el Grado en Ingeniería Electrónica y Automática.



# Prólogo

Este libro se concibe para ser utilizado como libro de texto en enseñanzas técnicas y de formación profesional. El nivel del mismo puede considerarse introductorio de diversas asignaturas en ingeniería de control que se cursan en la Universidad.

En su elaboración se han seguido las siguientes pautas:

1. Se han utilizado un lenguaje y expresiones sencillas para facilitar la comprensión a los alumnos, teniendo en cuenta que determinados conceptos de regulación y control son complejos y que el nivel matemático para trabajarlos es elevado.
2. Se ha dotado la obra de suficientes materiales y recursos, especialmente ejercicios al finalizar cada Capítulo, de manera que sirvan a profesores y alumnos para testear el nivel de aprendizaje alcanzado.
3. Se ha incluido un Capítulo nº 8 eminentemente práctico, donde los alumnos guiados por su profesor se podrán adentrar en aplicaciones industriales reales de medida y regulación.
4. Del mismo modo el Capítulo 10 introduce la potente herramienta Scilab con la que los alumnos podrán ayudarse para comprender numerosos conceptos.

El texto cubre por completo los contenidos del Módulo “0961: Sistemas de Medida y Regulación” del Ciclo LOE de Formación Profesional “ELE303: Automatización y Robótica Industrial” (Título establecido en RD1581/2011).

Se entiende que es lo suficientemente amplio y flexible para que el profesorado lo adapte al currículo oficial de su CCAA. Este manual se complementa con una guía didáctica conteniendo la programación didáctica del módulo y el solucionario a los ejercicios propuestos para cada unidad.

Del mismo modo podrá utilizarse como manual básico para determinados contenidos de la Unidad de Competencia “UC1569\_3: Desarrollar proyectos de sistemas de medida y regulación en sistemas de automatización industrial”, incluida dentro del Certificado de Profesionalidad ELEM0110. Y en general como material divulgativo para profesionales interesados en la regulación automática.

Los contenidos desglosados en 10 Capítulos equivaldrían a 10 unidades didácticas, y sus principales correspondencias con los bloques de contenidos curriculares del RD1581/2011 se muestran en la siguiente tabla.

|  | A.<br>Reconocimiento<br>de dispositivos | B.<br>Montaje y<br>desarrollo | C.<br>Verificación del<br>funcionamiento | D.<br>Diagnóstico de<br>averías | E.<br>Prevención<br>riesgos,<br>seguridad y MA |
|--|---|-------------------------------|--|---------------------------------|--|
| UD 1<br>Unidades                               | X                                       |                               | X  |                                 |  |
| UD 2<br>Principios                             | X                                       | X                             | X  |                                 |  |
| UD 3<br>DIN19227                               | X                                       | X                             | X  | X                               | X  |
| UD 4<br>Bloques                                |   | X                             | X  | X                               |  |
| UD 5<br>1 <sup>er</sup> y 2 <sup>o</sup> Orden |   | X                             | X  | X                               |  |
| UD 6<br>Medida                                 | X                                       | X                             | X  | X                               |  |
| UD 7<br>Intro. Diseño                          |   | X                             | X  | X                               |  |
| UD 8<br>Ejemplos PLC                           | X                                       | X                             | X  | X                               |  |
| UD 9<br>Prevención                             |   |                               | X  |                                 | X  |
| UD 10<br>Scilab                                |   | X                             | X  |                                 |  |

Se muestra a continuación un ligero avance de contenidos y alguna orientación adicional sobre cómo trabajarlos.

■ **Capítulo 1:** Unidades de medida y su conversión

Dependiendo de los conocimientos previos del alumnado es un tema que hasta cierto punto incluso puede darse por sabido, en cualquier caso se considera clave que se conozca el Sistema Internacional y que los alumnos sean capaces de convertir unidades. En el apartado 1.3 se explica un método que puede ser de suma utilidad para contenidos posteriores.

■ **Capítulo 2:** Principios de regulación, lazo abierto vs lazo cerrado

Son conceptos básicos que se manejarán a lo largo de todo el texto.

- **Capítulo 3:** Norma DIN 19227. Elementos y montajes típicos de control  
Se introducen la norma DIN19227 y los esquemas típicos de control, aquellos alumnos que tengan conocimientos de inglés deberán asimilarlo más rápidamente. Es un tema sencillo pero que se considera importante para comprender determinadas situaciones reales que pueden encontrarse en la industria.
- **Capítulo 4:** Álgebra de bloques. Transformada de Laplace y estabilidad  
Se trabajan el álgebra de bloques y la transformada de Laplace, dos herramientas básicas para el estudio de sistemas continuos. La posible complejidad matemática debe abordarse con trabajo y realización de abundantes ejercicios.
- **Capítulo 5:** Sistemas de 1<sup>er</sup> y 2<sup>o</sup> Orden  
Se estudian los sistemas de 1<sup>er</sup> y 2<sup>o</sup> orden, es un tema básico para entender el funcionamiento de sistemas industriales más complejos. Si se considera adecuado puede estudiarse a la vez que el Capítulo 10 utilizando Scilab como ayuda.
- **Capítulo 6:** Elementos de medida  
Se muestran los principales elementos de medida en sistemas industriales, en general se considera que se trabajan contenidos fáciles de asimilar.
- **Capítulo 7:** Introducción al diseño y sintonización de controladores  
También es un tema con complejidad matemática, puede utilizarse Scilab para comprender mejor determinados conceptos. Es el preámbulo a estudios posteriores en asignaturas de Regulación Automática en la Universidad.
- **Capítulo 8:** Ejemplos con PLC de montaje y programación  
Se trata de mostrar aplicaciones profesionales reales como las que se podrán encontrar las alumnos egresados. Para poder trabajar este tema se necesita tener PLCs en el aula o aula-taller.
- **Capítulo 9:** Prevención de riesgos y medioambiente  
Cubre la parte correspondiente del currículo respecto a Prevención de Riesgos y Medioambiente, importantísimos contenidos de los planes formativos que no deben de quedar descuidados.
- **Capítulo 10:** Sistemas de control con SCILAB  
Introduce y utiliza la genial herramienta de software libre Scilab para trabajar contenidos vistos en capítulos anteriores.



# 1

## Unidades de medida y su conversión



Unidades del SI. Fuente BIPM

## Introducción

Siempre que se mide, regula o controla algo es una magnitud con su correspondiente unidad, por ello es básico conocer el Sistema Internacional de unidades así como saber manejar las unidades más habituales en el entorno industrial.

### ¿Qué visitar?

- ✓ [www.bipm.org](http://www.bipm.org)
- ✓ [www.cem.es](http://www.cem.es)
- ✓ [www.enac.es](http://www.enac.es)

---

# 1.1 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

En la historia de la humanidad han surgido tantas unidades o grupos de unidades como culturas o ámbitos de producción se han desarrollado, llegando al caso de que poblaciones colindantes tenían (y aún hoy en día se dan casos) diferente unidad para una misma magnitud.

El Sistema Internacional de Unidades SI se concibió bajo el método del fundamento académico y universal en la definición de las unidades, y posteriormente se le adicionó la apertura a la participación de todas las naciones del planeta. De este modo, tanto por la universalidad en las definiciones como por la amplitud de países implicados puede afirmarse que el Sistema Internacional no es un sistema de unidades, sino El Sistema de unidades.



### 1.1.1 HISTORIA

En 1795 se creó el Instituto de Francia que agrupó las cinco Academias francesas, entre ellas la de Ciencias, siendo su presidente en 1800 Pierre-Simón Laplace, destacado astrónomo, físico y matemático de la época. El 29 de noviembre de ese año el Instituto de Francia establece oficialmente la unidad de longitud como la “diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre que pasa por París”, y se le asignó la denominación de “metro”, derivado de la palabra griega “metron” que significa “medida”.

En 1809, otro astrónomo y matemático miembro de la Academia de Ciencias, Jean Baptiste Delambre presentó los fundamentos del futuro Sistema Métrico Decimal, enunciando los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades de medida y, en particular del metro. En ese momento también se deducen las unidades de superficie (metro cuadrado) y de volumen (litro) a partir de la de la longitud, y se define la unidad de masa (kilogramo) a partir de la de longitud como “la masa de un decímetro cúbico de agua a la temperatura de 4°C”.



*Figura 1.1. Pierre-Simón Laplace. Astrónomo, físico y matemático francés. Fuente Wikipedia*

El sistema se completa con una unidad básica independiente de las demás, esto es, la unidad de tiempo (segundo) que definen como “ $1/86400$  de la duración del día solar medio”. Asimismo, se depositan en París prototipos del litro y del kilogramo, conjuntamente con el ya depositado del metro. Con ello queda completado el Sistema Métrico Decimal referente a cuatro magnitudes: espacio, capacidad, masa y tiempo, con sus unidades respectivas:

metro, litro, kilogramo y segundo; estando las tres primeras unidades relacionadas entre sí y todas ellas referidas, de alguna manera, a las dimensiones y movimientos de nuestro planeta.

En 1872 se celebra en París la Conferencia Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) en la que participan 20 países, y se acuerda elaborar estudios y construir nuevos prototipos para el metro y el kilogramo. Asimismo, la conferencia acuerda depositar dichos prototipos en París y crear la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, con sede en Sévres, en las proximidades de París.

El “Bureau” Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) fue creado por la “Convención del Metro” firmada en París el 20 de Mayo de 1875 por diecisiete estados europeos, entre los que se encontraba España.

El BIPM tiene como principal objetivo el “asegurar la unificación mundial de las mediciones físicas” y está encargado de:

- Establecer los patrones fundamentales y las escalas de las principales magnitudes físicas, así como de conservar los prototipos internacionales.
- Efectuar la comparación de los patrones nacionales e internacionales.
- Asegurar la coordinación de las técnicas de medida.
- Efectuar y coordinar las determinaciones relativas a las constantes físicas que intervienen en las actividades anteriores.



**Figura 1.2.** Logotipo de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM por sus siglas en francés). Fuente Wikipedia

El primer prototipo internacional del metro fue sancionado por la 1ª Conferencia General de Pesas y Medidas en 1889 y ha sido conservado en el “Bureau” Internacional de Pesas y Medidas de París, en las mismas condiciones fijadas en dicho año.

En 1927 la CGPM establece la definición del metro a partir del Prototipo Internacional, como sigue: *“La unidad de longitud es el metro, definido por la distancia, a 0°, de los ejes de dos trazos medios trazados sobre la barra de platino iridiado depositada en el BIPM y declarada Prototipo del Metro por la I CGPM de 1889, estando dicha regla sometida a la presión atmosférica normal y soportada por dos rodillos de al menos un centímetro de diámetro, situados simétricamente en un mismo plano horizontal y a la distancia de 571 milímetros el uno del otro”*.

La 11ª CGPM, celebrada en París en Octubre de 1960, desarrolla y adopta el denominado Sistema Internacional de Unidades SI, en el que se consideran las siguientes seis magnitudes básicas fundamentales, con sus respectivas unidades y símbolos:

|  |           |    |
|--|-----------|----|
| <b>Longitud</b>                          | metro     | m  |
| <b>Masa</b>                              | kilogramo | kg |
| <b>Tiempo</b>                            | segundo   | s  |
| <b>Intensidad de corriente eléctrica</b> | amperio   | A  |
| <b>Temperatura termodinámica</b>         | kelvin    | K  |
| <b>Intensidad luminosa</b>               | candela   | cd |

Además, en la 11ª CGPM se da una nueva definición de metro *“El metro es la longitud igual a 1 650 763,73 longitudes de onda en el vacío, de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles 2p<sub>10</sub> y 5d<sub>5</sub> del átomo de Criptón 86”*.

En la 13ª CGPM de 1967 y en la 14ª edición de 1971, se acordaron modificaciones sustantivas del SI, entre ellas la incorporación de una séptima magnitud fundamental: la cantidad de sustancia, cuya unidad es el mol.

Posteriormente, y a fin de poder aumentar la precisión en la determinación del metro, la 17ª CGPM de 1983 procedió a la redefinición de la unidad internacional de longitud en los siguientes términos: *“El metro es la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante una duración de 1/299.792.458 de segundo”*.

Esta es la definición del metro que se encuentra vigente en la actualidad.

## 1.1.2 UNIDADES BÁSICAS Y PATRONES

### Unidades básicas del SI

Las unidades básicas del Sistema Internacional son, desde la 14ª Conferencia General de Pesos y Medidas de 1971, las siete siguientes:

|  |           |     |
|--|-----------|-----|
| <b>Longitud</b>                          | metro     | m   |
| <b>Masa</b>                              | kilogramo | kg  |
| <b>Tiempo</b>                            | segundo   | s   |
| <b>Intensidad de corriente eléctrica</b> | amperio   | A   |
| <b>Temperatura termodinámica</b>         | kelvin    | K   |
| <b>Cantidad de sustancia</b>             | mol       | mol |
| <b>Intensidad luminosa</b>               | candela   | cd  |

El principio general para la escritura de los símbolos de las unidades es el siguiente:

*“Los símbolos de las unidades se expresarán en caracteres romanos, en general minúsculos; no obstante, si los símbolos se derivan de nombres propios, se utilizarán los caracteres romanos mayúsculos para la primera letra. Estos símbolos no irán seguidos de un punto. Los símbolos de las unidades permanecerán invariables en plural”.*

Las definiciones actuales de las unidades básicas del SI son las que a continuación se indican:

- **metro:** Es la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante una duración de  $1/299.792.458$  de segundo (1983).
- **kilogramo:** Es la masa igual a la del prototipo internacional de platino iridiado que se conserva desde 1889 en el BIPM (1901).
- **segundo:** Es la duración de  $9.192.631.770$  períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133 (1967).
- **amperio:** Es la intensidad de una corriente constante que, mantenida en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y colocados a una distancia de un metro el uno del otro en el vacío, produce entre estos conductores una fuerza igual a  $2 \times 10^{-7}$  newton por metro de longitud (1948).

- **kelvin:** Es la fracción  $1/273,16$  de la temperatura termodinámica del punto triple del agua (1967).
- **mol:** Es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades como átomos hay en 0,012 kilogramos de carbono 12. Cuando se emplea el mol, las entidades elementales deben ser especificadas y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o agrupamientos especificados de tales partículas (1971).
- **candela:** Es la intensidad luminosa, en la dirección perpendicular, de una superficie de  $1/600000$  metro cuadrado de un cuerpo negro a la temperatura de congelación del platino bajo la presión de 101.325 newtons por metro cuadrado (1967).

## Patrones

En 1990 se crea en España el Centro Español de Metrología, organismo dependiente del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad y se le otorgan entre otras las siguientes funciones:

- Custodia y diseminación de los patrones nacionales de las unidades de medida.
- Soporte de la trazabilidad metrológica.
- Las correspondientes a la Administración en metrología legal.



*Figura 1.3. Logotipo del Centro Español de Metrología, dependiente del MINECO. Fuente [www.cem.es](http://www.cem.es)*

El CEM custodia y/o supervisa los patrones nacionales, así como su correspondencia de los patrones origen del BIPM. A partir de los patrones nacionales se coordina la diseminación y trazabilidad metrológica de los mismos.

Siguiendo la denominada pirámide de trazabilidad y diseminación en metrología en la que participan laboratorios y empresas algunos de ellos acreditados por la Entidad Nacional de Acreditación ENAC, se consigue una gestión adecuada de los instrumentos y de los patrones utilizados para su calibración de manera que correspondan lo más fielmente posible a las unidades y patrones primarios.



*Figura 1.4. Pirámide de trazabilidad-diseminación de patrones. Fuente [www.cem.es](http://www.cem.es)*

### 1.1.3 UNIDADES DERIVADAS Y COMPLEMENTARIAS

#### Unidades del SI derivadas

A partir de las unidades básicas, las “unidades derivadas” se obtienen mediante expresiones algebraicas (multiplicación y división). Algunas de estas unidades derivadas reciben nombres específicos y un símbolo particular. Las unidades derivadas pueden clasificarse en tres grupos, a saber:

- Unidades SI derivadas a partir de las básicas
- Unidades SI derivadas con nombres específicos
- Unidades SI derivadas con nombres compuestos

Algunos ejemplos de estos tipos de unidades derivadas son:

- Unidades SI derivadas a partir de las básicas:

|                      |                            |           |
|----------------------|----------------------------|-----------|
| <b>Superficie</b>    | metro cuadrado             | $m^2$     |
| <b>Volumen</b>       | metro cúbico               | $m^3$     |
| <b>Velocidad</b>     | metro por segundo          | $m/s$     |
| <b>Aceleración</b>   | metro por segundo cuadrado | $m/s^2$   |
| <b>Densidad</b>      | kilógramo por metro cúbico | $kg/m^3$  |
| <b>Concentración</b> | mol por metro cúbico       | $mol/m^3$ |

- Unidades SI derivadas con nombres específicos:

|                              |          |          |             |
|------------------------------|----------|----------|-------------|
| <b>Frecuencia</b>            | hertz    | Hz       | $s^{-1}$    |
| <b>Fuerza</b>                | newton   | N        | $mkgs^{-2}$ |
| <b>Presión</b>               | pascal   | Pa       | $N/m^2$     |
| <b>Energía, trabajo</b>      | julio    | J        | Nm          |
| <b>Potencia</b>              | vatio    | W        | J/s         |
| <b>Carga eléctrica</b>       | culombio | C        | As          |
| <b>Tensión eléctrica</b>     | voltio   | V        | W/A         |
| <b>Capacidad eléctrica</b>   | faradio  | F        | C/V         |
| <b>Resistencia eléctrica</b> | ohmio    | $\Omega$ | V/A         |

- Unidades SI derivadas que se expresan con nombres compuestos:

|                |                  |       |
|----------------|------------------|-------|
| <b>Momento</b> | Newton por metro | $N*m$ |
|----------------|------------------|-------|

## Unidades suplementarias del SI

Es el caso de dos unidades del SI, la CGPM no se ha definido aún sobre si son “básicas” o “derivadas”, pasándose a denominar “unidades suplementarias”. Tales unidades suplementarias son:

|                      |                |     |
|----------------------|----------------|-----|
| <b>Ángulo plano</b>  | radián         | rad |
| <b>Ángulo sólido</b> | estereorradián | sr  |

Las definiciones de estas unidades son:

- Radián: Es el ángulo plano que, teniendo su vértice en el centro de un círculo, intercepta sobre la circunferencia de este círculo un ángulo de longitud igual a la del radio.
- Esterorradián: Es el ángulo sólido que, teniendo su vértice en el centro de una esfera, delimita sobre la superficie esférica correspondiente un área igual a la de un cuadrado que tiene como lado el radio de la esfera.

A partir de estas unidades suplementarias se tienen nuevas unidades SI derivadas, tales como:

|                            |                             |                    |
|----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| <b>Velocidad angular</b>   | radián por segundo          | rad/s              |
| <b>Aceleración angular</b> | radián por segundo cuadrado | rad/s <sup>2</sup> |

## Unidades no incluidas en el SI

En este grupo se consideran aquellas unidades que pueden utilizarse conjuntamente con las del SI, pese a no estar incluidas en este. Tales unidades son:

|                 |     |                             |
|-----------------|-----|-----------------------------|
| <b>Minuto</b>   | min | 1min = 60s                  |
| <b>Hora</b>     | h   | 1h = 60min = 3600s          |
| <b>Día</b>      | d   | 1d = 24h = 86400s           |
| <b>Grado</b>    | °   | 1° = (PI/180)rad            |
| <b>Minuto</b>   | '   | 1' = (1/60)°                |
| <b>Segundo</b>  | "   | 1" = (1/60)'                |
| <b>Litro</b>    | l   | 1l = (1/1000)m <sup>3</sup> |
| <b>Tonelada</b> | t   | 1t = 10 <sup>3</sup> kg     |



### Unidades a mantener temporalmente con el SI

El CIPM ha estimado mantener temporalmente el empleo de ciertas unidades de medida de uso generalizado. En este grupo se tienen, entre otras, las siguientes:

|                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| <b>Milla marina</b>     | 1milla marina = 1.852m     |
| <b>Nudo</b>             | 1nudo = 1milla marina/hora |
| <b>Área</b>             | 1a = 100m <sup>2</sup>     |
| <b>Hectárea</b>         | 1ha = 10.000m <sup>2</sup> |
| <b>Bar</b>              | 1bar = 100.000Pa           |
| <b>Atmósfera normal</b> | 1atm = 101KPa              |

### Unidades de empleo desaconsejado por el SI

También se tienen unidades no incluidas en el SI y cuyo uso es desaconsejado por el CIPM, por ello se recomienda que estas unidades sean evitadas y reemplazadas por unidades del SI. Entre ellas se tienen:

|                      |            |                  |                       |
|----------------------|------------|------------------|-----------------------|
| <b>Caloría (cal)</b> | 1cal=4,18J | <b>Micra (μ)</b> | 1μ=10 <sup>-6</sup> m |
|----------------------|------------|------------------|-----------------------|

#### 1.1.4 MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS

Los prefijos del SI para el establecimiento de los múltiplos decimales de las unidades del Sistema Internacional son:

|              |    |                  |
|--------------|----|------------------|
| <b>Tera</b>  | T  | 10 <sup>12</sup> |
| <b>Giga</b>  | G  | 10 <sup>9</sup>  |
| <b>Mega</b>  | M  | 10 <sup>6</sup>  |
| <b>Kilo</b>  | K  | 10 <sup>3</sup>  |
| <b>Hecto</b> | H  | 10 <sup>2</sup>  |
| <b>Deca</b>  | da | 10 <sup>1</sup>  |

Por su parte, los prefijos para el establecimiento de los submúltiplos decimales de las unidades del SI son:

|              |       |            |
|--------------|-------|------------|
| <b>Deci</b>  | d     | $10^{-1}$  |
| <b>Centi</b> | c     | $10^{-2}$  |
| <b>Mili</b>  | m     | $10^{-3}$  |
| <b>Micro</b> | $\mu$ | $10^{-6}$  |
| <b>Nano</b>  | n     | $10^{-9}$  |
| <b>Pico</b>  | p     | $10^{-12}$ |



Nótese que la unidad básica de masa en el SI el kilogramo es un múltiplo del gramo, es decir, los múltiplos y submúltiplos se aplican sobre este último.

## 1.2 MARCO LEGAL

El SI se estableció como el Sistema Legal de Unidades de Medida de uso obligado en todo el territorio del Estado Español mediante la Ley 3/1985 de Metrología.



### I. DISPOSICIONES GENERALES

#### JEFATURA DEL ESTADO

**13359** Ley 32/2014, de 22 de diciembre, de Metrología.

*Figura 1.5. Boletín Oficial de la Ley de Metrología vigente*

Actualmente la norma en vigor es la **Ley 32/2014, de 22 de diciembre, de Metrología (BOE23/12/2014)**. La Ley 32/2014 deroga la Ley 3/1985 y modifica otras normas legales vigentes sobre Metrología, en su redacción se han tenido en cuenta los criterios de la Organización Internacional de Metrología Legal de la que España es miembro así como las Resoluciones de la Conferencia General de Pesas y Medidas relacionadas con el SI cuya última reforma procede de 23ª Conferencia del año 2007.

El Artículo 2 de la Ley 32/2014 dice:

*“Artículo 2. Sistema y unidades legales de medida.*

1. El Sistema Legal de Unidades de Medida es el Sistema Internacional de Unidades (SI) adoptado por la Conferencia General de Pesas y Medidas vigente en la Unión Europea. Comprende la definición de las unidades del Sistema Internacional y las de utilización autorizada, sus nombres y símbolos, sus reglas de escritura, las escalas de tiempo y temperatura y las reglas de expresión de sus valores y para la formación de múltiplos y submúltiplos. El Sistema Legal de Unidades de Medida es de uso obligatorio en España.

2. Son unidades legales de medida las unidades básicas y derivadas del Sistema Internacional de Unidades.

3. Las unidades básicas son:

| Magnitud                                 | Nombre    | Símbolo |
|--|-----------|---------|
| <b>Longitud</b>                          | metro     | m       |
| <b>Masa</b>                              | kilogramo | kg      |
| <b>Tiempo</b>                            | segundo   | s       |
| <b>Intensidad de corriente eléctrica</b> | amperio   | A       |
| <b>Temperatura termodinámica</b>         | kelvin    | K       |
| <b>Cantidad de sustancia</b>             | mol       | mol     |
| <b>Intensidad luminosa</b>               | candela   | cd      |

4. Las unidades derivadas se forman a partir de productos de potencias de unidades básicas.

5. El Gobierno, mediante real decreto, con carácter general o en sectores específicos y de conformidad con las resoluciones de la Conferencia General de Pesas y Medidas, podrá autorizar el uso de unidades que, aun no perteneciendo al Sistema Internacional, puedan utilizarse conjuntamente con él. De igual modo podrán utilizarse otras unidades de medida cuyo uso esté previsto por convenios o acuerdos internacionales que vinculen a España.”

Y el Artículo 6:

*“Artículo 6. Utilización del Sistema Legal de Unidades de Medida.*

1. Se prohíbe emplear, salvo en los supuestos a que se hace referencia en el artículo 2.5, unidades de medida distintas de las legales para la medida de las magnitudes en los ámbitos que puedan afectar al interés público, a la salud y seguridad pública, al orden público, a la protección del medio ambiente, a la actividad económica, a la protección de los consumidores y usuarios, a la recaudación de tributos, al cálculo de aranceles, cánones, sanciones administrativas, realización de peritajes judiciales, establecimiento de las garantías básicas para un comercio leal y a todas aquellas actividades que se determinen con carácter reglamentario.

2. El sistema educativo deberá velar por la enseñanza del Sistema Legal de Unidades de Medida al nivel que corresponda.

3. Existe indicación suplementaria cuando una indicación expresada conforme al Sistema Legal va acompañada de una o varias indicaciones expresadas en otras unidades. La indicación en unidades del Sistema Legal deberá ser siempre predominante y claramente diferenciada de la suplementaria.

4. Mediante real decreto podrá exigirse que en los instrumentos de medida figuren indicaciones de magnitud en una sola unidad de medida legal.”



La conclusión que se extrae es que el SI es el sistema preferente cuando no obligatorio para expresar las unidades.

---

No obstante en una economía globalizada es inevitable que los profesionales y empresas españolas se encuentren con herramientas, equipos o productos que provienen de países que utilizan otras unidades distintas del SI. Del mismo modo muchos clientes de la industria española son países extranjeros que pueden exigir que determinados productos estén expresados en unidades diferentes al SI, independientemente de los medios y técnicas usadas para su producción en el SI.

Por ello es útil para profesionales y técnicos además de conocer y usar el SI de unidades, conocer otras unidades importantes de países que no usan de manera preferente el SI.

Y adicionalmente es importante para los alumnos poder convertir unidades bien sean estas básicas, derivadas, y suplementarias del SI, o directamente ajenas a este.

## 1.3 CONVERSIÓN DE UNIDADES

A la hora de pasar de unas unidades a otras hay distintos métodos que llevan lógicamente al mismo resultado, multiplicar por una constante, hacer reglas de tres, etc.

En este texto por la claridad que ofrece emplearemos lo que podría denominarse “método de las fracciones”, que consiste en multiplicar por fracciones unitarias en las que el numerador equivale al denominador pero de tal manera que supone la eliminación de una unidad que queremos que desaparezca y la aparición de la deseada. Veamos unos ejemplos.

### Método de las fracciones

- Ejemplo 1, pasar 42 pulgadas a cm:

$$42'' = 42inch = 42inch \times \frac{2,54cm}{inch} = 106,68cm$$

En la siguiente imagen se observa con más claridad.

$$42'' = 42inch = 42inch \times \frac{2,54cm}{inch} = 106,68cm$$

- Ejemplo 2, pasar 250.000 Pa a psi.

$$250000Pa = 250000Pa \times \frac{1bar}{100000Pa} = 2,5bar = 2,5bar \times \frac{14,50psi}{1bar} = 36,25psi$$

$$250000Pa = 250000Pa \times \frac{1bar}{100000Pa} = 2,5bar = 2,5bar \times \frac{14,50psi}{1bar} = 36,25psi$$

- Ejemplo 3, pasar 10 m<sup>3</sup>/h a litros/sg

$$\frac{10m^3}{h} = \frac{10m^3}{1h} \times \frac{1000litros}{1m^3} \times \frac{1h}{3600sg} = 2,78l / sg$$

$$\frac{10m^3}{h} = \frac{10\cancel{m^3}}{1\cancel{h}} \times \frac{1000\cancel{\text{litros}}}{1\cancel{m^3}} \times \frac{1\cancel{h}}{3600\cancel{\text{sg}}} = 2,78l / \text{sg}$$

- Ejemplo 4, pasar 20.000 Kcal/h a watos.

$$\frac{20000Kcal}{h} = \frac{20000Kcal}{1h} \times \frac{1000}{1K} \times \frac{4,18\text{ julios}}{1cal} \times \frac{1h}{3600\text{sg}} = \frac{23222,22\text{ julios}}{\text{sg}} = 23222,22\text{watos}$$

$$\frac{20000Kcal}{h} = \frac{20000\cancel{Kcal}}{1\cancel{h}} \times \frac{1000}{1\cancel{K}} \times \frac{4,18\text{ julios}}{1\cancel{cal}} \times \frac{1\cancel{h}}{3600\cancel{\text{sg}}} = \frac{23222,22\text{ julios}}{\text{sg}} = 23222,22\text{watos}$$

- Ejemplo 5, pasar 1.500 rpm a rad/sg.

$$1500rpm = \frac{1500\text{revolución}}{\text{min}} = \frac{1500\text{rev}}{1\text{min}} \times \frac{2\pi\text{radianes}}{1\text{rev}} \times \frac{1\text{min}}{60\text{sg}} = \frac{157,08\text{rad}}{\text{sg}} = 157,08\text{rad} / \text{sg}$$

$$1500rpm = \frac{1500\text{revolución}}{\text{min}} = \frac{1500\cancel{\text{rev}}}{1\cancel{\text{min}}} \times \frac{2\pi\text{radianes}}{1\cancel{\text{rev}}} \times \frac{1\cancel{\text{min}}}{60\cancel{\text{sg}}} = \frac{157,08\text{rad}}{\text{sg}} = 157,08\text{rad} / \text{sg}$$

## 1.4 UNIDADES MÁS COMUNES EN SISTEMAS INDUSTRIALES

### 1.4.1 NIVEL DE LÍQUIDOS Y DISTANCIAS

Lógicamente la manera de medir niveles y distancias será con la magnitud del SI el metro y sus múltiplos y submúltiplos.



*Figura 1.6. Medidor de distancias en metros con puntero láser*

Ejemplos:

- El nivel de un depósito con un líquido      3,54 m
- En piezas mecánicas                              20,25 mm
- En trabajos de carpintería                      84,5 cm
- En albañilería                                      10,17 m

Adicionalmente hay otra unidad de origen inglés muy utilizada no solo en países anglosajones, sino en todo el mundo, es la pulgada que equivale a 2,54 cm.

Es habitual su uso en dispositivos electrónicos e informáticos para referirse al tamaño de las pantallas por lo que mide su diagonal en pulgadas. Asimismo todavía es muy frecuente su uso en fontanería en la medición de los diámetros de las tuberías y accesorios.

En teoría la pulgada debería ir desapareciendo y su uso reemplazándose por el del cm y el mm.



Aunque es una unidad que se espera pierda vigencia con el paso de los años, de momento conviene aprender de memoria que 1 pulgada = 1 inch = 1" = 2,54 cm.

### 1.4.2 PRESIÓN (Y TENSIÓN MECÁNICA)

En el caso de la presión se da la circunstancia de que existen numerosas unidades y que todas ellas tienen su importancia por lo que es de utilidad conocer al menos las de más uso.

La presión ejercida por un fluido y la tensión mecánica de tracción o compresión que soporta un material son magnitudes diferentes pero derivan de una fórmula equivalente y tienen las mismas unidades.



$$\text{Presión } P = \frac{F}{S} \quad \text{Tensión } \sigma = \frac{F}{A}$$

Tanto en una como en otra, Superficie o Área se trata de la sección transversal a la fuerza en cuestión.

**El Pascal (Pa)**, es la unidad de presión en el sistema internacional de unidades (SI). Su valor viene determinado por la Ley de Pascal  $P = F/S$ , de tal manera que  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/1 \text{ m}^2$ .  
 P: Presión, F: Fuerza en Newton, S: Superficie en  $\text{m}^2$   
 Recordemos que  $F = m \cdot g$ , siendo m: masa en (kg) y 9,81 (constante de la gravedad).  
 Como un pascal es una unidad muy pequeña se utilizan múltiplos suyos.

**El Megapascal (MPa)**, es obviamente  $10^6 \text{ Pa}$ , se usa cada vez más en sistemas neumáticos y también para tensión mecánica, se da la circunstancia que al medirse muchas secciones en  $\text{mm}^2$  el producto por MPa da fuerza en Newton.



$$1 \text{ Newton} = 1 \text{ Pascal} \times 1 \text{ m}^2 \quad 1 \text{ Newton} = 1 \text{ MPascal} \times 1 \text{ mm}^2.$$

**El Bar**, es un múltiplo especial del Pascal, no contemplado como básico en el SI pero ampliamente utilizado en sistemas neumáticos.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100.000 \text{ Pa} = 100 \text{ Kpa} = 0,1 \text{ MPa}$$

**La Atmósfera (at)**, es el valor de la presión de la atmósfera terrestre a nivel del mar. Su valor varía según la latitud, temperatura y las condiciones del clima. Las borrascas son situaciones de baja presión y los anticiclones de alta.



El físico Torricelli calculó la presión atmosférica introduciendo un tubo con mercurio líquido de densidad  $d = 13,6 \text{ kg/dm}^3$  en una cubeta con el mismo metal, y observar que el nivel descendía hasta 760 mm o 760 mm de Hg.

Veamos a cuantos bares equivalen la presión ejercida por esa columna de mercurio:

$$1at = 760mmHg = 0,76mHg = \frac{0,76m \times S}{S} \times \frac{1000dm^3}{1m^3} \times \frac{13,6kg}{1dm^3} \times \frac{9,81N}{1kg} = 101.300Pa = 1,013bar$$

Por lo tanto, 1 at = 1,013 bar es decir la atmósfera es prácticamente igual a un bar, de hecho al bar también se le llama atmósfera técnica.

$$1at = 1,013bar \cong 1bar$$

**El kg/cm<sup>2</sup>** es una unidad de presión no normalizada, aunque muy visual porque es fácil hacerse la idea de la presión que supone una masa de un kilogramo sobre una superficie de un centímetro cuadrado. En el antiguo Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria se utilizaba con carácter preferente.

$$\frac{1kg}{1cm^2} = \frac{1kg}{1cm^2} \times \frac{10000cm^2}{1m^2} \times \frac{9,81N}{1kg} = 98.100Pa = 0,981bar \cong 1bar$$

Sin mucho error pueden considerarse el Kg/cm<sup>2</sup> y el bar equivalentes.



Nótese que tres unidades de presión ampliamente utilizadas en la industria pueden usarse sin tan apenas error en la mayoría de los casos:

$$1at = 1bar = 1kg / cm^2$$

**La psi (Pound per Square Inch)**, es la unidad de presión en el sistema inglés, en español sería: Libra por Pulgada Cuadrada. Se utiliza en países de habla inglesa que no han implantado en exclusiva el Sistema Internacional, se calcula a partir de la unidad de masa inglesa, la libra (1 pound = 0,4536 kg), y de longitud la pulgada (1 pulgada = 1 inch = 1" = 2,54 cm).

Aunque deberían ser unidades en desuso, dada la importancia de la industria de esos países, todavía se utilizan, y muchos manómetros vienen calibrados en bares y en psi.

Veamos a cuántos Pascales y bar equivale una psi.

$$1 \text{ psi} = \frac{1 \text{ pound}}{1 \text{ inch}^2} = \frac{1 \text{ pound}}{1 \text{ inch}^2} \times \frac{1 \text{ inch}^2}{2,54 \text{ cm}^2} \times \frac{10000 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} \times \frac{0,4536 \text{ kg}}{1 \text{ pound}} \times \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kg}} = 6.897 \text{ Pa}$$

1 bar = 100.000 Pa, luego  $100.000:6897 = 14,50$

Por lo tanto, **1 bar = 14,50 psi**

El **mca**, metro de columna de agua, es una unidad utilizada habitualmente en jardinería, ingeniería agrícola y a veces en sistemas de distribución de agua.

Como en los casos anteriores puede demostrarse que aproximadamente:

**1 bar = 10 mca** o de manera inversa **1 mca = 0,1 bar**



*Figura 1.7. Transductor de presión de 0 a 2,5 bar y salida de 0 a 10 voltios, con indicación en display en bar o en psi*

### 1.4.3 CAUDAL

El caudal es volumen entre el tiempo, por lo que tomando estas dos magnitudes con sus unidades del SI será sencillo obtener unidades de caudal.

A veces se usará la conocida unidad de volumen el litro tal que  $1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$  como en el ejemplo visto anteriormente.

También hay otra unidad de volumen de cierto uso en el mercado americano, el galón pero en principio se considerará menos importante  $1 \text{ galón} = 3,785 \text{ litros}$ .

$$\frac{10\text{m}^3}{\text{h}} = \frac{10\text{m}^3}{1\text{h}} \times \frac{1000\text{litros}}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{h}}{60\text{min}} = 166,67\text{l} / \text{min}$$

### 1.4.4 TEMPERATURA

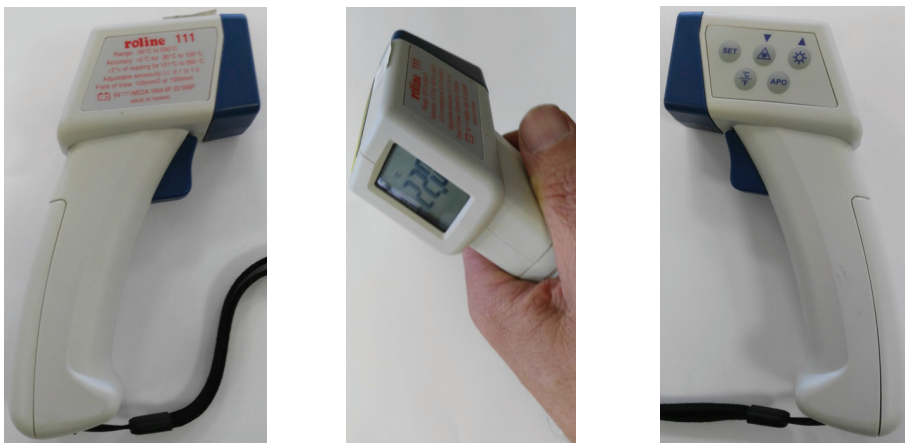
La temperatura se mide en Kelvin K y expresa la agitación molecular de la materia desde el cero absoluto. Ese cero absoluto es difícil de conseguir y no se da en la vida cotidiana, por lo que se utilizan dos escalas relativas respecto a otro cero relativo:

La escala Celsius que toma el cero en el punto que se congela el agua a presión atmosférica tal que  $0^\circ \text{C} = 273,15 \text{ K} \approx 273 \text{ K}$  y cada grado centígrado se corresponde con el aumento de una unidad Kelvin.

La escala Farenheit utilizada principalmente en EEUU toma el  $0^\circ \text{F}$  en  $32^\circ \text{C}$  y cada grado Farenheit equivale a  $1,8^\circ \text{C}$ .

Para pasar de la escala centígrada a la Farenheit:  $Y(^{\circ}\text{F}) = 1,8 * X(^{\circ}\text{C}) + 32$

Y viceversa:  $X(^{\circ}\text{C}) = [Y(^{\circ}\text{F}) - 32] / 1,8$



**Figura 1.8.** Pirómetro óptico para medida de temperatura con puntero láser y botón de lectura °C/°F

### 1.4.5 VELOCIDAD DE GIRO

La velocidad de giro de máquinas rotativas especialmente motores condiciona el valor de otras magnitudes industriales como pueden ser velocidades lineales, caudales, presiones, etc.

**Las rpm**, posiblemente la unidad de giro más utilizada, textualmente quiere decir “revoluciones por minuto” pero en realidad es revoluciones o vueltas que da un motor o máquina por cada minuto que transcurre, es decir

$$1rpm = \frac{1rev}{1\text{ min}}$$

**Min<sup>-1</sup> o Sg<sup>-1</sup>**, en determinados ambientes científicos se obvia la vuelta o revolución, o simplemente el ciclo que realiza una máquina porque se da por entendido y únicamente se expresa el tiempo en el denominador indicado con exponente negativo. En el caso del segundo se denomina Hertzio ( $1\text{ Sg}^{-1} = 1\text{ Hz}$ ).

Ejemplo

$$100\text{ min}^{-1} = \frac{100\text{ ciclos}}{\text{min}} = \frac{100\text{ rev}}{\text{min}}$$



1500 rpm es una velocidad de giro típica de muchos motores trifásicos.

$$1500rpm = 1500 \frac{\text{revoluciones}}{\text{minuto}} = 1500 \frac{\text{vueltas}}{\text{minuto}} = 1500\text{ min}^{-1}$$

**Rad/sg** es la unidad en el Sistema Internacional y la que debe utilizarse cuando quiera emplearse en expresiones que deriven o produzcan otras unidades del sistema internacional. No debe olvidarse

$$1\text{ vuelta} = 360^\circ = 2\pi\text{ rad} \cong 6,28\text{ radianes}$$

Para designar rad/sg se utiliza la letra griega omega  $\omega$  y en ocasiones también se denomina pulsación o frecuencia de giro.



Para la magnitud física velocidad de giro si se mide en rpm es habitual usar la letra  $n$  y si se mide en rad/sg la letra  $\omega$ , pero es la misma magnitud.



*Figura 1.9. Tacómetro para medir la velocidad de rotación de ejes de motor*

### 1.4.6 ENERGÍA

La energía en el SI se mide en **Julios (J)**, tiene la característica de que es una unidad muy pequeña, y como se verá en el siguiente apartado puede expresarse como  $1(\text{J}) = 1(\text{W}) * 1(\text{sg})$ .

La energía admite ser nombrada de diferentes formas según el uso que se haga de ella, trabajo, trabajo útil, energía cinética, energía potencial, calor, calor cedido, calor extraído, calor absorbido, etc.

Una unidad muy común en sistemas energéticos térmicos es la **Caloría (cal)**, siendo esta la cantidad de energía en forma de calor a aportar a un gramo de agua para aumentar su temperatura en un °C. La caloría es como el julio una unidad muy pequeña y su equivalencia es  $1 \text{ J} = 0,24 \text{ cal}$  o  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ .

Al ser tan pequeñas el Julio y la Caloría suelen utilizarse múltiplos como el Kjul y Kcal, por ejemplo en el envase de determinados alimentos suele aparecer en estos múltiplos la cantidad de energía que aportará a nuestro organismo su consumo, en ocasiones indica todo el envase o la cantidad de 100 gramos del producto.

Otra unidad muy interesante es la utilizada en sistemas eléctricos de potencia, siendo por tanto una unidad más grande y práctica, es el **Kw \* h**. Es decir, esta unidad se deriva del producto de un múltiplo de unidad de potencia por un múltiplo de unidad de tiempo.

El Kw \* h es la unidad utilizada para la medición de energía en el suministro eléctrico a viviendas, comercios e industrias en general, al ser una unidad mucho más grande que el Julio los “contadores de la luz” (se llaman así pero son los contadores de la energía eléctrica suministrada) con unos pocos dígitos pueden reflejar el consumo que se ha hecho en un periodo de facturación, 1 o 2 meses.

Por ejemplo una vivienda de una familia durante dos meses ha podido consumir 350 Kw \* h es mucho más cómodo de leer (aunque la lectura ya es automática y teledada en la mayoría de los casos) y de facturar que un número con muchos más dígitos como sería en julios y se muestra a continuación:

$$350Kw \times h = 350Kw \times h \frac{3600sg}{1h} \times \frac{1000}{1K} = 1.260.000.000wattios \times sg = 1.260.000.000julios$$



Nótese que el lenguaje puede equivocarnos si no estamos atentos, en este caso Kw\*h se dice “Kilowatios por hora” y textualmente estamos diciendo Kilowatios multiplicados por una hora Kw × h.

Hay otros casos en los que por ejemplo decimos rpm, se dice “revoluciones por minuto” y en realidad estamos diciendo revoluciones por cada minuto transcurrido rev / min o rev:min.

Lo pronunciamos igual pero en el primer caso es multiplicación y en el segundo división.

Otro ejemplo del segundo caso son los Km/h, se dice “kilómetros por hora” y estamos diciendo kilómetros recorridos por cada hora que pasa y también es una división o fracción Km / h o Km:h.

### 1.4.7 POTENCIA

La potencia se define como el cociente entre energía y tiempo (si es instantánea la derivada respecto al tiempo), puede por lo tanto tener diferentes formas dependiendo de la energía que se trate, potencia para producir trabajo, potencia calorífica, potencia frigorífica (calor que se extrae) etc.

$$Potencia = \frac{Energía}{tiempo} = \frac{E}{t}$$

$$1Watio = 1W = \frac{1Julio}{1segundo} = \frac{1J}{1sg}$$

El **Watio o Vatio** se denomina así en el SI en honor a James Watt por la contribución de su máquina de vapor a la primera Revolución Industrial, es una unidad válida para determinados sistemas por ejemplo electrónicos o de telecomunicaciones, pero pequeña para sistemas eléctricos o de tracción donde generalmente se utiliza su múltiplo el Kilowatio Kw.

En sistemas eléctricos o mecánicos la potencia puede obtenerse por medio de las siguientes fórmulas de gran utilidad:

Eléctrico CC  $P = U \times I$

Eléctrico CA monofásico  $P = U \times I \times \cos \varphi$

Eléctrico CA trifásico  $P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$

Mecánico lineal  $P = F \times V = \text{Fuerza} \times \text{Velocidad}$

Mecánico rotativo  $P = M \times \omega = \text{Par de giro} \times \text{Velocidad angular}$

Aunque el Watio y su múltiplo el Kilowatio deberían ser las unidades usadas para todo tipo de potencias dependiendo del ambiente que se trate podemos encontrarnos las siguientes que son muy comunes o las dos:

En sistemas de locomoción el caballo de vapor (cv). 1 cv = 736 watios.

En ocasiones también se utiliza el caballo de vapor inglés o horsepower (hp). 1 hp = 745 watios Muchas veces no se distingue entre cv y hp, se toma 1 cv = 1 hp.



En vehículos, por ejemplo coches, todavía es muy habitual expresar la potencia del mismo en cv, aunque cada vez más los fabricantes la expresan en cv y también en Kw, como debiera ser de forma preferente.

En sistemas de calor y frío se utilizan unidades basadas en la caloría, por ejemplo en calefacciones se usa la Kcal/h.

Y si el sistema es de refrigeración o congelación, es decir que lo que interesa es la cantidad de energía en forma de calor que se está extrayendo de un foco frío, se denominan frigorías, siendo 1 frigoría = 1 fg = -1 Kcal/hora.



Figura 1.10. Izquierda polímetro, derecha luxómetro

En la figura superior se muestra un polímetro para la realización de medidas eléctricas dotado de un termopar tipo K que también permite la medición de temperaturas y un luxómetro midiendo en lux el nivel de iluminación en la mesa de un aula de FP.

### 1.4.8 NIVEL DE ILUMINACIÓN

Aunque la Intensidad luminosa se mide en el SI en candelas (cd) como se vio anteriormente tiene más aplicación práctica el nivel de iluminación o iluminancia medido en **lux (lx)** siendo esto último la relación entre cantidad de luz y la superficie de un plano de trabajo considerado.

La cantidad de luz que emite una lámpara se mide en **lumen (lm)** y depende de la potencia de la misma y de la tecnología empleada en su emisión.

La relación existente entre estas magnitudes es:

$$1 \text{ lumen} = 1 \text{ candela} * 1 \text{ esterorradián} = 1 \text{ lux} * 1 \text{ m}^2 \quad 1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} * 1 \text{ sr} = 1 \text{ lx} * 1 \text{ m}^2$$

El aparato que se utiliza para medir el Nivel de iluminación o iluminancia de un plano de trabajo en un ambiente determinado se denomina **luxómetro**.

Diferente normativa como el REBT o el INSHT definen el Nivel de iluminación mínimo que debe haber en diferentes estancias o situaciones para garantizar una correcta realización de la actividad que allí tenga lugar.

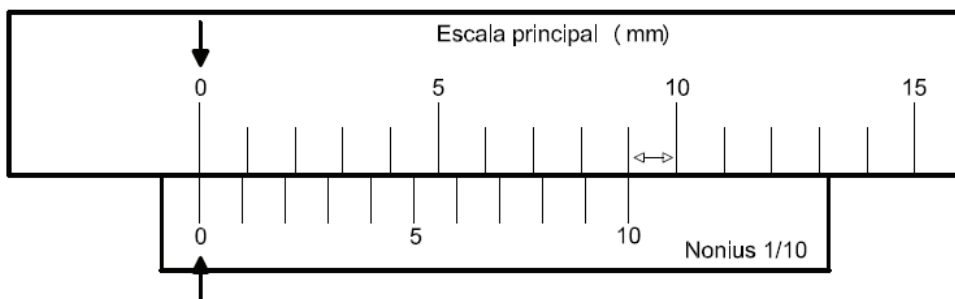
Por ejemplo en la ICT-BT28 del REBT se establece que el alumbrado de evacuación debe proporcionar al menos 1 lux en zonas de paso principales.



En diferentes guías se recomienda un nivel de iluminación para aulas de secundaria de entre 300 y 500 lux. Para aplicaciones o trabajos de fotografía y/o vídeo profesional pueden ser necesarios varios miles de lux.

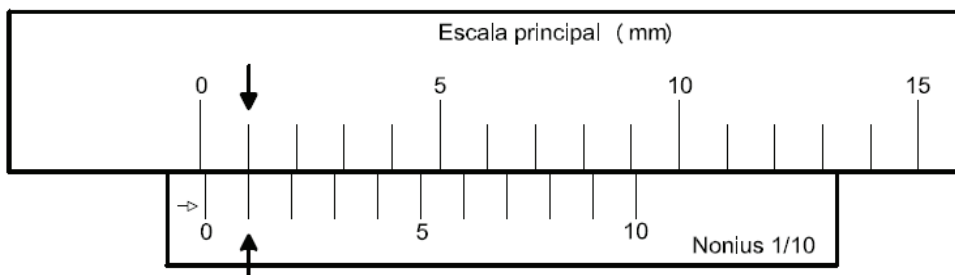
## 1.5 CASO PRÁCTICO: USO DEL NONIUS

Un nonius o nonio es una escala auxiliar que complementa la escala principal de un instrumento de medición de manera que se consigue una mejor apreciación de la medida logrando una mayor exactitud.



*Figura 1.11. Nonius de 10 divisiones aplicado sobre el milímetro 9 de la escala principal*

En este caso las diez divisiones del nonius se aplican sobre el milímetro 9, luego las 10 divisiones están separadas  $9/10 = 0,9$  mm. La posición del 0 coincide en la escala principal y la secundaria.



*Figura 1.12. Desplazamiento del nonius 0,1 mm a la derecha*

Se desplaza el nonius a la derecha hasta que coincide la primera división, luego el avance que se ha producido es  $1 - 0,9 = 0,1$  mm. En este caso esa es la lectura del instrumento 0,1 mm.

Si se desplaza más a la derecha hasta que coincide la división número 6, el desplazamiento producido es  $0,1 * 6 = 0,6$  mm. La lectura del instrumento es 0,6 mm.

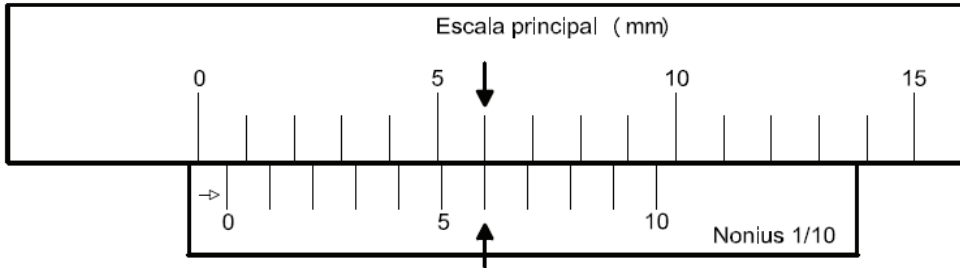


Figura 1.13. Desplazamiento del nonius  $0,1 * 6 = 0,6$  mm a la derecha

Si en vez de partir de la posición 0 de la escala principal, se parte de otro milímetro el resultado será la combinación de ambas posiciones. Por ejemplo en la siguiente figura la medida es superior al milímetro 3 estando el nonius en la posición 6 indicada, luego la medida completa es 3,6 mm.

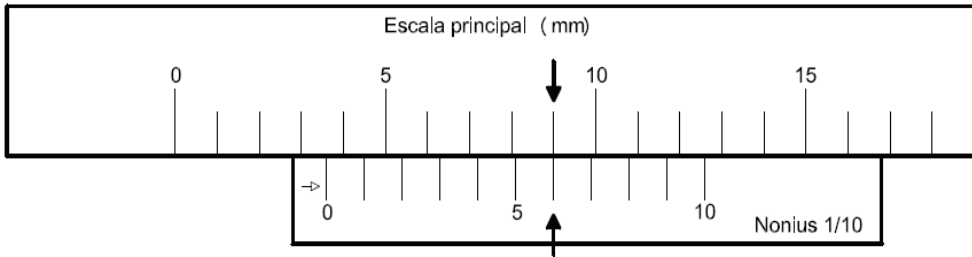


Figura 1.14. Lectura de 3,6 mm

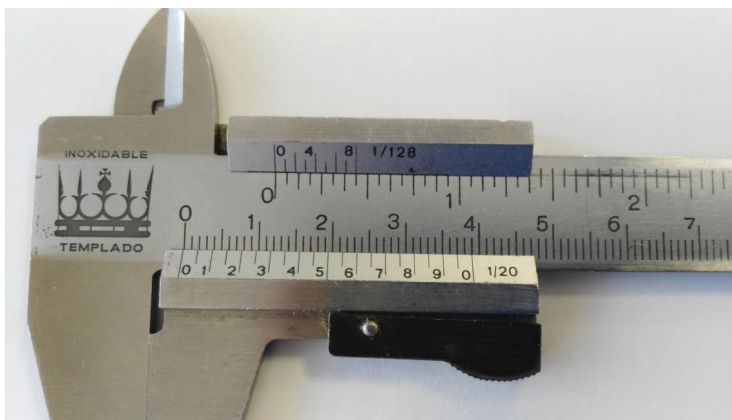


Figura 1.15. Pie de rey de 20 divisiones aplicado sobre el milímetro 39. Resolución 0,05 mm

Puede generalizarse el caso a nonius de una resolución mayor al caso planteado y de aplicación a una medida mayor para que la visualización sea mejor.

De una manera práctica, la resolución en los nonius de los calibres o pie de rey es el cociente de la diferencia entre la medida de la escala principal y la del nonius, entre el número de divisiones del nonius.

Ejemplo, resolución de un nonius de 10 divisiones que se aplica sobre el milímetro 9 en la escala principal:

$$r = \frac{10 - 9}{10 \text{ div}} = 0,1 \text{ mm}$$

Nonius de 10 divisiones que se aplica sobre el milímetro 19 en la escala principal:

$$r = \frac{20 - 19}{10 \text{ div}} = 0,1 \text{ mm}$$

La resolución es la misma que en el caso anterior, sin embargo antes las marcas de la escala secundaria estaban separadas  $9/10 = 0,9$  mm y ahora lo están  $19/10 = 1,9$  mm por lo que es más cómodo para el ojo humano.

Nonius de 20 divisiones aplicado sobre el milímetro 19 de la escala principal:

$$r = \frac{20 - 19}{20 \text{ div}} = 0,05 \text{ mm}$$

Nonius de 20 divisiones aplicado sobre el milímetro 39 de la escala principal:

$$r = \frac{40 - 39}{20 \text{ div}} = 0,05 \text{ mm}$$

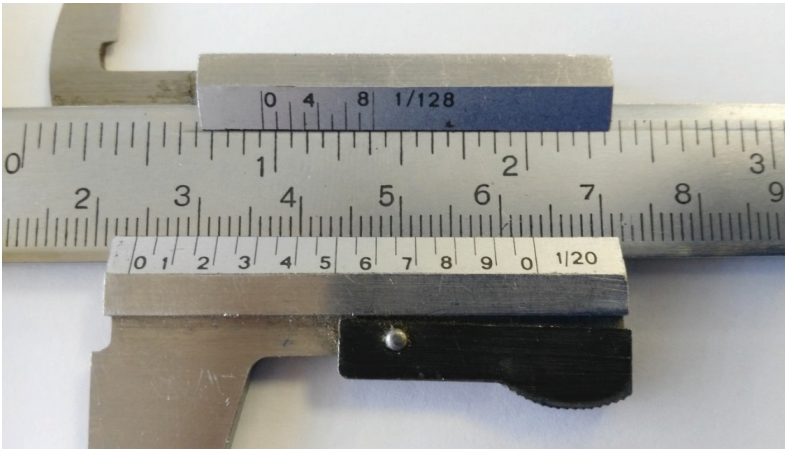
Tal y como ocurría en el caso del nonius de 10 divisiones, la apreciación en el caso de 39 es más fácil para la visión de las personas.

Existen calibres con nonius de 50 divisiones que se aplican sobre el milímetro 49, en los que la resolución es  $1/50 = 0,02$  mm. La resolución es muy alta, sin embargo para su lectura es recomendable una lupa.

La lectura en todos ellos se realizará del siguiente modo:

1. Observar el último milímetro de la escala principal donde se aplica la posición 0 del nonius.

2. Aprender a apreciar la división del nonius que mejor coincide con las divisiones de la escala principal.
3. Combinar ambas lecturas, siendo que el nonius ya estará marcado para dar la lectura en fracciones de milímetro.



*Figura 1.16. Lectura con calibre o pie de rey de resolución  $1/20 = 0,05$  mm*

## EJEMPLO



1. El 0 del nonius pasa del milímetro 24 en la escala principal.
2. La segunda división del nonius es la que mejor coincide con una división de la escala principal. La 1ª y la 3ª también coinciden bastante, es importante mirar el instrumento bien de frente para no cometer errores por oblicuidades.
3. La segunda división del nonius ya está marcada como 10 luego la medición combinada del instrumento será 24,10 mm
4. Como la resolución del instrumento son 0,05 mm por cada división, y hay dos divisiones hasta la que mejor coincide, también puede calcularse la medida como  $0,05 * 2 = 0,10$  mm y la medida sigue siendo 24,10 mm. Pero es más práctico aprovechar las marcas que al efecto ya tiene el nonius.

## El Micrómetro

El micrómetro es otro dispositivo de medición que tiene una escala principal acompañada de un nonio giratorio en forma de tambor. Una configuración habitual es la

que se muestra en la imagen, en la que un tambor de 50 divisiones da una vuelta completa para avanzar 0,5 mm por lo que la resolución es  $0,5/50 = 0,01$  mm.



*Figura 1.17. Micrómetro de tambor de 50 divisiones. Resolución 0,01 mm*

En este caso la lectura pasa de la marca 6 inferior y de la 0,50 superior, y el tambor ha girado 21 divisiones, por lo que la lectura del instrumento será  $6 + 0,50 + 0,21 = 6,71$  mm.

## 1.6 EJERCICIOS

- **1.** Con un elemento portátil de medición cubicar el aula donde das clase. Suponiendo que es un local que requiere una ventilación de 6 renovaciones/hora calcular el caudal del ventilador en litros/sg que funcionando en continuo realizaría dicha ventilación.
- **2.** Equipos portátiles de medición. Si es posible obtener algunos de los siguientes equipos portátiles, realizar las siguientes medidas.

En aquellos dispositivos que utilicen un rayo láser observar la precaución de no apuntar a los ojos de las personas.

- **2.1.** Pirómetro de radiación:  
Medida de temperaturas de objetos sin contacto, la piel, el radiador, otras fuentes de calor y frío.  
Observar si el aparato lleva la opción de cambiar de °C a °F.
- **2.2.** Medidor de distancias:  
Medir la altura de un edificio cercano haciendo una triangulación con un medidor láser. A la altura de la cadera hacer una medida paralela a la fachada (será un cateto), posteriormente otra medida hasta la cornisa que determinará la altura a

medir (será la hipotenusa), por Pitágoras o trigonometría determinar el otro cateto que junto con la altura de la cadera al suelo dará la altura del edificio en cuestión.

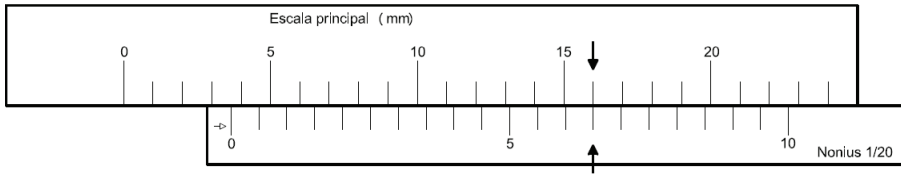
■ **2.3. Luxómetro:**

Medida del nivel de iluminación del plano de trabajo del aula o taller (mesa o similar), debajo de la mesa, cerca de las lámparas, al lado de la ventana y también exteriores en diversas posiciones en relación al sol.

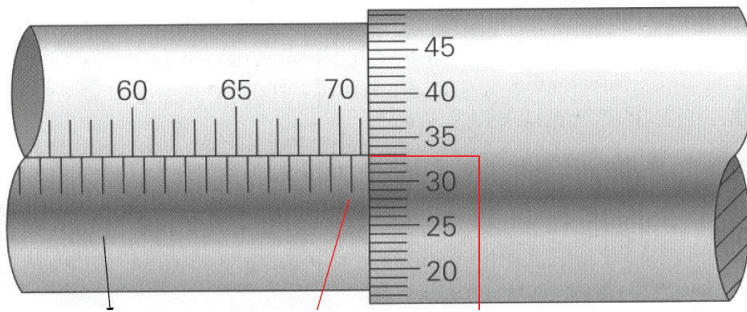
- **3. Caudal.** Pasar 1 m<sup>3</sup>/hora a litros/sg.
- **4. Caudal.** Si un galón son 3,7854 litros, pasar a galones/minuto la respuesta anterior.
- **5. Temperatura.** ¿Cuántos °F son 20° C? ¿Y cuántos °C son 312° K?
- **6. A 20° F** tras una nevada, ¿habrá hielo en la carretera?
- **7. Presión.** Pasar 100 Pascales a atmósferas.
- **8. Presión.** ¿Cuántos bares son 5 kg/cm<sup>2</sup>?
- **9. Presión.** ¿Cuántas at son 5 bares?
- **10. Presión.** Pasar 7,25 MPa a atmósferas at.
- **11. Presión.** ¿Cuántos bares supone un depósito de agua que esté elevado 2 metros? Es decir, pasar 2 mca a bares.
- **12. Nivel.** ¿Cuántas “ son 73,66 cm?
- **13. Energía calorífica (calor),** ¿cuántos julios son 1000 calorías?
- **14. Pasar 50 Kw\*hora** a julios.
- **15. Pasar 50 kw\*hora** a calorías.
- **16. Potencia.** ¿Cuántos kw son 5.000 Kcal/hora?
- **17. Potencia** ¿Cuántos kw son 3 cv?
- **18. Ángulo de giro.** ¿A cuántos rad/sg gira un motor que da 1.000 vueltas cada minuto?
- **19. Ángulo de giro.** Pasar 450 rpm a grados/sg.
- **20. Velocidad.** Si un pie son 12 pulgadas (“), pasa 120 km/hora a pies/sg.
- **21. Si un tractor tira 0,45 tn** de abono por hectárea, ¿cuántos kg tira por m<sup>2</sup>?
- **22. Localiza la factura del suministro eléctrico** de tu casa, identifica en ella el consumo energético realizado en el periodo como la resta entre dos lecturas anterior y actual, escribe el valor en Kw\*h o Kwh que aparece en la misma:

Convierte el valor anterior a julios, ¿tendría sentido utilizar el julio como unidad de facturación?

- 23. ¿Cuál es la lectura del siguiente pie de rey?



- 24. El tambor del siguiente micrómetro es de 50 divisiones por vuelta, y rota una vuelta completa para un avance de 0,5 mm, ¿cuál es la medida?



- 25. ¿Cuál es la lectura del siguiente instrumento?

