Escuela de Educación Secundaria Técnica N°1
Juan Bautista Alberdi
Conesa

Profesor: Giovagnoli Francisco Ariel
Correo: frangiovagnoli@hotmail.com

SISTEMAS MECÁNICOS de 6° Año

Trabajo práctico N° 6

Cuestionario:

1. ¿Qué es una norma técnica? ¿Para qué sirve?
2. ¿Qué son las dimensiones y unidades? Dar ejemplos
3. ¿Qué es el sistema MKS?
4. Realizar una tabla con unidades fundamentales del Sistemas Internacional (SI).
5. Realizar una tabla con unidades derivadas del Sistema Internacional (SI).

CAPITULO 3

LAS HERRAMIENTAS DE LA INGENIERIA

Resúmen

En este Capítulo se estudian las diversas herramientas de que se valen los ingenieros para sus tareas. En primer lugar hacemos mención de las normas, para continuar con las magnitudes empleadas, sus dimensiones y unidades, donde se aplican las tolerancias. Luego se comentan las formas de representación y la informática como apoyo en toda la ingeniería.

3.1. Normas técnicas

Las ***normas técnicas*** son cuerpos de especificaciones muy estudiadas que se pueden aplicar a todos los ***elementos de una misma especie*** y que tienen por finalidad ***resguardar la seguridad de las personas y las cosas***, ***abaratar los costos y asegurar la calidad***.

Las normas resultan producto de la experiencia y el análisis, constituyéndose en una disciplina que facilita la fabricación de productos, la construcción de obras y la operación de todo lo relacionado con la ingeniería. Existen normas generales y normas específicas, siendo su universo actual muy vasto. Hay normas internacionales y normas nacionales para cada país. Son muy importantes, porque al construir los diversos elementos y obras bajo normas, se conocen muchos datos y se puede, sobre la base de ellos, contratar, verificar, ensayar, construir, comprar y muy otras diversas fases en que la ingeniería está presente. En todos los países hay institutos encargados de preparar y mantener actualizadas las normas, labor que se hace por acuerdo.

Las normas son redactadas por Comités de personas que representan a los diversos intereses en juego. Primero se preparan borradores que, siguiendo una metodología acordada y mediante varias etapas, son sometidos a discusión pública. Concluida la etapa de difusión y discusión pública, se establecen normas provisorias por un tiempo, pasado el cual y de no haber observaciones, se transforman en definitivas. Luego, en forma periódica se revisan y actualizan.

Las normas no limitan la creatividad como pudiera pensarse a primera vista, sino que crean un vínculo entre producción, financiación, construcción, comercialización y consumo, asegurando a la vez, la seguridad general. Las ventajas pueden enumerarse como sigue:

Facilitan las tareas de supervisión
Orientan a la producción
Reducen los costos unitarios
Mejoran la comercialización
Aseguran las garantías técnicas
Simplifican el intercambio de productos
Permiten el estudio de accidentes

Las normas establecen condiciones que pueden ser perfectamente verificadas por medio de mediciones o ensayos. Esas mediciones o ensayos han sido tenidos en cuenta al redactar las normas, para que sean posibles con los elementos corrientes y conocidos. Muchas normas recomiendan el método a seguir para verificarlas. Por lo regular, las entidades del estado y los particulares tienen laboratorios en los cuales se pueden repetir las pruebas normalizadas y las mismas normas recomiendan sobre la forma de llevar a la práctica los ensayos de laboratorio o los elementos para las mediciones.

En Argentina las normas están a cargo de un instituto oficial, el ***Instituto Argentino de Racionalización de Materiales***, conocido por la sigla **IRAM**, que es el encargado de redactar las normas argentinas. Cuando las normas argentinas no cubren una necesidad, es normal convenir el uso de otras. Así, entre las extranjeras más empleadas tenemos las siguientes:

Alemania: *Deutscher Normenausschuss (DIN)*
Estados Unidos: *American Society for Testing Materials (ASTM)*
Gran Bretaña: *British Standars Institution (BSI)*
Francia: *Association Francaise de Normalisation (AFNOR)*

Profesor: Giovagnoli Francisco Ariel
Correo: frangiovagnoli@hotmail.com

Además de estas instituciones destinadas exclusivamente a redactar y actualizar las normas oficiales de un país, existen muchos Comités que reglamentan más en detalle cada rama específica de la ingeniería. En muchos casos, los fabricantes se agrupan y redactan las normas para sus productos, a efectos de que los clientes las conozcan.

Tabla 3.1 ***Valores de servicio de iluminación recomendados para diversas clases de tareas visuales, conforme normas IRAM.***

Clase de tarea visual	*Iluminación sobre el plano de trabajo en Lux*	*Ejemplos típicos de tareas visuales*
Visión ocasional solamente	100	Movimientos seguros, por ejemplo en circulaciones dentro de edificios con poco tránsito. Salas de calderas. Depósitos de materiales toscos y voluminosos. Placares. Armarios.
Tareas intermitentes ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes	100 a 300	Trabajos toscos, intermitentes y mecánicos. Inspección general. Contado de partes de stock. Colocación de maquinaria pesada.
Tareas moderadamente críticas y prolongadas, con detalles medianos	300 a 750	Trabajos medianos, manuales y mecánicos. Inspección y montaje. Trabajos comunes de oficina. Lectura. Escritura. Archivos.
Tareas severas. Tareas prologadas y de poco contraste	700 a 1 500	Trabajos finos, manuales y mecánicos. Montaje e inspección. Pintura extrafina. Sopleteado. Costuras de ropa oscura.
Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos o de poco contraste	1 500 a 3 000	Montaje e inspección de mecanismos delicados. Fabricación de herramientas y matrices. Inspecciones con calibres. Trabajos de molienda fina.
Tareas excepcionalmente difíciles o importantes	5 000 a 10 000	Casos especiales, como el campo operatorio en una sala de cirugía.

Profesor: Giovagnoli Francisco Ariel
Correo: frangiovagnoli@hotmail.com

Para mostrar como son las normas mediante un ejemplo fácil de interpretar, la Tabla 3.1 presenta una sección de la norma *IRAM-AADL J 20-06*, clasificación decimal universal 628 971 del instituto IRAM de Argentina, relativa a los niveles de iluminación recomendados, conforme el tipo de tarea a cumplir en un local dado. La unidad empleada es el *lux*, que es la unidad con que se mide la *iluminación* que recibe un plano horizontal iluminado por un conjunto de artefactos eléctricos y que citaremos más abajo.

3.2 Dimensiones y unidades

Todos los objetos y los hechos de la ingeniería tienen dimensión, es decir, tienen una cifra que los cuantifica e identifica, cifras que son las que se aplican en los cálculos que antes estudiamos en el acápite 2.5. Los ***objetos de la ingeniería*** son entidades de existencia física real y se los caracteriza por sus dimensiones. Damos algunos ejemplos. La dimensión de una autopista es su longitud en *kilómetros*. El largo del cigüeñal del motor de un automóvil lo indicamos en *centímetros*. El peso del rotor de una máquina eléctrica de una central generadora importante está dado en *toneladas*. El diámetro de una tubería en una destilería se expresa en *centímetros.* El peso específico de un producto del petróleo se indica en *kilogramos por decímetro cúbico*. El peso que se admite puede soportar el piso de una vivienda se especifica en *kilogramos por metro cuadrado.* Las vigas y columnas de una estructura de hormigón armado se indican en *centímetros,* o en *metros*, según la magnitud de las piezas. Ciertos espesores muy delgados, o distancias pequeñas entre piezas mecánicas en el conjunto de una máquina, se las identifica en *décimas de milímetro.*

Los ***hechos de la ingeniería*** son también entidades de existencia física real y deben medirse, pero no son objetos materiales. Damos algunos ejemplos. La temperatura del motor de un automóvil es la que medimos en alguno de sus componentes, como por ejemplo, el agua del radiador, en *grados centígrados.* El desplazamiento de la parte alta de un edificio durante un movimiento sísmico, lo expresamos en *centímetros*. El caudal de agua que pasa por las turbinas de una central hidroeléctrica se manifiesta en *metros cúbicos por segundo.* La cantidad de calor que transfiere un intercambiador de calor en un proceso químico, en *calorías por segundo y por metro cuadrado de superficie*. La velocidad de un automóvil en *kilómetros por hora*, y su aceleración en *metros por segundo y por segundo otra vez (por segundo al cuadrado).*

Como terminamos de indicar, los objetos y hechos de la ingeniería tienen todos alguna ***dimensión*** y por lo tanto, deben usarse ***unidades*** para su medición. Remarquemos que en ingeniería, ***medir es comparar una magnitud con otra de igual especie***, tomada como unidad. Por lo tanto, la medición de los grandores físicos de la ingeniería implica el uso de un cierto número de ***unidades*** adecuadamente seleccionadas.

En estos asuntos encontramos dos tipos de unidades: las *primarias*, que solo pueden ser medidas por medio de sus propias unidades y las *secundarias*, que derivan de las anteriores. Un ejemplo es la velocidad de un móvil, que es una unidad secundaria derivada de dos primarias; una la longitud y otra el tiempo que tarda en recorrerla.

A lo largo de la historia de la ciencia física, se pensaron y aplicaron varios sistemas de unidades, algunos de los cuales hoy solo tienen valor histórico. Como la ingeniería se sirve continuamente de los hechos del mundo físico, sus unidades quedaron vinculadas a las de la física, pero le impusieron su tónica. La preocupación de los físicos a lo largo de la historia fue encontrar un ***sistema coherente de unidades***. Además, que las unidades fundamentales elegidas como primarias tuvieran ***la mayor aproximación posible con las que la práctica de la ingeniería imponía***. También se indagó mucho sobre las unidades secundarias, para que las mismas no requirieran coeficientes numéricos de adaptación, sino simplemente, utilizar las unidades primarias. Esa búsqueda condujo a que los fenómenos de la dinámica (capítulo de la física), eran los más apropiados para crear un sistema coherente de unidades. Se tomaron entonces como unidades fundamentales la ***longitud L***, la ***masa M*** y el ***tiempo T***. Todas las unidades secundarias quedaron de esa manera identificadas por medio de una simple ecuación matemática como la del tipo que sigue.

$$S = L^{\alpha} M^{\beta} T^{r} \qquad \textbf{(3.1)}$$

donde: S = unidad de la cantidad secundaria que se busca
L = unidad de ***longitud*** primaria

M = unidad de **masa** primaria
T = unidad de **tiempo** primaria
α , β , γ = exponentes adecuados para representar la unidad secundaria.

Con el tiempo los físicos vieron que esta expresión no cubría todos los casos de la ingeniería, particularmente, los de la electricidad. Por eso se agregó una cuarta dimensión primaria, sobre la que al principio hubo discusiones, porque podía ser cualquiera. Finalmente se convino que convenía fuese la unidad de corriente eléctrica, la *intensidad de corriente,* que es posible definir en forma precisa. Entonces, la fórmula (3.1) para la electrotecnia quedó como sigue:

$$S = C\,L^{\alpha} M^{\beta} T^{r} \qquad \textbf{(3.2)}$$

A esta altura de las cosas, el profesor italiano ingeniero Giovanni Giorgi (1871-1960) desarrolló el sistema que lleva su nombre, que es el que se usa actualmente en todo el mundo y que se lo conoce abreviadamente como ***sistema MKS***. Este sistema toma como ***cantidades primarias y unidades fundamentales*** las siguientes:

Base del Sistema Internacional de unidades (SI)
Longitud → metro (m)
Masa → kilogramo (kg)
Tiempo → segundo (s)

Merece destacarse -particularmente para los lectores poco familiarizados con la física- que no debe confundirse el concepto de ***masa*** que se mide en *kilogramos*, con el concepto de ***fuerza*** o ***peso***, que también se mide en *kilogramos*. En muchos textos o trabajos se encuentran diferenciados los *"dos kilogramos"* diferentes. Como explicaremos mas abajo, la unidad a usar para el peso o la fuerza debe ser el *Newton*.

Veamos, a simple modo de ejemplo, la unidad de velocidad que resulta en el sistema *MKS* del profesor Giorgi. La velocidad se expresa como *L* en *metro* (*), el tiempo como *T* en *segundo*, la masa como *M* en *kilogramo*. Reemplazamos en la (3.1), con adecuados exponentes.

$$S = L^1 M^0 T^{-1} = LT^{-1} = \frac{L}{T} \quad \textbf{(3.3)}$$

Escrita de otro modo, usando sus unidades fundamentales, tenemos:

$$Velocidad = v = \frac{metro\,(m)}{segundo\,(s)} = metro\,.\,segundo^{-1}\,(ms^{-1}) \quad \textbf{(3.4)}$$

(*) Por normas IRAM, los nombres de las unidades de las fórmulas se deben expresar siempre en singular. Por ello decimos *metro,* en vez de *metros, segundo* en vez de *segundos.* Esto se hará así en todas las fórmulas de este libro.

La masa *M*, al no tener que participar de la fórmula de la velocidad, la hemos hecho desaparecer de escena al elevarla a la potencia cero ($M^0=1$). Recordemos que cualquier número elevado a la potencia cero, es igual a la unidad según se estudia en matemática. Desaparece de la fórmula. La velocidad queda expresada por medio de una longitud dividida por un tiempo. Por lo tanto, la unidad de la velocidad en el sistema MKS es el *metro / segundo*, o escrito de otras formas, *m/s*, o también $m\ s^{-1}$.

Del mismo modo que encontramos la unidad de la velocidad, busquemos la unidad de la aceleración. Para ello empleamos la fórmula que nos suministra la física y que deriva de su misma definición. Aceleración es la variación de velocidad en la unidad de tiempo, es decir, dividimos la (3.3) por el tiempo:

$$S = \frac{L^1 M^0 T^{-1}}{T} = L^1 M^0 T^{-2} = LT^{-2} = \frac{L}{T^2} \quad \textbf{(3.5)}$$

Escrita de otro modo, empleando sus unidades fundamentales, tenemos:

$$Aceleración = a = \frac{Velocidad}{Tiempo} = \frac{metro\,(m)}{segundo^2\,(s^2)} = \quad \textbf{(3.6)}$$

$$= a = metro.segundo^{-2}\,(m.s^{-2})$$

Escuela de Educación Secundaria Técnica N°1
Juan Bautista Alberdi
Conesa

Profesor: Giovagnoli Francisco Ariel
Correo: frangiovagnoli@hotmail.com

En este punto volvemos a mencionar lo dicho recién, más arriba. A la dimensión de la "masa" se le asignó como unidad el *kilogramo (kg)* adoptado por el sistema internacional MKS del profesor Giorgi. Esto no debe confundirse con la dimensión de una ***fuerza*** o el ***peso*** de un objeto. Efectivamente, la "masa" de un cuerpo es una cualidad intrínseca del mismo, siendo el físico y matemático Isaac Newton quien planteó la fórmula de la fuerza:

$$Fuerza = Masa \times Aceleración \qquad \textbf{(3.7)}$$

Buscamos la unidad de fuerza aplicando la fórmula (3.1) y colocando en ella la masa y la aceleración antes explicadas;

$$F = (M^1)(L^1T^{-2}) = L^1M^1T^{-2} \qquad \textbf{(3.8)}$$

Esta curiosa ecuación define a la unidad de fuerza en el sistema MKS. Se le dio el nombre de *newton,* y se abrevia (*N*). El *newton* no es una unidad cómoda y tiene un valor de aproximadamente la décima parte de un *kilogramo* común de la vida diaria. Para colmo de males, el *kilogramo* se viene empleando para medir el peso de las cosas y también para medir las fuerzas, simultáneamente. Pero todas las restantes unidades del sistema MKS son las mismas que la práctica de la ingeniería ha impuesto. Paulatinamente se espera que el *newton* suplante al *kilogramo* de nuestros días para las fuerzas y para el peso. Hoy resulta todavía risueño -en Argentina- entrar a una panadería y pedir 10 newton de pan (mas o menos un kilogramo). La equivalencia exacta es *1 kilogramo actual = 10,2 newton.* La dificultad nace de que la unidad *kilogramo*, con ese nombre, se viene usando para la fuerza, en vez de para la masa como propone el sistema MKS. Ahora hay que diferenciar. Este asunto se ha estudiado muy profundamente y todavía no hay otra solución que usar el *newton*. De no hacerlo así, habría que cambiar una gran cantidad de unidades de la ingeniería que son muy prácticas y que conviene dejarlas como están. Sintetizando, para recordar: la masa se debe medir en *kilogramo* y la fuerza en *newton.*

Pero a pesar de ser el sistema MKS un sistema coherente y racional, se continúan usando algunas unidades que no derivan de él y que se emplean por fuerza de la práctica, como la *hora* de 60 *minutos*, con *minutos* de 60 *segundos*. Otra unidad cuyo uso es todavía imposible de eliminar es el *grado Celsius* (*°C*) para medir las temperaturas de la vida cotidiana, o el *grado Fahrenheit* (*°F*) de

Profesor: Giovagnoli Francisco Ariel
Correo: frangiovagnoli@hotmail.com

uso todavía en algunos países. El *grado Kelvin (°K)* que propone el sistema MKS para medir temperaturas, no es para nada práctico, ya que recordemos por física que la conversión es: *°C=°K− 273,15.* Otra unidad práctica que se continúa usando para la medición de la energía eléctrica, ya que no se emplea el *Joule (J)* del sistema MKS, es el *kilowatthora (kWh)*. La equivalencia resulta:

$$1 \text{ kilowatthora (kWh)} = 1 \text{ kW} \times 1 \text{ hora} =$$
$$= 1 \times 10^3 \text{ watt} \times 3\,600 \text{ segundo} = \quad \mathbf{(3.9)}$$
$$= 1 \times 10^3 \text{ W} \times 3{,}6 \times 10^3 \text{ s} = 3{,}6 \times 10^6 \text{ Joule (J)}$$

Para justificar la razón de ser del sistema de unidades MKS que estamos explicando, se dice que es ***coherente***. Por ejemplo. Si ejercemos con la mano una fuerza de un *newton* sobre un objeto y le hacemos recorrer un *metro* de distancia, todo ello en un *segundo*, estamos desarrollando una potencia de un *watt*. Un *newton* ejercido a lo largo de un *metro*, es un trabajo de un *joule*. Por otra parte, un *joule*, cada *segundo*, es un *watt*. Todo esto es la racionalidad que estudió el profesor Giorgi y que actualmente se tiende a emplear en todo el mundo. En los países sajones como Inglaterra y Estados Unidos de Norteamérica, el paso del sistema inglés de pulgadas y libras al sistema del profesor Giorgi se está haciendo porque es un imperativo, pero en forma paulatina por el enorme costo que significa un cambio de esta naturaleza.

Para tener una visión panorámica de las unidades que emplea actualmente la ingeniería, las tablas que siguen permiten apreciar sus nombres y abreviaturas. A las cuatro fundamentales antes indicadas, se han agregado otras dos más, para completar todas las posibilidades de la ingeniería.

Tabla 3.2
Unidades fundamentales del sistema internacional (SI)

Magnitud	***Unidad***	***Símbolo***
Longitud	*metro*	*m*
Masa	*kilogramo*	*kg*
Tiempo	*segundo*	*s*
Intensidad de corriente eléctrica	*ampere*	*A*
Temperatura termodinámica	*kelvin*	*K*
Intensidad luminosa	*candela*	*cd*

Profesor: Giovagnoli Francisco Ariel
Correo: frangiovagnoli@hotmail.com

Unidades suplementarias

Angulo plano	*radian*	*rad*
Angulo sólido	*estereoradian*	*sr*

Sobre la base de este conjunto, se pueden definir racionalmente todas las unidades necesarias en la ingeniería. En la tabla que sigue 3.3 vemos algunas. Todas ellas derivan de aplicar alguna ley de la física y su correspondiente fórmula, que no es objeto explicar en esta parte del texto. Debe adelantarse que, por razones prácticas o de rutina como hemos comentado, todavía se emplean algunas unidades antiguas derivadas principalmente del sistemas inglés de medidas. Una de ellas es el *caballo de potencia*, que se abrevia *HP* y que es aproximadamente igual a *746 watt*. Otra unidad que se emplea es la *revolución por minuto, RPM*, de uso limitado para objetos que giran muy rápido, como los motores de automóvil o los motores eléctricos. Lo mismo ocurre con la presión mecánica que se mide en los neumáticos de automóviles en *libras por pulgada cuadrada*, unidad que hay que dejar de usar por antigua y poco racional.

Tabla 3.3 Algunas unidades derivadas, de uso frecuente

Magnitud	Unidad de medida	Símbolo de la unidad
Superficie	*metro cuadrado*	m^2
Volumen	*metro cúbico*	m^3
Frecuencia eléctrica	*hertz*	*Hz ó* s^{-1}
Densidad	*kilogramo / metro cúbico*	kg / m^3
Velocidad	*metro / segundo*	m / s
Aceleración	*metro / segundo cuadrado*	m / s^2
Velocidad angular de giro	*radián / segundo*	rad / s
Fuerza	*newton*	$kg.m / s^2$
Presión (mecánica)	*newton / metro cuadrado(Pascal)*	N / m^2
Trabajo, energía, calor	*joule*	*J ó N.m*
Potencia	*watt*	*W ó J / s*
Tensión, fuerza electromotriz	*volt*	*V ó W / A*
Resistencia eléctrica	*ohm*	*Ω ó V / A*
Capacidad eléctrica	*farad*	*F ó A.s / V*
Inductancia	*henry*	*H ó V.s / A*
Flujo luminoso	*lumen*	*lm ó cd.sr*
Iluminación	*lux*	*lx ó* lm / m^2

Las magnitudes de la ingeniería actual comprenden una gama tan vasta, que es preciso emplear múltiplos y submúltiplos de las mismas. La tabla 3.4 indica los más comunes.

Profesor: Giovagnoli Francisco Ariel
Correo: frangiovagnoli@hotmail.com

Tabla 3.4 Múltiplos y submúltiplos

Factor a usar	*Prefijo*	*Símbolo*
10^{12}	tera	*T*
10^{9}	giga	*G*
10^{6}	mega	*M*
10^{3}	kilo	*k*
10^{2}	hecto	*h*
10^{1}	deca	*da*
10^{-1}	deci	*d*
10^{-2}	centi	*c*
10^{-3}	mili	*m*
10^{-6}	micro	*µ*
10^{-9}	nano	*n*
10^{-12}	pico	*p*
10^{-15}	femto	*f*
10^{-18}	atto	*a*

Estos simbolismos ayudan mucho a expresar magnitudes. Veamos un ejemplo. Si deseamos informar sobre la potencia de la central nuclear "Embalse" en Argentina, diremos que tiene una máquina de *600 MW*, es decir, *600 000 000 watt* de potencia. En cuanto a la forma de expresar magnitudes, además de las unidades, en ingeniería se emplea por comodidad también la notación científica, basada en los exponentes del número 10. Por matemática sabemos lo siguiente:

Valor de referencia: $10^0 = 1$

Con exponentes positivos	*Con exponentes negativos*
$10^1 = 10$	$10^{-1} = 0{,}1$
$10^2 = 100$	$10^{-2} = 0{,}01$
$10^3 = 1\ 000$	$10^{-3} = 0{,}001$
$10^4 = 10\ 000$	$10^{-4} = 0{,}000\ 01$
$10^5 = 100\ 000$	$10^{-5} = 0{,}000\ 001$
$10^6 = 1\ 000\ 000$	$10^{-6} = 0{,}000\ 000\ 1$
y así sucesivamente	y así sucesivamente

Con este método, la potencia de la central nuclear de "Embalse" en Argentina antes citada como ejemplo, se puede expresar también de las siguientes formas:

$$\text{Potencia} = 600\ MW = 6 \times 10^2\ MW$$
$$\text{Potencia} = 600\ 000\ kW = 6 \times 10^5\ kW$$
$$\text{Potencia} = 600 \times 10^6\ W = 6 \times 10^2 \times 10^6\ W = 6 \times 10^8\ W$$

Profesor: Giovagnoli Francisco Ariel
Correo: frangiovagnoli@hotmail.com

En todo lo dicho hasta aquí, hemos empleado la numeración *decimal*, en que cualquier cantidad se puede expresar por medio de 10 números o dígitos (0,1,2,3,4,5,6,7,8,9). Sin embargo, con motivo de la expansión de las técnicas digitales en la ingeniería, se ha hecho necesario utilizar también la forma digital de expresar una cantidad, empleando el álgebra binaria Esto es conveniente porque todos los sistemas informáticos lo emplean. Los *circuitos lógicos de la electrónica*, base de las computadoras, tienen solo dos formas de reconocer una cantidad, teniendo por lo tanto solo 2 números ó dígitos. Estos son el número cero (0) y el número uno (1). Debe ser así, porque los circuitos lógicos de la electrónica, admiten solo dos estados eléctricos para almacenar información. El cero (0) que equivale a ***NO*** *señal*, o falta de señal, mientras que el (1) equivale a ***SI*** *señal,* o presencia de señal. Por lo tanto -y particularmente en el campo de la electrónica- fue necesario emplear el álgebra binaria.

La misma consiste en poder expresar cualquier cifra, mediante solo dos dígitos o dos señales eléctricas. Para comprender esta forma de hacer numeración, es necesario recordar que este tipo de álgebra emplea el número 2 en vez del número 10 como base de un sistema de exponentes, que también consta de dos números. La tabla que sigue explica simplemente la equivalencia entre la numeración digital y la decimal, para unas pocas cifras sencillas.

Tabla 3.5 Tabla de equivalencias entre numeración decimal y binaria.

Expresiones de potencias de base "2"	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
Valores decimales correspondientes	128	64	32	16	8	4	2	1

Tomemos como ejemplo un número binario compuesto de 8 dígitos como es el **11101011** y compongamos su equivalente decimal. Para ello empleamos la tabla 3.5 anterior, paso a paso. El primer **1** significa que **SI** está el 128. El segundo **1** significa que **SI** está el 64. El tercer **1** significa que **SI** está el 32. El cuarto **0** significa que **NO** está el 16. El quinto **1** significa que **SI** está el 8. El sexto **0** significa que **NO** está el 4. El séptimo **1** significa que **SI** está 2. Finalmente, el octavo **1** significa que **SI** está el 1. Sumando todos, se tiene el número decimal equivalente a 11101011.

Profesor: Giovagnoli Francisco Ariel
Correo: frangiovagnoli@hotmail.com

Número expresado en forma digital
1 1 1 0 1 0 1 1

Cifras decimales equivalentes
128 + 64 + 32 + 0 + 8 + 0 + 2 + 1 = 235

Por lo tanto, el valor digital **11101011** es igual al decimal **235**. También podríamos haber dicho que el número decimal 235 es equivalente en álgebra binaria a la siguiente serie:

SI – SI – SI – NO – SI – NO – SI - SI ó
cerrado-cerrado-cerrado-abierto-cerrado-abierto-cerrado-cerrado

que es como responderá un circuito eléctrico.

3.3 Errores y tolerancias

Como afirmamos en el acápite 1.5.2, la ingeniería no es una ciencia exacta. Por lo tanto, todas las magnitudes en juego -sean las ***dimensiones*** fijas de sus elementos materiales, como las ***cantidades*** de sus hechos funcionales en acción- son inexactas. Esto implica afirmar que todas las magnitudes de la ingeniería están afectadas de algún modo por ***errores*** y por lo tanto, las debemos emplear con ***tolerancias*** admitidas. También es bueno advertir que por esta causa, habrá una ***forma de presentar las medidas.***

Que la dimensión fija de un elemento (altura de una columna, por ejemplo), o la cantidad variable de un hecho en acción (velocidad de rotación de una máquina, por ejemplo) sean inexactas, no quita rigor a los hechos de la ingeniería, si repasamos algo sobre la teoría de los errores, como hacemos enseguida.

Ninguna medida en ingeniería puede afirmarse que es exacta en el sentido matemático de la palabra, ya que toda dimensión se debe medir con algún instrumento y por medio de un operador y ninguno de los dos pueden ser absolutamente ideales y perfectos. Todo instrumento mide con un cierto grado de error. Además, los mismos operadores que hacen las mediciones, cometen errores por sus propias tendencias, distracciones o imperfecciones. A los errores de los instrumentos o del método de media se los conoce

Profesor: Giovagnoli Francisco Ariel
Correo: frangiovagnoli@hotmail.com

como ***errores sistemáticos***, mientras que los que cometen los operadores se los llama ***errores accidentales***. Cada uno tiene su propia teoría. Aceptando entonces que toda cantidad tiene errores, debemos adoptar criterios para estudiarlos.

Comenzamos por estudiar algo sobre los ***errores sistemáticos***, es decir, aquellos que se cometen por causa del instrumento o del método de medida y que se pueden conocer. Responden, por lo general, a una ley matemática simple. Comenzamos afirmando lo que sigue.

---

c = *cantidad que se acepta como verdadera* c_m = *cantidad medida*

El valor que aceptamos como verdadero es aquél al que habremos de dar fé, aún a sabiendas que él mismo no es totalmente exacto, pero que se encuentra en las fronteras de las posibilides materiales de conocerlo, o que simplemente, en el campo técnico es un valor suficiente dado que su error está admitido. Partiendo de esta idea, se define como **error absoluto** a la cantidad:

$$e_a = c_m - c = \text{error absoluto} = \text{cantidad medida} - \text{cantidad verdadera} \quad \textbf{(3.10)}$$

Sobre esta base, se llama **error relativo** a la cantidad:

$$\textit{Error relativo} \quad e = \frac{c_m - c}{c_m} 100 = \frac{e_a}{c_m} 100 \quad \textbf{(3.11)}$$

Volviendo a lo dicho antes en el sentido de que ninguna medida es exacta en modo absoluto, agreguemos ahora que una medida cuidadosa será aquella en que el resultado se ofrece desafectándolo de los *errores sistemáticos,* en forma que el valor ofrecido se pueda considerar como el *más próximo al verdadero*. A causa de los errores determinables, podemos afirmar que los resultados de una medición tienen una *precisión* tanto mayor, cuanto más se aproximan al presuntamente verdadero.

Admitido entonces que toda cantidad tiene su error, digamos ahora algo sobre la ***forma de expresar*** los resultados. Para ello nada mejor que presentar un ejemplo simple. Supongamos que encargamos a un operador que mida una longitud y el operador nos informa que ha medido *L = 375,2 m*. El fabricante del instrumento con que se hizo la medida asegura que su aparato comete un error no mayor del *0,5 %* cuando mide el valor máximo que puede medir con ese aparato, que es *400*. Por aplicación de la (3.11) despejamos el error absoluto que se puede cometer.

$$e_a = \frac{e \cdot c_m}{100} = \frac{0,5x400}{100} = 2\ m \qquad \textbf{(3.12)}$$

Podríamos entregar el resultado del siguiente modo:

$$L = 375,2 \ \pm\ 2\ m \qquad \textbf{(3.13)}$$

Pero es muy evidente que esta forma de expresar el resultado, no es correcta. No tiene sentido especificar el decimal *0,2 m (20 centímetros)* en el resultado, cuando el error que se puede cometer puede llegar a ser *2 m (2 metros)*. Por lo tanto, la forma correcta de expresar el resultado debe ser:

$$L = 375 \ \pm\ 2\ m \qquad \textbf{(3.14)}$$

También:

$$L = 375\ m \begin{cases} \nearrow 377\ m \\ \searrow 373\ m \end{cases} \qquad \textbf{(3.15)}$$

El valor pedido está entre *373 m* y *377 m,* o de otro modo, *373 < 375 < 377 m.*

Supongamos ahora que esa cantidad la medimos en dos tramos, cada uno por medio de un operador diferente y cada uno a su vez, dotado de un instrumento distinto, es decir, vamos a obtener el largo por medio de $L = l_1 + l_2$. El primer operador nos informa que obtuvo $l_1 = 255,45\ m$. El segundo operador -que trabajó con un instrumento menos preciso o de inferior calidad, que dá menos decimales- nos informa que obtuvo $l_2 = 120,5\ m$. El resultado -aparentemente- sería la cantidad total $L = 255,45 + 120,5 = 375,95$. Esta forma de expresión no es aceptable, Si uno de los dos instrumentos es preciso solo hasta los décimos, es inútil expresar la cantidad con dos decimales. Lo más aconsejable es indicar $L = 375,9$; ya que la segunda cifra decimal es segura para la primera medida, pero nó para la segunda.

Tratemos ahora algo sobre los ***errores accidentales***, es decir, aquellos errores que no siguen una ley fija como los sistemáticos, sino que son aleatorios. Pueden ser los errores que comete un instrumento por no ser enteramente fiel a todas las cantidades que se le aplican, indicando erróneamente sin seguir una ley fija. También, atribuibles al operador, por sus mismas distracciones o forma de apreciar los valores en una cierta escala, que le hacen cometer involuntarios errores. Este tipo de error ha sido bien estudiado en matemática y tiene su propia teoría. Muy someramente lo expondremos, para simplemente conocerlo e identificarlo, sin pretender estudiarlo.

Supongamos que la longitud L antes empleada como ejemplo, la medimos repetidamente y sin embargo, obtenemos cada vez valores ligeramente distintos, formando una serie como la siguiente:

$l_1=375{,}3 \qquad l_2=375{,}9 \qquad l_3=372{,}9 \qquad l_4=376{,}6 \qquad l_5=375{,}0$

Los estudios matemáticos indican que el ***valor más probable*** es el ***valor medio aritmético***, que se obtiene aplicando la simple fórmula:

$$c = \frac{1}{n}\sum c_i \qquad \textbf{(3.16)}$$

Reemplazando los valores de la serie nos sale lo siguiente:

$$c = \frac{1}{5}(375{,}3 + 375{,}9 + 372{,}9 + 376{,}6 + 375{,}0) =$$

$$= \frac{1875{,}7}{5} = 375{,}14 \approx 375{,}1$$

Hemos redondeado la cifra verdadera *375,14.* Finalmente, podemos agregar que este tipo de error acidental, se rige por la teoría de las estadísticas de Laplace-Gauss, que se estudia en los cursos de ingeniería, no correspondiendo extenderse aquí.

Cerremos este acápite con un breve tratamiento de las ***tolerancias***. Visto que todas las cantidades de la ingeniería tienen alguna forma de error, sea por su forma de medición como por inevitables deficiencias de elaboración, fue necesario especificar hasta que valor de error se acepta. La tolerancia es la diferencia entre la dimensión teórica requerida y la real encontrada. Esto es particularmente importante, cuando diversas piezas mecánicas deben formar un conjunto armónico. Tal es el caso de conjuntos de piezas diversas, que deben ensamblarse, como ocurre en la fabricación de un automóvil, donde los diversos componentes deben cumplir condiciones muy severas de intercambiabilidad, con los repuestos.

Una forma de interpretar rápidamente el concepto de tolerancia, es recurrir a los ejemplos de la mecánica. Para ello observemos la figura 3.1, que representa un simple perno, de esos que tienen todos los pistones de un cilíndro en un motor de automóvil.

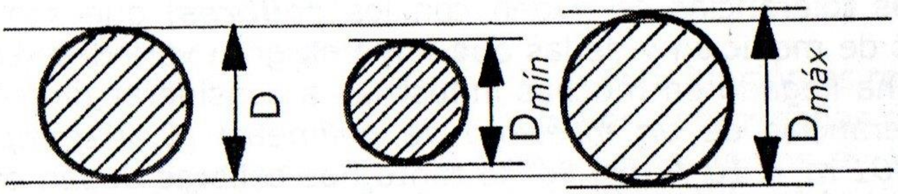

Fig. 3.1 Ejemplo de tolerancias para un perno de pistón de motor

El departamento de producción de una industria ha determinado que el diámetro de este perno que se fabricará en serie, debe tener una dimensión D que llamaremos *dimensión normal*, como mostramos a la izquierda de la figura 3.1. Sin embargo, por inevitables pequeñas imperfecciones del maquinado, pueden darse las dos situaciones que mostramos en el centro y a la derecha de esa misma figura. En un caso resultó menor que el diámetro normal y en otro, mayor. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} D &= \textit{dimensión normal} = 60 \text{ mm} \\ D_{máx} &= \textit{dimensión máxima} = 60{,}03 \text{ mm} \\ D_{mín} &= \textit{dimensión mínima} = 59{,}97 \text{ mm} \end{aligned} \qquad \textbf{(3.17)}$$

$$T = D_{máx} - D_{mín}$$

$$\boldsymbol{T = tolerancia = 0{,}06 \text{ mm}}$$

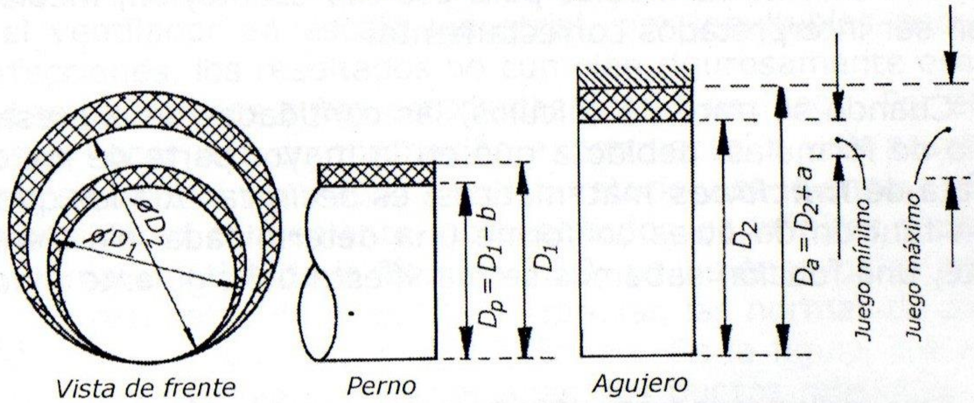

Fig. 3.2 Perno y agujero formando una pieza

Profesor: Giovagnoli Francisco Ariel
Correo: frangiovagnoli@hotmail.com

En el ejemplo presentado, el perno deberá calzar en un agujero, el que tendrá a su vez sus propias tolerancias. Por ejemplo, viendo ahora el perno y el agujero como una unidad acoplada, conforme figura 3.2, podemos hacer el siguiente razonamiento:

Dimensión máxima posible del agujero $Da = D + a$
Dimensión mínima posible del perno $Dp = D - b$
Diferencia ó "juego" $= a + b = t$

Las tolerancias se miden con los ***calibres***, que son herramientas de medición y de las que hay una gran variedad. La apreciación ha llegado en muchas industrias a considerar dimensiones con tolerancias de *un milésimo de milímetro (0,001mm; o sea 0,000 001 m =* 10^{-6} *m)*. Por lo tanto, los calibres deben estar en condiciones de apreciar dimensiones con un error muy pequeño, del orden de *0,000 001 mm*. Por supuesto, que estas tolerancias aplicables a piezas mecánicas pequeñas, no son las mismas si se trata de una obra civil, por ejemplo, un dique, en que las toleracias tienen magnitudes grandes, pero aún pequeñas con relación a las dimensiones de la obra.

3.4 Representación e interpretación

Las dimensiones de los objetos materiales y de las cantidades variables de los hechos de la ingeniería, es necesario expresarlas para que otros las utilicen o interpreten. Estas magnitudes suelen provenir, principalmente de dos fuentes: los resultados de ***los cálculos*** en los proyectos o estudios y los resultados de ***las mediciones*** de laboratorio. En cualquiera de los dos casos, la ingeniería se vale de medios para esa representación, medios que deben ser interpretados correctamente.

Cuando se trata de cálculos, las cantidades se expresan por medio de fórmulas, debido a que en la mayor parte de los casos, se trata de ***funciones*** matemáticas, es decir, cantidades que varían en función de otras conforme una determinada ley. Genéricamente, una función sabemos se manifiesta del siguiente modo:

$$y = f(x) \qquad \textbf{(3.18)}$$

Esto indica que la cantidad y varía en función de la cantidad x, conforme las leyes que le impone la función f. Para interpetar esto acudamos a un ejemplo. En un ventilador común, en forma aproximada, se sabe por la teoría de este tipo de máquina que la potencia que requiere del motor eléctrico que lo impulsa, es función de la tercera potencia de la velocidad. Por lo tanto, aproximadamente, la función que lo representa a la potencia necesaria en función de la velocidad a que gira es:

$$P = k\,N^3 \qquad \textbf{(3.19)}$$

Esta función es representable en coordenadas cartesianas, como vemos en la figura 3.3. La cantidad k es una constante propia de cada ventilador y depende de su tamaño, tipo, precio, estado de conservación y otros factores. Se observa que al crecer la velocidad del ventilador, la potencia que le solicita al motor eléctrico que lo impulsa crece también, pero no en forma directamente proporcional. Si para una velocidad N_1 requiere del motor una potencia P_1, para el doble de la velocidad, es decir, $N_2 = 2\,N_1$, requerirá una potencia dieciseis veces mayor. La curva de figura 3.3 muestra que $P_2 = 16\,P_1$.

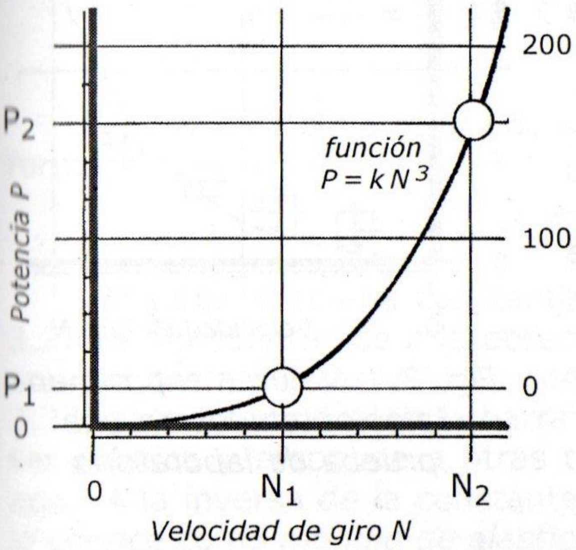

Fig. 3.3 Curva representativa de la potencia requerida por un ventilador en función de su velocidad de giro.

Esta es la función matemática teórica representativa de la potencia necesaria para impulsarlo, al variar su velocidad. El proyectista del ventilador la conoce y desarrolla, pero una vez producido el ventilador en escala industrial, por inevitables pequeñas imperfecciones, los resultados no cumplen rigurosamente esa función. Las tolerancias antes estudiadas entran en juego. Por ello, si se desea hacer una comprobación experimental o una prueba de calidad, se lleva al ventilador a un laboratorio y se lo ensaya. Como no es posible -ni conveniente- obtener todos los *infinitos* puntos de la curva matemática de la fórmula 3.19, en los ensayos se relevan una serie razonable de ellos. Por lo regular, las normas de ensayo indican en cada caso, cual es la cantidad. En la figura 3.4 representamos en coordenadas cartesianas, los puntos relevados. Para cada valor de velocidad, medimos la potencia que absorbe, obteniendo una serie de pares de valores. Notamos que esa sucesión de puntos no se corresponde de *exactamente* con una curva matemática como la de fórmula 3.19. En casos como éste -que son la abrumadora mayoría- se recurre al ***análisis gráfico***, consistente en representar a los puntos reales obtenidos por ensayo y luego ***estimar la curva que más se aproxima a la función.*** En general, esto es fácil, dado que la función como la de fórmula 3.19, se conoce por la teoría de las máquinas.

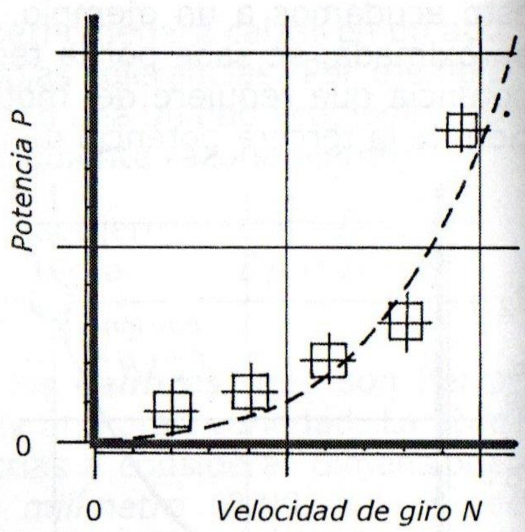

Fig. 3.4 Valores experimentales obtenidos en una prueba de laboratorio

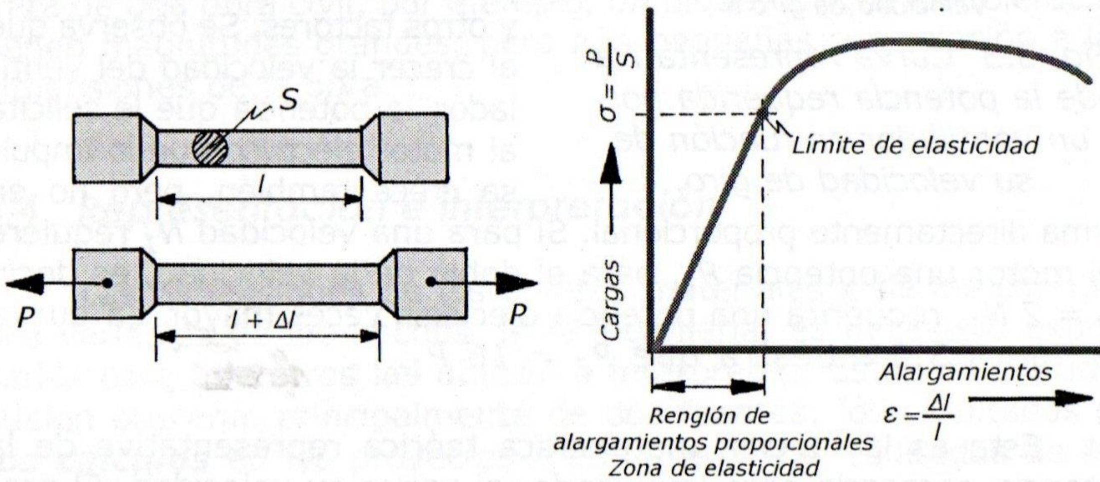

Fig. 3.5 Alargamiento de una barra simple sometida a esfuerzo axial

Otro ejemplo simple que podemos presentar, es la conocida *ley de Hooke*. En la figura 3.5 vemos una barra de sección recta *S* que es sometida a una fuerza de tracción *P* en sus dos extremos. El cociente entre ambas cantidades se llama *tensión específica*, o simplemente, *tensión* y la indicamos en la fórmula (3.20). Tratándose de *cuerpos elásticos* como son casi todos -en mayor o menor medida- los empleados en ingeniería, se producirá un *alargamiento específico por unidad de longitud* de valor ε que expresamos por medio de la fórmula (3.21). Veamos las dos expresiones juntas:

$$\sigma=\frac{P}{S}=\frac{kg}{m^2}=kg.m^{-2} \qquad (3.20)$$

$$\varepsilon=\frac{\Delta l}{l}=\frac{m}{m}=1 \quad (Magnitud\ sin\ unidad) \qquad (3.21)$$

La ley de Hooke relaciona ambas cantidades en la siguiente forma:

$$\varepsilon = A\sigma \qquad (3.22)$$

El valor A es una constante propia del material y la función 3.22 la representamos a la derecha de figura 3.5. Esta función se cumple hasta ciertos valores conservando la relación de fórmula 3.23, pasados los cuales, la barra entra en la zona plástica, deja de ser elástica y responde a otras teorías que no debemos exponer aquí. A la inversa de la constante A vale decir, al valor $E = {}^1/_A$ se lo conoce como *módulo de elasticidad longitudinal* del material y la ley de Hooke se puede escribir también como sigue:

$$\sigma = E\varepsilon \qquad (3.23)$$

Para completar estos conceptos sobre formas de representación, mostraremos la curva de errores de un medidor de energía eléctrica, de los comunes que hay en todo domicilio. En la figura 3.6 representamos los errores en función del porcentaje de corriente que pasa por el instrumento. Como el aparato tiene errores accidentales y sistemáticos, éstos pueden ser tanto positivos como negativos. Por ello, es habitual representarlos por medio de puntos que se corresponden con varios valores de la corriente eléctrica que registra, entre 0% y el 100% de la misma. Pero los errores, por ser medidos con instrumentos que a su vez, tienen su margen de error, la forma de representación es como indica la figura,

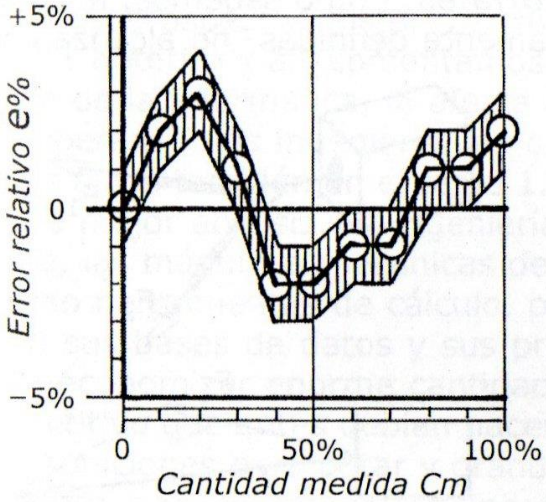

Fig. 3.6 Curva experimental de errores de un medidor de energía eléctrica

Escuela de Educación Secundaria Técnica N°1
Juan Bautista Alberdi
Conesa

Profesor: Giovagnoli Francisco Ariel
Correo: frangiovagnoli@hotmail.com

con una zona limitada arriba y debajo de cada punto, que es el ***rango de incertidumbre.***

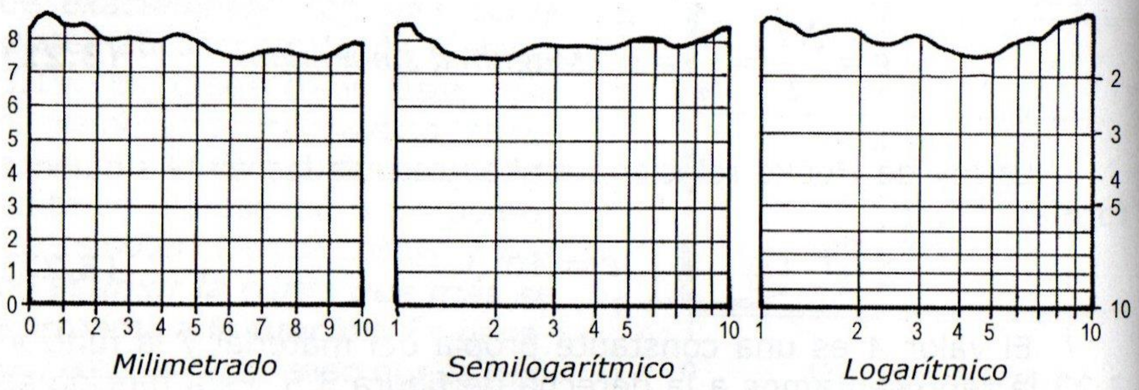

Fig. 3.7 Representaciones gráficas con papeles milimetrados

Para expresar los valores de la ingeniería en forma gráfica, suelen usarse los ***papeles milimetrados***, de los que hay varios modelos. En figura 3.7 mostramos a la izquierda un milimetrado común lineal. Al centro, un papel semilogarítmico y a la derecha, el papel logarítmico. Con estos auxiliares, es posible representar funciones que por sus características de extensión, pueden ser incómodas de expresar en un papel milimetrado común. Hay también, papeles milimetrados especiales para aplicaciones muy específicas.

Finalmente, debemos explicar que la ingeniería emplea muy frecuentemente los ***valores vectoriales***. Como sabemos, muchas magnitudes -para dejarlas correctamente definidas- no alcanza con entregar su valor numérico. Los ***vectores*** son entidades matemáticas que se caracterizan por tener ***dimensión, dirección y sentido.*** Se representan por medio de flechas y uno de los ejemplos más comunes son las fuerzas. Estas cantidades físicas tienen un valor que en el sistema MKS de unidades se miden en *Newton (N)* como mas arriba hemos explicado. Pero esas cantidades están aplicadas deslizándose sobre una recta que es su dirección. Además, pueden actuar en uno u otro sentido y

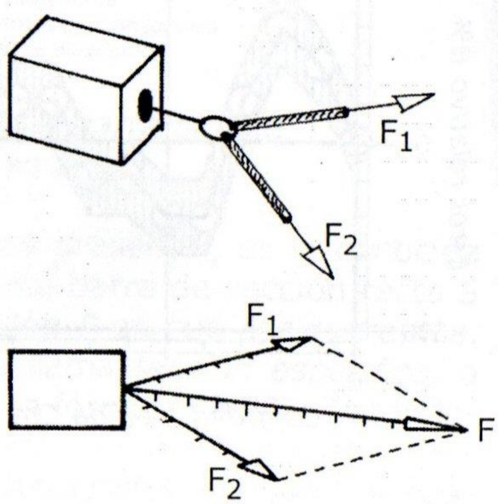

Fig. 3.8 Dos fuerzas aplicadas a un móvil y su resultante