# Guía de Laboratorio de Física Mecánica. ITM, Institución universitaria.

## Práctica 1. Dos sesiones de clase. Unidades, errores e instrumentos

### Implementos

Regla, balanza, flexómetro, cronómetro, tornillo micrométrico, calibrador, balanza, cilindro, paralelepípedo, esfera, CD, computador.

### Objetivos

Aprender a manejar los instrumentos de precisión y a escribir las medidas tomadas con ellos. Aprender a hacer operaciones con estas medidas y a reportarlas con su respectiva incertidumbre. Aprender a manejar el concepto de incertidumbre en una cantidad medidas muchas veces

### Introducción

Debido a que esta guía debe trabajarse durante dos sesiones de clase, es importante que el docente oriente el desarrollo de la clase explicando primero en el tablero un par de ejemplos de reglas para operar con cantidades con error. También debe el docente ilustrar a los estudiantes la forma como se manejan el tornillo micrométrico y el calibrador. La teoría de unidades y notación se incluye aquí, aunque ya debe ser conocida por los estudiantes, de modo que el docente debe enfocarse en la exposición de los dos temas siguientes a saber, la teoría de errores y su propagación así como el uso de instrumentos de precisión. Al final de las dos sesiones de clase los estudiantes deben entregar el informe completo, sin embargo, al finalizar la primera sesión el docente debe verificar que los estudiantes hayan avanzado al menos hasta el numeral 7 del informe.

### Unidades Fundamentales

| MAGNITUD | NOMBRE | SÍMBOLO |
|---|---|---|
| Longitud | Metro | m |
| Masa | Kilogramo | kg |
| Tiempo | Segundo | s |
| Intensidad de corriente eléctrica | Amperio | A |
| Temperatura | Kelvin | K |
| Cantidad de sustancia | Mol | mol |
| Intensidad luminosa | candela | cd |

Tabla 1. Unidades básicas o fundamentales

Toda medida efectuada debe estar acompañada de las respectivas unidades que hablen de la naturaleza de lo medido. Las unidades en que se mida algo deben ser producto de un acuerdo entre todas las personas que las van a usar. En el año 1960 se estableció el sistema internacional de unidades por convenio entre 36 países, número que aumentó posteriormente. Todas las magnitudes de las cantidades físicas medibles se pueden expresar en función de siete unidades básicas, las cuales se exhiben en la tabla 1.

| **MAGNITUD** | **Nombre** | **Símbolo** |
|---|---|---|
| Superficie | metro cuadrado | $m^2$ |
| Volumen | metro cúbico | $m^3$ |
| Velocidad | metro por segundo | m/s |
| Aceleración | metro por segundo cuadrado | $m/s^2$ |
| Número de onda | Metro elevado a la menos uno | $m^{-1}$ |
| Densidad volumétrica | kilogramo por metro cúbico | $kg/m^3$ |
| Velocidad angular | radián por segundo | rad/s |
| Aceleración angular | radián por segundo cuadrado | $rad/s^2$ |
| Volumen | Litro | $1L=1\ dm^3=10^{-3}\ m^3$ |
| Masa | Tonelada | $1T=10^3\ kg=10^6\ g$ |
| Presión y tensión | Bar | $1Bar=10^5\ Pa$ |

Tabla 2. Unidades SI derivadas expresadas a partir de unidades básicas

| **Magnitud** | **Nombre** | **Símbolo** | **Unidades en SI básicas** |
|---|---|---|---|
| Frecuencia | Hertz | Hz | 1/s |
| Fuerza | Newton | N | $Kg.m/s^2$ |
| Presión | Pascal | Pa | $N/m^2$ |
| Energía, trabajo | Joule | J | N.m |
| Potencia | Watt | W | J/s |
| Carga eléctrica | Coulomb | C | s·A |
| Potencial eléctrico | Voltio | V | J/s.A |
| Resistencia eléctrica | Ohm | Ω | V/A |
| Capacidad eléctrica | Faradio | F | C/V |
| Flujo magnético | Weber | Wb | V·s |
| Inducción magnética | Tesla | T | $Wb/m^2$ |

Tabla 3. Unidades derivadas con nombres y símbolos especiales.

**Unidades derivadas o compuestas**

Las unidades derivadas se definen a partir de las unidades básicas por medio de expresiones algebraicas. Algunas de estas unidades reciben un nombre especial y un símbolo particular, otras se expresan a partir de las unidades básicas. Podemos ver algunos ejemplos en las tablas 2 y 3.

**Sistema Inglés**

Además del Sistema Internacional de medidas, existen otros sistemas de unidades, como el Sistema Inglés, ampliamente utilizado. Por esta razón es importante conocer las equivalencias entre diferentes sistemas. Se muestran en la tabla 4 algunas de las equivalencias útiles para la conversión de unidades entre los dos sistemas, correspondientes a varias cantidades de naturaleza diferente, pero en general es fácil consultar en la red cualquier factor de conversión entre sistemas de medida.

| **Unidad inglesa** | **Equivalencia en el SI** | **Símbolo** |
|---|---|---|
| Pulgada | 2.54 cm | In ó ” |
| Pie | 30.48 cm | ft |
| Yarda | 91.44 cm | yd |
| Milla | 1.609,344 m | mi |
| Onza líquida (volumen) | 28,4130625 ml | fl oz |
| Libra (masa) | 0,45359237 kilogramos | lb |
| Galón (volumen) | 4.40488 l | gal |
| Barril (volumen) | 158.9872949 l | Barril |
| Horse power (potencia) | 746 W | h p |

Tabla 4. Tabla de equivalencias entre sistemas de unidades

En el SI también se utilizan otras unidades múltiplos de las fundamentales, que tienen cabida en algunas áreas de estudio particulares. Por ejemplo para hacer medidas de tamaños atómicos se usa el Angstrom Å y la unidad de masa atómica (UMA), y para hacer medidas de tipo astronómico se usan el parsec, la unidad astronómica (u.a.) y el año luz. En la tabla 6 se ilustran algunas de éstas.

| | |
|---|---|
| 1 Angstrom (Å) | = $10^{-10}$ m |
| 1 Unidad Astronómica (ua) | = 1,496 x $10^{11}$ m |
| 1 Parsec (pc) | = 3,0857 x $10^{16}$ m |
| 1 Año Luz (al) | = 9,4605 x $10^{15}$ m |

Tabla 5. Otras unidades.

**Análisis dimensional**

En muchos casos la respuesta a un problema puede decirnos si cometimos algún error en los cálculos, haciendo un análisis dimensional, de acuerdo con las dimensiones físicas involucradas. Una *Dimensión* en física se entiende como una descripción de la naturaleza física de una cantidad, pero no depende de las unidades en que se mida. Es decir, no importa en que unidades nos estemos refiriendo a una cantidad, esta siempre será la misma, por ejemplo una longitud no cambia si se expresa en metros o en pies, esta siempre será una longitud. La dimensión de una cantidad física se representa encerrándola entre corchetes. Los símbolos de las dimensiones fundamentales son:

$$[\text{tiempo}] \equiv [\text{T}]$$

$$[\text{Longitud}] \equiv [\text{L}]$$

$$[\text{Masa}] \equiv [\text{M}]$$

Las otras cantidades que se miden tienen dimensiones que son combinaciones de éstas. Por ejemplo, la aceleración se mide en metros sobre segundo al cuadrado; estas unidades tienen dimensiones de la longitud dividida entre el tiempo al cuadrado, por lo tanto se escribe simbólicamente:

$$[Aceleración] = \frac{[L]}{[T]^2}$$

Examinar las dimensiones en una ecuación puede suministrar información útil. Por ejemplo, para la ecuación: F = ma (Fuerza = (masa)*(aceleración)), la dimensión es el resultado de multiplicar la dimensión de la masa por la dimensión de la aceleración: Simbólicamente tenemos que:

$$[Fuerza] = [M]\frac{[L]}{[T]^2}$$

La expresión anterior representa la unidad de fuerza denominada *Newton* (N), cuyas unidades son kg*m/$s^2$, vea la tabla 4.

**Ejemplo**

Determinar si la ecuación $x = \frac{1}{2}at^2$ es dimensionalmente correcta.

Solución: Las unidades de aceleración se representan simbólicamente por:

$$\frac{[L]}{[T^2]}$$

La unidad de tiempo al cuadrado por la expresión [$T^2$]. Al multiplicarse será:

$$\frac{[L]}{[T^2]}\left[T^2\right]=\left[L\right]$$

Al cancelar la unidad de tiempo al cuadrado se obtiene como resultado la unidad de longitud, por lo cual es dimensionalmente correcta, ya que al lado izquierdo de la ecuación inicial tenemos una longitud *x*, la cual se mide en *m*.

**Notación científica**

En Física es necesario manipular cantidades tan grandes como distancias intergalácticas o tan pequeñas como distancias atómicas, esto requiere que hagamos uso de la notación científica, en la cual se utilizan las potencias de 10 para simplificar la escritura. La convención de la escritura es la siguiente: un dígito seguido de los decimales, si los hay, multiplicado por alguna potencia de 10, de esta manera el símbolo $5{,}3\text{x}10^3$ significa que hay que multiplicar el 5,3 por 10 tres veces. Por cada lugar que se corre la coma decimal hacia la izquierda, el exponente del número 10 aumenta en una unidad. Si la coma decimal se corre hacia la derecha un lugar, el exponente del número 10 disminuye una unidad.

**Ejemplos**

En la tabla 6 se describen algunos ejemplos que ilustran como se expresa una cantidad en notación científica, teniendo en cuenta que en algunos casos hay que escribir potencias negativas

| | |
|---|---|
| $0{,}56\text{x}10^7 = 5{,}6\text{x}10^6$ | Se corre el punto decimal un lugar a la derecha y se disminuye el exponente del 10 en una unidad. |
| $0{,}00000914\text{x}10^3 = 91{,}4\text{x}10^{-4}$ | Se corre el punto decimal siete lugares a la derecha y el exponente del 10 aparece disminuido en siete unidades. |
| $521000 = 5.21\text{x}10^5$ | Se corre la coma decimal cinco lugares hacia la izquierda y el exponente del 10 aumenta en cinco unidades. |

Tabla 6. Ejemplos de manipulación de potencias de diez.

**Prefijos del sistema de unidades**

Una ventaja del sistema métrico es el uso de prefijos para denotar los múltiplos de las unidades básicas. Por ejemplo el prefijo *kilo* significa 1000 veces la unidad básica o derivada; así, un *kilometro* son 1000 metros, un *kilogramo* son 1000 *gramos* y un *centímetro* equivale a 0,01 *metro*, es decir $10^{-2}$ m = 1m/100. Los prefijos nos permiten abreviar muchas expresiones, que podrían resultar muy extensas, por ejemplo la velocidad de la luz es aproximadamente 300000000 m/s, pero es más fácil decir 300 Mm\s ó también 0.3Gm\s

La tabla 7 muestra el factor, el nombre y el símbolo de los prefijos utilizados en física o en cualquier otra área del conocimiento.

| **Factor** | **Prefijo** | **Símbolo** | | **Factor** | **Prefijo** | **Símbolo** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $10^{24}$ | Yotta | Y | | $10^{-1}$ | Deci | d |
| $10^{21}$ | Zeta | Z | | $10^{-2}$ | centi | c |
| $10^{18}$ | Exa | E | | $10^{-3}$ | Mili | m |
| $10^{15}$ | Peta | P | | $10^{-6}$ | micro | µ |
| $10^{12}$ | Tera | T | | $10^{-9}$ | Nano | n |
| $10^{9}$ | Giga | G | | $10^{-12}$ | Pico | p |
| $10^{6}$ | Mega | M | | $10^{-15}$ | femto | f |
| $10^{3}$ | Kilo | K | | $10^{-18}$ | Atto | a |
| $10^{2}$ | Hecto | H | | $10^{-21}$ | zepto | z |
| $10^{1}$ | Deca | D | | $10^{-24}$ | yocto | y |

Tabla 7. Prefijos de las potencias de diez

**Ejemplos**

1) La distancia media entre la tierra y la luna es de 384400000 *m*. Entonces para aplicar los prefijos se puede decir que la luna está a

384400000 *m* = 384400x$10^{3}$ m = 384400 *km* = 384,4 Mm = 0,38 Tm

2) Escribir con otros prefijos el número de Avogadro $6{,}022\times10^{23}$ mol.

$6{,}022\times10^{23}$ mol = $0{,}6022\times10^{24}$ mol = 0,6022 Ymol = 6022 Zmol

3) 5 nanómetros equivalen a $5x10^{-9}$ *metros;* la expresión simbólica es: 5 *nm.*

4) El diámetro promedio de un átomo de hidrógeno es de 0,000000000 1m. Entonces este número puede escribirse como

1/(10 000 000 000) = 1/(10x10x10x10x10x10x10x10x10x10) = 1x$10^{-10}$ = 1Å

5) La masa del sol en notación científica es 2,0x$10^{33}$ g, expresarla en

a) Hg

b) Gg

Solución:

a) Como queremos pasar a Hg debemos multiplicar por el factor adecuado

$$2{,}0\times10^{33}g \rightarrow 2{,}0\times10^{33}g\times\left(\frac{1Hg}{10^{2}g}\right)=2{,}0\times10^{33}\times10^{-2}Hg=2{,}0\times10^{31}Hg$$

Se puede ver que los *g* se cancelan y luego los exponentes de las potencias de diez se suman.

b) Para expresar el valor de la masa del sol en Gg, se debe multiplicar por el factor adecuado

$$2{,}0\times10^{33}g \rightarrow 2{,}0\times10^{33}g\times\left(\frac{1Gg}{10^{9}g}\right)=2{,}0\times10^{33}\times10^{-9}Gg=2{,}0\times10^{24}Gg$$

6) Se dice que un guepardo puede alcanzar una velocidad de 100 km/h. ¿A cuánto equivale este valor en m/s?

Solución: En este caso se debe tener en cuenta que hay que multiplicar por dos factores, uno para pasar los km a m y otro para pasar las horas a segundos

$$100\frac{km}{h}=10^{2}\,\frac{km}{h}\times\left(\frac{10^{3}m}{1km}\right)\times\left(\frac{1h}{3600S}\right)=\frac{10^{2}\times10^{3}}{3600}\frac{m}{S}=\frac{10^{5}}{3600}\frac{m}{S}=\frac{100000}{3600}\frac{m}{S}=27{,}78\frac{m}{S}$$

**Teoría de errores**

Todo instrumento de medida tiene un *error* asociado, que indica la fineza o precisión de una medida tomada con él. Éste error es también llamado *incertidumbre* en la medida. En todo aparato de medida el error está dado por la mínima división de la escala del aparato. En una regla normal, la mínima división es de milímetros (1mm) o décimas de centímetro (0,1cm). Toda medida tomada en un experimento debe escribirse como:

$$B' = B \pm \Delta B$$

Donde *B* es la lectura de la medida en el instrumento usado, llamada valor central, y $\Delta B$ es el error asociado con el aparato. Una medida tomada con una regla se escribiría como: A'=(2,5±0,1)cm, o también como A'=(25±1)mm. En este caso el valor central es 2,5cm y el error es 0,1cm. Una interpretación de esto es que la medida está entre 2,4 y 2,6cm. Es incorrecto escribir por ejemplo A'=(2,5±0,01)cm, ya que la última cifra de la incertidumbre o error debe tener la misma posición decimal que la última cifra del valor central. Por la misma razón también es un error escribir A'=(2,05±0,1)cm.

Los errores se clasifican en tres tipos: sistemáticos, de escala y aleatorios. Los errores ***sistemáticos*** introducidos al tomar medidas en el laboratorio son en general debidos a las técnicas de medida empleadas o a los aparatos usados. La descalibración de los instrumentos de medida es una causa común de errores sistemáticos. Estos errores se reproducen igual bajo las mismas condiciones de medida (siempre tienen el mismo valor), pero pueden ser identificables y eliminables en buena parte. También se presentan errores de paralaje debidos a una mala posición del observador respecto a los indicadores del aparato. Los llamados errores ***de escala*** están asociados con la precisión del instrumento (lo cual no debe confundirse con la calibración), ya que al tomar una medida con un instrumento cuya precisión es del mismo orden que escala del aparato de medida, predomina el error de escala sobre otros. El error de escala corresponde al mínimo valor que puede medirse con el instrumento. Los errores ***aleatorios*** se asocian a las condiciones en las que se realiza el montaje experimental que busca hacer una medición determinada. Se deben a eventos individuales e imposibles de controlar durante las mediciones. Este tipo de error se contrapone al concepto de error sistemático y en general son sus orígenes son difíciles de identificar y corregir, nunca desaparecen totalmente.

**Redondeo**

Ya que en adelante se va a tratar con cantidades experimentales, que frecuentemente debemos redondear o ajustar para expresar correctamente, vamos a ver algunas reglas para el manejo de cifras significativas y redondeo de decimales. Al redondear números, la cifra que se va a descartar debe estar entre cinco y nueve para que la última cifra que queda se aumente en uno. Ejemplo: Al redondear 3,45681 a tres decimales se obtiene 3,457. Si se fuera a redondear a un decimal quedaría 3,5. Cuando la cifra a descartar está entre cero y cuatro, la última cifra que queda no se modifica. Ejemplo: Al redondear 87,58276 a dos decimales se obtiene 87,58. Esta regla es una versión más simplificada, ya que lo usual es que cuando la cifra a descartar es cinco, hay que entrar a analizar las cifras que le siguen, pero no consideraremos por ahora esta regla por agilidad en el trabajo.

**Cifras significativas**

1. El número de cifras significativas de una cantidad se cuenta de izquierda a derecha comenzando por el primer dígito diferente de cero. Ejemplo: en 23,456 hay cinco cifras significativas. En el número 0,00897 hay tres cifras significativas.

2. Los ceros que den lugar a potencias de diez no cuentan como cifras significativas. Ejemplo: el número 144000000 tiene tres cifras significativas puesto que se puede escribir $1{,}44x10^{8}$. El número 0,08972 puede escribirse como $8{,}972x10^{-2}$, por lo que tiene cuatro cifras significativas. El número 123,004 tiene seis cifras significativas ya que estos ceros no dan lugar a potencias de diez.

3. Al sumar o restar dos números con cifras decimales, el resultado debe tener el mismo número de cifras decimales que la cantidad que menos tenga de las dos que se operaron. Ejemplo: al sumar 23,657 con 84,3 se obtiene 107,9.

4. Al multiplicar o dividir dos números, el número de cifras significativas en la respuesta debe ser igual al del término que menos tenga. Ejemplo: al multiplicar $12{,}90\text{x}10^{-4}$ por 34 se obtiene $438{,}6\text{x}10^{-4}$ ó también $4{,}386\text{x}10^{-2}$, pero debe escribirse con dos cifras por lo que queda $4{,}4\text{x}10^{-2}$.

5. El error asociado con una medida debe expresarse con una sola cifra significativa, puesto que la incertidumbre expresa una duda en la última cifra de la medida como se explicó en la introducción. Sin embargo en algunos casos especiales el error se escribe con más de una cifra y esto puede deberse a que proviene de medidas indirectas o a alguna otra razón técnica.

**Operaciones entre cantidades con error. Propagación de errores**

Las medidas tomadas en un laboratorio usualmente son usadas para realizar operaciones entre ellas, por ejemplo, si se miden los dos lados de un rectángulo para conocer su área, se deben multiplicar dos cantidades con error. Al realizar la operación se debe tener en cuenta que el resultado debe tener un error asociado o propagado, que a su vez respete las reglas de redondeo y de cifras significativas. Lo primero que hay que hacer es redondear el error propagado a una cifra y luego se ajusta el número de cifras del valor central para que su última posición decimal coincida con la del error, para lo cual a veces es necesario escribir el valor central en potencias de diez.

En la siguiente tabla se resumen los errores asociados con las operaciones básicas, para medidas independientes. Las cantidades correspondientes a dos números con error se escriben ($A\pm\Delta A$) y ($B\pm\Delta B$), se operan según indica la siguiente tabla y el resultado es un número de la forma ($Z\pm\Delta Z$), donde Z es el resultado de operar los dos valores centrales A y B, y por otro lado $\Delta Z$ se encuentra realizando la operación de la tercera columna de la tabla, según sea la operación.

| **Nombre de la Operación** | **Operación** | Incertidumbre |
|---|---|---|
| Multiplicación por una constante | $C(X \pm \Delta x) = CX \pm \Delta z$ | $\Delta z = C\,\Delta x$ |
| Potencia | $(X \pm \Delta x)^n = X^n \pm \Delta z$ | $\Delta z = \lvert n \rvert X^{n-1} \Delta x$ |
| Suma o Diferencia | $(X \pm \Delta x) + (Y \pm \Delta y) = (X+Y) \pm \Delta z$<br>$(X \pm \Delta x) - (Y \pm \Delta y) = (X-Y) \pm \Delta z$ | $\Delta z = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$ |
| Producto de binomios a una potencia | $(X \pm \Delta x)^m (Y \pm \Delta y)^n = X^m Y^n \pm \Delta z$<br>Caso trivial de producto: m=n=1 | $\Delta z = X^m Y^n \sqrt{\left(m\frac{\Delta x}{X}\right)^2 + \left(n\frac{\Delta y}{Y}\right)^2}$ |
| Cociente | $\frac{X \pm \Delta x}{Y \pm \Delta y} = \frac{X}{Y} \pm \Delta z$ | $\Delta z = \frac{X}{Y}\sqrt{\left(\frac{\Delta x}{X}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{Y}\right)^2}$ |
| Función seno | $\text{sen}(\theta \pm \Delta\theta) = \text{sen}\theta \pm \Delta z$ | $\Delta z = (\cos\theta)\,\Delta\theta$ |
| Función coseno | $\cos(\theta \pm \Delta\theta) = \cos\theta \pm \Delta z$ | $\Delta z = (\text{sen}\theta)\,\Delta\theta$ |
| Función tangente | $\tan(\theta \pm \Delta\theta) = \tan\theta \pm \Delta z$ | $\Delta z = (\sec^2\theta)\,\Delta\theta$ |

Tabla 1. Operaciones entre cantidades con error

**Error para una cantidad medida muchas veces**

En algunos casos es necesario repetir muchas veces una medida para obtener un dato más aproximado a la realidad o debido a la aleatoriedad de algún proceso, por lo cual el resultado debe tener en cuenta las reglas de la estadística a la hora de expresar los datos obtenidos. En estos casos la medida repetida *n* veces de la variable X se expresa como:

$$X = \bar{x} \pm \sigma$$

Donde el valor central de la medida es $\bar{x}$ , el valor medio o el promedio de la medida, y está dado por

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

mientras que en este caso el error es llamado desviación estándar σ, y se calcula usando la fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}$$

**Porcentaje de error**

Cuando se conoce el valor teórico $V_{teor}$ de una cantidad, se calcula el porcentaje de error comparando este valor con el valor experimental obtenido $V_{exp}$, mediante la siguiente fórmula:

$$\%Error = \left|\frac{V_{teor} - V_{exp}}{V_{teor}}\right| \times 100$$

**Instrumentos de precisión**

Cuando queremos medir una distancia en el laboratorio, es deseable tener la mayor precisión posible en la medida. Si queremos tomar medidas de longitudes con precisión de centésimas o milésimas de milímetro debemos usar un instrumento que tenga ese grado de precisión, como es el caso del calibrador y del tornillo micrométrico. En una regla común y corriente, la incertidumbre o mínima división es de un milímetro (1mm) o una décima de centímetro (0,1cm), pero en un calibrador es de 0,05mm, mientras que en un tornillo micrométrico es de 0,01mm. Aunque existen calibradores de más precisión, usaremos los que tenemos disponibles, que son de 0,05 mm de precisión. Hay que tener en cuenta que la precisión de una medida también es relativa a las dimensiones de lo que se mide. Por ejemplo no tiene sentido medir la distancia entre dos ciudades con precisión de milímetros.

**Calibrador o pie de rey**

Un calibrador tiene una parte con división en milímetros y otra parte corrediza llamada nonio, que tiene otra pequeña regla que corresponde a una división de un milímetro en 20 partes. Existen además otros tipos de pie de rey que tienen otras divisiones en el nonio, pero vamos a detallar solamente el de 0,05mm de precisión. Al tomar medidas con un calibrador, primero se toma la lectura de la parte entera de la regla (en milímetros) y luego se toma la lectura de la parte decimal del nonio, donde cada raya corresponde a (1/20)mm, es decir 0,05mm, que a su vez es el error o incertidumbre en la medida del instrumento. Para tomar la parte decimal de la medida, se busca la raya del nonio que mejor coincida o que mejor se alinee con una raya cualquiera correspondiente a los milímetros de la regla. Si por ejemplo la raya marcada con el 2 se alinea con una raya cualquiera de la regla, la lectura decimal será 0,20mm. Si la raya que se alinea es por ejemplo la que está entre el 6 y el 7 del nonio, la lectura decimal es 0,65mm.

$$\text{Medida Calibrador} = \{[(\text{Lectura de regla}) + (\text{lectura de nonio})] \pm 0{,}05\}\text{mm}$$

Las figuras 1 y 2 ilustran un calibrador y el detalle del nonio. Cuando se mira el nonio para buscar el valor decimal se debe tener cuidado de no cometer errores de paralaje, la ubicación de la mirada debe estar bien perpendicular al nonio.

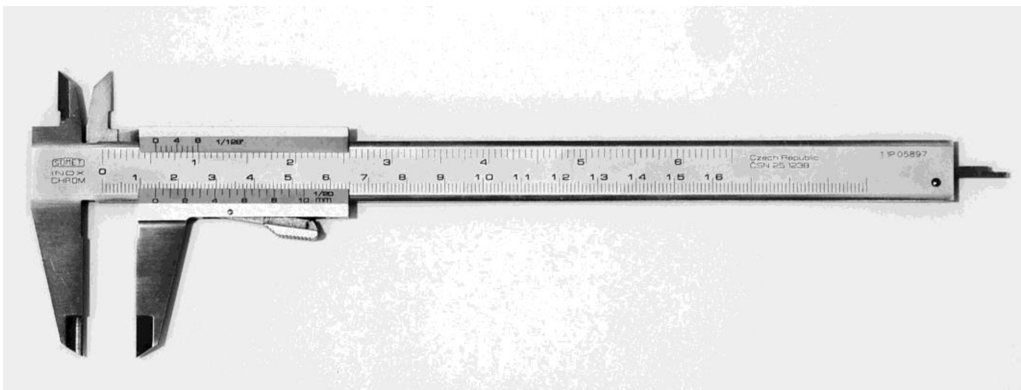

Figura 1.  Pie de rey o calibrador

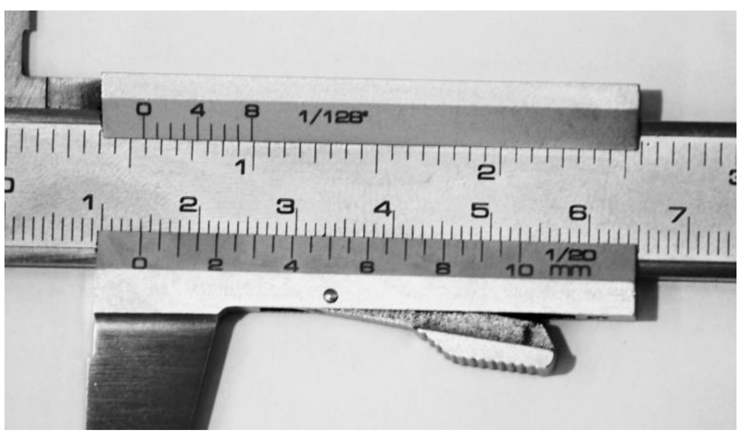


Figura 2. Detalle de nonio

A continuación veamos un ejemplo de una medida tomada con un calibrador o pie de rey. En la figura 3 podemos ver que la raya del cero del nonio se encuentra después de los 24 mm (en la regla). El dato de los milímetros se toma como 24, mientras que la parte decimal se halla buscando la raya del nonio que se mejor alinee con una raya cualquiera correspondiente a los milímetros de la regla. En este ejemplo es evidente que la raya del nonio que mejor coincide con alguna raya correspondiente a milímetros es la del número 6. Es decir que la parte decimal es 0,60 mm. Escribiendo la medida completa del ejemplo con su respectivo error se tiene:

$$(24{,}60 \pm 0{,}05)\ \text{mm.}$$

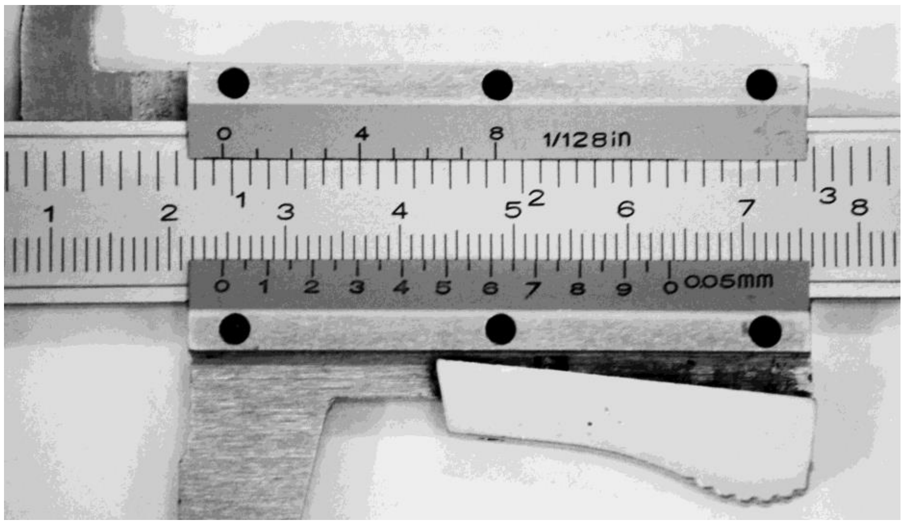


Figura 3. Ejemplo pie de rey

**Tornillo micrométrico**

Un tornillo micrométrico tiene una parte con escala en milímetros y otra parte giratoria llamada tambor, que tiene una división de un giro completo en cincuenta partes iguales, lo que corresponde a una división de medio milímetro en 50 partes. Es decir que 1 mm corresponde a dos vueltas completas del tambor. Al tomar medidas con un tornillo micrométrico, hay que tener en cuenta que la regla horizontal está marcada cada medio milímetro alternadamente arriba y abajo de la línea central. Note que la primera raya es cero y está arriba, y la siguiente raya (abajo) corresponde a 0,5 mm. Las rayas de arriba de la línea central marcan cada milímetro: 0 1 2 3 …, mientras que las de abajo marcan las mitades de mm: 0,5 1,5 2,5 3,5 …, además el tambor está marcado cada 0.01 mm.


Figura 4.  Tornillo micrométrico

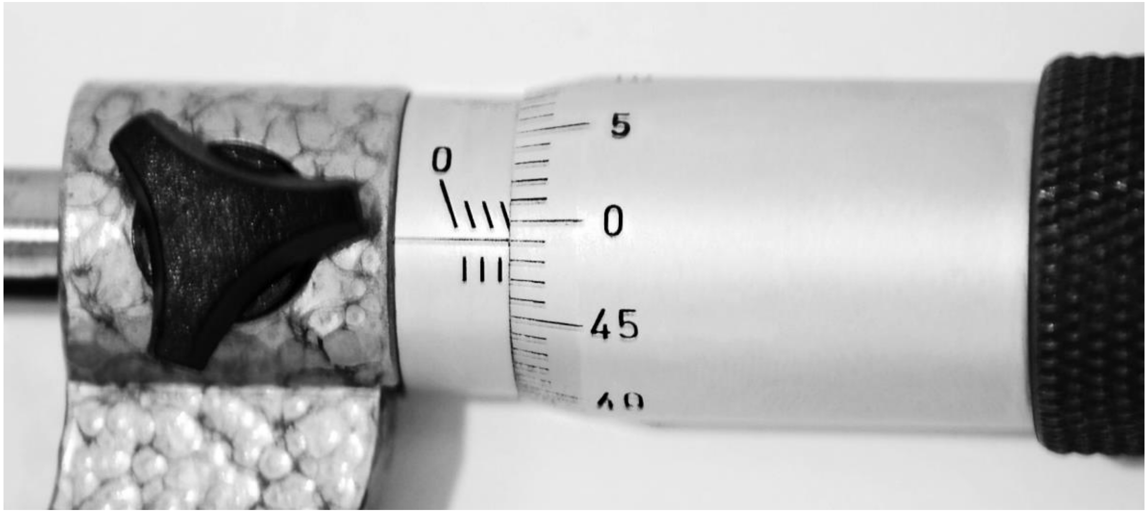


Figura 5. Detalle del tambor. Ejemplo

Para tomar una medida con el tornillo micrométrico primero se toma la lectura de la parte entera de la regla (en milímetros), donde hay que adicionar medio milímetro si el tambor rebasa una raya de la parte inferior de la regla (ver la figura 5). Luego se toma la lectura de la parte decimal del tambor, donde cada división corresponde a (0,5/50)mm, es decir 0,01mm. Que a su vez es el error o incertidumbre en la medida del instrumento. La medida del tambor se toma como la raya del tambor que mejor se alinee con la raya horizontal central de la regla.

Medida con el tornillo = {[(Lectura de regla) + (lectura del tambor)] ± 0,01}mm

Las figuras 4 y 5 ilustran un tornillo micrométrico y el detalle del tambor, a su vez ejemplo de una medida tomada con un calibrador. Notamos en la figura 5 que el tambor rebasa la tercera raya inferior de la regla, por lo cual la medida de la regla es de 2,5 mm. Además puede verse que el tambor está a punto de terminar de dar un giro completo. La raya que mejor se alinea con la línea central de la regla se encuentra exactamente en la raya número 49 del tambor. Por esto hay que añadir 0,49 mm a la medida que ya traíamos de 2,5 mm. Por lo tanto la medida del ejemplo de la figura 5 es (2,99±0,01)mm.

El profesor debe impartir las instrucciones necesarias para que los estudiantes dominen los dos instrumentos antes de comenzar las mediciones.

**Informe**

El informe escrito de esta práctica debe incluir: Portada, relato o descripción de todo el proceso de la toma de medidas, datos y operaciones correspondientes a cada numeral, cálculos a mano de los valores pedidos en el desarrollo de la práctica cuando sea necesario. Incluya conclusiones y causas de error.

1. Defina una unidad de longitud basada en la estatura de una persona y dele por nombre a la unidad el nombre de la persona (por ejemplo, 1 Juan=1Ju=1,68m), luego encuentre en términos de esa nueva unidad:

    a) La distancia aproximada Tierra-Sol, (¿cuántos Ju hay entre la tierra y el sol?)

    b) La distancia aproximada tierra luna

    c) Un año luz.

2. Escoja el instrumento apropiado y úselo para tomar medir la altura y el diámetro del cilindro y expréselas correctamente con su respectivo error.

3. Calcule el volumen del cilindro teniendo en cuenta todas las reglas de redondeo, cifras y operaciones entre cantidades con error descritos al inicio de esta guía. Tenga en cuenta las unidades para que exprese el resultado en $cm^3$.

4. Use la balanza para medir la masa del cilindro y escriba adecuadamente la medida.

5. Calcule la densidad del cilindro en $g/cm^3$, teniendo en cuenta todas las reglas de redondeo y cifras. Busque en internet una tabla de densidades para que por comparación establezca el material del que está hecho el cilindro. Calcule el porcentaje de error para la densidad del cilindro tomando el dato consultado como el valor teórico.

6. Use el flexómetro para medir y señalar una altura de dos metros en la pared respecto al piso. Realice una tabla donde consigne diez medidas del tiempo que tarda la esfera metálica en caer al piso al ser soltada desde el reposo a una altura de 2m. Exprese el valor central y el error tal como se indica en la sección correspondiente a una medida repetida varias veces.

7. Use la expresión $y = 0,5gt^2$ para calcular la gravedad en el laboratorio. Calcule el porcentaje de error comparando la gravedad obtenida (experimental) con la gravedad en Medellín 9,77 $m/s^2$ (teórica).

8. Tome el calibrador y mida las tres dimensiones del paralelepípedo, y expréselas correctamente.

9. Calcule el volumen del paralelepípedo teniendo en cuenta todas las reglas de redondeo, cifras y operaciones entre cantidades con error. Tenga en cuenta las unidades para que exprese el resultado en $cm^3$.

10. Use la balanza para medir la masa del paralelepípedo y escriba adecuadamente la medida.

11. Calcule la densidad del paralelepípedo teniendo en cuenta todas las reglas de redondeo y cifras. Busque en internet una tabla de densidades para que por comparación establezca el material del que

está hecho el paralelepípedo. Calcule el porcentaje de error para la densidad del paralelepípedo, tomando como valor teórico el hallado en la tabla.

12. Use el tornillo micrométrico para medir el diámetro de la esfera de cristal. Exprese la medida adecuadamente.
13. Use la balanza para hallar la masa de la esfera. Escríbala adecuadamente.
14. Calcule la densidad de la esfera teniendo en cuenta la propagación de errores. Busque en una tabla la densidad del material para que establezca por comparación de qué está hecha la esfera. Calcule el porcentaje de error.
15. Mida el diámetro externo y el diámetro interno del CD usando el calibrador, y mida su espesor usando el tornillo micrométrico.
16. Calcule el volumen del CD, teniendo en cuenta la teoría de errores.
17. Escriba sus propias conclusiones de la práctica, así como las causas de error en las medidas tomadas.