No

0

LABORATORIO DE MECÁNICA

TOMA DE DATOS E INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DEL ERROR.

DEPARTAMENTO DE FISICA Y GEOLOGIA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

Objetivos

- Entender y familiarizarse con el tratamiento de datos y su presentación, teniendo en cuenta la incertidumbre propia de todo proceso de medición.
- Familiarizarse con el concepto de propagación del error para determinar incertidumbres de mediciones indirectas.

Esquema del laboratorio y materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Reglas graduadas en decímetros, en centímetros y milímetros	1	
Cronometro.	1	
Montaje de Péndulo simple.	1	

Marco teórico y Cuestionario

INTRODUCCION

El Análisis del error es el estudio y evaluación de las incertidumbres en las mediciones. No existen mediciones que estén completamente libres de error a pesar de todas las precauciones que se puedan tomar. En este sentido, la palabra ***"error"*** no toma la connotación usual de desacierto, sino que representa la incertidumbre inevitable que se presenta en cualquier medición. Experimentalmente lo mejor que se puede hacer es asegurarse de que el error sea tan pequeño como sea razonablemente posible y tener una estimación de su tamaño. Por ahora se debe entender error en el sentido de incertidumbre, más adelante se define de forma más precisa.

INEVITABILIDAD DE LA INCERTIDUMBRE

Ninguna cantidad física (una longitud, una masa, una temperatura, etc.) puede ser medida con completa certidumbre. Teniendo mucho cuidado se puede ser capaz de reducir las incertidumbres hasta que estas sean extremadamente pequeñas, pero no eliminarlas por completo.
Veamos un ejemplo. Se quiere medir la longitud de una hoja de papel. Para ello puede usarse una regla calibrada en centímetros, pero es muy poco probable que el final de la hoja coincida exactamente con una de las líneas de graduación de la regla. De este modo, el error de la medición será del orden de 1 centímetro. Para minimizar el error podría pensarse en conseguir una cinta métrica calibrada en milímetros, pero de nuevo si el final de la hoja no coincide con una de las líneas de graduación el error seria de 1 milímetro. Si se quiere ser más preciso, se podría tratar de medir la longitud de la hoja usando interferómetro laser, pero incluso en este caso la incertidumbre será del orden de la longitud de onda de la luz (0.5×10^{-6}m).

La importancia de conocer la incertidumbre de una medición yace en que sin este requisito la medición puede ser inútil. Por ejemplo dos personas miden la velocidad de un automóvil (ver Tabla 1.).

Medida Reportada	Persona A	Persona B
Velocidad Medida ($^{km}/_{h}$)	73	75
Rango probable de la velocidad($^{km}/_{h}$)	63 a 83	74 a 76

Tabla 1. Velocidad de un automóvil en ($^{km}/_{h}$).

Se nota inmediatamente que los intervalos de confianza de las dos mediciones se superponen es posible que las dos mediciones sean correctas. Sin embargo, la incertidumbre en la medición de A es grande comparada con la medición misma, de modo que su resultado no es útil si de lo que se trata es de determinar si el automóvil sobrepaso el límite de 80 Km/h. Lo anterior nos demuestra que sin una breve explicación de cómo las incertidumbres de una medición son estimadas, las mediciones son casi inútiles.

INCERTIDUMBRES ESTIMADAS EN MEDICIONES REPETIDAS

Algunas mediciones son muy difíciles de estimar mas allá de los problemas conectados con la localización de marcas sobre las escalas. Por ejemplo, medir el periodo de un péndulo usando un cronometro, la principal fuente de incertidumbre no es el aparato de medición, ni la escala, sino el tiempo de reacción variable de quien toma las mediciones.

De acuerdo con el origen de estos errores podemos clasificarlos en:

Error humano: Descuido al hacer las medidas, forma inadecuada de hacerlas, estado de ánimo, etc.

Limitaciones de los aparatos: Pueden ser debidas a estar estropeados, mal calibrados o tener poca precisión.

Influencias ajenas al experimento: Interferencias, variaciones de temperatura, aire, etc.

TIPOS FUNDAMENTALES DE ERROR

- ***ERRORES SISTEMÁTICOS***

Son los debidos a la presencia de un factor no considerado en el montaje experimental o al mal conocimiento de algún otro. Como consecuencia el valor medido está siempre por encima o por debajo del valor verdadero. Pueden tener su origen en deficiencias de los aparatos. Su existencia es difícil de detectar pero son los más fáciles de corregir pues sólo requieren de la adecuada calibración del aparato.

- ***ERRORES ACCIDENTALES***

Son los resultantes de la contribución de numerosas fuentes incontrolables que desplazan el valor medido por encima y por debajo del valor real. Idealmente puede considerarse que su contribución es absolutamente al azar, de forma que aunque son imposibles de eliminar totalmente, pueden ser estimados y de esta forma obtener el grado de confianza con el que hemos realizado la medida.

- ***ERRORES EN OBSERVACIONES DIRECTAS***

Los errores estadísticos o aleatorios pueden ser estimados realizando un cierto número de veces, n, el experimento. A estas medidas repetidas de una cierta magnitud, x_1, x_2, x_3,… x_n, las llamaremos datos.

MEJOR ESTIMADO ± INCERTIDUMBRE

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente sobre el mejor valor estimado y su incertidumbre, como regla general, el resultado de cualquier medición de una cantidad física x esta dado por

$$Valor\ medido\ de\ x = x_{mejor} \pm \boldsymbol{\delta x}$$

Esto significa dos cosas:

- El mejor estimado por el observador para la cantidad física medida es x_{mejor} y se encuentra como el promedio de los datos. Dado por por la siguiente expresión: $x_{mejor} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$.
- El observador tiene un alto grado de confianza en que el valor correcto de la cantidad física esta en el valor comprendido entre $x_{mejor} - \boldsymbol{\delta x}$ y $x_{mejor} + \boldsymbol{\delta x}$**.**

Hay que escoger el valor δx de forma tal, que por ejemplo, se tenga el 70% de confianza en que el valor real de la cantidad física a medir esta en el intervalo antes mencionado.

El valor de δx se calcula tomando el mayor valor de los datos y restándole el x_{mejor} y x_{mejor} y restándole el menor valor de los datos. Esto es:

$$\boldsymbol{\delta x} = Dato\ mayor - x_{mejor}$$

$$\boldsymbol{\delta x} = x_{mejor} - Dato\ menor$$

Si estos dos valores de $\boldsymbol{\delta x}$ son diferentes se promedian.

CIFRAS SIGNIFICATIVAS

Varias reglas sencillas deben ser tenidas en cuenta a la hora de presentar resultados de mediciones. Primero dado que δx es la estimación de una incertidumbre, debe ser obvio que esta cantidad no debe ser estableciada con mucha precisión. Por ejemplo**,** es absurdo presentar los resultados de la medición de la gravedad en la siguiente forma:

$$\boldsymbol{g\ medida = 9.82\ \pm 0.02385\ m/s^2}$$

No puede entenderse como la incertidumbre de esta medición pueda ser conocida con una precisión de cuatro cifras significativas (en 0.02385 se cuentan cinco cifras significativas, sin embargo el cero no se tiene en cuenta, la cifra puede escribirse como 2.385 x 10^{-2}). En trabajos de alta precisión, las incertidumbres son usualmente establecidas hasta de dos cifras significativas, pero en el trabajo introductorio del laboratorio se puede adoptar como regla general ***que las incertidumbres experimentales deben ser redondeadas a una cifra significativa.***

Por ejemplo, para el resultado de la medición mostrada anteriormente la incertidumbre 0.02385 debe ser redondeada a 0.02 y en conclusión el resultado de la medición puede ser expresada de la siguiente forma:

$$\boldsymbol{g\ medida = 9.82\ \pm 0.02\ m/s^2}$$

Sin embargo, existe una excepción a esta regla: si el número que determina la incertidumbre es 1, entonces puede ser mejor mantener la siguiente cifra significativa. Por ejemplo, si $\boldsymbol{\delta x = 0.14}$ redondear a 0.1 puede representar una substancial reducción proporcional, de modo que es mejor mantener la siguiente cifra significativa.

Una vez la incertidumbre ha sido estimada, se debe considerar cuales son las cifras significativas de la cantidad medida. Por ejemplo, una medición que se expresa como

$$\boldsymbol{velocidad\ medida = 1053{,}87\ \pm 20\frac{m}{s}}.$$

No es correcta, dado que la incertidumbre de 20 significa que el digito 5 (tercera posición de 1053.87) puede realmente ser tan pequeño como 3(=5-2) o tan grande como 7 (=5+2). De cualquier forma los digitos 3,8 y 7 no tienen ningún sentido, y deben ser descartados. La forma correcta de establecer la medición debe ser:

$$\boldsymbol{velocidad\ media = 1050 \pm 20\frac{m}{s}}$$

De aquí se deduce otra regla que debe ser observada a la hora de presentar resultados de una medición:

> ***La última cifra significativa en cualquier respuesta debe ser del mismo orden de magnitud (en la misma posición decimal) que la incertidumbre.***

La anterior regla se aplica a la presentación de los resultados. En los cálculos intermedios debe mantenerse una cifra significativa más que la que es finalmente justificada, esto reduce los errores de redondeo. Sin embargo, la respuesta final deber ser redondeada eliminando esta cifra significativa extra. Debe también tenerse en cuenta la elegancia en la presentación de los resultados: claramente es mejor escribir

$$\boldsymbol{carga\ medida = (2.35 \pm 0.04)\ X\ 10^{-19}\ coulombs}$$

Que escribir

$$\boldsymbol{Carga\ medida = 2.35\ X\ 10^{-19} \pm\ 4\ X\ 10^{-21}\ coulombs}$$

DISCREPANCIA

Si dos mediciones de una misma cantidad física están en desacuerdo, se dice que hay discrepancia. Numéricamente, la discrepancia se define como:

Discrepancia= Diferencia entre dos valores medidos de una misma cantidad

Es importante reconocer que la discrepancia puede o no ser significativa. Por ejemplo si dos estudiantes miden la misma resistencia eléctrica y sus mediciones son $40 \pm 5\ ohms\ \ y\ \ 42 \pm 8\ ohms$ la discrepancia es (42- 40) ohms = 2 ohms, resultado que es menor que la incertidumbre de modo que las mediciones son consistentes y puede decirse ***que la discrepancia es insignificante.***

COMPARACION ENTRE VALORES MEDIDOS Y ACEPTADOS

Existen dos clases de prácticas en el laboratorio: unas donde se requiere verificar experiencias a modo cualitativo (La aparición de un patrón de difracción, la superposición de ondas, etc.) y otros experimentos (la mayoría) donde se pretende hacer mediciones, es decir, experimentos de carácter cuantitativo. Refiriéndose a esta segunda clase, una única medida no tiene ninguna importancia. Para obtener una conclusión interesante se deben comparar dos o más ***números interesantes***: una medición con un valor aceptado, una medición con un valor teórico predicho, o varias medidas para mostrar que ellas están en concordancia con alguna ley física. En tales comparaciones el análisis del error juega un papel muy importante.

Veamos un ejemplo: en un experimento para medir la velocidad del sonido en el aire (a temperatura y presión estándar) Arrojó como resultado

$$\boldsymbol{velocidad\ medida = 329 \pm 5\ m/s}$$

Comparado con el valor aceptado

$$\boldsymbol{velocidad\ aceptada = 331 m/s,}$$

Puede concluirse que el valor aceptado esta dentro del rango determinado por la medición (el rango es 329-5=324 a 329+5=334) de forma que la medición fue satisfactoria.
De otra forma, si la medición de la velocidad del sonido hubiese dado como resultado

$$\boldsymbol{velocidad\ medida = 345 \pm 2\ m/s}$$

La velocidad aceptada no estaría dentro del rango de la medición, de modo que puede estimarse que hubo un error en el proceso de medición.

Para Calcular la incertidumbre en una medición, distinguiendo si la medición se realiza de forma directa o indirecta, se pueden tener dos tipos de incertidumbre. La primera debida a la precisión de instrumentos y los problemas de definición y la segunda debida a las desviaciones de medidas repetidas.

INCERTIDUMBRES FRACCIONALES

La incertidumbre δx en una medición indica la confiablilidad o precisión de un dato. Sin embargo la incertidumbre δx por si sola no indica la calidad de la medición. La razón $\frac{\partial x}{x_{mejor}}$, conocida como incertidumbre fraccional es la que determina la calidad de la medición (note que la incertidumbre fraccional es adimensional). En términos de la incertidumbre fraccional es usual escribir la medición x como:

$$\mathbf{x = x_{mejor}(1 \pm \frac{\partial x}{|x_{mejor}|})}$$

Para evitar confusiones, a la incertidumbre $\boldsymbol{\partial x}$ se le denomina incertidumbre absoluta. Entre mejor sea nuestra medición, la incertidumbre ∂x será mucho mas pequeña que el valor medido de $\boldsymbol{x_{mejor}}$, resultando la in certidumbre fraccional $\frac{\partial x}{x_{mejor}}$ un numero pequeño, por esto es conveniente multiplicar este valor por 100% y obtener lo que se conoce como la incertidumbre porcentual. Por ejemplo, a la medición de la longitud l que expresada en incertidumbre absoluta es:

$$\mathrm{l} = 50 \pm 1 \text{ cm}$$

Le corresponde una incertidumbre fraccional

$$\frac{\partial \boldsymbol{l}}{\boldsymbol{l}_{mejor}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{50}} = \mathbf{0.02}$$

y una incertidumbre porcentual de 2 %. El resultado entonces puede expresarse como:

$$\boldsymbol{l} = \mathbf{50}\boldsymbol{cm} \ \pm \mathbf{2}\%$$

PROPAGACION DE LA INCERTIDUMBRE:

La mayoría de las cantidades físicas no pueden ser medidas de forma directa, sino que deben ser determinadas indirectamente mediante un cálculo en términos de dos o más variables $x_1, x_{2,} \dots, x_n$ medidas directamente.

Una medición indirecta involucra por tanto dos o más pasos:

- ***Estimar las incertidumbres de las cantidades que son medidas directamente***. En este punto es importante resaltar que las incertidumbres asociadas con la lectura de una escala (una regla, un reloj, un voltímetro, etc.) aun cuando son fácilmente estimadas (si la regla está graduada en milímetros, $\delta \mathrm{l} = 0.5\, mm$) puede resultar no realistas debido a lo que se conoce como un problema de definición.
- Encontrar como estas incertidumbres se propagan a través del cálculo para producir la incertidumbre del resultado final. En lo que sigue supondremos que se han medido de forma directa las cantidades ***x, y,…*** con sus correspondientes incertidumbres $\delta \mathrm{x}, \delta \mathrm{y}$,… y que deseamos utilizar los valores de ***x,y,***… para calcular la cantidad de interés ***q***.

Sumas y diferencias: Sea $q = x + y$, queremos resolver el problema de estimar la incertidumbre en la cantidad *q*. Para esto es necesario calcular cual es el valor probable más alto y más bajo de *q*. el valor probable más alto de $x + y$ será:

$$\boldsymbol{x}_{\boldsymbol{mejor}} + \boldsymbol{y}_{\boldsymbol{mejor}} + (\boldsymbol{\delta x} + \boldsymbol{\delta y})$$

Y el valor probable más bajo será:

$$\boldsymbol{x}_{\boldsymbol{mejor}} + \boldsymbol{y}_{\boldsymbol{mejor}} - (\boldsymbol{\delta x} + \boldsymbol{\delta y})$$

De esta forma la mejor estimación de *q* es:

$$\boldsymbol{q}_{\boldsymbol{mejor}} = \boldsymbol{x}_{\boldsymbol{mejor}} + \boldsymbol{y}_{\boldsymbol{mejor}}$$

Con una incertidumbre de:

$$\boldsymbol{\delta q} = \boldsymbol{\delta x} + \boldsymbol{\delta y}$$

Se puede mostrar que la incertidumbre en la diferencia $\boldsymbol{x} - \boldsymbol{y}$ está dada también por la suma de las incertidumbres.

Productos y cocientes: sea $\boldsymbol{q} = \frac{\boldsymbol{x}}{\boldsymbol{y}}$ nos interesa determinar la incertidumbre en la cantidad q. escribamos el valor de q en la forma

$$q = \frac{x_{mejor}}{y_{mejor}} \frac{1 \pm \frac{\delta x}{|x|}}{1 \pm \frac{\delta y}{|y|}}$$

Nuevamente debemos encontrar los valores probables extremos del cociente de la derecha. Este cociente toma el valor máximo cuando el numerador toma el valor más alto y el denominador toma el valor más pequeño.

$$q_{máx} = \frac{x_{mejor}}{y_{mejor}} \frac{1+\frac{\delta x}{|x|}}{1-\frac{\delta y}{|y|}} = \frac{x_{mejor}}{y_{mejor}} \frac{1+a}{1-b}$$

El último factor $\frac{1+a}{1-b}$ puede ser simplificado mediante la relación

$$\frac{1}{1-b} \approx 1+b$$

que se deduce de la serie geométrica para valores de $b < 1$. Por esto

$$\frac{1+a}{1-b} \approx (1+a)(1+b) = 1+a+b+ab \approx 1+a+b$$

Utilizando el hecho de que el producto de dos números a,b< 1 cumple ab$\ll 1$. Obtenemos finalmente para $q_{máx}$ la relación:

$$q_{máx} = \frac{x_{mejor}}{y_{mejor}} \left(1 + \frac{\partial x}{|x|} + \frac{\delta y}{|y|}\right)$$

Un razonamiento similar muestra que el valor probable más pequeño de q esta dado por:

$$q_{máx} = \frac{x_{mejor}}{y_{mejor}} \left(1 - \frac{\partial x}{|x|} - \frac{\delta y}{|y|}\right)$$

De donde se concluye que la mejor estimación de $\boldsymbol{q} = \frac{\boldsymbol{x}}{\boldsymbol{y}}$ esta dado por $q_{mejor} = \frac{x_{mejor}}{y_{mejor}}$ con una incertidumbre fraccional

$$\frac{\partial q}{q} = \frac{\partial x}{|x|} + \frac{\delta y}{|y|}$$

Se puede repetir el razonamiento cuando la variable $\boldsymbol{q} = \boldsymbol{xy}$ y encontrar que en este caso la incertidumbre fraccional de $\boldsymbol{q}$ corresponde también a la suma de la s incertidumbres fraccionales de $\boldsymbol{x}$ y $\boldsymbol{y}$.

Según la estadística, el estudiante encontrará que para el caso en que las variables sean independientes y las incertidumbres correspondientes sean aleatorias, los valores calculados para la incertidumbre por suma directa sobrestiman el valor de la incertidumbre, por lo que se prefiere usar la suma en cuadraturas.

Supongamos que $x, y, \ldots., z$ son medidas con incertidumbres $\partial x, \partial y, \ldots, \partial z$ y sabemos que las incertidumbres en $x, y, \ldots., z$ son independientes y aleatorias, entonces:

- Si estos valores son usados para calcular $q = x + y + \cdots + w$, ó $q = x - y - \cdots - w$ entonces la incertidumbre en q será

$$\partial q = \sqrt{(\partial x)^2 + (\partial y)^2 + \cdots + (\partial w)^2}$$

- Si estos valores son usados para calcular $q = x.y \ldots w$, ó $q = \frac{x}{y}$ entonces la incertidumbre fraccional de q será

$$\frac{\partial q}{|q|} = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{y}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial w}{w}\right)^2}$$

Función arbitraria de una variable: Ahora nos interesa conocer más como se propaga la incertidumbre en una operación más complicada como el cálculo de un seno, coseno o una raíz cuadrada.

Supongamos que medimos la cantidad x como $x_{mejor} + \partial x$ en una forma directa y queremos calcular una función conocida $q(x)$. En este caso una representación grafica de $q(x)$ y el concepto de derivada son suficientes para mostrar que

$$q(x+\partial x) - q(x) = \partial q = \left|\frac{\partial q}{\partial x}\right| \partial x$$

De esta forma para calcular la incertidumbre ∂q debemos calcular la derivada de $q(x)$ en el punto x_{mejor} y multiplicar por ∂x. En caso en que la derivada sea negativa es necesario tomar el valor absoluto para no cambiar la notación $\pm\, por\ \mp$.

MEDICION DE g CON UN PENDULO SIMPLE.

Desarrollemos el análisis para la determinación del valor de ***g*** con un péndulo simple. Tomando la ecuación de movimiento de un péndulo simple en la forma:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l} sen\,\theta = 0$$

Resulta una ecuación diferencial de segundo orden no lineal, la cual no es fácil de resolver y cuyo movimiento no es armónico simple. Desarrollando también la función seno en una serie de potencias, se encuentra:

$$sen\,\theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \ldots$$

Conservando solo el termino de orden inferior, la ecuación de movimiento se convierte en

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l}\,\theta = 0$$

La cual corresponde a un movimiento armónico simple con frecuencia angular w dada por:

$$w^2 = \frac{g}{l}$$

Como

$$T = \frac{2\pi}{w}$$

Se obtiene

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

Teniendo los valores de l y T, la determinación de las incertidumbres de estas mediciones ∂T y ∂l y suponiendo que las incertidumbres en l y T^2 son independientes y aleatorias, la incertidumbre fraccional en el valor de *g* es la suma por cuadraturas de las incertidumbres fraccionales en cada uno de los factores (el factor $4\pi^2$ no tiene incertidumbre).

La incertidumbre fraccional en T^2, utilizando las formulas de propagación del error, resulta

$$\frac{\partial(T^2)}{T^2} = 2\frac{\partial T}{T}$$

De esta forma la incertidumbre fraccional en el valor de *g* será:

$$\frac{\partial g}{g} = \sqrt{\left(\frac{\partial l}{l}\right)^2 + \left(2\frac{\partial T}{T}\right)^2}$$

Procedimiento

1. Escriba el siguiente conjunto de mediciones en la forma $x_{mejor} \pm \partial x$:

Mejor estimación de la medición	***Rango de confianza***	$\boldsymbol{x_{mejor} \pm \partial x}$
210 mm	200mm - 220mm	
30V	29.5V - 30.5V	
0.3 A	0.2A - 0.4A	
0.52 mV	0.49mV – 0.55mV	

2. Reescriba las siguientes medidas en su forma más clara, con el número correcto de cifras significativas:

Altura medida	$(5.03 \pm .04329)$m	
Tiempo medido	(19.5432 ± 4)s	
Carga medida	$(-3.21 \times 10^{-19} \pm 2.67\, x\, 10^{-20})$ C	
Longitud de onda medida	$(0.000000563 \pm 0.00000007)$m	
Momentum medido	$(3.627 \quad 10^{3} \pm 42)$ gr.cm/s	

3. Un estudiante mide diez veces la densidad de cierto objeto y obtiene como resultado (todas las mediciones en gr/cm^3), 1.8, 2.0, 2.0, 1.9,1.8,1.7,1.9,2.0,1.9,2.1
   a. ¿Cual podría usted sugerir que es el mejor estimado y la incertidumbre de esta medición basado en los datos anteriores?
   b. Si se le dice al estudiante que el valor aceptado de la densidad de ese objeto es 1.85 gr/cm^3. ¿Cual es la discrepancia?
   c. ¿Cree usted que esa discrepancia es significativa?
4. Determine la cantidad de pulsaciones cardíacas en 15 segundos haciendo uso de un cronometro.
   a. Realice esta medición una vez y estime la mejor medición y su incertidumbre.
   b. Ahora haga esta medición diez veces y estime el mejor valor y su incertidumbre. ¿Qué conclusión puede usted sacar a cerca de esta experiencia?
5. Un estudiante hace las siguientes mediciones:

$$a = 5 \pm 1\, cm$$
$$b = 18 \pm 2\, cm$$
$$c = 12 \pm 1\, cm$$
$$t = 3.0 \pm 0.5\, s$$
$$m = 18 \pm 1 gr$$

   Calcule las siguientes cantidades con sus incertidumbres (fraccional y porcentual):
   a. $a + b + c$
   b. $a + b - c$
   c. $\frac{mb}{t}$
   d. $b/2$

6. ***Sabiendo que*** con un reloj es posible medir tiempos en el rango de un segundo hasta varios minutos con una incertidumbre de 0,1 s. **Por ejemplo**, supongamos que queremos encontrar el periodo T de un péndulo con $T \approx 0.5\ s$. Si medimos una oscilación, tendremos una incertidumbre del 20%, pero tomando el tiempo de varias oscilaciones podemos mejorar la incertidumbre.

   Realice el montaje de un péndulo simple y tome los siguientes datos:
   a. Mida el tiempo de cinco oscilaciones. Calcule el mejor valor del periodo T y su incertidumbre. (Tenga en cuenta que el periodo es el tiempo que se demora el péndulo en realizar una sola oscilación).
   b. Mida el tiempo de 20 oscilaciones. Calcule el mejor valor del periodo T y su incertidumbre.
   c. De las dos mediciones anteriores, ¿Cuál cree que es la que resulta más exacta? Sustente su respuesta.

7. Las mediciones de $T \; y \; l$ para el péndulo simple en un experimento. Resultaron

$$l = 92.9 \; \pm 0.1 \; cm$$
$$T = 1.936 \; \pm 0.004 \; s.$$

   a. Calcule el mejor valor que se puede estimar de ***g*** y la incertidumbre ∂g.

.