



Laboratorio N° 1: Concepto de Medida e Incertezas Asociadas

Objetivos

Vamos a hacer algunas medidas (un poco aburridas), pero que nos permitirán:

1. Aprender a usar ciertos conocidos instrumentos para medir longitudes:
 - a) Una cinta métrica.
 - b) Un calibre.
2. Una primera caracterización de algunos sensores del teléfono celular:
 - a) Acelerómetro.

Además, tendremos una primera visita (un poco ingenua), de incertezas o errores asociados a una medida, y vamos a hacer una mínima clasificación de los mismos.

1. Idea ingenua de *incertezas o indeterminaciones* en una medida.
 - a) ¿Cuánto resuelve una escala?
 - b) Medidas ruidosas (histogramas)
2. Cierta idea de *error sistemático*:
 - a) Con una medida hecha *deliberadamente mal*
 - b) La posibilidad de extraerlo de los datos...hasta cierto punto.

Requisitos

Teoría: Por ahora ninguno, veremos algunas generalidades.

Software:

1. Deberemos instalar o utilizar alguna aplicación para analizar datos. Puede ser la que más nos guste, aunque recomendamos el software *libre* por sobre el *cerrado o privativo*. No va a haber clases de software, en caso de saber utilizar algún software en particular, seguir utilizándolo. Una lista incompleta y al azar para analizar datos, podría ser:
 - a) Excel (Windows) o [LibreOffice Calc](#) (Windows, Linux, Mac OS). Son planillas de cálculo, simples, potentes y engorrosas, aunque las preferidas si no se quiere saber nada con la computadora (aunque es un poco difícil seguir física sin querer usar la computadora).
 - b) Origin (Windows) o [LabPlot](#) (Windows, Linux, MacOS). Son planillas de cálculo, orientadas a un público científico, con mejores opciones gráficas y más herramientas de datos.
 - c) Puede usar un lenguaje de programación (preferentemente que tenga librerías orientadas a análisis de datos): [R](#), [Python](#) o [Julia](#). Recomendamos usarlos en el entorno [Jupyter Notebook](#), que permite mezclar texto, código y gráficos en el mismo lugar. Este tipo de software lo recomendamos para estudiantes que ya sepan algo o tengan mucha voluntad de aprender a hacer código.
2. Deberemos instalar [Arduino Ide](#) para cargarle programas a una Arduino.

Hardware: Provisto todo por la cátedra, salvo el teléfono celular. Si tiene computadora, traerla siempre a los laboratorios.



Introducción

La idea de que hacer una medida conlleva cierto error es habitualmente desconocida por los estudiantes de primer año de la Lic. en Física. Sin embargo, ocupará buena parte de este curso, nos molestará y nos impedirá las conclusiones fáciles que los científicos logran sólo en la ciencia ficción.

La actividad de medir es un *corpus* de conocimiento lo suficientemente extenso (y en desarrollo). Aquí abordaremos las problemáticas básicas, a saber:

- El Concepto de Medida.
- Errores sistemáticos.
- Incertezas en una medida.
- Precisión y Exactitud.

con el tiempo, con los laboratorios, y con las cuentas, intentaremos dar cuenta de las problemáticas planteadas anteriormente, que revisaremos durante todo el curso.

1. Actividad: Comparación de errores instrumentales

La idea de esta actividad es comparar medidas de longitud. Se dispondrá de un cilindro a ser medido, de una regla y de un calibre. Tiempo de mesa: 15 minutos.

Material necesario: Un cilindro. Una regla con escala en *mm*. Un calibre.

Considerando errores instrumentales estime:

- 1) con la regla la altura del cilindro.
- 2) con el calibre la altura del cilindro.
- 3) con la regla el diámetro del cilindro.
- 4) con el calibre el diámetro del cilindro.

escriba las medidas con las incertezas o errores absolutos que se encuentran en cada instrumento.

Responder por escrito para entregar

a. Realice una tabla informando los resultados de las medidas, las columnas deberán ser:

h	δh	d	δd	Método de medida
-	-	-	-	Regla
-	-	-	-	Calibre

b. Defina *precisión* (cite la fuente). Calcule los errores relativos para los puntos (1), (2), (3) y (4) de esta actividad. En base a esto, decida cuál de las cuatro medidas es más precisa.

c. Defina *exactitud* (cite la fuente). Las medidas de altura obtenidas mediante los diferentes métodos ¿son iguales dentro de las incertezas experimentales? ¿las medidas de los diámetros? Explique posibles *discrepancias* entre los resultados obtenidos.



d. Estimar el radio del cilindro, ¿consiste en una medida *directa* o *indirecta*? No es menor explicitar que la utilización de fórmulas *implica* la asunción de un *modelo*: por ejemplo, para obtener el radio del cilindro es *necesario* afirmar que el cilindro es...un cilindro¹.

e. ¿podría agregar el resultado de medir las longitudes anteriores con un instrumento cuya escala mínima sea de 0.5 cm?

2. Actividad: Estimando el volumen del cilindro y su densidad.

Material necesario: Probeta Graduada. Balanza.

- 1) Calcule el volumen del cilindro estimado con los métodos anteriores (regla y calibre), agregando una columna a la tabla anterior, llamada V .
- 2) Estime el volumen del cilindro mediante una probeta graduada, utilizando la diferencia entre dos medidas.
- 4) Mida la masa m del cilindro utilizando una balanza.
- 5) Calcule densidades volumétricas del cilindro, empleando la masa m del mismo y las tres estimaciones de volumen V_{regla} , $V_{calibre}$ y $V_{probeta}$. Agréguelas a la tabla como ρ .

Responder por escrito para entregar

a. Realice un gráfico (en papel), en cuyo eje vertical se graficarán los valores de densidad ρ , y en su eje horizontal el método para la obtención del volumen (regla, calibre, probeta). Evalúe posibles *discrepancias* en los valores de densidad ρ obtenidos. Calcule las discrepancias $\rho_{probeta} - \rho_{calibre}$, $\rho_{probeta} - \rho_{regla}$ y $\rho_{calibre} - \rho_{regla}$. Explique las posibles causas de las discrepancias obtenidas anteriormente.

b. Si tuviera que elegir un sólo método para la estimación de la densidad ρ en base a la exactitud, cuál elegiría? ¿por qué? ¿Y si evaluáramos precisión?

c. Compare las densidades obtenidas con la densidad de diferentes metales ó aleaciones, en base a eso indique el material del cilindro más probable.

Las discrepancias entre valores son usuales. Es muy raro el caso en el que dos medidas de la misma magnitud entregan lo mismo, incluso utilizando el mismo método...sin embargo aquí falta aclarar que la medida de ρ debería tener unas barras de incerteza que no tiene, que podrían servir para evaluar cuán diferentes son las medidas entre sí.

¹En el sentido matemático del término



3. Actividad: Errores Sistemáticos (*deliberados*)

Material necesario: Cinta Métrica, [Página web](#), 4 rectángulos de papel.

Los errores sistemáticos hacen a la *exactitud* de las medidas, es decir, ocurren cuando los *patrones* de medida que utilizamos poseen valores errados, equivocados: la etimología de la palabra *error* remite a *vagar* y a *equivocarse*, que son ideas distintas. Los errores sistemáticos están cercanos a la segunda acepción.

- Corte cuatro rectángulos pequeños de papel de largos arbitrarios (recomendamos longitudes aproximadas de 2.5 cm , 5 cm , 7.5 cm y 10 cm , aunque valores cualesquiera funcionan). El ancho puede ser de 1 cm o lo que prefiera.
- En la página web que indicada arriba, fije el tamaño de la diagonal de pantalla de su computadora en $10''$ (obvio que esa medida no existe en los formatos estándares de pantalla).
- Mida los lados de los rectángulos recortados utilizando una cinta métrica o regla milimetrada, anote los resultados en una tabla, llamando l_{regla} a la columna correspondiente a estas mediciones. Haga una segunda columna δl_{regla} , indicando la incerteza en la medida.
- Haga lo mismo con la regla en pantalla, haciendo otra columna llamada $\delta l_{\text{pantalla}}$. Agregue una cuarta columna indicando la incerteza $\delta l_{\text{pantalla}}$. Las unidades de estas columnas serán *u.a.*, abreviatura de *unidades arbitrarias*.

Responder por escrito para entregar

- Informe las medidas en una tabla. Realice un gráfico (en papel o usando la compu) utilizando los valores de la tabla (grafique con puntos), poniendo en el eje horizontal los valores de las longitudes obtenidos con la cinta métrica l_{cinta} y en el eje vertical l_{pantalla} . Si las unidades arbitrarias fueran iguales a los milímetros, ¿qué tipo de gráfica deberíamos ver? ¿son iguales? Grafique una línea recta que cumpla con $u.a. = \text{mm}$, para tener de referencia.
- Elabore una ecuación que, teniendo las medidas de l_{cinta} , entregue las medidas de l_{pantalla} . Explícite el significado y las unidades de *toda* constante que aparezca en la ecuación.
- Realice otra ecuación que, dadas medidas de l_{pantalla} , entregue las medidas de l_{cinta} . Explícite el significado y las unidades de *toda* constante que aparezca en la ecuación.
- Las ecuaciones anteriores, ¿son funciones inversas la una de la otra? Explique.
- Supongamos que ud. utiliza la regla de la pantalla para medir una serie de longitudes, utilizando la diagonal de pantalla de $10''$, y sin percatarse de la *calibración*, coloca las unidades en *mm*. ¿Podría subsanarse el error en un momento posterior? ¿Cómo?
- ¿Es posible calcular la diagonal de pantalla que debería colocar en la página web, para que las medidas $l_{\text{cinta}} = l_{\text{pantalla}}$? (esto puede fallar por la relación de aspecto...pero ese ya es otro tema). Intente corroborar el resultado con la pantalla empleada.

Aquí hicimos un error sistemático *deliberado*, es decir, lo provocamos *conscientes* de ello. Es importante saber que las medidas están siempre –en mayor o menor medida– afectadas por errores sistemáticos. Algunas veces son simples, habitualmente no es fácil distinguirlos.



4. Actividad: Acelerómetro

El preconcepto *habitual* (aunque, lector, usted podría ser una excepción), es que medir la misma magnitud física entrega siempre el mismo resultado. Sin embargo, al medir la *misma* magnitud física un número n de veces (en *idénticas* condiciones), obtenemos *distribuciones* de valores.

Las razones de esto pueden estar tanto en el **mesurando** (*lo medido*) o en el *aparato de medida*, y no las vamos a tratar por ahora. La noción siempre ingenua, es que no hay errores sistemáticos y no hay *ruido* en las medidas, pero eso no ocurre salvo para la operación de contar (y con ciertos límites).

Vamos a medir la aceleración de la gravedad utilizando el acelerómetro del teléfono. El acelerómetro es un sensor del teléfono, responsable de *girar* la pantalla cuando el teléfono se gira (salvo que se desactive esa opción, lo que puede llevar a un parteaguas en las relaciones humanas: Rotación Automática, ¿sí o no?). Lo que usaremos aquí es que, si el teléfono está en reposo, entonces el acelerómetro *descompone* la aceleración de la gravedad en tres ejes perpendiculares.

Con el fin de medir, vamos a instalar la aplicación para teléfonos celulares [PhyPhox](#) (*Physics Phone Experiments*). Luego, entre todos los experimentos disponibles, seleccione '**Aceleración con g**'.

No la vamos a medir una vez, sino que vamos a *repetir* la medida al menos $n = 10\,000$ veces. Las medidas se hacen rápido (unos 10 ó 15 milisegundos entre medida, dependiendo del teléfono, lo que da quince segundos para mil medidas y tres minutos para diez mil).

- Con el teléfono en *reposo absoluto* (mesa, suelo, etc.), relíce las medidas de g . Utilice un retardo para evitar medir vibraciones producto de activar con el dedo el dispositivo.
- Exporte en formato CSV –abreviatura de *Comma Separated Values*– con *Comma*, *decimal point*, que quiere decir con punto decimal y coma como separador. El archivo comprimido tiene información sobre los sensores y estado del teléfono (en la carpeta **meta**) y los datos de las mediciones **Raw Data.csv**. El archivo lo titulamos **g_SuNombre.csv** (por ej. **g_Juan.csv**) y lo subimos a la carpeta de GoogleDrive [Labo1](#).
- Mire los datos con el Bloc de Notas (Notepad) o Gedit (cualquier editor de texto ASCII), identifique el formato del archivo. Vamos a trabajar con la aceleración absoluta $g_{\text{acel}}[m\,s^{-2}]$, no con las componentes. Abra el archivo separado por columnas en el software de su preferencia.
- Entre las columnas que hay, nos interesa solo **Absolute acceleration (m/s²)**, que indica la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las aceleraciones descompuestas por eje.

Responder por escrito para entregar

Sobre el acelerómetro

Buscando en la archivo `/meta/device.csv` las filas que comienzan con `acelerometro` ('`acelerometro`'), informe: i) el modelo del acelerómetro y el fabricante, ii) su rango en unidades de g , iii) su resolución o mínima escala.

Sobre las medidas

- ¿Los valores son todos iguales? De haber diferencias, ¿las atribuimos a variaciones en $|g|$ ó a inestabilidad del acelerómetro? Informe el mayor valor y el menor valor de la colección de medidas.
- Consulte $|g|$ en la página de la [Red Argentina de Gravedad Absoluta](#). Tome el valor medido en La Florida, g_{RAGA} . A este valor lo consideraremos una referencia en la medida, es decir, lo consideraremos el *valor verdadero*.



c. Calculemos el valor absoluto de la diferencia $|g_{acel} - g_{RAGA}|$ ¿elegimos el valor de g_{acel} que esté más cercano y descartamos el resto? ¿a qué se debe que exista uno más cercano? ¿justo ese midió mejor o las medidas entregan valores *al azar*?

d. Una de las maneras de tratar con este tipo de datos, es hacer un *promedio*. Escriba la definición de promedio, calcule e informe. En términos más formales, al promedio le decimos *media muestral*, y en el caso en que sea una *media muestral* de una colección de valores g_i , escribiremos la *media muestral* con una barra arriba, \bar{g} .

e. Dibuje un histograma de las medidas. ¿Por qué la media muestral sería representativa? ¿qué forma presenta el histograma?

f. Calcule la desviación estándar de la muestra, s . Defínala, calculela e informe el valor. ¿Por qué s (la desviación estándar de la muestra) sería una medida de dispersión de la medida?

Con los datos de todo el curso

g. Informe la medida como la media muestral *más menos* una desviación estándar de la muestra $\bar{g} \pm s_g$. Subiendo los datos a la carpeta de Google Drive de los laboratorios (`g_SuNombre.csv`, por ejemplo `g_Juan.csv`), compare mediante una gráfica que en el eje vertical tenga los datos de g y en el eje horizontal tenga los nombres de cada estudiante. Dibuje una línea horizontal que indique el valor de g_{RAGA} .

h. Compare las medidas de todo el curso en cuanto a exactitud y precisión. ¿cuál acelerómetro es el más preciso? ¿cuál acelerómetro es el más exacto? Justifique.

i. Haga la media de todos los datos del curso, y la desviación estándar de todos los datos. Compare con sus valores y con el valor de la RAGA.

Sacando las medidas de trazo grueso siempre tendremos que lidiar con la idea de azar en los resultados: puede venir de los equipos, puede venir de los mensurandos, en fin, puede venir dado por la interacción equipo/mensurando. Es importante pensar que todas las medidas se expresan como $x \pm \delta_x$ (caso que querramos indicar intervalos) ó $x \pm \sigma_x$ (caso que querramos indicar desviaciones estándar respecto de una media muestral). Hay mucha tela para cortar, pero seguiremos luego.