

Departamento de Física

Guía de Trabajos Prácticos

3^{er} año

2024

Criterios generales para la realización de los Trabajos Prácticos de Física

Consideraciones iniciales

Uno de los propósitos de la enseñanza de la Física en el Colegio Nacional de Buenos Aires es el de brindar a los alumnos elementos para la planificación y desarrollo de métodos experimentales que den respuesta a un problema planteado de este campo, así como también desarrollar un conjunto de habilidades motoras y cognitivas entre las que se destacan la realización de observaciones, manipulación de instrumentos, mediciones, tratamiento de datos, obtención y comunicación de resultados y conclusiones en el marco de las teorías y la información preexistentes.

Las actividades de laboratorio persiguen como objetivo generar en los alumnos actitudes y formas de razonamiento afines a la investigación científica así como también favorecer la comprensión de elementos conceptuales y metodológicos propios de las ciencias.

Los Trabajos Prácticos obligatorios consisten en una serie de actividades que los alumnos deben realizar durante el año lectivo, en las cuales se enfatizan los contenidos procedimentales, y se articulan con otras actividades que realizan en el desarrollo de las clases.

Las actividades relacionadas con la experimentación, el proceso de construcción de conocimientos y la comunicación de los resultados y conclusiones prevén y suponen un trabajo grupal por parte de los alumnos, ya que esto favorece la solidaridad, la cooperación y diversas modalidades de trabajo colectivo.

En base a los fines pedagógicos en la enseñanza de la Física antes expuestos, todos los Trabajos Prácticos obligatorios de Física se organizan en cuatro fases:

- a) **Fase de identificación del problema y diseño experimental del Trabajo Práctico:** el eje central de esta fase es la delimitación del campo de investigación correspondiente al Trabajo Práctico. Esto se lleva a cabo a través de la formulación de un conjunto de preguntas, discusiones y explicaciones, coordinadas por el docente del curso en la clase, que orientan el planteo de hipótesis, la selección de variables involucradas, de los instrumentos y técnicas de medición y el diseño de los montajes necesarios. Todos estos elementos se encuentran señalados en la guía del Trabajo Práctico que los alumnos deben conocer al realizar la fase experimental.
- b) **Fase experimental del Trabajo Práctico:** es la fase en que los alumnos llevan a cabo, en pequeños grupos, el diseño analizado y discutido en la fase anterior. Para ello deben realizar el montaje del dispositivo experimental requerido, poner en práctica las técnicas y procedimientos necesarios, analizar los conceptos involucrados, llevar a cabo las observaciones, las mediciones necesarias y el registro de los datos.
- c) **Fase de procesamiento de datos y elaboración del informe del Trabajo Práctico:** las actividades centrales de esta fase son el análisis de datos, su interpretación y discusión de los resultados obtenidos por parte del grupo. De este modo se tiende a evitar la formulación de generalizaciones acríticas y se estimula el análisis comparativo de las conclusiones parciales que se obtienen y su relación con modelos o teorías explicativas más amplias. Por otro lado se promueve la elección y análisis de distintos recursos para facilitar los procesos de recolección de la información, confrontación de ideas y de comunicación de resultados. La presentación escrita que deben realizar los alumnos al término del Trabajo Práctico responde a las pautas establecidas para la redacción de los informes científicos. Para enriquecer esta etapa del Trabajo Práctico, los alumnos disponen cinco días hábiles durante los cuales podrán realizar las consultas necesarias a los auxiliares docentes y el profesor a cargo del curso.
- d) **Fase de evaluación individual del Trabajo Práctico:** esta fase tiene como propósito generar una valoración completa del aprendizaje de los alumnos y calificar su rendimiento de manera individual.

Pautas para la realización de los informes de los Trabajos Prácticos:

El propósito del informe es comunicar al resto de la comunidad (docentes, compañeros) el trabajo realizado. La redacción debe ayudar a que esa comunicación sea lo más efectiva posible.

Un buen informe debe ser:

- claro y conciso: oraciones cortas, evitando descripciones vagas o ambiguas.
- breve: tanto como sea posible.
- completo: debe proporcionar al lector toda la información necesaria para que comprenda el trabajo.

El uso del vocabulario específico debe ser cuidadoso y preciso.

Estructura:

La estructura interna del informe es una adaptación de la usualmente empleada en publicaciones técnicas y científicas. Proponemos dividir el informe en una serie de secciones que pasamos a enumerar indicando que se trata en cada una de ellas.

✓ **Título.**

✓ **Autores y curso.**

✓ **Introducción:** en esta sección se establece el tema a tratar y se enuncia el propósito u objetivo del trabajo práctico.

✓ **Procedimiento Experimental:** consiste en una descripción del diseño experimental adoptado y los pasos seguidos para tomar las mediciones. Para mayor claridad se incluyen esquemas mostrando las características más importantes del arreglo experimental y la disposición relativa de los elementos. Es importante mencionar qué instrumentos de medición se usaron y dar sus características (alcance, precisión, etc.).

Se deben analizar las fuentes de error propias del experimento y explicar los criterios adoptados para estimar las incertezas de cada magnitud que haya sido medida.

✓ **Resultados y Análisis:** en esta sección -una de las más importantes del informe- como lo indica su título se presentan los resultados obtenidos y se los analiza.

Para presentar los resultados de forma compacta y ordenada generalmente se los organiza en tablas.

El análisis puede comenzar por la observación de los datos volcados en la tabla en busca de tendencias o regularidades -por ejemplo una regularidad posible sería que siempre que una variable aumenta su valor la otra disminuya; también podría darse el caso que nuestros datos no presenten regularidades aparentes, o que al variar una magnitud la otra permanezca constante.

Una representación gráfica de los resultados puede permitirnos visualizar dichas regularidades (o su ausencia) y establecer dependencias entre variables. El análisis de los gráficos suele incluir entonces en primera instancia una descripción de lo que el gráfico nos permite decir respecto de los datos -“los puntos se encuentran razonablemente alineados”; o bien, “los datos presentan una gran dispersión, no observándose una tendencia definida”, etc.

Un segundo paso en el análisis de los gráficos sería, en aquellos casos en que los datos lo permiten, la aproximación de las mediciones por alguna función matemática propuesta y el cálculo de parámetros propios de esa función matemática (por ejemplo, si los puntos estuvieran razonablemente alineados puede proponerse una aproximación lineal mediante rectas de máxima y mínima pendiente, obteniéndose así el valor de la pendiente promedio y su incerteza).

En esta sección, merece una mención especial el trabajo con las incertezas, en especial la propagación de las de incertezas en aquellos casos en que haya sido necesario propagar.

- ✓ **Conclusiones:** en esta sección se derivan conclusiones partiendo de los datos experimentales y de su análisis. Al redactarla se deben explicitar los razonamientos que llevan desde el análisis realizado en la sección anterior a las conclusiones.

Es importante no perder de vista que el experimento siempre tiene un objetivo, busca responder alguna pregunta. En las conclusiones se retoma esta pregunta original, que fue plantada en la Introducción, y se analiza hasta dónde el experimento realizado nos permite contestarla.

Puede suceder que luego de analizar los datos concluyamos que éstos no permiten responder a dicha pregunta. En estos casos, en la sección Conclusiones se analizan las causas por las cuales el experimento no resultó útil y se intenta proponer alternativas (por ejemplo, una modificación en el diseño experimental, o la medición de alguna variable que no habíamos considerado relevante en primera instancia).

La Guía de cada Trabajo Práctico está pensada para servir a los alumnos de ayuda durante la realización del trabajo experimental: no es un informe del Trabajo Práctico. **La Guía sólo contiene una explicación del diseño experimental, los pasos a seguir para tomar las mediciones, así como también una serie de sugerencias acerca de cómo procesar y analizar los datos obtenidos.** El informe del trabajo práctico para su elaboración debe basarse en la estructura interna que se describió anteriormente.

Presentación:

- ✓ Los informes se presentan en hoja oficio, carta o A4, manteniendo uniformidad en la escritura (a máquina o manuscrita) y prolijos.
- ✓ Cada informe tendrá una carátula, que se adquiere en Mayordomía.
- ✓ Con el fin de favorecer los procesos de reflexión de los alumnos acerca de las fortalezas y debilidades en los Trabajos Prácticos, así como el grado de avance en la comunicación escrita, a través de los diferentes momentos, cada informe de Trabajo Práctico se presentará en una carpeta que contendrá el informe actual y los anteriores. Esta colección de los Trabajos Prácticos constituye un portafolio donde se exhiben los esfuerzos, progresos, y logros del grupo a lo largo del ciclo lectivo.
- ✓ Respecto de los Gráficos, Tablas y Figuras:

Frecuentemente utilizaremos Tablas y Gráficos para presentar los resultados de un proceso de medición. Tanto Tablas como Gráficos deben estar numerados (Tabla I, Tabla II, etc., Gráfico I, Gráfico II, etc.) y llevar un Pie de Tabla y un Pie de Gráfico cada uno de ellos. El propósito del Pie de Tabla y del Pie de Gráfico es que tanto tablas como gráficos sean autoexplicativos e independientes del resto del texto, es decir que deben contener la información necesaria para que el lector del informe entienda de qué se trata sin necesidad de recurrir al texto.

Al confeccionar una Tabla no deben omitirse ni las incertezas ni las unidades de las cantidades involucradas en ella. Si con los datos de una Tabla se realiza un gráfico debe especificarse, en el pie de Gráfico, a qué tabla corresponde.

Los gráficos deben ser realizados con suma prolijidad, usando regla y lápiz. Se usarán hojas milimetradas tamaño oficio; sólo se hará un gráfico por hoja. Se deben elegir escalas adecuadas que deben figurar en la esquina superior derecha del gráfico. Por escala adecuada entendemos aquella que permita aprovechar la hoja milimetrada al máximo, tanto vertical como horizontalmente. Un procedimiento posible para elegir tal escala es pedir que el máximo valor a representar equivalga a, por ejemplo, el 80% de la longitud del eje. En los casos en que la incerteza sea tan pequeña que resulte menor que el valor asignado a la mínima división de la hoja milimetrada, éste no es graficable en esa escala y será el único caso en que se acepten gráficos donde una o ambas magnitudes no presenten error. En el Pie de Gráfico debe entonces constar el motivo por el cual no se observan en el gráfico las incertezas. Los ejes deben estar divididos en intervalos iguales que en la mayoría de los casos no coincidirán con los valores medidos experimentalmente. De esta manera, la persona que observa el gráfico puede extrapolar la ubicación de los datos medidos, con más facilidad. El punto a representar se marca en el gráfico sin especificar su valor numérico ni en el eje de abscisa ni en el de ordenada, a menos que justo coincida con uno de los valores ya preestablecidos por la escala elegida. Recordar que cada eje representa una cantidad, por lo tanto, debe indicarse cuál es y su respectiva unidad.

Al igual que Tablas y Gráficos, las figuras deben numerarse (Fig. I, Fig. II, etc.) y llevar su correspondiente Pie de Figura. Esto es útil para hacer referencia a ellas en el texto de manera unívoca.

Evaluación:

El informe será entregado dentro de los cinco días hábiles a partir del día en que fue realizada la fase experimental. Durante esos días los alumnos podrán hacer las consultas que consideren necesarias al docente del curso o a cualquier docente auxiliar, sea o no el ayudante a cargo del curso.

El informe podrá ser devuelto al grupo para efectuar las correcciones que se juzguen convenientes. El informe con las correcciones incorporadas deberá ser devuelto dentro de los tres días hábiles posteriores con mismas exigencias de presentación y prolijidad que para el original. En todos los casos se deben rehacer las hojas que presenten correcciones, salvo expresa indicación del ayudante, y se debe anexar el original junto al informe corregido.

Los informes que se encuentren duplicados o copiados del mismo u otro curso o de años anteriores (total o parcialmente) serán calificados con NO APROBADO.

En el **ANEXO I** encontrarán un resumen referido al proceso de medición en física y elementos para poder determinar las incertezas asociadas a los distintos tipos de mediciones.

En el **ANEXO II** se incluye un programa de la asignatura.

ANEXO I - Algunos elementos sobre tratamiento de incertezas experimentales, cifras significativas, tablas, gráficos y esquemas.

Medir implica comparar una cantidad de una magnitud con otra cantidad de la misma magnitud fijada arbitrariamente como unidad.

Por ejemplo, medir una distancia significa establecer el número de veces que la cantidad considerada unidad de longitud (metro, centímetro, pulgada, etc.) está contenida en dicha distancia. Surge así un número adimensionado que recibe el nombre de medida de dicha cantidad.

El valor de la cantidad es un número dimensionado o concreto que se obtiene indicando a continuación de la medida (número adimensionado o abstracto) la unidad utilizada.

$$\text{valor de la cantidad} = \text{medida} \times \text{unidad}$$

No existen métodos ni instrumentos que permitan medir sin incerteza alguna una cantidad de una magnitud física.

Podemos medir, por ejemplo, la carga del electrón con una incerteza tanto menor cuanto mejor sea el método y el instrumental que empleamos para hacerlo, pero en ningún caso podremos medir la “verdadera” carga del electrón sin incerteza. Más aún, si una misma cantidad es medida repetidas veces, utilizando el mismo instrumental y el mismo método, a pesar del cuidado que se ponga al hacerlo, es posible que se obtenga una serie de números que difieren levemente entre sí.

Como consecuencia de esto podemos decir que el “valor verdadero” de una cantidad no tiene sentido físico.

Queremos destacar que dar simplemente un número como medida de una cantidad, sin precisar la incerteza de que está afectado, no tiene sentido.

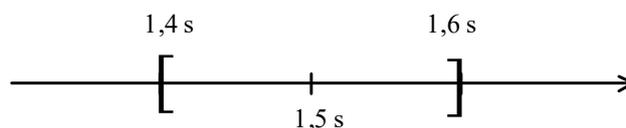
Por lo tanto, **el resultado de una medición consta de tres partes: la medida de la cantidad, la unidad en que esa medida está expresada y la incerteza absoluta que la afecta.**

En un proceso de medición a lo sumo podemos aspirar a determinar el valor representativo de la cantidad e indicar los límites posibles de la incerteza de la misma. La incerteza define un intervalo alrededor del valor representativo dentro del cual, de acuerdo al método y al instrumental utilizado, se encuentra el valor de la cantidad.

Supongamos, para ejemplificar, que medimos el período de un péndulo simple y obtenemos el siguiente resultado:

$$T_1 = (1,5 \pm 0,1) s$$

Gráficamente podemos representar este resultado de la siguiente manera:

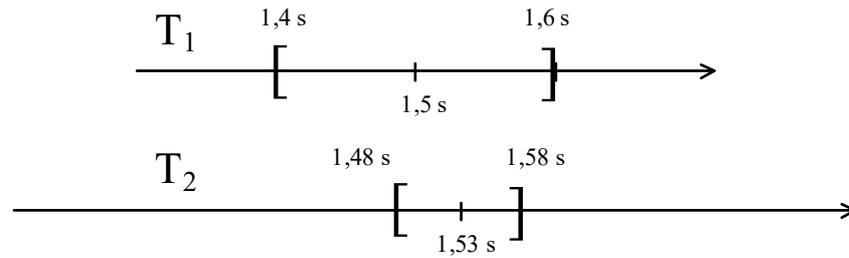


El valor de la cantidad se encuentra comprendido entre 1,4 s y 1,6 s, lo que implica que cualquier número real incluido en este intervalo representa igualmente bien al período del péndulo.

Si ahora se dispone de otras dos mediciones del período del mismo péndulo:

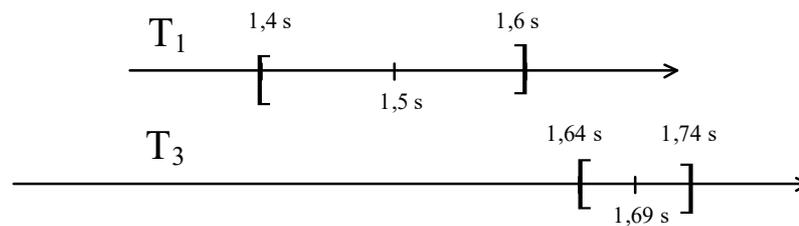
$$T_2 = (1,53 \pm 0,05) s \quad ; \quad T_3 = (1,69 \pm 0,05) s$$

y las graficamos junto con T1 utilizando la misma escala,



Como los intervalos de indeterminación tienen puntos comunes consideraremos que T1 y T2 representan mediciones de la misma cantidad.

En el caso de T3,



como los intervalos de indeterminación no tienen puntos comunes no se puede asegurar si T3 corresponde o no a la medición del mismo período. **Tomaremos como criterio que dos medidas son iguales si los intervalos de indeterminación tienen más de un punto en común.**

Las incertezas pueden clasificarse de acuerdo a su origen en:

a) Incertezas que tienen su origen en el instrumento de medición.

Entre ellas, la más común es la llamada apreciación del instrumento, que corresponde a la mínima variación en la medida que el observador puede distinguir con ese instrumento. Otro ejemplo es la incerteza asociada a la calibración del instrumento.

b) Incertezas que tienen origen en la interacción entre el observador y el método de medición. Como un ejemplo podríamos citar el tiempo de reacción.

c) Incertezas que tienen origen en el objeto a medir, por ejemplo en el hecho de que los objetos no están definidos con infinita precisión.

Otra clasificación distingue entre:

I) Incertezas sistemáticas: afectan las medidas en valores prácticamente iguales y del mismo signo y pueden y deben ser eliminadas. Se originan en:

- una deficiente calibración del instrumento de medición
- la utilización de un instrumento con error de cero
- el empleo de un instrumento apto pero inconveniente para la medición que se realiza
- la utilización de una teoría defectuosa

II) Incertezas accidentales: afectan a las medidas en más o en menos con igual probabilidad, son responsables de las dispersiones que se comprueban al medir varias veces una misma cantidad, con el mismo instrumento y en las mismas condiciones. Están presentes en todas las mediciones y no es posibles eliminarlas. Pueden originarse en:

- a) apreciación del observador al realizar la lectura del instrumento de medición
- b) pequeñas variaciones de las condiciones ambientales que afectan a la cantidad que se mide o al instrumento de medición
- c) factores desconocidos o conocidos de imposible control

La teoría de la medida utiliza **medidas afectadas solamente por incertezas accidentales** y determina el tratamiento matemático para lograr el valor representativo, su límite posible de incerteza y la precisión de la medida.

Para ello se procede a repetir un número razonable de veces la medida de la cantidad con el mismo instrumento y en las mismas condiciones experimentales. De esta manera las incertezas accidentales aparecerán distribuidas al azar pudiéndolas tratar estadísticamente.

a) Valor representativo de una cantidad

Medida la cantidad como indicamos anteriormente y reteniendo sólo las medidas que merezcan la **misma fe** consideraremos como valor representativo de la cantidad medida (x_p) la media aritmética de los valores obtenidos.

Si los valores obtenidos son x_1, x_2, x_3, x_4 , etc. el valor representativo será

$$x_p = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n}{n}$$

Simbólicamente

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

b) **Incertezas residuales o desviaciones**

Se llama así a la diferencia entre el valor representativo y cada uno de los valores obtenidos.

$$\varepsilon_i = x_p - x_i$$

c) **Incerteza absoluta del valor representativo**

Fijaremos como criterio considerar la incerteza residual de mayor valor absoluto, que designaremos ε y lo afectaremos de doble signo. El resultado se expresará

$$x = x_p \pm \varepsilon.$$

La incerteza absoluta establece la "aproximación" del resultado y se expresa en las mismas unidades que el valor representativo.

d) **Incerteza relativa**

Es el cociente entre la incerteza absoluta y el valor representativo

$$e_p = \frac{\varepsilon_p}{x_p}$$

La incerteza relativa indica la "precisión" de la medida.

Por tratarse de un cociente entre valores expresados en las mismas unidades la incerteza relativa resulta adimensional.

En muchos casos es más cómodo expresar la incerteza relativa en forma porcentual para lo cual simplemente se multiplica la incerteza relativa por 100 y de esa manera sabemos el porcentaje de esta incerteza con respecto al valor de la medición.

Ejemplo: Supongamos que queremos determinar la masa de un cuerpo utilizando una balanza cuya apreciación es de 1g. Realizamos 10 mediciones sucesivas de la misma cantidad obteniendo los siguientes resultados:

Masa (g)	Valor representativo (g)	Incertezas residuales o desviaciones (g)	Incerteza absoluta de la masa (g)
123	120,8	- 2,2	2,2
120		0,8	
120		0,8	
122		1,2	
123		- 2,2	
119		1,8	
121		- 0,2	
119		1,8	
121		- 0,2	
120		0,8	

En la primera columna tenemos los valores correspondientes a las 10 mediciones. En la segunda columna indicamos el promedio de dichos valores que constituye el valor representativo de la cantidad. En la tercer columna figuran las desviaciones o incertezas residuales que se obtienen restando al valor representativo, el valor de cada medición. En la cuarta columna figura la incerteza absoluta que se obtiene considerando la máxima desviación en valor absoluto y asignándole doble signo.

Se obtiene así la cota superior e inferior de la incerteza que constituye el intervalo de indeterminación. La masa del cuerpo se expresará

$$m = (120,8 \pm 2,2)g$$

Hasta ahora hemos indicado como asignar la incerteza absoluta a una medición.

La incerteza absoluta está expresada en las mismas unidades que hemos elegido para el valor de la cantidad medida y nos proporciona la aproximación alcanzada en la medición, característica del instrumental y el método experimental utilizado.

En nuestro ejemplo la incerteza relativa o precisión de la medida será

$$e_r = \frac{2,2 \text{ g}}{120,8 \text{ g}} \quad \Rightarrow \quad e_r = 0,018$$

$$e\% = 1,8 \%$$

Medición directa: se denomina así a la operación de lectura de un instrumento aplicado a medir determinada cantidad de una magnitud por ejemplo cuando se determina una distancia utilizando una cinta métrica, la masa de un cuerpo con una balanza, la intensidad de una corriente con un amperímetro, etc.

Para determinar el valor representativo y su incerteza deberá proceder como se indicó anteriormente.

Si se realiza una sola medición de una magnitud física, la incerteza involucrada se conoce como **incerteza instrumental**. El criterio a seguir para determinarla será considerar como base de la incerteza de la medición directa la mínima división del instrumento utilizado y las condiciones bajo las cuales se realizó la medición.

Por ejemplo disponemos de una cinta métrica graduada en milímetros para medir una longitud. Supongamos que la longitud se encuentra entre 83mm y 84mm. Si la longitud está acotada entre dos líneas finas el resultado de la medición sería

$$l = (83 \pm 1) \text{ mm}$$

Este criterio se basa en el hecho que, a lo sumo el instrumento me permite distinguir un milímetro, es decir no “ve” menos de su mínima división.

Si por ejemplo los límites del objeto a medir no estuvieran bien determinados habría que analizar si se consideran 2 ó 3 mm como incerteza de la medición.

Puede ocurrir en algún caso que al repetir varias veces la medición directa de una magnitud, se obtenga siempre el mismo resultado. Por ejemplo, si se mide la longitud de un hilo y se obtienen los siguientes resultados: $l_1 = (28,0 \pm 0,1) \text{ cm}$ y $l_2 = (27,9 \pm 0,1) \text{ cm}$, estos deben considerarse como iguales. En estos casos se asignará a la medida la incerteza instrumental, pudiendo tomarse como valor representativo cualquiera de los obtenidos.

Medición indirecta: no siempre es posible realizar la medición directa de la cantidad deseada. En muchos casos se miden otras cantidades en forma directa y luego mediante una expresión matemática adecuada se calcula la cantidad deseada. Una medición indirecta involucra siempre al menos una medición directa en el proceso de su obtención.

Por ejemplo la medición indirecta del volumen de una esfera a partir de la medición directa de su diámetro o la superficie de un triángulo a partir de la medición directa de la base y de la altura.

El problema es determinar en cuánto afecta a la medición indirecta las incertezas implícitas en las medidas directas efectuadas.

El procedimiento que se sigue para responder a esta inquietud, es conocido como propagación de incertezas.

Es posible demostrar que:

a) La incerteza absoluta de una suma o de una resta se obtiene sumando las incertezas absolutas de las medidas utilizadas.

$$\text{Ej: si } X = a + b \Rightarrow \varepsilon X = \varepsilon a + \varepsilon b$$

$$\text{si } Y = a - b \Rightarrow \varepsilon Y = \varepsilon a + \varepsilon b$$

b) La incerteza relativa de un producto o de un cociente se obtiene sumando las incertezas relativas de las medidas utilizadas.

$$\text{Ej: si } X = a * b \Rightarrow eX = ea + eb$$

$$\text{si } Y = \frac{a}{b} \Rightarrow eY = ea + eb$$

c) Potencia y radicación:

La incerteza relativa de una potencia se obtiene multiplicando la incerteza relativa de la base por el exponente de la potencia.

$$\text{Ej: si } X = a^n \Rightarrow eX = n ea$$

La incerteza relativa de una raíz se obtiene dividiendo la incerteza relativa de la cantidad subradical por el índice de la raíz.

$$\text{Ej: si } Y = \sqrt[n]{a} \Rightarrow eY = \frac{1}{n} ea$$

Cifras significativas:

Como dijimos antes, el resultado de una medición consta de: la medida de la cantidad, la unidad en que está expresada y su incerteza absoluta. En este curso de física experimental adoptaremos la convención de utilizar como máximo dos cifras significativas en la incerteza. Esto significa que, una vez obtenida la incerteza de una cantidad, sólo consideraremos la primer cifra distinta de cero en el mismo y la cifra siguiente a ésta, redondeando y despreciando las demás. El valor medido se expresa entonces con la misma cantidad de cifras decimales que hayan conservado en la incerteza.

Para ejemplificar, supongamos que medimos indirectamente el volumen de un cilindro, obteniendo las siguientes incertezas para las diferentes cantidades medidas:

CANTIDAD	VALOR REPRESENTATIVO	INCERTEZA ABSOLUTA	RESULTADO
Diámetro de la base	5,4 cm (med. directa)	0,11 cm	$d = (5,40 \pm 0,11)cm$
Altura	10,1 cm (med. directa)	0,12 cm	$h = (10,10 \pm 0,12)cm$
Superficie de la base	22,90221 cm ² (med. indirecta)	0,933 cm ² (propagación)	$S = (22,90 \pm 0,93)cm^2$
Volumen	231,29 cm ³ (med. indirecta)	12,170 cm ³ (propagación)	$V = (231 \pm 12)cm^3$

El procedimiento de redondeo que habitualmente se utiliza consiste en considerar a las cifras menores que 5 como un cero y despreciarlas, mientras que cifras mayores o iguales que 5 son consideradas como 10, es decir, le suman uno a la cifra anterior. Ejemplo: 0,05134 se expresa 0,051; 0,155 se expresa 0,16; 0,001092 se expresa 0,0011; 0,998 se expresa 1,0.

Observación: cuando deba utilizar el número π , considerar el valor que le suministra la calculadora cuya incerteza, por contener una cantidad considerable de cifras decimales, puede despreciarse.

TRABAJO PRÁCTICO N° 1: Mediciones Experimentales

El objetivo de este primer Trabajo Práctico es medir la longitud de una pista y el tiempo que emplea una bolita en recorrerla, analizando cómo inciden en el proceso de medición: el instrumento empleado, las condiciones de medición (cómo empleamos el instrumento al medir) y el método de medición (los pasos seguidos para realizar la medición).

Emplearemos una bolita y una pista como las que se observan en la Figura I.



Figura I: esquema del dispositivo experimental

Entonces lo primero que necesitamos preguntarnos es: ¿qué es medir?

Medir es comparar una cantidad de la magnitud que se desea medir con otra cantidad de la misma magnitud fijada arbitrariamente como patrón de referencia o unidad de medida.

Por lo tanto, en función de medir la longitud de la pista, *elijan primeramente un objeto cuya longitud se convertirá en el patrón de referencia que emplearán (puede ser un lápiz, un cuaderno, la mano de un integrante, o lo que consideren más adecuado conforme al propósito)*. Discutan: *¿sobre la base de qué criterio eligen el objeto? ¿Pueden subdividir el objeto elegido para medir con más precisión?*

Ahora midan la pista: *¿cuántas veces está contenida la unidad patrón en la longitud que desean medir?*

.....veces

A este número adimensionado es necesario agregarle la unidad correspondiente para que la información esté completa, como por ejemplo: $L = 12,5$ lápices.

Obtengan la medida de la longitud de la pista L en su caso particular, según el patrón de referencia elegido:

$$\underbrace{L}_{\text{medida}} = \underbrace{\dots\dots\dots}_{\text{valor}} \underbrace{\dots\dots\dots}_{\text{unidad}}$$

Sin embargo, el valor de una medición es necesariamente un intervalo (no un valor exacto), ya que es una magnitud que representa a un ente real, en tanto que un valor exacto es un ente abstracto (un punto, que no tiene dimensión).

Podemos medir la longitud de la pista con una incerteza tanto menor cuanto mejor sea el método y el instrumental que empleemos para hacerlo, pero en ningún caso podremos medir la “verdadera” longitud sin ninguna incerteza.

La incerteza experimental de una medición es una medida del rango dentro del cual podemos asegurar que están contenidos los valores reales de la magnitud medida. Como consecuencia de esto podemos decir que el concepto de un “valor único” o un “valor verdadero” de la medición no tiene sentido físico.

El resultado de una medición es siempre un rango de valores, también llamado **intervalo de indeterminación**.

El **valor representativo de la medición** es el promedio de los valores de este intervalo.

Por lo tanto, el resultado de una medición consta de tres partes: la medida de la cantidad dada por su valor representativo, la incerteza y la unidad en que ambas están expresadas, como por ejemplo: $L = (12,5 \pm 0,5)$ lápices.

Tengan en cuenta que no existe un método fijo o infalible para determinar una incerteza experimental, sino que debe estimarse de acuerdo al **criterio** y **arbitrio** del experimentador. Sin embargo, esto no implica que se haga de cualquier manera, sino que es necesario **cuantificar cada fuente de incerteza** considerada. En este contexto, el término “error humano” no aplica, ya que **la noción de incerteza NO está asociada a una equivocación ni a un procedimiento mal realizado**.

Para su caso particular, analicen: *¿qué fuentes de incerteza encuentran en la medición que realizaron?*

Fuente de incerteza	Cuantificación	Justificación
<i>Menor división del instrumento</i>	<i>Es lo mínimo que podemos medir</i>
.....
.....

Consideren el aporte de cada fuente de incerteza para obtener la incerteza de la medición.

Luego, completen:

$$L_P = (\quad \pm \quad) \dots\dots\dots$$

A continuación, midan la longitud de la pista empleando una regla de madera. A esta longitud medida con regla la denominaremos L_R . Completen:

Fuente de incerteza	Cuantificación	Justificación
<i>Menor división del instrumento</i>
.....
.....

$$L_R = (\quad \pm \quad) \dots\dots\dots$$

Luego, midan la longitud de la pista con una cinta de costura L_{CC} , y completen:

Fuente de incerteza	Cuantificación	Justificación
<i>Menor división del instrumento</i>
.....
.....

$$L_{CC} = (\quad \pm \quad) \dots\dots\dots$$

Luego, midan la longitud de la pista con una cinta métrica L_{CM} , y completen:

Fuente de incerteza	Cuantificación	Justificación
Menor división del instrumento
.....
.....

$L_{CM} = (\quad \pm \quad) \dots\dots\dots$

Realicen un gráfico, al que denominaremos *Gráfico I*, de los intervalos de indeterminación de cada medición, con un origen y una escala comunes que les permitan compararlos adecuadamente, siempre que sea posible. *¿Pueden comparar los cuatro intervalos obtenidos, o alguna medición resulta imposible de comparar sin realizar nuevas mediciones? ¿Por qué?*

Diremos que las mediciones son coincidentes si sus intervalos de indeterminación tienen al menos un punto en común. Observando el Gráfico I: *¿coinciden o no los valores experimentales obtenidos de la longitud de la pista?*

Con el propósito de analizar qué factores inciden en el proceso de medición, primero analizaremos los instrumentos empleados.

Comparen los cuatro instrumentos, determinando en cada caso **la menor división** y el **alcance** del instrumento, y completen la *Tabla I*.

El **instrumento más preciso** es el que tiene la menor división. A su vez, diremos que un **instrumento** es el **idóneo** si es el más adecuado para realizar una medición **conforme a propósito**.

Observemos que el instrumento idóneo no siempre conduce a la medición más precisa, debido a que no todas las situaciones requieren de máxima precisión (por ejemplo, si el propósito es calcular la cantidad de pintura para pintar la pared de una habitación, no es necesario medir la longitud de las paredes al milímetro).

¿Cuál es el instrumento más preciso de los que usaron? ¿Y cuál es el instrumento idóneo? ¿Cualquier instrumento que sea el más preciso es el idóneo? ¿Por qué?

Luego, analizaremos cómo inciden en la medición las **condiciones de medición**, o sea las condiciones en las que utilizamos nuestro instrumento. En particular, diremos que medimos en **condiciones óptimas** si podemos considerar que la única fuente de incerteza presente es la menor división del instrumento.

Por otro lado, la **medición más precisa** es la que tiene **menor incerteza relativa**. Notemos que referirse a una medición como “exacta” es inadecuado, ya que una medición por definición es un rango y no un valor exacto.

La **incerteza relativa** se obtiene como **el cociente entre la incerteza de una medición y su valor representativo**, por lo que es siempre un número adimensional que permite hacer comparaciones entre distintos resultados obtenidos.

Calculen la incerteza relativa de cada medición realizada y determinen cuál es la medición más precisa:

$$eL_P = \frac{\varepsilon L_P}{L_P} = \dots\dots\dots$$

$$eL_R = \frac{\varepsilon L_R}{L_R} = \dots\dots\dots$$

$$eL_{CC} = \frac{\varepsilon L_{CC}}{L_{CC}} = \dots\dots\dots$$

$$e_{L_{CM}} = \frac{\varepsilon_{L_{CM}}}{L_{CM}} = \dots\dots\dots$$

¿Qué factores inciden para obtener la medición más precisa posible? ¿Inciden las características del instrumento, su menor división y su alcance? ¿Inciden también las condiciones de medición?

A continuación, mediremos el tiempo que demora la bolita en recorrer la pista, empleando un cronómetro. Discutan las fuentes de incerteza y completen:

Fuente de incerteza	Cuantificación	Justificación
Menor división del instrumento
Tiempo de reacción humano	0.2 s.	Es una estimación de lo que demora en reaccionar un ser humano en promedio
.....

$t = (\quad \pm \quad) \dots\dots\dots$

¿Cómo podrían mejorar la medición del tiempo de recorrido? ¿Repetir la medición es un buen método en este caso? ¿Y en el caso de la medición de la longitud de la pista? ¿Por qué?

Completen la Tabla II, repitiendo la medición en exactamente las mismas condiciones. ¿Qué valor les parece el más adecuado para elegir como representativo de la medición, de todos los que midieron?

Para estimar la incerteza, emplearemos un método estadístico, denominado **método de máxima desviación**. Tomaremos como valor representativo de la medición al promedio de las mediciones realizadas, y estimaremos la incerteza como la distancia entre el promedio y el valor de la serie de mediciones que más se aleja del promedio. ¿Qué cuenta matemática nos permite obtener la distancia entre dos valores, para así averiguar cuál es el valor más alejado?

$$t' = (\quad \pm \quad) \dots\dots\dots$$

Analicen entonces este tercer factor que incide en el proceso de medición: el método empleado. ¿Cuál método les parece más adecuado para obtener el tiempo, el primero o el segundo? ¿Mejora el resultado al repetir la medición? ¿Por qué debe repetirse siempre en las mismas condiciones? ¿Disminuye la incerteza de la medición?

Finalmente, calculen las incertezas relativas para determinar cuál medición es más precisa:

$$e_t = \frac{\varepsilon_t}{t} = \dots\dots\dots$$

$$e_{t'} = \frac{\varepsilon_{t'}}{t'} = \dots\dots\dots$$

Dejen el experimento en las condiciones en las que lo encontraron, velando por la conservación de los materiales e instrumentos, y el orden en las mesadas del Laboratorio.



$L_P = (\quad \pm \quad) \dots\dots\dots$ [Patrón de referencia elegido]
 $L_R = (\quad \pm \quad) \dots\dots\dots$ [Regla de madera]
 $L_{CC} = (\quad \pm \quad) \dots\dots\dots$ [Cinta de costura]
 $L_{CM} = (\quad \pm \quad) \dots\dots\dots$ [Cinta métrica]

<i>Instrumento</i>	<i>Menor división</i>	<i>Alcance</i>
Patrón de referencia:		
Regla de madera		
Cinta de costura		
Cinta métrica		

Tabla I: caracterización de los instrumentos de medición empleados para medir la longitud de la pista

$t = (\quad \pm \quad) \dots\dots\dots$ [Cronómetro, una única medición]

<i>Tiempo (s)</i>	<i>Promedio (s)</i>	<i>Desviación de cada valor (s)</i>	<i>Máxima desviación (s)</i>

Tabla II: repetición de la misma medición del tiempo de recorrido con el propósito de encontrar la máxima desviación respecto del promedio

$t' = (\quad \pm \quad) \dots\dots\dots$ [Cronómetro, aplicando métodos estadísticos]

Fecha: / / 2025

Año y división:

Grupo N°:

Firma del ayudante:.....

TRABAJO PRÁCTICO N° 2: RELACIONES ENTRE VARIABLES

Para los Trabajos Práctico de 3er año es necesario traer hojas milimetradas y calculadora

Cuando los científicos intentan comprender un fenómeno, hallar los factores que lo afectan o formular una ley, diseñan experimentos que les permitan comprobar o refutar las hipótesis que formulan: hacen mediciones, relacionan variables, analizan y extraen conclusiones. El objetivo de este Trabajo Práctico es analizar un método que nos permita encontrar una relación entre dos variables experimentalmente medidas.

En esta propuesta entonces, el objetivo es analizar si existe alguna relación entre el desplazamiento de una bolita que cae dentro de un tubo con glicerina como se observa en la Figura I y el tiempo que emplea en realizar dicho desplazamiento, y en caso afirmativo determinar cuál es esa relación.

Entonces, lo primero que necesitamos preguntarnos es: *¿siempre hay una relación entre dos variables dadas?*

La respuesta es que no. Por ejemplo, **cuando una variable se modifica mientras la otra se mantiene constante**, entonces **no hay ninguna relación** entre ambas variables. Por ejemplo, si midiéramos el tiempo que demora la bolita en recorrer el tubo completo en función del número de alumnos de cada grupo de TP, encontraríamos que el tiempo de caída es siempre el mismo (ver Figura II (a)).

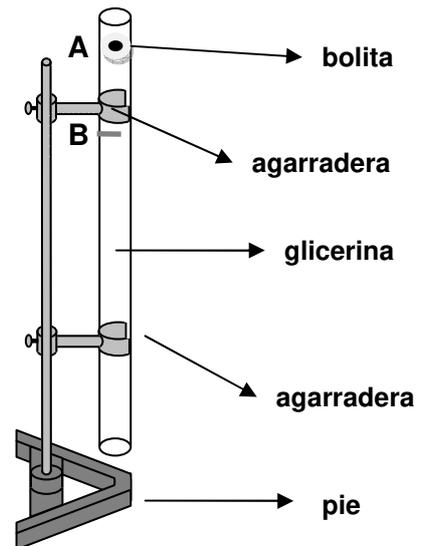


Figura I: Esquema del dispositivo experimental.

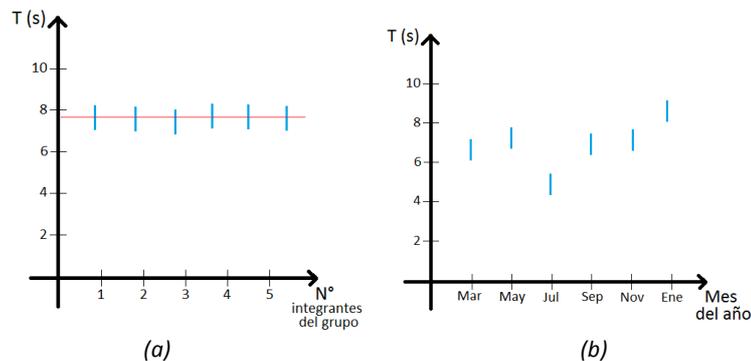


Figura II: ausencia de relación. En (a) una variable es independiente de la otra, en (b) no hay un patrón de relación discernible

También podría ocurrir que las dos variables en estudio varíen pero sin seguir un patrón evidente. Por ejemplo, si medimos el tiempo de caída en diferentes meses del año, es probable que encontremos pequeñas variaciones en el valor de tiempo medido. Sin embargo, estas variaciones pueden deberse a diversos factores (temperatura ambiente, degradación de la glicerina, variación de la gravedad local, etc). Si sólo tomamos en cuenta la variable “mes del año” probablemente encontremos que las variaciones parecen aleatorias o no siguen un patrón definido. En este caso también asumimos que, en principio, **no hay relación** entre las variables (Figura II (b)).

Por último, cuando **ambas variables se modifican siguiendo un patrón**, diremos que ambas **variables están relacionadas**. Observemos que una relación entre variables no necesariamente implica una relación causa-efecto. Por ejemplo, si bien veremos que hay una relación entre el tiempo de recorrido de la bolita y el desplazamiento que realiza, esto no implica que el paso del tiempo sea la causa de que la bolita se desplace, ni que el desplazamiento de la bolita sea la causa de que el tiempo transcurra.

Entonces, analicemos ahora los patrones relacionantes más comunes. Diremos que una **relación** entre dos variables es **creciente** si, **cuando una variable aumenta, la otra también lo hace**, como se observa en la Figura III (a) y (b). Análogamente, una relación es **decreciente** si, **cuando una variable aumenta, la otra disminuye** (Figura III (c) y (d)).

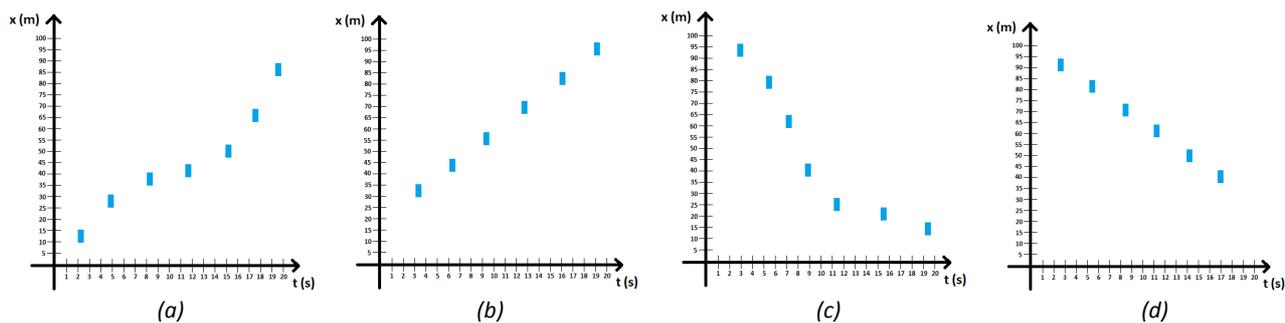


Figura III: (a) y (b) relaciones crecientes, (c) y (d) relaciones decrecientes

Además, una relación entre dos variables es **lineal** si, al realizar un gráfico que las relacione, **es posible trazar una recta (o línea, de ahí su nombre) que pase por todos o la mayoría de los puntos del gráfico** (ver Figura IV). Recíprocamente, si no es posible trazar dicha recta, nos encontramos frente a una **relación no lineal**.

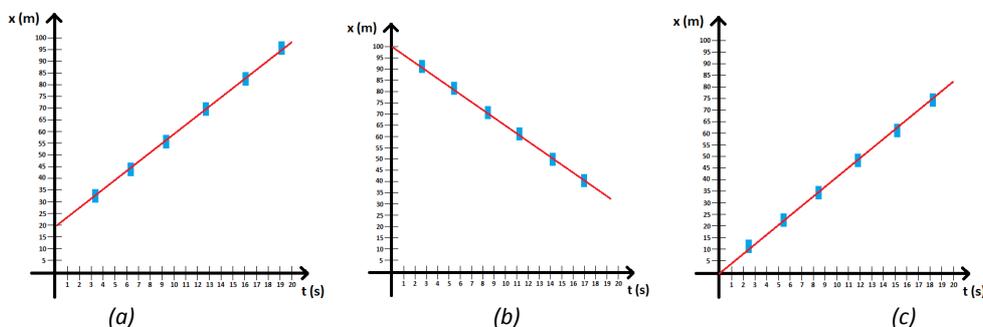


Figura IV: relaciones lineales. Además (a) y (c) son crecientes y (b) es decreciente

Nótese que observando una tabla de valores es posible apreciar si hay una relación creciente o decreciente, en cambio, para determinar si la relación es lineal o no, es imprescindible realizar un gráfico.

Una **relación** entre dos variables es **directamente proporcional** si, al graficarlas, **es posible trazar una recta que pase por todos o la mayoría de los puntos del gráfico, y también por el origen de coordenadas** (ver Figura V). La pendiente de dicha recta se llama **constante de proporcionalidad**. Esta relación implica que se conserva la proporción del cambio de una variable respecto de la otra.

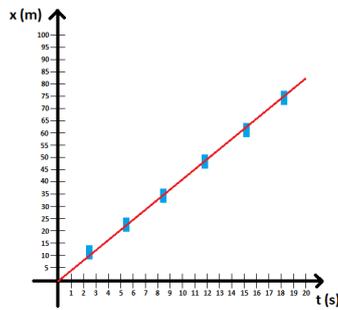


Figura V: relación de proporcionalidad directa

A continuación, comenzaremos nuestro experimento, dejando caer la bolita a través del tubo. Observen: *¿qué instrumentos podemos emplear para medir las dos variables que queremos relacionar: desplazamiento de la bolita y tiempo empleado en dicho desplazamiento?*

Determinen las fuentes de incertezas que puedan identificar para cada una de las dos variables, teniendo en cuenta la menor división de cada instrumento empleado y las condiciones de medición, como lo hicieron en el TP anterior. Estimen las incertezas de ambas variables, justificando los criterios que usaron en cada caso.

Para que el experimento pueda repetirse en todos los casos bajo las mismas condiciones iniciales, la bolita será liberada siempre desde el mismo punto ubicado en el extremo superior del tubo (punto A) sin transmitirle velocidad, y se comenzarán todas las mediciones tanto del desplazamiento como del intervalo de tiempo, desde un punto marcado en el tubo como punto B. Un imán les facilitará la tarea de recuperar la bolita del fondo del tubo una vez que haya caído.

A continuación, elijan las posiciones finales por las que pasa la bolita que quieran medir, y márkennas sobre el tubo. Midan tanto desplazamiento de la bolita como el intervalo de tiempo empleado en realizar ese movimiento y organicen los datos en la Tabla I.

Describan lo que observan en la Tabla I. ¿Hay alguna relación entre las dos variables o no? ¿Se observa alguna relación creciente o decreciente?

Para poder profundizar en la relación que vincula a ambas variables, realicen una representación gráfica de una variable en función de la otra en un gráfico cartesiano (Gráfico I).

Describan lo que observan en el Gráfico I. ¿Qué pueden afirmar acerca de la relación entre Δx y Δt ? ¿Consideran adecuado afirmar que la relación es lineal? ¿Por qué? ¿Consideran adecuado afirmar que la relación es de proporcionalidad directa? ¿Por qué? En caso afirmativo hallen la pendiente a partir del método gráfico, con su correspondiente incerteza:

$$k = (\quad \pm \quad) [\text{unidades}]$$

Extraigan conclusiones acerca de la relación entre las variables estudiadas, retomando el objetivo del Trabajo Práctico.

Nota: durante este TP podrán ser evaluados todos los contenidos relativos al trabajo experimental en el Laboratorio, como fueron vistos en el TP N°1: Mediciones experimentales.



Δx (cm)	$\varepsilon \Delta x$ (cm)	Δt (s)	$\varepsilon \Delta t$ (s)

Tabla I: Resultados obtenidos para el desplazamiento de la bolita (Δx) y el tiempo correspondiente a ese desplazamiento (Δt).

Fecha: / / 2024

Año y división:

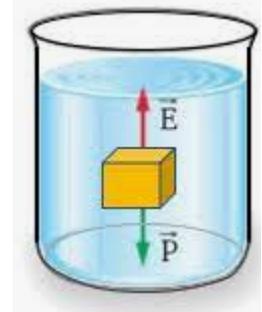
Grupo N°:

Firma del ayudante:

TRABAJO PRÁCTICO N°3: HIDROSTÁTICA

En este Trabajo Práctico comprobaremos experimentalmente la Ley de Arquímedes, y la emplearemos para analizar la relación que existe entre el empuje que actúa sobre un cuerpo al sumergirlo y el volumen de dicho cuerpo.

Según el Principio de Arquímedes, todo cuerpo sumergido en un fluido (o sea, líquido o gas) experimenta un empuje (E) hacia arriba igual al peso del líquido que desaloja.



Para verificarlo, mediremos el peso del cuerpo sin sumergir (P), el empuje (E) que experimentan los cuerpos al sumergirlos y el peso del líquido desalojado.

Los cuerpos que sumergiremos son cilindros de diferentes tamaños, y el fluido en el que los sumergiremos es agua. Los instrumentos que vamos a emplear son los que se observan en la Figura I.



Debido a que no es sencillo medir el Empuje de manera directa, lo haremos de forma indirecta, a través de los siguientes pasos:

Figura I: elementos del dispositivo experimental

- Medición del Peso (\vec{P}) del cuerpo:** Suspendan un cilindro del dinamómetro como se observa en la Figura II (a).

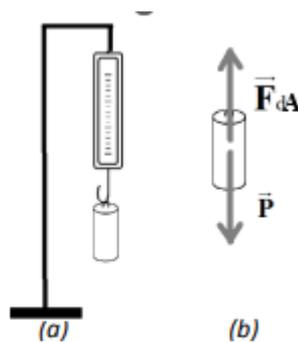


Figura II: (a) cilindro suspendido del dinamómetro y (b) diagrama de cuerpo libre correspondiente

En condiciones de reposo el cuerpo estará en equilibrio, por lo cual:

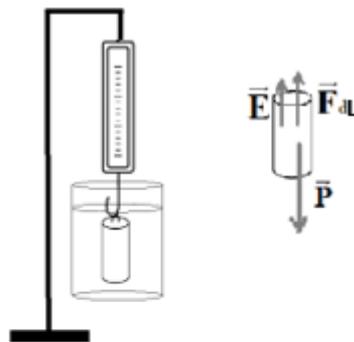
$$\sum \vec{F} = 0$$

Si llamamos F_{dA} al módulo de la fuerza ejercida por el dinamómetro cuando el cuerpo está en el aire y P al módulo de la fuerza peso (ver Figura II (b)), obtenemos:

$$F_{dA} = P$$

Midan el peso de cada uno de los cilindros y vuelquen los resultados en la Tabla I. *¿Qué fuentes de incerteza encuentran para la medición del peso?*

2. **Medición del Empuje (\vec{E}):** A continuación, sumerjan un cilindro sostenido por el dinamómetro, dentro de un vaso que contenga agua (Figura III (a)), cuidando que quede completamente sumergido y, al mismo tiempo, que no toque el fondo del recipiente (*¿por qué esto es importante?*).



(a) (b)
 Figura III: (a) cilindro sumergido y suspendido del dinamómetro y (b) diagrama de cuerpo libre correspondiente

Observen cómo varía la lectura del dinamómetro (F_{dL}), debido al Empuje \vec{E} que ejerce el agua sobre el cuerpo. Dado que seguimos en condiciones de equilibrio, obtenemos que (ver el diagrama de cuerpo libre de la Figura III (b)):

$$E + F_{dL} - P = 0$$

$$E = P - F_{dL}$$

Por lo tanto, midiendo el peso y la fuerza del dinamómetro para cada cilindro, podremos medir indirectamente el Empuje. Vuelquen los datos en la Tabla I. *¿Qué fuentes de incerteza inciden en la medición con el dinamómetro? ¿Cuál es la menor división de este instrumento?* Dado que el Empuje se mide indirectamente, su incerteza se obtiene a partir de la propagación de las incertezas de las mediciones directas involucradas.

$$\varepsilon E = \varepsilon P + \varepsilon F_{dL}$$

3. **Medición del peso del líquido desalojado (\overline{P}_L):** primero colectaremos el líquido que es desplazado por el cuerpo al sumergirlo y luego simplemente pesaremos el líquido colectado.

Para coleccionar dicho líquido, utilizaremos un *vaso de derrame*: un recipiente con un pico volcador (ver Figura I). El vaso de derrame se llena de líquido justo hasta el nivel del orificio y se coloca otro recipiente debajo del pico, que llamaremos *recipiente colector*. De esta forma podemos obtener la totalidad de líquido desplazado por el cuerpo en el recipiente colector. Es muy importante asegurarnos que llenemos el vaso de derrame justo hasta el borde del pico. Piensen cómo conviene hacerlo. Otra precaución que podemos adoptar es asegurarnos que no quede líquido retenido en el pico vertedor.

Para medir el peso del líquido desalojado por el cuerpo usaremos nuevamente el dinamómetro. Pesamos previamente el recipiente vacío (P_{RV}) y luego volvemos a pesarlo con el líquido derramado en su interior (P_{RL}). Obtenemos el peso del líquido como la diferencia:

$$P_L = P_{RL} - P_{RV}$$

¿Qué incerteza estiman para cada una de estas magnitudes? Tengan en cuenta que se incluyen tanto mediciones directas como indirectas y expliquen los criterios adoptados, detallando las fuentes de incertezas. Vuelquen los datos en la Tabla II.

Ya tenemos las mediciones necesarias para verificar la Ley de Arquímedes. Para poder completar el objetivo de este trabajo práctico, analizando la relación que existe entre el empuje que experimenta un cuerpo al sumergirlo y el volumen de dicho cuerpo, sólo nos resta medir el volumen de los cuerpos.

Dado que el volumen del cuerpo es igual al volumen del líquido desalojado, basta con volcar dentro de la probeta el líquido recolectado y efectuar la lectura en la escala. *¿Cómo determinarán la incerteza de esta medición? ¿Cuál es la menor división de este instrumento?* Con estos datos terminen de completar la Tabla II.

Ya completadas las mediciones, realicen un gráfico comparativo entre el empuje y el peso del líquido desalojado, para cada cuerpo (Gráfico I). No olviden emplear una escala y origen comunes. *¿Se verifica la Ley de Arquímedes según sus datos experimentales?*

Luego realicen el Gráfico II: empuje en función del volumen del cuerpo. *¿Qué relación hay entre las variables?* En caso de haber una relación de proporcionalidad directa, obtengan la constante de proporcionalidad a partir del Gráfico II:

$$k = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \dots\dots\dots$$

Teniendo en cuenta las unidades de k ¿Cómo interpretan físicamente esta constante? Justifiquen.



<i>Cuerpo</i>	$P(\vec{g})$	$\varepsilon P(\vec{g})$	$F_{dl}(\vec{g})$	$\varepsilon F_{dl}(\vec{g})$	$E(\vec{g})$	$\varepsilon E(\vec{g})$

Tabla I: mediciones realizadas para obtener el empuje que experimenta un cuerpo al sumergirlo (P : peso del cuerpo, F_{dl} : fuerza que ejerce el dinamómetro cuando el cuerpo está sumergido en agua, E : empuje).

<i>Cuerpo</i>	$P_{RV}(\vec{g})$	$\varepsilon P_{RV}(\vec{g})$	$P_{RL}(\vec{g})$	$\varepsilon P_{RL}(\vec{g})$	$P_L(\vec{g})$	$\varepsilon P_L(\vec{g})$	V (cm^3)	εV (cm^3)

Tabla II: mediciones realizadas para obtener el peso del líquido desalojado (P_{RV} : peso del recipiente vacío, P_{RL} : peso del recipiente lleno, P_L : peso del líquido desalojado) y el volumen V del líquido desalojado.

Fecha: / / 2024

Año y división:

Grupo N°:

Firma del ayudante: