Departamento de Física

Guía de Trabajos Prácticos

5° 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.

valor de la cantidad = medida x 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.

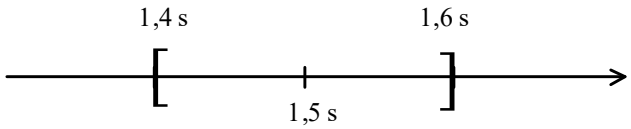
Por lo tanto, **el resultado de una medición consta de tres partes: la medida de la cantidad, la unidad en que esa medida está expresada y la incerteza absoluta que la afecta.**

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:

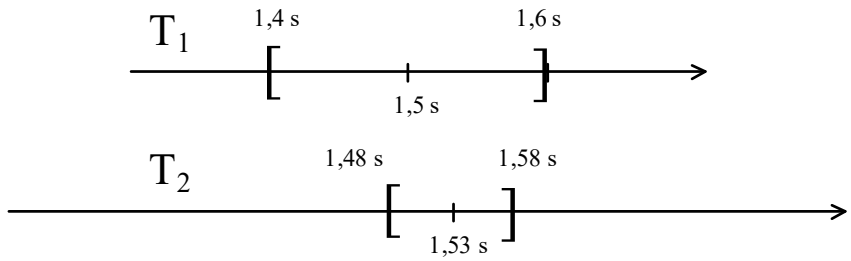


El valor de la cantidad se encuentra comprendido entre 1,4 s y 1,6 s, lo que implica que cualquier número real incluido en este intervalo representa igualmente bien al período del péndulo.

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

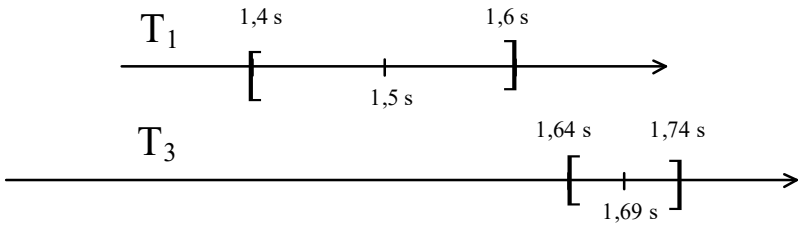
$$T_2 = (1{,}53 \pm 0{,}05)\,s \quad ; \quad T_3 = (1{,}69 \pm 0{,}05)\,s$$

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:

a) una deficiente calibración del instrumento de medición
b) la utilización de un instrumento con error de cero
c) el empleo de un instrumento apto pero inconveniente para la medición que se realiza
d) 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) <u>Valor representativo de una cantidad</u>

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

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

Simbólicamente

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

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 "<u>aproximación</u>" 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 "<u>precisión</u>" 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

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

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

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

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

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

$$l = (83 \pm 1)\ mm$$

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 ± 0,1) cm y l_2 = (27,9 ± 0,1) 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.

Ej: si $X = a + b \quad \Rightarrow \quad \varepsilon X = \varepsilon a + \varepsilon b$

si $Y = a - b \quad \Rightarrow \quad \varepsilon Y = \varepsilon a + \varepsilon b$

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

Ej: si $X = a * b \quad \Rightarrow \quad eX = ea + eb$

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

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.

Ej: si $X = a^n \quad \Rightarrow \quad eX = n\, ea$

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

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

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: Relaciones entre variables: descarga de un capacitor

En este primer Trabajo Práctico nos proponemos modelizar la serie de datos experimentales obtenida al relevar la relación entre la carga de un capacitor y el tiempo que demora en descargarse, y comprobar la idoneidad del modelo elegido.

Un capacitor es un dispositivo formado por dos placas conductoras separadas por un material aislante. Esta geometría le permite almacenar cargas eléctricas positivas en una placa y negativas en la otra. Cuando esto sucede se dice que el capacitor está cargado. Si se provee un camino conductor para que estas cargas circulen compensándose, el capacitor se descarga.

Para conocer la carga acumulada en el capacitor, mediremos una variable que en este caso es directamente proporcional a la misma: el voltaje ΔV .

En el Laboratorio encontrarán armado un circuito como el que se expone en la Figura 1. El mismo consiste esencialmente en una fuente de energía **F**, un capacitor **C** y un pulsador **P**. Para permitir la descarga, existe otra conexión (**R**). Al presionar el pulsador, el capacitor se carga. Al soltarlo, el capacitor se descarga. Analizaremos la evolución de la cantidad de carga del capacitor en forma indirecta, a partir de la medición de voltaje mediante un instrumento llamado voltímetro

. Para medir el tiempo, emplearemos cualquier cronómetro digital, en una computadora o celular.

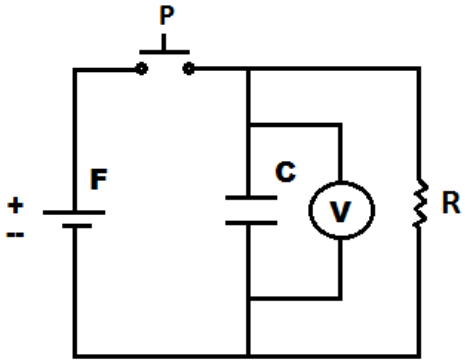


Figura I: circuito empleado para estudiar la descarga de un capacitor

No encienda la fuente sin la debida autorización del docente.

Luego de encender la fuente, presionen el pulsador y registren el valor que marca el voltímetro $\Delta V_0 = (\ldots\ldots\ldots \pm \ldots\ldots\ldots) V$. Luego suelten el pulsador, *¿qué sucede?*

Para completar la Tabla 1, vuelvan a presionar el pulsador, y prepárense para iniciar el cronómetro. Comenzaremos a medir el tiempo en el instante en el que se suelta el pulsador, registrando a partir de ese momento una medición del voltaje cada 10 segundos. *¿Cuál consideran que es la incerteza absoluta de la medición de tiempo? ¿Y de la medición de voltaje? ¿Alguna de las dos mediciones se realiza en condiciones ideales de medición?*

En principio, la medición termina cuando el voltaje medido es nulo. Ahora bien, *¿esto implica que el visor del voltímetro debe indicar 0 V? ¿O es necesario considerar la incerteza de la medición?* Consideraremos que la medición está terminada cuando se obtengan tres valores experimentalmente

iguales a cero. A su vez, consideraremos que el capacitor está descargado cuando el voltímetro indique el primer valor experimentalmente nulo.

Luego de completar la medición, describan lo que observan en la Tabla 1: *¿hay alguna relación entre el crecimiento/decrecimiento de una variable y el crecimiento/decrecimiento de la otra?*

A partir de los datos de la Tabla 1, realicen un gráfico de $\Delta V = f(t)$ (Gráfico 1) en computadora, empleando preferentemente el programa "Graph", que es de descarga y uso libres.

Describan lo que observan en el Gráfico I, *¿hay alguna relación entre las variables* ΔV *y* t *? ¿Hay una relación creciente, o decreciente? ¿Consideran adecuado afirmar que la relación es lineal, o no lineal? ¿Consideran adecuado afirmar que la relación es de proporcionalidad directa?*

En función de interpretar físicamente el gráfico realizado, analicen: *¿cuánto demora el capacitor en descargarse totalmente?*

$$t_{total} = (..... \pm .....)s$$

Ahora determinen: *¿la velocidad de descarga del capacitor es igual para cualquier intervalo de tiempo? Para responder a esta pregunta, analicen cuánto tiempo demora el capacitor en descargar la primera mitad de su carga almacenada, y cuánto demora en descargar la segunda mitad.*

$\Delta t_1 = (..... \pm .....)s$ (tiempo que demora la descarga de la primera mitad de la carga acumulada)
$\Delta t_2 = (..... \pm .....)s$ (tiempo que demora la descarga de la segunda mitad de la carga acumulada)

A continuación, buscaremos una función matemática que describa y eventualmente permita predecir el comportamiento de la descarga de un capacitor, a partir del Gráfico I.

La dificultad consiste en que una curva de datos experimentales es susceptible de ser ajustada por más de una función matemática, siempre y cuando tenga suficientes grados de libertad. Por ejemplo, pueden probar ajustar la curva experimental por una función polinómica. Si aumentan el grado del polinomio, están aumentando los grados de libertad de la función de ajuste. *¿Encuentran algún polinomio que ajuste la función adecuadamente? ¿Describe correctamente el comportamiento de la descarga del capacitor para cualquier intervalo de tiempo? ¿Qué problemas encuentran para elegir este modelo como una buena descripción del fenómeno físico?*

Dado que hay muchas funciones que servirían para realizar el ajuste, determinaremos la más adecuada eligiendo un modelo teórico de referencia. Según el mismo, la descarga de un capacitor obedece a:

$$\Delta V = \Delta V_o \mathrm{e}^{-t/\tau}$$

donde ΔV_o es el voltaje inicial y τ es una constante relacionada con el tiempo de descarga.

Por lo tanto y de acuerdo al modelo, ajustaremos una función exponencial a la gráfica obtenida. En función de determinar la idoneidad del ajuste para la serie de datos experimentales obtenida, analizaremos algunas cuestiones puntuales:

a) ¿Qué valor obtuvieron para el coeficiente de correlación al cuadrado (R^2*)? ¿Qué indica dicho resultado?*

b) A partir de la fórmula de la función de ajuste, obtendremos los valores correspondientes a los parámetros $\Delta V_{o(ajuste)}$ y τ_{ajuste}:

$$\Delta V_{o(ajuste)} = ...V$$

$$\tau_{ajuste} = ...s$$

¿Coinciden el valor de ΔV_o *medido experimentalmente y el valor de* $\Delta V_{o(ajuste)}$ *obtenido a partir del ajuste realizado? No olviden considerar el intervalo de incertezas correspondiente al valor experimental al realizar la comparación.* Si coinciden, es un indicio más de que la función de ajuste está correctamente elegida.

c) En una función exponencial, el cociente $\frac{t_{total}}{\tau_{ajuste}} = 5$ cuando la función disminuye su valor inicial en un 97%. Entonces, para la función ajustada, determinen:

$$\frac{t_{total}}{\tau_{ajuste}} = ...$$

¿El cociente obtenido es similar al factor 5 *esperado?*

Considerando los resultados obtenidos en a, b y c, ¿la función elegida para ajustar los datos experimentales es adecuada o no?

Ahora, *retomando el objetivo de este trabajo práctico, analicen la idoneidad del modelo empleado para ajustar la serie de datos de experimentales. ¿En qué zonas del gráfico el modelo matemático coincide con el comportamiento físico del capacitor? ¿Qué pasa cuando el capacitor se descarga por completo, en la zona en la que el voltaje es experimentalmente nulo? ¿Puede anularse una función exponencial como la propuesta? ¿Es adecuado el modelo cuando el capacitor ya está descargado?*

Finalmente, obtengan conclusiones respecto de la modelización realizada sobre los valores experimentales y la idoneidad del modelo empleado.

Antes de retirarse del laboratorio asegúrense de apagar la fuente y el voltímetro.

$\Delta V_o = (\ldots\ldots\ldots\ldots \pm \ldots\ldots\ldots\ldots)\ V$

$t(s)$	$\varepsilon t(s)$	$\Delta V(V)$	$\varepsilon \Delta V(V)$

(continuación…)			
$t(s)$	$\varepsilon t(s)$	$\Delta V(V)$	$\varepsilon \Delta V(V)$

Tabla I: valores obtenidos de ΔV y t en el estudio de la descarga de un capacitor

Fecha: ..../............/2024

Año y división: ....

Grupo N°: ....

Firma del ayudante: ....

TRABAJO PRÁCTICO N° 2: Circuito Rectificador

En este Trabajo Práctico analizaremos cómo obtener una diferencia de potencial continua a partir de una diferencia de potencial variable en el tiempo, utilizando un circuito rectificador simple.

Dado que el circuito rectificador que emplearemos está compuesto esencialmente por un capacitor y un diodo, comenzaremos analizando brevemente ambos componentes.

Primeramente analizaremos la descarga del capacitor, de manera similar a como lo hicimos en el Trabajo Práctico N°1, con la diferencia de que en vez de medirla con un voltímetro lo haremos mediante un sensor de voltaje y una interfaz que lo conecta con una computadora.

Armen el circuito de la Figura I, donde **F** representa la fuente de diferencia de potencial continua, **C** es el capacitor, **R** la resistencia y **P** un pulsador. *¿Qué elementos del circuito constituyen el circuito de carga del capacitor? ¿Cuáles conforman el circuito de descarga?* El sensor de voltaje mide la diferencia de potencial o voltaje entre los dos puntos indicados en el esquema.

Mediante la interfaz, podremos ver en la pantalla de la computadora un gráfico en tiempo real de la diferencia de potencial en función del tiempo entre los extremos del sensor. Ya sabemos que es posible analizar la carga del capacitor a partir de la medición de la diferencia de potencial.

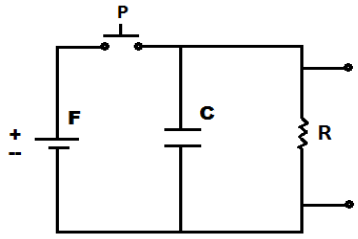


Figura I: circuito compuesto de una fuente de tensión continua,
un capacitor y una resistencia

El docente verificará el armado del circuito y encenderá la fuente de alimentación. Presionen el pulsador para permitir la carga del capacitor y comiencen a tomar los datos mediante el software antes de soltarlo. El capacitor se descargará sobre la resistencia y podremos observar la evolución de la diferencia de potencial entre las placas del capacitor en la pantalla de la computadora. La medición se detendrá automáticamente a los 20 segundos de iniciada la misma. El gráfico que obtendrán es similar al que obtuvieron en el TP anterior, cuya función de ajuste ya conocen.

Con el fin de analizar cómo se modifica la descarga del capacitor cuando variamos su capacidad *C* y la resistencia *R* a la que está asociado, realizaremos dos mediciones más modificando *C* y *R,* de a una por vez. Registren el valor nominal de los elementos empleados. La capacidad de cada capacitor puede leerse directamente sobre los mismos, mientras que la resistencia se indica mediante un código de colores (Figura II). El valor nominal es una magnitud que proporciona el fabricante de un dado elemento, que lo caracteriza. *Analicen: ¿la lectura de un valor nominal es una medición, sea directa o indirecta?* En el TP anterior analizamos el tiempo característico (τ) de la descarga, que en esa oportunidad obtuvimos experimentalmente. El mismo también puede obtenerse como el producto de R y C:

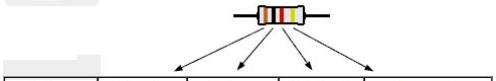
$$\tau = R.C$$

Calculen el valor de τ para las tres combinaciones de R y C utilizadas. Vuelquen los datos en la Tabla I.

Medición N°	*C (μF)*	*R (kΩ)*	*εR (kΩ)*	*τ (s)*
I				
II				
III				

Tabla I: valores de capacidad, resistencia y tiempo característico para cada medición realizada

A partir de las mediciones realizadas, construyan los siguientes tres gráficos comparativos: en el primero (Gráfico I) superpongan dos mediciones en las cuales varíe *R* pero se mantenga constante *C*, en el segundo (Gráfico II) dos mediciones en las que varíe *C* pero se mantenga *R* y, en el Gráfico III, comparen las tres mediciones que hicieron en forma conjunta. *¿Qué ocurre con el tiempo de descarga del capacitor a medida que se usa un mayor valor de C, y por lo tanto hay mayor cantidad de carga acumulada que deberá descargarse? ¿Y al aumentar el valor de R, y por lo tanto disminuir la corriente, es decir la cantidad de carga por unidad de tiempo que puede circular*? *¿Qué es más conveniente para aumentar el tiempo de descarga: aumentar R, C, o es indistinto?*



Colores	1ª Cifra	2ª Cifra	Multiplicador	Tolerancia
Negro		0	1	
Marrón	1	1	x 10	± 1%
Rojo	2	2	x 10^2	± 2%
Naranja	3	3	x 10^3	
Amarillo	4	4	x 10^4	
Verde	5	5	x 10^5	± 0.5%
Azul	6	6	x 10^6	
Violeta	7	7	x 10^7	
Gris	8	8	x 10^8	
Blanco	9	9	x 10^9	
Oro			x 10^{-1}	± 5%
Plata			x 10^{-2}	± 10%
Sin color				± 20%

Figura II: código de colores para obtener el valor nominal de una resistencia

Una vez estudiadas las características de la descarga de un capacitor nos dispondremos a analizar el comportamiento de un diodo.

Para esto armaremos el circuito de la Figura III. La fuente de alimentación en este caso es un generador de ondas que suministrará al circuito una diferencia de potencial variable en el tiempo en forma sinusoidal. Como se puede ver en la *figura III*, en este circuito se utilizan dos sensores de voltaje. Uno de ellos medirá la diferencia de potencial suministrada por la fuente y el otro la diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia.

Figura III: circuito compuesto de una fuente de tensión alterna y una resistencia

Comiencen a tomar los datos. En la pantalla se observan dos trazos, uno correspondiente a la fuente y el otro a la resistencia. Guarden este gráfico (Gráfico IV): *¿Observan alguna diferencia entre ambas curvas?*

Ahora conecten un diodo como lo indica la Figura IV y observen el gráfico que se obtiene (Gráfico V). A partir de las curvas obtenidas, *describan cualitativamente el comportamiento del circuito durante un ciclo analizando ambas curvas. ¿Cómo deducen que funciona un diodo?* Este circuito se denomina rectificador de media onda, *¿por qué*

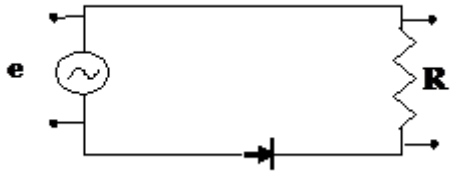


Figura IV: circuito rectificador de media onda

les parece que toma ese nombre? Inviertan la conexión del diodo (Gráfico VI) y *describan lo que observan*.

Construiremos ahora un circuito rectificador simple, agregando un capacitor de 10μF en paralelo con la resistencia, como muestra la Figura V. *Analicen lo que sucede en dos hemiciclos consecutivos* (Gráfico VII). *¿Pueden identificar, en este caso, un circuito de carga y uno de descarga del capacitor? Discutan y analicen qué analogía podemos realizar con lo observado en el experimento de descarga de un capacitor. ¿Qué ocurre con el trazo de la curva de la diferencia de potencial en la resistencia? ¿Consideran que se rectifica, al menos parcialmente? Justifiquen.*

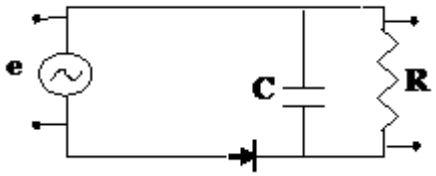


Figura V: circuito rectificador simple

Teniendo en cuenta que el objetivo es lograr obtener una diferencia de potencial continua, y contando con los resultados obtenidos hasta ahora, *¿qué modificaciones introducirían en el circuito? ¿Qué combinación de R y C dará mejores resultados?* Efectúen tres combinaciones más, variando en cada caso R o C (de a una por vez) hasta lograr una diferencia de potencial continua, realizando las mediciones correspondientes (Gráficos VIII, IX y X).

De acuerdo a sus observaciones, *¿cómo se logra un circuito para rectificar una diferencia de potencial variable? ¿Cuál es la función de cada uno de los elementos, diodo, capacitor y resistencia en un circuito rectificador? ¿De qué depende la respuesta del circuito rectificador, es decir, la posibilidad o no de lograr transformar la señal del generador en una señal continua? ¿Por qué?*

TRABAJO PRÁCTICO N° 3: LEY DE FARADAY - LENZ

En este Trabajo Práctico nos proponemos poner a prueba la siguiente hipótesis*: "un imán que cae por el interior de un tubo hueco desciende siempre en caída libre, a lo sumo afectada por el rozamiento con el aire o con las paredes del tubo"*.

Recordemos que, en Cinemática, una caída libre es modelada como un tipo particular de movimiento rectilíneo uniformemente variado. En este modelo, la ecuación horaria de posición es:

$$x(t) = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2 \qquad (1)$$

donde x_0 es la posición inicial, t_o es el tiempo inicial, v_o la velocidad inicial y a la aceleración. En el caso particular de la caída libre, la aceleración es la de la gravedad:

$$g = (9{,}80665 \pm 0{,}00001)\ m/s^2$$

Si la hipótesis propuesta es correcta, el movimiento debería poder ser descripto mediante este modelo, con una aceleración cercana, aunque algo menor (producto de posibles fricciones), a la de la gravedad.

Entonces, dejaremos caer un imán por el interior de dos tubos de diferente material y buscaremos modelizar su caída, a partir de la medición de sus coordenadas de posición y tiempo a medida que desciende.

Dado que los tubos son opacos, debemos idear alguna manera de detectar el movimiento del imán. Para ello, colocaremos bobinas a lo largo de los tubos y nos valdremos de la diferencia de potencial (*ddp*) o fuerza electromotriz (*fem*) que se induce en una bobina al ser atravesada por un imán de acuerdo a la Ley de Faraday-Lenz.

Dispondremos de dos tubos de igual longitud y bobinados idénticos, uno de aluminio, y otro de plástico. En la Figura 1 se muestra un esquema de uno de los tubos. A medida que el imán atraviesa cada bobina, la *ddp* inducida se medirá conjuntamente con el tiempo empleando un sensor de voltaje, el cual a su vez estará conectado a una PC mediante una interfaz, como se observa en la Figura 2.

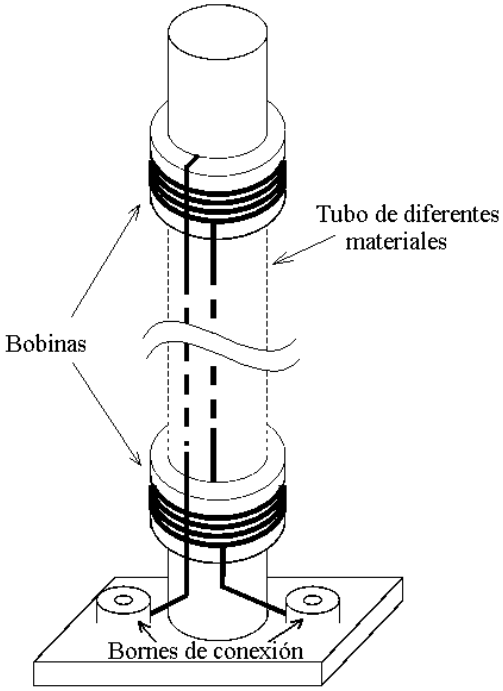


Fig. 1: Corte del tubo donde se han esquematizado solamente el primer y el último bobinado

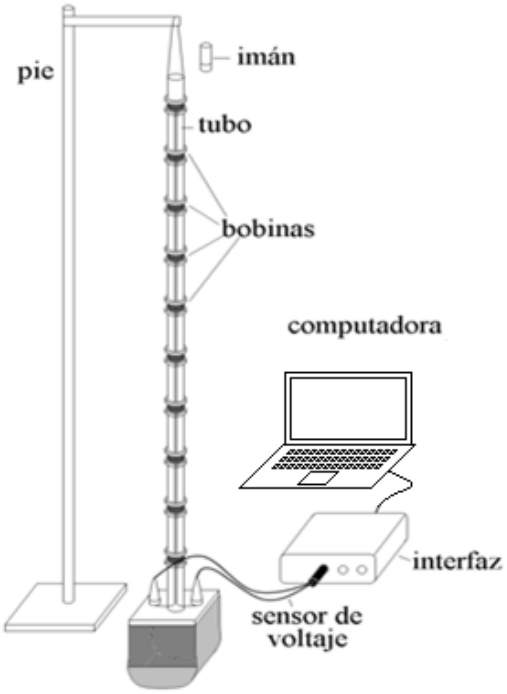


Fig. 2: esquema del dispositivo experimental

Cada tubo cuenta con diez bobinas distribuidas a lo largo de toda su extensión, conectadas en serie, y los bornes de conexión en la base del tubo que permitirán conectar el bobinado a la interfaz. El software comienza la medición al hacer click en el botón correspondiente, por lo que es importante minimizar el tiempo entre la activación del software y el inicio del movimiento del imán.

Debemos tomar ciertos recaudos durante las mediciones para minimizar la influencia de otros fenómenos indeseables en la caída del imán. Soltaremos el imán siempre desde la misma posición y respetando la orientación de sus polos. También intentaremos que el tubo no oscile y que se encuentre en posición vertical, para disminuir el efecto del rozamiento contra las paredes durante la caída.

Una bolsa de tela ubicada en el extremo inferior retiene el imán a su salida del tubo, evitando que golpee contra el piso (si el imán cae al piso es muy probable que se quiebre, por eso hay que manipularlo con cuidado).

Efectuaremos una única medición para cada tubo, obteniendo un gráfico de *ddp = f(t)* para cada uno de ellos (Gráficos I y II). También guardaremos una imagen con ambas mediciones superpuestas para poder compararlas (Gráfico III).

Observando los Gráficos I y II: *¿por qué se observa una misma figura o ciclo que se repite a lo largo de todo el gráfico? ¿Cuántos ciclos se observan y por qué? Describa la forma de uno de estos ciclos. ¿A qué se debe esa forma específica? ¿Cuál es la razón de que la ddp sea en algunos intervalos de tiempo positiva y en otros negativa? ¿Dónde está el imán en los momentos en que la gráfica intersecta al eje horizontal (ddp=0V)?*

Ahora, analizando el Gráfico III, *¿con qué puede relacionarse que en una de las curvas los valores máximos (o mínimos) que alcanza la ddp varían y en el otro se mantienen constantes? ¿Con qué puede relacionarse que el intervalo de tiempo entre los picos sea constante en uno pero no en el otro caso? ¿Qué puede decirse del ancho de los picos? ¿El tiempo de caída total es el mismo en ambos casos?*

Ahora debemos determinar las coordenadas de tiempo y posición del imán para poder estudiar su movimiento en cada uno de los dos tubos.

Obtendremos las coordenadas de tiempo del imán a partir de los Gráficos I y II, determinando el instante en el cual el imán pasa por el centro de cada bobina. Para ello, utilizaremos el software de la PC mencionado anteriormente. Mediante el uso de una herramienta que indica las coordenadas del punto donde ubiquemos el cursor, buscaremos en el centro de cada ciclo el valor de tiempo más cercano a una *ddp* nula. Tomaremos nota de estos valores de tiempo con todos sus

decimales, sin truncar ni redondear. *¿Qué criterios deberíamos aplicar para asignar una incerteza a esta medición?*

A continuación, obtendremos las posiciones del imán midiendo la posición de cada bobina, en ambos tubos, de acuerdo al sistema de referencia elegido. Para ello, emplearemos una cinta métrica. *¿Qué fuentes de incerteza inciden en esta medición?*

Con estos datos, completen las Tablas I (tubo de plástico) y II (tubo de aluminio).

Confeccionen ahora dos gráficos de $x = f(t)$ a partir de los datos de las Tablas I y II, uno para cada tubo (Gráficos IV y V).

Queremos determinar entonces si se cumple la hipótesis planteada en ambos tubos. Recordando la ecuación (1), *realicen un ajuste cuadrático en ambos gráficos.*

¿Cuánto vale el coeficiente de ajuste R^2 en cada caso? ¿Cómo lo interpretan? Analizando los parámetros de las funciones de ajuste, obtengan el valor de la aceleración del imán en cada caso:

$$a_{plástico} = (\ldots\ldots\ldots\ldots)\frac{m}{s^2} \qquad a_{aluminio} = (\ldots\ldots\ldots\ldots)\frac{m}{s^2}$$

Entonces, ¿el movimiento del imán puede aproximarse por una caída libre en ambos tubos? ¿Qué modelo describe más adecuadamente el movimiento que realiza el imán en cada tubo? Determinen diferencias y similitudes entre los tubos, en función de buscar la causa que explique las diferencias observadas en cada movimiento.

Considerando ahora el modelo correspondiente a la dinámica del movimiento, realicen un diagrama de cuerpo libre para cada tubo. ¿Qué fuerzas actúan en cada caso? ¿Cuál es el origen de esas fuerzas? Expliquen en base a la Ley de Faraday-Lenz.

Retomando el objetivo del TP, determinen si se cumple o no la hipótesis propuesta, teniendo en cuenta que para demostrar la falsedad de una afirmación general es suficiente encontrar al menos un caso en el que la misma no se cumpla.

t (s)	εt(s)	x (m)	εx (m)

Tabla 1: valores de tiempo y posición obtenidos para la caída del imán en el tubo de plástico

t (s)	εt(s)	x (m)	εx (m)

Tabla 2: valores de tiempo y posición obtenidos para la caída del imán en el tubo de aluminio

Fecha: ..... **/** ..... **/2024**

Año y división: .....

Grupo N°: .....

Firma del ayudante: .....