Departamento de Física

Guía de Trabajos Prácticos

4° 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.

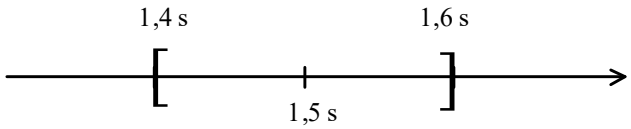
Por lo tanto, **el resultado de una medición consta de tres partes: la medida de la cantidad, la unidad en que esa medida está expresada y la incerteza absoluta que la afecta.**

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:

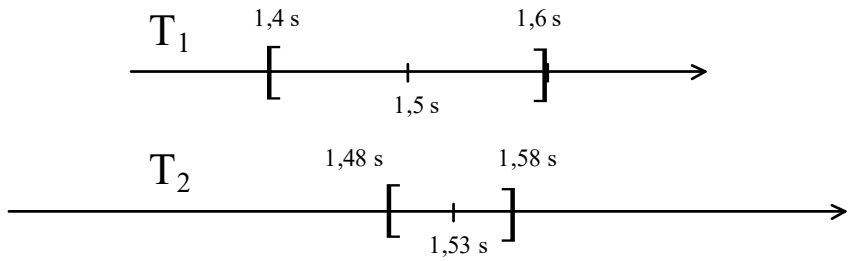


El valor de la cantidad se encuentra comprendido entre 1,4 s y 1,6 s, lo que implica que cualquier número real incluido en este intervalo representa igualmente bien al período del péndulo.

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

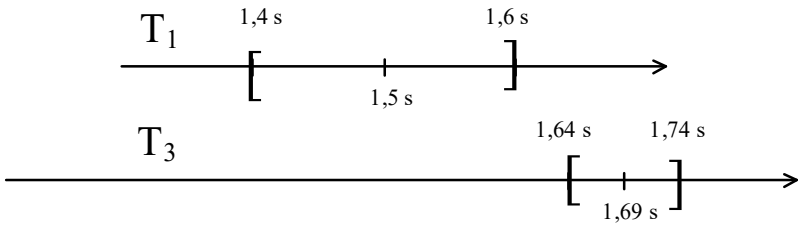
$$T_2 = (1{,}53 \pm 0{,}05)\,s \quad ; \quad T_3 = (1{,}69 \pm 0{,}05)\,s$$

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: RELACIÓN ENTRE VARIABLES

En el presente trabajo práctico se propone estudiar las relaciones que se establecen entre algunas variables que describen el comportamiento de un resorte al suspender una pesa del mismo. En primer lugar estudiaremos la relación entre la fuerza aplicada y el estiramiento del resorte en condiciones estáticas. Luego se hará oscilar la pesa y se estudiarán el período de oscilación al variar la amplitud del movimiento y la masa de dicho cuerpo.

Antes de colocar el resorte en el pie mediremos cuidadosamente su longitud sin carga (l_0).

¿Para qué les parece que es necesario obtener el valor de esta magnitud?¿Qué puntos del resorte toman como referencia para realizar esta medición? ¿Qué inconvenientes encuentran? Con este análisis indiquen qué criterio toman para determinar la incerteza de la medición de la longitud inicial (εl_o).

Luego sujetaremos el resorte por uno de sus extremos al soporte y del extremo inferior suspenderemos una masa de valor conocido, dejando que el sistema alcance el reposo. Mediremos ahora el valor de la nueva longitud denominada longitud de equilibrio (l_e).

¿Qué puntos del resorte toman como referencia para realizar esta medición, para que sea comparable con l_0? ¿Qué incerteza le asignan a la medición de la longitud de equilibrio (εl_e)?

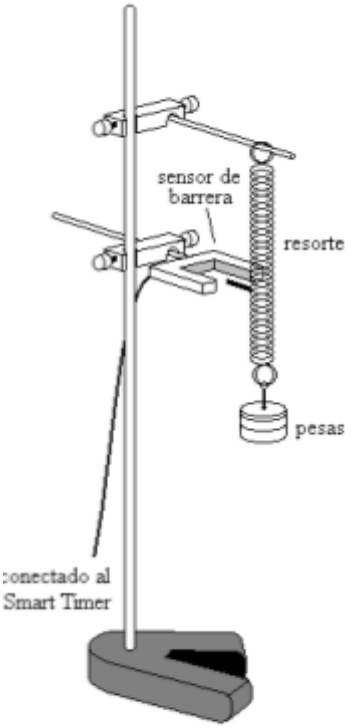


Figura 1: dispositivo experimental

En base a estos valores determinaremos el estiramiento con la ecuación $\Delta l = l_e - l_0$. Repetiremos este procedimiento cuatro veces más, aumentando en cada caso la masa suspendida del resorte.

Para estimar la incerteza de este valor propagaremos incertezas a partir de las mediciones directas realizadas $\varepsilon\Delta l = \varepsilon l_e + \varepsilon l_0$. Para una mejor comprensión de cómo se obtuvo este cálculo se puede revisar la guía "**Introducción - Pautas para realización de trabajos prácticos**", la cual, en la página 9 explica los criterios adoptados para este.

¿Cómo determinan en cada caso el módulo de la fuerza que el resorte ejerce sobre el cuerpo suspendido? Expliciten el razonamiento efectuado para dar respuesta a esta pregunta. Puede resultar útil realizar el diagrama de cuerpo libre para la masa que pende del resorte en estas condiciones.

Con los valores medidos completaremos la Tabla I teniendo en cuenta que la masa de cada pesa fue determinada con una incerteza absoluta de 0,1g. En base a estos datos realizaremos el gráfico de $F_r = f(\Delta l)$ con el programa Graph.

Ya que el resorte se puede modelizar según la ley de Hooke, sabemos que este debería responder a la ecuación $F_r = k\,\Delta l$, donde k es lo que se denomina constante elástica del resorte y da una idea de la dureza del mismo. Por consiguiente se espera que la relación entre F_r y Δl sea de proporcionalidad directa y el programa Graph nos permite analizar si esto es así. Para esto, una vez graficados los puntos con sus incertezas deben dirigirse al menú "Función ⇒ Insertar línea de tendencia"

¿Qué características tiene una proporcionalidad directa? Sabiendo esto, ¿qué tipo de línea de tendencia insertarán en el gráfico?

Una vez hecho esto, el Graph debe devolver un recuadro con dos datos calculados: la función correspondiente a la línea de tendencia, y un valor llamado R^2 (coeficiente de determinación) ¿Que significa este último valor? ¿Cómo puedo saber entonces si la aproximación realizada se corresponde con los datos graficados? Si el programa indica que la aproximación realizada se ajusta bien a los datos graficados, ¿la función calculada por este se corresponde con lo que esperábamos? (recuerde que debería cumplir que es una proporcionalidad directa) ¿Qué dato de importancia se puede obtener de la función calculada por el Graph?

A continuación estudiaremos la dependencia del período de oscilación con la amplitud de ésta. Dispondremos el sensor de barrera como se muestra en la Figura 1, conectado a un cronómetro Smart Timer. El resorte tiene adosado un suplemento que interrumpirá el haz del sensor de barrera cuando el sistema oscile. Del resorte suspenderemos una masa conocida y mediremos la longitud de equilibrio del sistema. Luego desplazaremos el cuerpo hacia abajo y mediremos la nueva longitud del resorte (*l)* que servirá para determinar la amplitud con la que oscilará este una vez dejado en libertad ya que $A = l - l_e$.

En base a la propagación de incerteza de Δl en el apartado anterior, intenten determinar cómo sería la misma para este caso.

Para realizar la medición deberemos configurar el Smart Timer en el modo "Tiempo ⇒ Péndulo". Una vez que se hayan producido tres interrupciones del haz infrarrojo del sensor de barrera se podrá leer en la pantalla del Smart Timer el valor del período de oscilación. Es necesario asegurarse que el suplemento que posee el resorte interrumpa el haz del sensor. Discutan qué criterio adoptarán para asignarle una incerteza a la medición del período. Repetiremos el experimento para distintas amplitudes completando la tabla II con los resultados medidos.

Grafiquen *T=f(A)* con el programa Graph *¿Parece haber algún tipo de relación entre las variables? Expliquen qué se puede determinar del gráfico realizado, sin necesidad de realizar un ajuste.*

Pasaremos ahora a estudiar la dependencia del período del movimiento oscilatorio que realiza un cuerpo suspendido de un resorte respecto de la masa de dicho cuerpo. Para ello mediremos el período de oscilación de la misma manera que en el procedimiento anterior, pero esta vez variando la masa que suspendemos. Con los valores medidos completarán la Tabla III. Teniendo en cuenta lo observado en la Tabla II, ¿es importante la amplitud con la cual oscila el resorte al tomar estas mediciones? Justifique.

Observen los datos obtenidos. ¿Pueden afirmar que existe dependencia entre el período de oscilación del resorte y la masa suspendida del mismo? ¿Por qué?

Grafiquen T=f(m). A partir de este gráfico ¿se puede decir si la relación obtenida es creciente o decreciente?¿Puede asegurar si es o no lineal? Realice ahora un nuevo ajuste en el gráfico proponiendo un ajuste potencial ¿Qué puede decir de este nuevo ajuste? ¿Podría el mismo corresponderse con los datos medidos?

$l_0 = (\quad \pm \quad)\text{cm}$

$\lvert F_R \rvert$ (gf)	$\varepsilon\lvert F_R \rvert$ (gf)	l_e (cm)	εl_e (cm)	Δl (cm)	$\varepsilon \Delta l$ (cm)

Tabla I: Resultados obtenidos de la fuerza ejercida por el resorte y su estiramiento para distintos valores de masa suspendida.

$l_e = (\quad \pm \quad) cm; \quad m = (\quad \pm \quad) g$

l (cm)	εl (cm)	A (cm)	εA (cm)	T (s)	εT (s)

Tabla II: Resultados obtenidos del período de oscilación para distintas amplitudes.

m (g)	εm (g)	T (s)	εT (s)

Tabla III: Resultados obtenidos del período de oscilación para distintas masas suspendidas del resorte.

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

Año y div.: ……

Grupo Nª: ……

Firma del ayudante: ……

TRABAJO PRÁCTICO N° 2: ENERGÍA

En este Trabajo Práctico estudiaremos las transformaciones de energía asociadas a un cuerpo en movimiento, siendo en este caso un carro que desciende por una pista inclinada.

Para estudiar los intercambios de energía que experimenta un carro que se desplaza por una pista inclinada dispondremos de un dispositivo experimental como se muestra en la figura 1. Primero analizaremos la situación donde la fuerza de rozamiento entre el carro y la pista se considera despreciable y luego agregaremos un suplemento para establecer una fuerza de rozamiento evidente entre el carro y la pista.

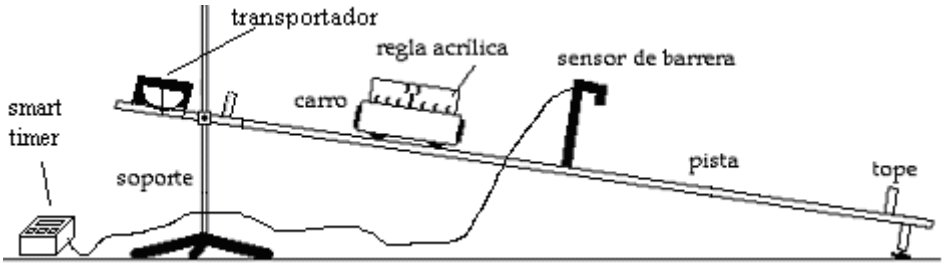


Figura 1: Esquema del dispositivo experimental.

El dispositivo cuenta con una pista que se puede inclinar a voluntad con la ayuda de un pie en uno de sus extremos. Para evitar que el carro se salga de la pista durante el estudio, se contó con dos topes, uno al inicio y otro al final de la misma. El tope superior además es el punto desde donde dejaremos en libertad el carro, asegurándonos de esta manera que las mediciones se puedan repetir sin variar mayormente las condiciones iniciales. Cuenta también con un Smart Timer que, conectado a un sensor de barrera permitirá medir la velocidad del carro.

Este dispositivo se montó con el fin de estudiar la evolución de la energía mecánica del carro en varios puntos de su trayecto, para lo que primero se debía calcular la energía potencial gravitatoria y cinética de este. Para obtener estas últimas, será necesario conocer su masa, velocidad y altura, en los distintos puntos en los que se quiere estudiar.

Antes de comenzar con las mediciones discuta y defina las siguientes cuestiones:

Para obtener la velocidad y la altura en las distintas posiciones, será necesario establecer un sistema de referencia. *Elijan uno que les parezca conveniente y especifíquenlo en un esquema del dispositivo experimental.*

Dado que el carro no es un cuerpo puntual discutan: *¿Cómo determinarán su posición sobre la pista y su altura?*

Observen el movimiento del carro sobre la pista y analicen: *¿Qué transformaciones de energía se producen a medida que se desplaza el móvil? ¿Creen que se conservará la energía mecánica? ¿Por qué?*

Para comenzar con las mediciones, obtendremos la velocidad del móvil utilizando un Smart-Timer que, configurado convenientemente y conectado a un sensor de barrera detecta el paso de este. Para facilitar la detección del carro, este tiene en la parte superior una regla acrílica con dos franjas negras que al pasar por el sensor inician y finalizan la medición de la velocidad.

Para poder calcular la energía mecánica en un punto determinado, debemos obtener todas las variables involucradas en una misma posición, en particular, en la que se midió la velocidad. Por esto se debe medir con una regla milimetrada la altura a la que se encuentra el carro en la posición del sensor de barrera.

Finalmente, la masa del carro y su incerteza, la encontrarán registrada en la base del mismo.

Una vez obtenidas todas las variables en una misma posición, se desplazará el sensor de barrera, para de esta manera repetir el procedimiento. Lo anterior se realizará un total de 6 veces.

Determinen la altura inicial (h_0), posición inicial (x_0), velocidad inicial (v_0) del carro cuando se encuentra en el tope inicial y regístrenlos.

Una vez realizadas las mediciones discuta: *¿Cómo determinarán la incerteza de la medición de h_0, v_{0y} x_0? Justifiquen haciendo un análisis de las fuentes de error presentes en el experimento.*

Con los datos recogidos, completen las columnas con los cálculos de energía, para cada posición.

Observen la tabla 1 *¿Qué ocurre con la energía potencial, con la cinética y con la mecánica a medida que se desplaza el carro?*

Para poder analizar mejor esta información, representen en un mismo gráfico los valores de energía cinética, potencial y mecánica en función de la posición (gráfico 1), utilizando un color para cada tipo de energía.

Observen el gráfico 1 y obtengan conclusiones. *¿Qué sucede con la variación de la energía cinética y la variación de la energía potencial? ¿Se conserva la energía mecánica? Fundamentar en base a la teoría correspondiente.*

A continuación, con la asistencia del ayudante a cargo, agregaremos un suplemento para producir un rozamiento evidente entre el carrito y la pista. *¿Qué similitudes y diferencias esperarían obtener respecto de la situación antes estudiada?*

Repitan el procedimiento anterior para determinar las energías cinética, potencial y mecánica, conservando las mismas posiciones antes utilizadas y completen la tabla 2.

Observen la tabla 2 *¿Qué ocurre ahora con la energía potencial, con la cinética y con la mecánica a medida que se desplaza el carro?*

Luego representen en un mismo gráfico los valores de energía cinética, potencial y mecánica en función de la posición (gráfico 2), utilizando un color para cada tipo de energía.

Observen el gráfico 2 y obtengan conclusiones. *¿Qué diferencias y similitudes observan respecto del gráfico 1? ¿Qué sucede con la variación de la energía cinética y la variación de la energía potencial? ¿Se conserva la energía mecánica? Fundamentar.*

Anexo

Incerteza de la Energía Cinética	**Incerteza de la Energia Potencial**	**Incerteza de la Energía Mecánica**
$Ec = \frac{1}{2} . m . v^2$	$Ep = m . g . h$	$E_M = Ec + Ep$
$eEc = em + 2.ev$	$eEp = em + eh$	$\varepsilon E_M = \varepsilon Ec + \varepsilon Ep$
$\frac{\varepsilon E_c}{E_c} = \frac{\varepsilon m}{m} + 2.\frac{\varepsilon v}{v}$	$\frac{\varepsilon Ep}{Ep} = \frac{\varepsilon m}{m} + \frac{\varepsilon h}{h}.$	
$\varepsilon Ec = \left(\frac{\varepsilon m}{m} + 2.\frac{\varepsilon v}{v}\right)$. Ec	$\varepsilon Ep = \left(\frac{\varepsilon m}{m} + \frac{\varepsilon h}{h}\right)$. Ep	

Recomendación: De ser posible, asistir al tp con un pendrive por grupo.

$m = (\quad \pm \quad) Kg$ $x_0 = (\quad \pm \quad) m$

$h_0 = (\quad \pm \quad) m$ $v_0 = (\quad \pm \quad) m/s$

x	εx	h	εh	v	εv	E_P	εE_P	E_C	εE_C	E_M	ε E_M
(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(J)	(J)	(J)	(J)	(J)	(J)

Tabla 1a: Posición (x), altura (y), velocidad (v), energía potencial (E_P), energía cinética (E_C) y energía mecánica (E_M) del carro que se desplaza en una pista inclinada sin rozamiento.

N° medición	*v (cm/s)*
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Tabla 1b: Mediciones de la velocidad del carro para la última posición de la pista, para obtener las incertezas correspondientes por el método de la máxima desviación.

$m = (\quad \pm \quad) Kg$ $x_0 = (\quad \pm \quad) m$

$h_0 = (\quad \pm \quad) m$ $v_0 = (\quad \pm \quad) m/s$

x	εx	h	εh	v	εv	E_P	εE_P	E_C	εE_C	E_M	ε E_M
(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(J)	(J)	(J)	(J)	(J)	(J)

Tabla 2: Posición (x), altura (y), velocidad (v), energía potencial (E_P), energía cinética (E_C) y energía mecánica (E_M) del carro que se desplaza en una pista inclinada con rozamiento.

Fecha: …./…../….. **Grupo N°: _____**

Año y división: _____ **Firma del ayudante: _____**

TRABAJO PRÁCTICO N°3: CALORIMETRÍA

El objetivo del presente trabajo práctico es obtener el calor específico de una sustancia, en este caso el agua. Para ello estudiaremos cómo varía la temperatura de ciertas cantidades de agua y de alcohol que se hallan en contacto térmico, pero no físico, e inicialmente a distinta temperatura. Para llevar a cabo este experimento utilizaremos un recipiente cerrado de telgopor, cuyo interior se encuentra dividido en dos cavidades mediante una lámina de aluminio (ver Figura 1). Se utiliza un recipiente de telgopor, que es un buen aislante térmico, con el fin de minimizar el intercambio de calor entre el interior y el exterior del recipiente. Por otra parte, consideramos que ambas cavidades se hallan en contacto térmico ya que la lámina que las separa es delgada y de aluminio, el cual es un buen conductor térmico. En una de estas cavidades colocaremos una cierta masa de agua y en la otra, alcohol.

En todo proceso de intercambio de calor se cumple que $\Sigma Q_i = 0$ donde Q_i es la cantidad de calor intercambiado por cada uno de los cuerpos que intervienen en el proceso. Aplicando este principio al sistema en estudio, resulta:

$$0 = Q_{agua} + Q_{alcohol} + Q_{recipiente} + Q_{medio} \qquad (1)$$

Donde Q_{agua} y $Q_{alcohol}$ son los calores intercambiados por cada fluido, Q_{medio} es el calor intercambiado por el medio exterior al recipiente y $Q_{recipiente}$ es la cantidad de calor que intercambian los demás elementos presentes en el interior del recipiente (las superficies internas del envase, el agitador, la lámina de aluminio, etc.).

Dada la duración de la experiencia y los materiales con los que está construido el calorímetro resulta adecuado considerar que el recipiente es adiabático. Esto quiere decir que el intercambio de calor con el medio exterior resulta despreciable frente a los demás en el intervalo de tiempo de la experiencia. Además el $Q_{recipiente}$ también resultaría despreciable ya que se considera un calorímetro ideal donde los intercambios de calor de los elementos que lo componen con los líquidos resulta insignificante. Por lo tanto la expresión anterior se reduce a:

$$0 = Q_{agua} + Q_{alcohol} \qquad (2)$$

Para comenzar, calcularemos la masa (m) de los líquidos utilizando la fórmula $m = \delta.V$, siendo conocida la densidad de ambas sustancias. Procederemos a medir con una probeta el volumen de líquido (V) que será colocado en cada una de las cavidades. *¿De qué manera puede obtener la incerteza de la masa?*.

Además, colocaremos un termómetro digital en cada cavidad para registrar la temperatura de los líquidos y observar cómo ésta varía con el paso del tiempo. Realizaremos mediciones de temperatura a intervalos regulares de un minuto utilizando un cronómetro manual, durante un período total de 7 minutos. *Estime una incerteza para las temperaturas y el tiempo.*

Es necesario tener en cuenta que ninguno de los líquidos presentará una temperatura uniforme en toda su extensión. Debido a las características de la transmisión del calor, el líquido que inicialmente esté a mayor temperatura se enfriará más rápido en las cercanías de la lámina de aluminio, y más lentamente a medida que aumenta la distancia a ésta. Recíprocamente, el otro líquido se calentará más rápidamente en la zona en contacto con la lámina. Para homogeneizar la temperatura de cada

fluido y contar así con un único valor que sea representativo de dicha magnitud utilizaremos un agitador, que consiste simplemente en dos pequeñas paletas sumergidas una en cada líquido (ver Figura 1). Como el uso del agitador y el movimiento que éste produce en el fluido podrían influir en la evolución de las temperaturas del sistema, mantendremos un proceso de suave agitación en forma continua a lo largo de toda la experiencia, sin detenerlo en ningún momento. Dada la fragilidad del dispositivo, se debe tener cuidado en su manipulación.

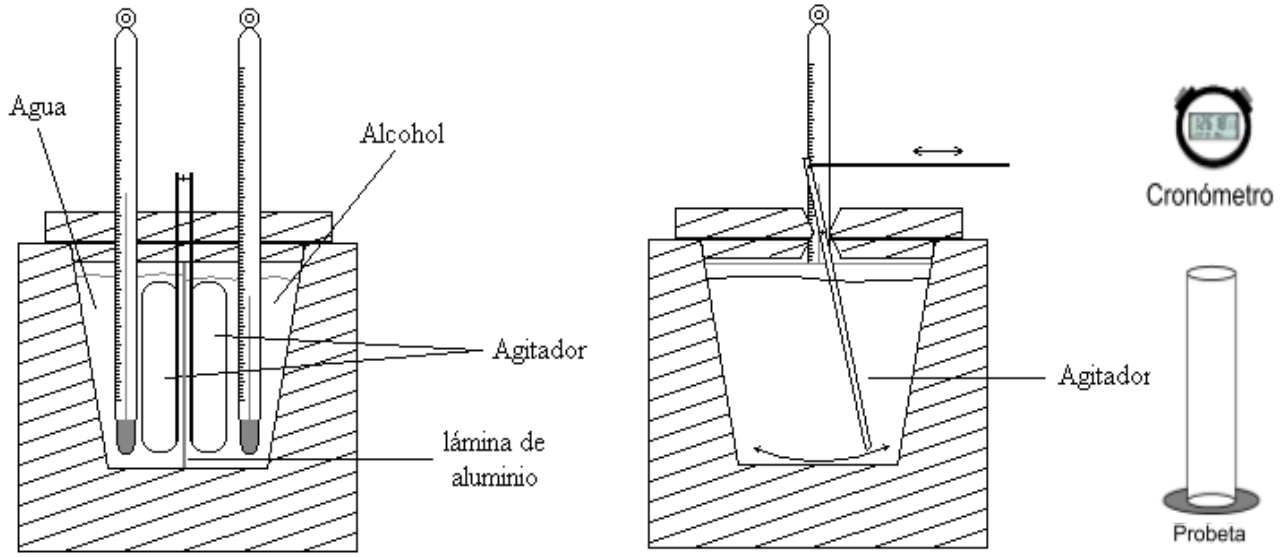


Figura 1: dos vistas esquemáticas del dispositivo experimental.

Con los resultados obtenidos de estas mediciones se puede completar parcialmente la Tabla I.

Para poder lograr el objetivo, es necesario calcular el calor intercambiado por ambas sustancias en los tiempos medidos. Analizando la ecuación (2), vemos que gracias a las consideraciones mencionadas, el calor absorbido por el alcohol puede considerarse igual al calor cedido por el agua, por lo que bastará calcular el calor absorbido por el alcohol, utilizando la ecuación (3).

$$Q = m \ .c \ (T_f - T_0) \qquad (3)$$

Con esta ecuación y conociendo el calor específico del alcohol podemos obtener el calor total que debió absorber el alcohol desde el comienzo del intercambio para llegar a la T_f alcanzada al final de cada minuto. Para esto debemos tomar el valor de masa de alcohol previamente calculado y considerar T_0 **siempre** como la temperatura a tiempo 0 min.

En base a los resultados del calor absorbido por el alcohol, se terminará de completar la tabla 1 y se confeccionará un gráfico de temperatura de ambos líquidos en función del calor intercambiado acumulado (*T(Q)*), es decir, de la temperatura de los líquidos en función de la cantidad de calor que absorbieron o cedieron.

A partir del gráfico analicen:

¿Qué tipo de relación tienen la temperatura y la cantidad de calor intercambiada?. A partir de realizar el ajuste de curva correspondiente obtenga el calor específico del agua y comparelo con el

valor proporcionado en esta guía. Para esto tenga en cuenta que como se grafica T(Q) la ecuación (3) se reescribe como:

$$T_f = \frac{1}{m.c} . Q + T_0$$

En donde T_0 sería la ordenada al origen y $\frac{1}{m.c}$, la pendiente. Determine el valor de estas dos magnitudes.

Analice el punto donde se cortan ambos ajustes de curva ¿Cómo es la temperatura para los líquidos en este punto? ¿Qué considera que sucederá con la temperatura de los líquidos a partir de aquí? ¿Cómo se denomina a la temperatura alcanzada en este punto?

Datos útiles:

Densidades de los líquidos:

$$\delta_{agua} = 1{,}00 \, g/cm^3 \qquad \delta_{al} = 0{,}79 \, g/cm^3$$

Calores específicos de los líquidos:

$$c_{agua} = 1{,}00 \, cal/g.°C \qquad c_{al} = 0{,}58 \, cal/g.°C$$

Fórmulas de propagación de incertezas:

$$\varepsilon m = \delta * \varepsilon V$$

$$\varepsilon Q = \varepsilon m.c.|T_f - T_i|. + m.c.(\varepsilon T_f + \varepsilon T_i)$$

Resultados de masa y volumen para cada líquido:

$$V_{agua} = (..... \pm .....) \qquad V_{alcohol} = (..... \pm .....)$$

$$m_{agua} = (..... \pm .....) \qquad m_{alcohol} = (..... \pm .....)$$

t (min)	*εt (min)*	*T_{agua} (°C)*	*εT_{agua} (°C)*	*$T_{alcohol}$ (°C)*	*ε$T_{alcohol}$ (°C)*	*Q(cal)*	*εQ(cal)*
0.00						0	0
1.00							
2.00							
3.00							
4.00							
5.00							
6.00							
7.00							

Tabla I: mediciones de las temperaturas del agua y del alcohol en intervalos de un minuto.

Fecha:__/__/__

Año y división:_____

Grupo:____

Firma del ayudante:_____