

## 2. Enunciados de las experiencias propuestas

En esta sección presentaremos los enunciados de las experiencias que desarrollaremos y describiremos en un capítulo posterior.

Los enunciados aquí presentados se distribuyen en tres grupos. En un primer grupo de enunciados, se plantean soluciones donde se estudia y analiza aspectos relacionados con el comportamiento de una variable aleatoria, la cuantificación de dos fuentes de incertidumbre sobre una misma variable, y el análisis de dependencia de dos parámetros que caracterizan un fenómeno aleatorio probabilístico. Este primer grupo de enunciados, desde nuestra perspectiva, gira alrededor de actividades experimentales que se centran en la discusión y reflexión sobre conceptos procedimentales y conceptuales fundamentales en el hacer de la Física. El segundo grupo de enunciados corresponde a experiencias realizadas dentro del contexto de pruebas experimentales, durante las olimpiadas Panameñas de Física de los años 2006, 2007, 2008 y 2009. Experiencias diseñadas y elaboradas por la comisión de Pruebas Experimentales de esos años (Bernardo Fernández y Omayra Pérez). En consecuencia, este segundo grupo de experiencias es conocido por la mayoría de docentes de Física del país, así como por algunos de los alumnos par-

ticipantes. Además de haber sido aplicadas en dichas olimpiadas, han estado a disposición, de docentes y alumnos, en la página web de la Sociedad Panameña de Física. Y como cierre presentamos el enunciado de una experiencia que se diseñó con la finalidad de hacer hincapié en la gran utilidad y aplicación que tiene la Física en la vida diaria.

Nos parece interesante dar a conocer y discutir con los docentes, alumnos y padres de familia, qué esperábamos y cuáles eran las competencias requeridas por los alumnos que participan en la olimpiada de física, año tras año, durante los últimos años. Es necesario señalar que el diseño, puesta en ejecución, y descripción de estas experiencias, nos ha permitido adquirir experiencia en estos menesteres. Diseñar y construir experiencias para olimpiadas.

Experiencia y aprendizaje, producto de la reflexión y del análisis de los resultados obtenidos. Análisis que centramos más que nada en el estudio de la forma en que los alumnos participantes presentaban los resultados, las preguntas y/o cuestionamientos de algunos docentes y de nuestras reflexiones de los resultados obtenidos.

## 2.1. Histograma y función normal o gaussiana

A partir de los datos, resultados de una experiencia, presentados en el cuadro 2.1, construir un histograma. Analiza la información que te brinda el histograma construido. Obten el valor promedio  $\langle x \rangle$ , la desviación ( $d_i = x_i - \langle x \rangle$ ), la desviación es-

tándar ( $\sigma$ ) y la incertidumbre típica ( $\sigma_i$ ). Explica el significado físico de cada uno de estos valores y comenta tus conclusiones. ¿Crees que puedas diseñar un dispositivo visual para ver formarse un histograma?

2,46	2,47	2,46	2,48	2,49	2,50	2,50	2,51	2,51	2,51
2,46	2,47	2,46	2,48	2,49	2,50	2,50	2,51	2,51	2,51
2,50	2,52	2,50	2,53	2,54	2,55	2,55	2,56	2,57	2,57
2,56	2,56	2,57	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,59	2,55
2,55	2,55	2,56	2,57	2,58	2,59	2,60	2,60	2,60	2,61
2,61	2,62	2,62	2,62	2,65	2,63	2,64	2,65	2,64	2,64
2,64	2,65	2,65	2,65	2,64	2,63	2,60	2,60	2,60	2,61
2,62	2,62	2,62	2,62	2,63	2,63	2,66	2,66	2,67	2,67
2,66	2,68	2,69	2,68	2,69	2,68	2,66	2,66	2,67	2,66
2,68	2,69	2,68	2,69	2,68	2,66	2,70	2,70	2,71	2,71
2,72	2,72	2,72	2,73	2,73	2,72	2,75	2,75	2,76	2,78

Cuadro 2.1. Datos a analizar en unidades arbitrarias ( $u$ ).

## 2.2 Dos fuentes de incertidumbre independientes sobre una misma variable

La mayoría de las veces tenemos la tendencia a olvidar la naturaleza de una variable aleatoria y automáticamente pensamos que se expresa mediante escalares. Sin embargo, la velocidad es un vector, así como otras variables. También encontramos variables que se expresan como una tabla a dos entradas (matrices), etc. ¿Qué ocurre si sobre la velocidad constante, tenemos perturbaciones que provie-

nen de las tres direcciones del espacio? ¿Cómo expresamos la dispersión estandarizada?

Para dar respuesta a las cuestiones anteriores se utilizará una rampa, como la mostrada en la figura 2.1, de la que se dejaba deslizar una canica a partir de una altura “h” de manera que al caer libremente sólo tiene velocidad horizontal.

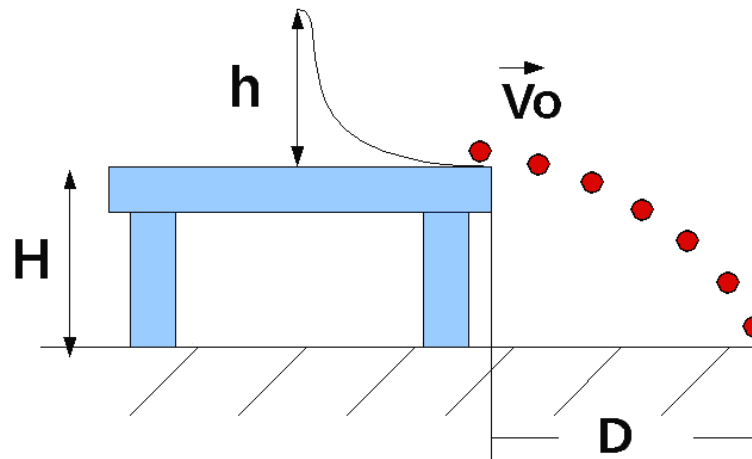


Figura 2.1. Esquema de la situación a estudiar experimentalmente.

### 2.3 Dispersión del fenómeno y dispersión de la medida

La conversación que entabla el físico con la naturaleza, al buscar información sobre la misma, pasa por la medición. Por tanto, medir para el físico es un proceso esencial en su búsqueda de información, sobre el o los fenómenos que estudia y que le interesa comprender.

Dentro de este marco presentamos a continuación un conjunto de datos ordenados en una tabla.

Dichos datos son producto de las mediciones de la longitud y ancho de una muestra de

200 hojas de una planta de frijoles guardú.

La selección de las 200 hojas no se realizó con base a criterio alguno, por tanto, la elección fue totalmente al azar. Las dimensiones medidas a cada hoja de la muestra, fueron su largo y ancho. Para ello se utilizó una regla común calibrada en milímetros (30,00 cm). En el cuadro 2.2 presentamos los valores obtenidos al medir el largo de cada hoja del conjunto.

Las preguntas a responder a partir de lo descrito en las líneas anteriores son las siguientes:

4,75	5,55	4,00	4,55	5,15	5,10	3,60	5,10	6,45	5,05
4,90	4,80	4,50	5,50	4,45	4,70	4,85	5,70	7,50	5,15
7,30	4,75	4,50	5,65	5,70	6,00	4,90	4,75	5,35	5,30
8,65	5,10	3,70	4,30	4,95	5,80	4,00	4,65	6,40	5,60
6,80	7,70	4,95	4,20	4,20	6,15	3,50	4,90	5,50	5,55
6,50	3,95	3,75	5,00	4,30	5,10	4,50	4,60	4,85	4,80
6,30	4,10	4,00	4,05	4,60	4,70	6,00	4,80	5,50	4,30
6,90	7,65	4,25	5,15	5,15	4,50	4,30	5,70	6,45	5,35
7,65	6,80	3,45	4,70	4,95	4,70	4,20	4,75	5,70	5,20
6,10	6,00	3,65	5,10	4,65	4,10	5,25	4,15	6,20	5,25
6,00	5,60	4,70	6,75	4,90	5,90	4,85	5,20	6,15	5,15
6,55	6,95	4,00	5,35	4,40	4,60	4,40	6,95	5,40	4,95
4,35	8,05	4,35	6,70	5,30	6,75	4,00	6,15	7,40	4,85
6,85	5,45	4,70	6,15	5,40	4,95	4,35	6,20	5,00	5,50
4,90	4,25	4,65	5,70	4,65	5,65	4,65	6,55	4,95	5,65
4,65	5,60	5,25	5,55	5,35	5,60	4,10	6,70	5,50	6,50
5,10	4,40	5,20	5,30	6,45	4,60	4,15	5,30	5,40	4,40
6,05	4,45	4,90	5,15	6,90	5,50	5,20	6,25	4,00	5,45
4,50	5,15	4,50	3,75	6,25	4,60	4,30	4,90	5,70	5,65
4,10	4,15	4,55	4,35	3,90	4,95	5,00	5,00	4,80	5,20

Cuadro 2.2. Resultado de las mediciones del largo de las hojas de frijoles guandú.

tes:

- ¿Cuál debe ser el valor de  $n$  para obtener un valor más próximo a los valores reales que caracterizan la longitud de la hoja que estudiamos?
- ¿Cuál es la dispersión de la longitud de la hoja?
- ¿Cuál es la dispersión de la medida de la longitud de la hoja?
- ¿Qué relación existe entre la dispersión de la longitud de la hoja y la dispersión de esa longitud?

Con el objetivo de dar respuesta a las cues-

tiones anteriores, proponemos realizar las tareas a continuación.

1. Elegir ocho muestras de la tabla anterior, con el número  $n$  creciente (*cantidad de datos que forman la muestra*). Específicamente formar una *muestra 1* con 5 datos, *muestra 2* con 10 datos, *muestra 3* con 25 datos, *muestra 4* con 50 datos, *muestra 5* con 75 datos, *muestra 6* con 100 datos, *muestra 7* con 150 datos y *muestra 8* con 200 datos.

2. Obtener para cada muestra el valor promedio, la desviación, la desviación estándar, la

incertidumbre típica (construir una tabla similar para  $n = 10, 25, 50, 75, 100, 150$  y  $200$ ). ¿Cuál es el significado físico de cada dispersión?

1. Identificar cómo está relacionada  $\langle x \rangle$ , con  $n$ . Para ello, construye la representación gráfica:  $\langle x \rangle$ , *versus*  $n$ .
2. Identificar cómo está relacionada  $\sigma$  con  $n$ . Para ello, construye la representación gráfica:  $\sigma$  *versus*  $n$ .
3. Identificar cómo está relacionada  $\varepsilon$  (in-

certidumbre relativa) con  $n$ . Para ello, construye la representación gráfica:  $\varepsilon$  *versus*  $n$ .

4. ¿Cuál es el significado físico de la dispersión relativa comparada con la porcentual?
5. Escribir las conclusiones sobre los resultados obtenidos en los puntos 3, 4, 5, y 6.

#### 2.4. Valorar la calidad de un método y de un instrumento de medición en función de las cifras significativas obtenidas

Se usará una caja de dominó que contiene 28 fichas, las cuales suponemos que fueron fabricadas todas idénticas. Por ello, se evitará la discusión sobre la influencia que tienen los huecos de las fichas en la medición del volumen. Suponemos, pues, que las fichas están lisas. Entonces, el objetivo a lograr es conocer el volumen de cada ficha con la suposición de base de que la fábrica las hizo todas idénticas.

En cuanto al volumen, se obtendrá midiendo las aristas del paralelepípedo (figura volumétrica de la ficha) con una regla graduada en milímetros, la cual se supone bien calibrada y cuya precisión es 0,5 mm. En consecuencia, a través de una medición indirecta se debe obtener el volumen de la ficha con los valores medidos de las aristas de la ficha de dominó.

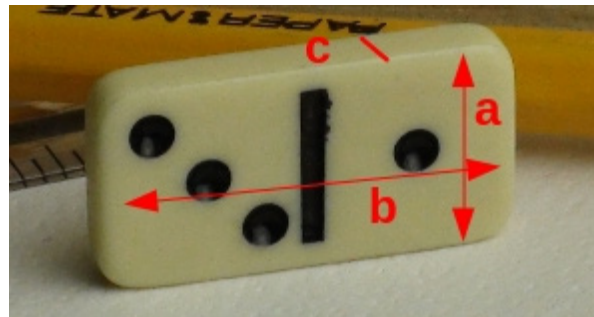


Figura 2.2. Ficha de dominó.

1. ¿Expresar el valor del volumen y escriba la expresión usada para calcular el error relativo (incertidumbre relativa) de dicho volumen?

2. Una vez hecho eso, se constata que el error o incertidumbre es aproximadamente 15 % lo que permite escribir el resultado con una cifra cierta y una dudosa. Sin embargo, se necesita escribir el resultado con dos cifras ciertas y una dudosa. ¿Qué método usaría, con el material suministrado, para obtener ese resultado?

3. Realice la experiencia y al terminar escriba,

con tres cifras significativas, el volumen de una ficha de dominó.

4. Una vez obtenido el resultado, suponga que escribimos en el tablero el resultado de 40 jóvenes participantes en la olimpiada de física. Escriba en las líneas siguientes cómo evaluaría la hipótesis de que la fábrica hizo todas las fichas "iguales", es decir, ¿cómo saber si la dispersión causada por la fabricación, es superior o no a la dispersión proveniente de la medición obtenida mediante el método que utilizó en su experiencia?

## 2.5. Manejo adecuado de gráficos y funciones

En el cuadro 2.3 se muestran los valores obtenidos en una experiencia en la que se estudió el movimiento de una masa puntual, en línea

recta, con aceleración constante, y se midió la distancia recorrida en función del tiempo.

Tiempo $t$ (s)	Distancia recorrida $x$ (cm)
1,0	5,10
2,0	6,00
3,0	8,90
4,0	13,90
5,0	21,20

Cuadro 2.3. Conjunto de valores de la experiencia.

Sabemos que en los sistemas inerciales, para esa clase de movimiento, la relación entre el tiempo ( $t$ ) y la posición ( $x$ ) es una cuadrática. Grafique, en papel cuadriculado,  $x$  versus  $t$ . En-

cuentre los valores numéricos de las constantes de la ecuación cuadrática, linealizando el gráfico. Escriba la ecuación  $x = f(t)$ ; escriba el procedimiento utilizado; y justifíquelo, por escrito.

## 2.6. ¿Cómo identificar si una población es homogénea?

En la actividad experimental se tienen distintos momentos, entre los que podemos destacar los siguientes: identificar problemas, hacer predicciones e hipótesis, relacionar variables, hacer diseños experimentales, manejar material y armar montajes y dispositivos, utilizar materiales y equipo, realizar observaciones con control, medir, organizar, interpretar y analizar datos, utilizar modelos, elaborar conclusiones y comunicar resultados.

Se desea conocer algunas de las propiedades del material básico del cual están hechas las canicas que se venden en los almacenes y que utilizan los niños. La primera etapa de este estudio consiste en saber cuál es la densidad del material usado para hacer las canicas y para ello se procedió a pesar un conjunto de canicas con una balanza OHAUSS CS200. El fabricante anuncia que el resultado de la medición, con la balanza, se obtiene con un error de  $\pm 0,1$  g. Para mejorar los resultados se pesaron por grupos de 10 (las canicas se agruparon usando factores externos visuales). Los resultados del promedio de la masa de las canicas,

en gramos, para grupos de diez canicas, se presentan en el cuadro 2.4.

Con los datos anteriores se obtuvo el histograma mostrado en la figura 2.3. El análisis de este histograma indica la existencia de dos clases de canicas en cuanto a su masa (figura 2.4).

Y al analizar los datos con un programa de ordenador, los resultados conducen a dos gaussianas cuyos parámetros son:  $(5,33 \pm 0,04)$  g y  $(5,43 \pm 0,05)$  g.

Para poder obtener la densidad necesitamos suponer que cada canica está hecha con material homogéneo y medir el volumen. Es buena hipótesis suponer que se trata de una esfera de volumen  $\frac{3}{4} \pi r^3$  y medir el radio con suficientes cifras significativas para no perder la ganancia en cifras significativas, obtenida en la medición de la masa. Para que realices lo propuesto te entregamos 50 canicas y un pie de rey (figura 2.5).

5,30	5,44	5,41	5,39	5,34	5,34	5,44	5,31	5,33	5,43
5,32	5,41	5,33	5,42	5,43	5,41	5,33	5,31	5,45	5,35
5,39	5,38	5,34	5,43	5,39	5,34	5,40	5,34	5,38	5,46
5,45	5,34	5,43	5,46	5,35	5,36	5,45	5,38	5,32	5,45
5,41	5,43	5,41	5,48	5,38	5,31	5,47	5,33	5,35	5,43
5,45	5,43	5,38	5,36	5,32	5,47	5,35	5,36	5,42	5,43

Cuadro 2.4. Masa de las canicas en gramos (g).

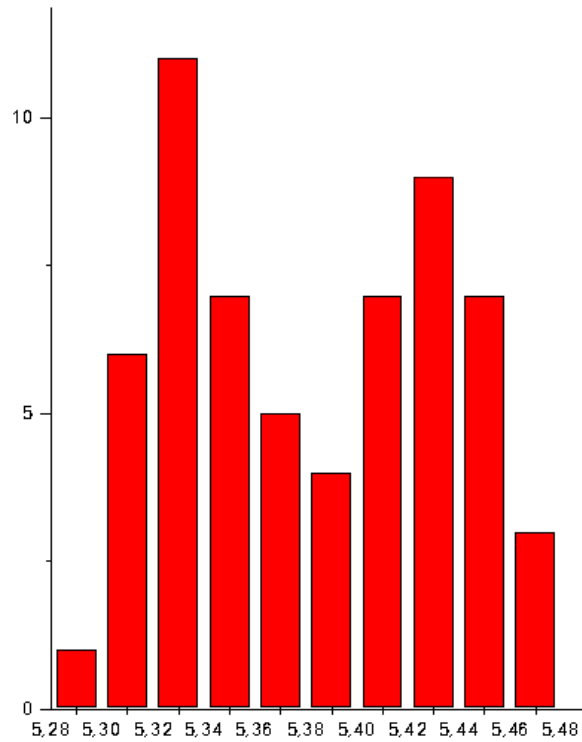


Figura 2.3. Histograma construido con los valores de las masas de las canicas.

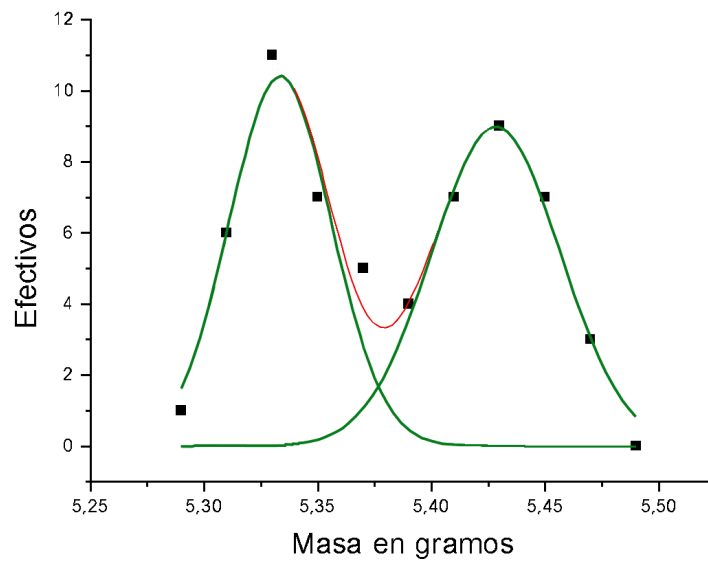


Figura 2.4. Gaussianas que señalan la existencia de dos tipos de canicas.



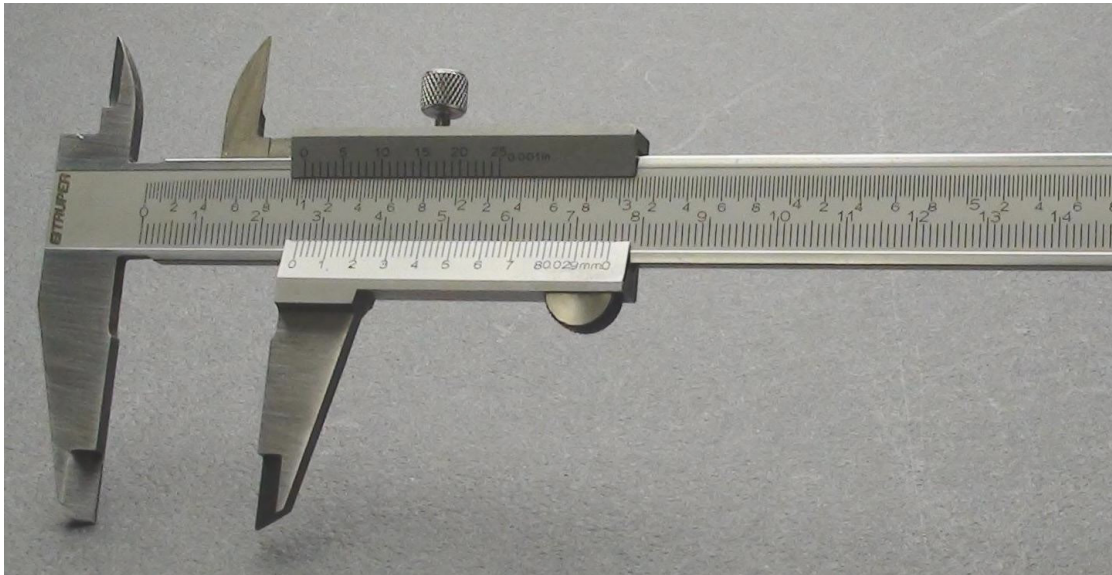


Figura 2.5. Pie de Rey.

El aparato mide hasta la décima de milímetro, lo que hace a la décima de milímetro una cifra cierta para los efectos del aparato. Sin embargo, puede haber incertidumbres y/o “errores” en los resultados que provienen de fuentes distintas a la de los aparatos.

1. Señala las posibles fuentes de dispersión de los resultados de la medición del radio, diferente a la del aparato de medición.
2. ¿Podrías predecir si habrá o no dos clases de canicas en cuanto a su volumen? Justifica tu respuesta y elabora una hipótesis que vas a evaluar.
3. ¿Cómo verificarías si la hipótesis de la pregunta dos es correcta?

4. Encuentra el valor promedio del volumen y la desviación estándar. Explica, ¿cómo se propaga el error?

5. ¿Cómo calcularías la densidad del material con el cual están hechas las canicas?

6. El material de base es vidrio (óxido de silicio amorfo) cuya densidad promedio es  $2,50 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ , compara tus resultados con este valor e identifica las posibles fuentes que están a la base de la diferencia entre tus valores y el valor promedio.

## 2.7. Medición de volúmenes pequeños

Muchas veces los medicamentos vienen con indicaciones similares a la siguiente: “*agregue dos gotas del medicamento a un vaso con agua, y lo toma tres veces al día.*” Se necesita saber, ¿a cuánto equivale una gota en  $\text{cm}^3$ ? Eso nos permitiría saber qué cantidad de producto o medicamento activo hay en una gota. Para este propósito el gotero deberá estar calibrado. Con miras a cumplir con este último punto se cuenta con un gotero nasal con divisiones en  $1,0 \text{ cm}^3$ ;  $0,6 \text{ cm}^3$ ;  $0,5 \text{ cm}^3$  y  $0,3 \text{ cm}^3$  donde las cifras escritas, según el fabricante, son ciertas con  $\pm 0,05 \text{ cm}^3$  de precisión. Disponemos, además, de dos recipientes, uno con agua y el otro vacío.

1. Explique el diseño experimental que utilizaría para medir el volumen de una gota.

2. Haga la experiencia y consigne por escrito los resultados.

3. Aplicación

Se tiene un litro de glucosa disuelta en agua destilada al  $10,0\% \pm 0,1\%$  y se desea extraer 200 microlitros de esa solución para obtener 20 microlitros de glucosa, pero no se dispone de una pipeta especializada. Sólo se cuenta con un gotero nasal calibrado en  $1,0 \text{ cm}^3$ ;  $0,6 \text{ cm}^3$ ;  $0,5 \text{ cm}^3$  y  $0,3 \text{ cm}^3$ . Diga, ¿qué procedimiento usted seguiría para extraer los 200 microlitros con el gotero, una vez calibrado? Y exprese los resultados con el número adecuado de cifras significativas. Haga el análisis de las posibles fuentes de error en la medición.

## 2.8. Estimación del orden de magnitud de un capa fina de grafito

Se quiere determinar, el orden de magnitud del espesor de la fina capa de grafito que depositamos sobre el papel al escribir con un lápiz. Para ello se traza una línea de 2,0 mm de ancho y 10,0 cm de largo, sobre una hoja de papel utilizando un lápiz 5B y una regla. Se supone que la resistencia del grafito es lineal con la longitud y se obtiene el orden de magnitud del espesor de la capa midiendo su resistencia para distintas longitudes, suponiendo el ancho y espesor

constante. Se trata de evaluar el procedimiento diseñado y seguido por el alumno para obtener el orden de magnitud del espesor de dicha capa y, además, se evalúa la justificación del mismo.

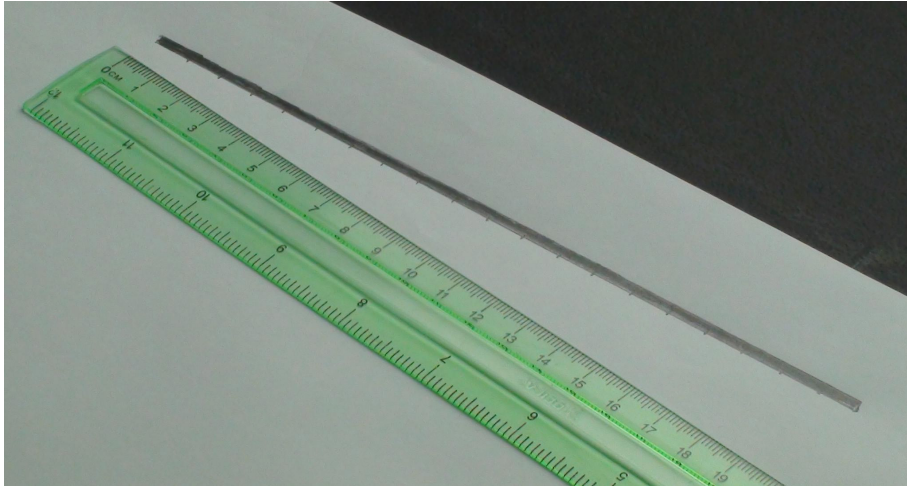


Figura 2.6. Capa de grafito.

Para lograr obtener el espesor de la capa de grafito se utiliza una hoja de papel, un lápiz 5B y un multímetro. Con la regla y el lápiz 5B se traza una línea recta. Es necesario tener presente que:

- la línea trazada tenga un ancho aproximado de 2,0 mm;
- el valor de la resistividad del grafito ( $\rho$ ) es:  $3,50 \times 10^{-5} \Omega \text{ m}$ , según la literatura corriente;
- la medición de la resistencia de la capa de grafito se realiza siempre dentro de la línea trazada;
- la cantidad de datos obtenidos sean 8 o más;
- la escala del multímetro a utilizar sea la adecuada;

- se conozca la resistencia de la hoja de papel. Esto último es para asegurarse que el valor de la resistencia de la hoja no afecte las mediciones realizadas.

Responda las siguientes cuestiones:

1. ¿Cuál es el valor de la pendiente del gráfico R vs L?
2. ¿Cuál es la incertidumbre sobre la pendiente obtenida?
3. Explique cómo calcularía el orden de magnitud del espesor de la capa de grafito.
4. Obtenga el orden de magnitud del espesor de la fina capa de grafito.
5. Justifique el método utilizado para obtener el orden de magnitud del grafito.

## 2.9. Medición de la densidad de un material sólido

Se estudia la densidad de un material midiendo la masa y el volumen del objeto. Se debe

obtener el resultado de la densidad con el mayor número de cifras significativas utilizando los

instrumentos disponibles. Para ello se evalúa la precisión de la medición del volumen por dos métodos diferentes. Se retiene el de mayor precisión para reportar el resultado.

El objetivo de esta experiencia es medir la densidad de un material y comparar el resultado con el valor reportado en la literatura.

Para lograr el objetivo se utiliza una balanza que se tiene a disposición de todos los estudiantes. Mientras le toca el turno para medir la masa, el estudiante deberá medir el volumen. Se dispone de un pie de Rey, de una probeta y de un recipiente con agua.

Cuestiones a responder

1. Determine el valor de la masa del cilindro.
2. Determine la incertidumbre sobre la masa.

3. Determine el valor e incertidumbre del radio del cilindro.
4. Determine el valor e incertidumbre del largo del cilindro.
5. Determine la precisión del Pie de Rey.
6. Describa el método de cálculo de la incertidumbre del volumen medido con el pie de Rey.
7. Determine el valor e incertidumbre del volumen medido con el pie de rey.
8. Determine el valor e incertidumbre del Volumen del cilindro medido con la probeta.
9. ¿Cuál medición introduce más error? Justifique qué medición del volumen escoge para su cálculo.
10. Determine el valor e incertidumbre de la densidad
11. ¿De qué material está hecho el cilindro?
12. Compare el porcentaje de incertidumbre encontrado por usted con la diferencia en porcentaje, con el valor esperado.

## 2.10. Medición de la densidad del agua con relativa precisión

En Física, muchas veces, la diferencia entre un modelo explicativo y otro se determina con la precisión en la medición. Los físicos deben tener conciencia de ello y prepararse para situaciones en las cuales tengan que escoger entre instrumentos y métodos que conduzcan a la precisión requerida para determinar el mejor modelo. En el aula no es fácil tener instrumentos con suficiente precisión como para ver la importancia aludida. En este caso las escuelas

pueden tener, por lo menos, una balanza analítica (que se comparte con Química y Biología) y ocho matraces. La pipeta puede ser sustituida por un gotero calibrado.

1. A través de pruebas ¿cómo identificas si la variable densidad  $\rho = \frac{m}{V}$  experimenta fluctuaciones?
2. ¿De dónde provienen las fluctuaciones de la

medición de la masa o del volumen?

3. Si las fluctuaciones provienen del volumen, el origen podría estar en la fabricación del recipiente, en el llenado del matraz y la temperatura (pues, los cuerpos se contraen y dilatan con la temperatura), ¿cómo identificas el origen de la

fluctuación?

4. Diseña una prueba que permita evaluar la precisión de la técnica.

5. Concluya acerca de lo aprendido.

## 2.11. Ejemplo de un fractal

La Física estudia fenómenos naturales que tienen estructura matemática. En esta ocasión se trata de construir un modelo simple, explicativo, de un fenómeno natural, utilizando ciertos resultados experimentales. En la naturaleza existen formas geométricas que denominamos no clásicas. Una de ellas es la figura geométrica que tienen los pulmones. Describiremos, a grosso modo, estos órganos. Parecen unos frijoles grandes pero porosos. Tienen alrededor de 500 millones de alvéolos cuya función es tomar del aire el oxígeno, dárselo a la sangre, y depositar en el aire el dióxido de carbono extraído de la sangre; tienen una masa de cerca de 600 gramos cada uno y se sitúan en la caja torácica, ocupando un volumen de alrededor de  $1\,500\text{ cm}^3$  al estar expandidos.

Si pudiésemos estirar los pulmones para formar una superficie, esta sería de alrededor de  $70\text{ m}^2$ , en adultos, por cada pulmón (lo que representa aproximadamente la superficie de una pista de tenis). En el caso de los pulmones,

la naturaleza tuvo que resolver un problema que consistía en lo siguiente: poner la mayor superficie (para mayor contacto con el aire) posible en el menor volumen (caja torácica) posible, dado ciertas restricciones, como por ejemplo, el material con el cual debía generar ese objeto estaba restringido a cierto tipo de tejidos.

Para realizar una experiencia simulando un pulmón, se te entrega el siguiente material inicial:

- hojas de papel llamado bond de 20 libras, de densidad constante.
- hojas de papel llamado de cometa, de densidad constante.

Dichas hojas están hechas con fibras sacadas de los árboles, pero con distinta tecnología.

El problema consiste en tomar pedazos de papel de distinto tamaño para hacer una esfera, como si hiciéramos un cuerpo similar a un pul-



Figura 2.7. Hojas de papel y pie de rey.

món (escogemos la forma esférica porque es fácil medir su volumen). Para verificar que la densidad es constante, inicialmente se tomó el papel bond y se hizo una experiencia. Medimos su largo y ancho con una regla. El espesor se obtuvo tomando un bloque de 500 hojas y con un pie de rey medimos el espesor de 500 hojas y obtuvimos el espesor de cada hoja, con ellos conocimos el volumen de cada hoja. Para determinar la densidad del papel procedimos de la siguiente manera, pesamos distintos pedazos de papel y mediante las expresiones:  $V = Se$ , donde  $S$  es la superficie y  $e$  el espeso, calculamos el volumen. Hicimos el gráfico  $m$  versus  $V$ , se obtuvo una recta y de la expresión  $D V = m$ , donde  $D$  es la densidad,  $m$  la masa y  $V$  su volumen, se verificó que la densidad es una constante.

Suponemos que la forma que toma el cuerpo no afecta su volumen. Por ello, al hacer esferas con los pedazos de papel, obtendremos el mismo volumen. La pregunta que cabe es

¿Cuál es el nivel de certeza de esta afirmación? Solo la experiencia, como criterio de verdad en Física, nos permite decir que el volumen medido es el esperado. Por ello o bien negamos la aserción y somos capaces de decir que el volumen si depende de la forma del objeto, o bien buscamos un modelo explicativo del fenómeno observado.

En lo que sigue considera que la densidad de ambos tipos de papel es constante. ¿Podrías, con la hipótesis de que la densidad es constante, a través de la medición de superficie, estudiar el problema?

**Materiales:** ponemos a tu disposición los siguientes materiales:

- un pie de Rey para medir diámetros;
- hojas de papel bond 20 libras y hojas de papel cometa;
- hojas milimetradas, papel semi-logarítmico y doblemente logarítmico;
- tijeras y regla.

**Cuestiones a responder**

- Escribe, en varios pasos, el procedimiento que seguirás para realizar tu estudio experimental.
- Justifica las variables escogidas.
- Construye las tablas proyectadas en tu planificación.
- Construye los gráficos pertinentes.

- Escribe la ecuación que relaciona las variables.
- Explica tus resultados.
- Concluye negando la aseveración “la forma que toma el cuerpo no afecta su volumen” o discutiendo un modelo explicativo de los resultados experimentales.

**2.12. Estudio de una Resistencia no lineal: bombillos incandescentes**

Edison perfeccionó el bombillo incandescente logrando un filamento que alumbró sin interrupción por 48 horas. Sin embargo, la mayoría de la energía consumida por los bombillos no se transforma en energía lumínica, se transforma en calor. Además las resistencias no son todas lineales y ese es el caso del bombillo incandescente.

En Panamá, se dio una controversia sobre la pertinencia de reemplazar los bombillos incandescentes por bombillos llamados ahorradores. Te proponemos hacer un estudio de ambos tipos de bombillos para ver el ahorro que se tiene sustituyendo los bombillos incandescentes por los ahorradores. Para ello dispones de un autotransformador para hacer variar el voltaje eficaz del sector de (110 voltios), un multímetro para medir corriente y voltaje alterno. Se te dan bombillos incandescentes de 4, 7, 15, 25, 40 y 60 W con su base de rosca. Se te dan bombillos ahorradores de 10W – 40W; 13W – 60W; 26W – 110W donde el primer valor es

la potencia consumible y el segundo la potencia de alumbrado equivalente. Estudia la Ley  $V$  vs  $I$  para cada bombillo y concluye.

Se te entrega, además, un medidor de luminosidad (Lux) para evaluar la luminosidad (potencia de alumbrado) y compara:

- Rendimiento de los bombillos.
- Costo del bombillo incandescente B/. 0,95
- Costo del bombillo ahorrador B/. 5,00.
- Duración del bombillo incandescente 150 horas.
- Duración del bombillo ahorrador 8 000 horas
- Precio del kWh B/. 0,1222 85 con un precio fijo inicial de B/. 1,50 por los primeros 10 kWh.

¿Cuál es tu conclusión al respecto?