

CUADERNO DE PRÁCTICAS FÍSICA 4º ESO



Profesor: MARIANO BENITO PÉREZ ©.

REDACCIÓN DE INFORMES DE LABORATORIO Y DE TRABAJOS CIENTÍFICOS

¿Para qué son los informes de laboratorio y los trabajos científicos?

- Para persuadir a los demás para que acepten o rechacen las hipótesis mediante la presentación de datos e interpretaciones.
- Para proporcionar información detallada sobre los procedimientos y los resultados para futuras investigaciones.
- Para formar parte del cuerpo del conocimiento científico cuando se publique (o hasta que sea desmentido).
- Para proveer referencias documentales para futuras comparaciones.

Formato:

El típico informe de laboratorio incluye:

- Título.
- Resumen.
- Introducción.
- Materiales y Métodos.
- Resultados.
- Discusión.
- Referencias y Bibliografía.

Título:

- Reflejar el contenido con menos de diez palabras.
- Usar palabras clave que sean reconocidas por otros investigadores o por buscadores de Internet.

Síntesis:

- Resumir en un párrafo conciso el propósito del informe, los datos aportados y las principales conclusiones (de 100 a 200 palabras).

Introducción:

- Definir el objeto del informe: "¿Por qué se realiza el estudio?"
- Proporcionar información sobre los antecedentes y otros estudios pertinentes: "¿Qué otro conocimiento existe sobre el tema?"
- Esquema científico de los propósitos y de los objetivos: "¿Cuáles son las hipótesis específicas y los diseños experimentales de la investigación?"

Métodos y Materiales:

- Lista de materiales utilizados, cómo se han utilizado y dónde y cuándo se realizó el experimento (muy importante en los estudios de campo).
- Describir el equipo especial utilizado y la teoría general de los análisis o ensayos realizados.
- Dar suficiente información para que el lector entienda el experimento sin abrumarlo. Si los procedimientos de laboratorio se siguen con exactitud de un libro o manual, basta con citar el trabajo (los detalles están allí).

Resultados:

- Centrarse en tendencias generales y en diferencias, no en trivialidades.
- Resumir los datos de los experimentos sin discutir sus implicaciones.
- Organizar los datos en tablas, ilustraciones, gráficos, fotografías, etc. Los datos dados en una tabla no duplicarlos en otros gráficos o figuras.
- Poner título a todas las figuras y tablas, incluir una leyenda para explicar los símbolos, abreviaturas o signos especiales.
- Numerar las ilustraciones y las tablas por separado y referirse a ellas en el texto por su número, por ejemplo:
 - .- La actividad disminuye después de cinco minutos (figura 1).
 - .- La figura 1 muestra que la actividad...

Discusión:

- Interpretar los datos, no repetir los resultados.
- Relacionar los resultados con la teoría y los conocimientos existentes.
- Explicar la lógica usada para aceptar o rechazar las hipótesis originales.
- Especular lo que sea necesario, pero dejar claro que se trata de una especulación.
- Incluir sugerencias para la mejora de las técnicas y diseño del experimento, aclarar las áreas en que haya interrogantes para futuras investigaciones.

Referencias y Bibliografía citada:

- Citar solo la bibliografía utilizada, no la bibliografía general sobre el tema.
- Ordenar alfabéticamente por el apellido del autor.
- Seguir el formato recomendado para las citas.

Estilo general:

- Hacer un esfuerzo por utilizar razonamientos lógicos e información precisa, por evitar ambigüedades, especialmente con el uso de los pronombres y la concordancia de los tiempos verbales.
- Escribir de forma impersonal, evitar el uso de la primera persona (o sea, el "yo" o el "nosotros").
- Usar el tiempo pasado y ser coherente a lo largo del documento. Nótese, por ejemplo, que "síntesis" es singular y plural al mismo tiempo.
- Poner en cursiva los nombres científicos (de género y especie).
- Utilizar el Sistema Internacional de Unidades y abreviar las mediciones mediante el uso de los símbolos sin punto (es decir, kg, cm, etc., no son abreviaturas son símbolos).
- Escribir todos los números que aparezcan al comienzo de una frase o que sean más pequeños que diez (es decir, por ejemplo, "dos explicaciones de seis factores").
- Escribir los números con cifras cuando sean mayores de diez (por ejemplo, 1896) o cuando estén asociados a mediciones (por ejemplo, 16 mm o 2 g).
- Dar a revisar el informe a una persona imparcial que pueda hacer una lectura crítica antes de que se cumpla la fecha de entrega.

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UN INFORME DE LABORATORIO

El informe debe tener la estructura usual de un trabajo científico. Incluye:

- 1. Título.** Nombre de la práctica.
- 2. Autores.** Sólo los que asistieron a la sesión y contribuyeron al trabajo.
- 3. Fechas de realización y entrega.**
- 4. Resumen.** Qué se hizo, cómo se hizo y que resultó.
- 5. Introducción.** Una descripción muy breve del tema de trabajo.
- 6. Teoría.** La necesaria para entender el tema y encontrar las ecuaciones útiles para el experimento. Las deducciones largas deben dejarse para un apéndice.
- 7. Método experimental.** Aquí se describe con detalle el procedimiento seguido para obtener los datos o para observar los fenómenos de interés.
- 8. Resultados.** Deben listarse los datos directamente obtenidos, así como los procesados con sus promedios, incertidumbres y demás parámetros de interés. Deben indicarse claramente las ecuaciones y las fórmulas utilizadas. Es muy conveniente presentar conjuntos grandes de datos en forma gráfica.
- 9. Discusión.** Es una parte fundamental del trabajo y debe dedicarse especial atención. De manera fundamentada deben analizarse los resultados obtenidos. Este análisis debe conducir de manera congruente a las conclusiones.
- 10. Conclusiones.** Realizar solo afirmaciones que sean consecuencia directa de la discusión. No repetir ésta. Las conclusiones deben ser compactas y claras.
- 11. Bibliografía.** Deben citarse los documentos que han sido utilizados para preparar el informe, incluyendo los números de las páginas consultadas. No se deben hacer citas genéricas a textos sólo para llenar el espacio.

NOTAS:

El texto deberá tener una redacción clara y concisa. La preferencia es elaborarlo con un procesador de textos, aunque se podrán aceptar informes escritos a máquina o manuscritos con letra legible. Aunque la extensión no es esencial, se espera que todo informe cuente con alrededor de 5 páginas o más.

Las unidades, las gráficas, las figuras, la bibliografía y demás partes del informe deberán seguir las normas usuales. Si hay dudas, preguntar al Profesor.

Cuando el objetivo de una práctica incluya la medición de una cantidad física, deberá incluirse el resultado de dicha medición con su incertidumbre, haciendo explícita la manera en que fue obtenida. Algunas prácticas sólo incluyen la realización de un experimento para observar un fenómeno. En tal caso, se espera una descripción detallada y la explicación física correspondiente.

La evaluación de los informes es parte de la calificación final. Se tienen en cuenta los resultados obtenidos, pero también su discusión. Se valora que en el texto se refleje o no la comprensión que se adquirió sobre el tema investigado.

MEDIDA DE LAS MAGNITUDES FUNDAMENTALES: LONGITUD.

1. OBJETIVO

Manejar con soltura los instrumentos más comunes que se utilizan para medir longitudes, observar el límite de precisión del aparato (la cantidad mínima que aprecia) y expresar los resultados con el número correcto de cifras significativas.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Para medir distancias astronómicas se usa el método de triangulación, tomando como puntos de referencia dos puntos bien determinados de la superficie de la Tierra.

Las longitudes corrientes se miden con cintas métricas y reglas milimetradas (doble decímetro, triple decímetro, etc.).

Para medir longitudes muy pequeñas se utilizan aparatos de precisión, o se recurre a ampliaciones de lo que se quiere medir mediante el microscopio. El fundamento físico de los aparatos de precisión radica en el *nonius* y en los *tornillos micrométricos*.

A) El nonius (nonio o vernier): Es el fundamento de otros aparatos de medida, como el calibrador o pie de rey, el catetómetro, el goniómetro, etc. Consta de una regla principal, AB, graduada generalmente en mm, y de una reglilla, CD, que puede deslizarse sobre ella y que constituye el nonio propiamente dicho. La reglilla o nonius va dividida en n partes y mide exactamente $(n - 1)$ divisiones de la regla grande (Fig. 1).

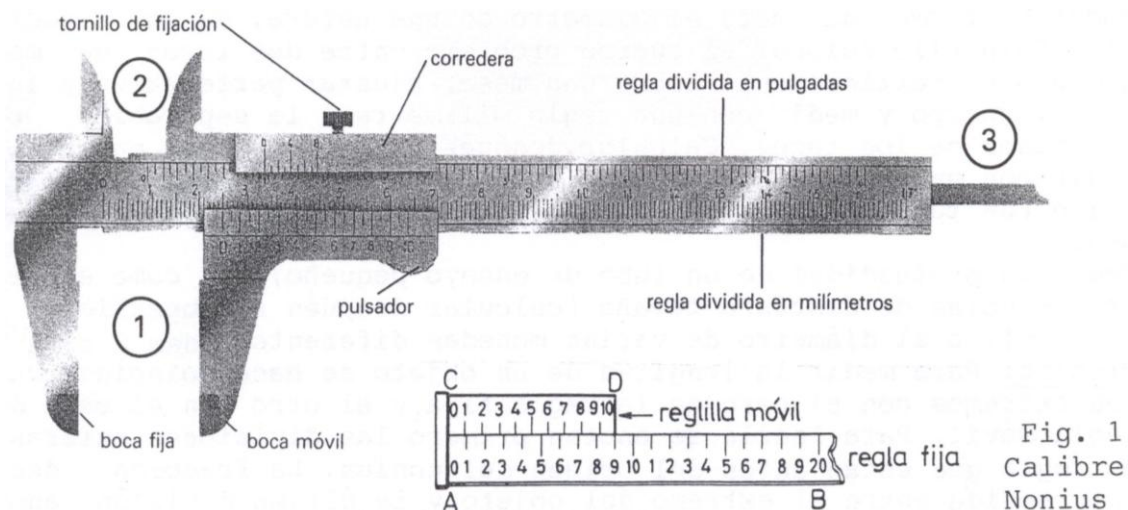


Fig. 1
Calibre
Nonius

Si cada división de la regla grande tiene de longitud L , y la longitud de cada división del nonius es L' , la longitud total del nonio será $n \cdot L'$, que corresponde a otra longitud igual de la regla grande $(n - 1) \cdot L$. Es decir, $n \cdot L' = (n - 1) \cdot L$. De aquí se deduce la precisión del nonius, que equivale a la diferencia entre la longitud de la división de la regla (L) y la división del nonius (L'):

$$\text{Precisión} = p = L - L' = L / n = L' / (n - 1)$$

En resumen, como cada división de la reglilla es un poco más pequeña que las de la regla principal, el nonius permite apreciar fracciones de unidades mayores (mm, grados, etc.).

El calibrador (calibre) es un aparato de medida que utiliza el nonius como medio de precisión y está diseñado de tal modo que con él se pueden medir grosores, diámetros interiores y exteriores de cilindros, y profundidades de tubos. La lectura se realiza igual que en el caso anterior. Las piezas (1) sirven para medir espesores y diámetros exteriores. Las piezas (2) sirven para medir diámetros interiores y las piezas (3) para medir profundidades (Fig. 1).

B) El tornillo micrométrico consiste en un tornillo con una cabeza circular dividida en un número determinado de partes iguales (generalmente, 100), el cual a cada vuelta o paso de rosca avanza siempre determinada longitud exacta (normalmente 1 mm). A medida que avanza el tornillo se van descubriendo los mm señalados en la tuerca. Si la cabeza está dividida en 100 partes, el aparato apreciará centésimas de mm. En general:

$$\text{Precisión} = p = \text{Paso de rosca} / \text{Divisiones de la cabeza o tambor}$$

Aparatos que llevan tornillo micrométrico son, por ejemplo, el “palmer” y el esferómetro (Fig. 2).

El palmer es un instrumento útil para medir espesores muy pequeños, como el de una hoja de afeitar.

El esferómetro consiste en un tornillo micrométrico desplazable a lo largo de una tuerca vertical, cuya cabeza va unida a un disco dividido en un determinado número de partes iguales. La tuerca está situada en el centro de un trípode cuyas patas forman un triángulo equilátero. Una de las patas lleva una regla graduada en mm y es tangente al disco graduado. Cuando el trípode está apoyado en una superficie plana y, a su vez, también lo está el tornillo, el cero de la regla y el del disco deben coincidir. Por cada vuelta del disco se recorre en la regla vertical el paso de rosca del tornillo (generalmente, 1 mm). La precisión, es decir, lo que aprecia o mide una división del disco, viene dada por la fórmula anterior. Se utiliza para medir espesores y radios de superficies esféricas. En la figura puede deducirse fácilmente la expresión para el radio:

$$R = (r^2 + h^2) / 2h$$

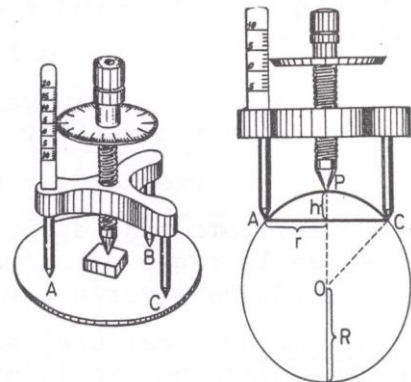
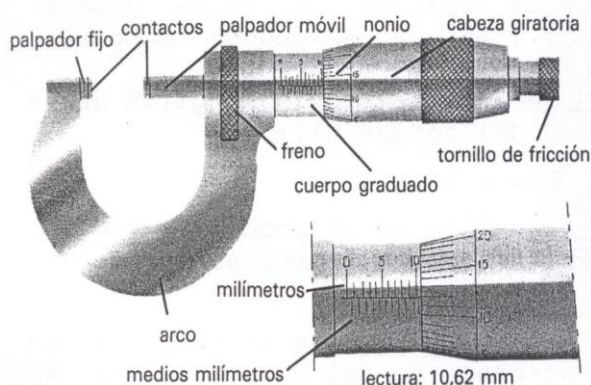


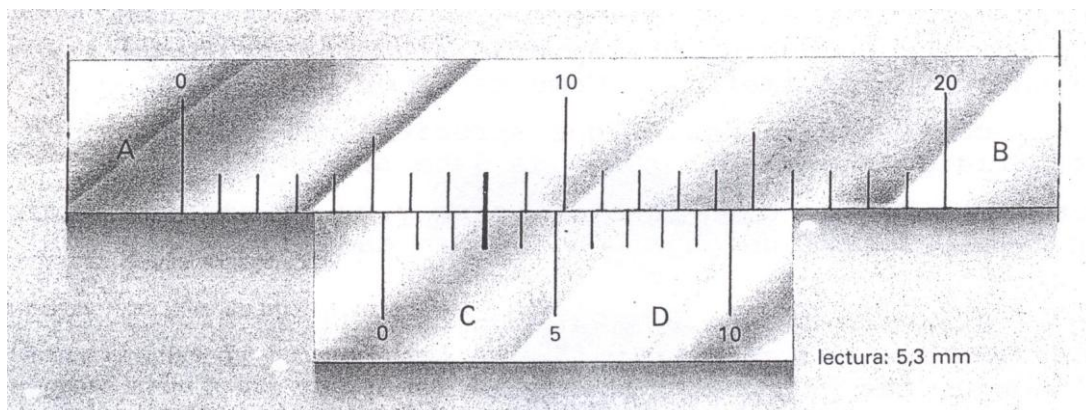
Fig.2

3. MATERIAL NECESARIO / PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Medir la altura de una mesa, la talla de un compañero, etc., utilizando una cinta métrica.
- Medir los lados de una cartulina rectangular y su diagonal. Una vez realizada esta medida comprobar que se cumple el Teorema de Pitágoras. Se utilizará una regla milimetrada.
- Medir de forma indirecta el diámetro de una esfera, de un cilindro, etc. Para ello colocar el cuerpo problema entre dos tacos de madera que apoyen verticalmente sobre una mesa. Ajustar perfectamente los tacos al cuerpo y medir con una regla milimetrada la separación entre las bases de los tacos. Calcular, después, el volumen del cuerpo.
- Medir con un calibre:
 - a) El diámetro exterior e interior de un tubo cilíndrico (un tubo de ensayo, por ejemplo). Hallar posteriormente su volumen.
 - b) Medir la profundidad de un tubo de ensayo pequeño.
 - c) Medir el diámetro de bolas de distinto tamaño y calcular después su superficie y su volumen.
 - d) Medir el diámetro de varias monedas diferentes. Hallar, después, la superficie de las caras y el volumen.

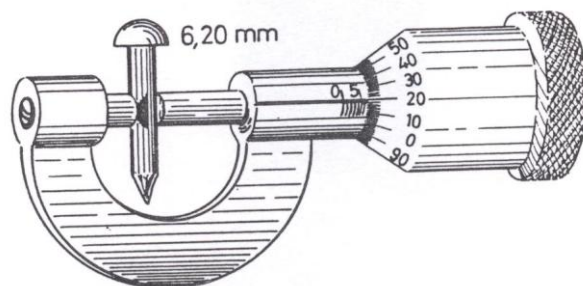
Proceso: Para medir la longitud de un objeto se hace coincidir uno de sus extremos con el cero de la regla fija y el otro con el cero de la regla móvil. Para leerla se anotan primero las divisiones enteras de la regla que están antes del origen del nonius. La fracción decimal comprendida entre el extremo del objeto y la última división anotada de la regla se calcula contando las divisiones del nonius que hay desde el cero hasta la que coincide exactamente con otra de la regla. El producto de ese número de divisiones por la precisión del aparato da la fracción decimal que hemos de añadir a la lectura de la regla para tener la medida correcta.

Ejemplo: Utilizando un calibre que aprecia décimas de mm (el nonius mide 9 mm y está dividido en 10 partes) se halla que el diámetro de un tubo mide 5 mm y fracción. Para calcular ésta observamos que la división 3 del nonius coincide con otra de la regla. Entonces, $D = 5 \text{ mm} + 3 \cdot 1 \text{ mm} / 10 = 5.3 \text{ mm}$.



- Medir utilizando un palmer:
 - a) El diámetro de tres alambres de distinto grosor, o el de un alfiler, o el de una punta o clavo muy fino, etc.
 - b) El grosor de una hoja de afeitar, de una lámina metálica delgada, etc.

Proceso: Las unidades (mm) se leen en la tuerca y las fracciones (centésimas de mm) vienen expresadas por el número de la cabeza que coincida con la señal de referencia de la tuerca.



- Medir el radio de curvatura de un vidrio de reloj utilizando un esferómetro.

Ejemplo: Si el paso de rosca es 1 mm y el disco está dividido en 500 partes iguales, la precisión es $1 \text{ mm} / 500$, o sea, 0.002 mm. Si al medir, por ejemplo, el grosor de una lámina el disco se ha detenido entre las unidades 2 y 3 de la regla vertical y toca en la división 205 del disco, el espesor tendrá un valor de: $2 \text{ mm} + 205 \cdot 1 \text{ mm} / 500 = 2.410 \text{ mm}$.

4. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- Expresar correctamente el resultado de cualquier medida realizada, ya sea una sola medida o una serie de medidas. El número de cifras debe ser el que permita el instrumento de medida.
- En el caso de que se realice una sola medida, el error absoluto es igual a la apreciación del aparato de medida.
- Si se realiza una serie de medidas en las mismas condiciones, se halla la media aritmética de todas, y después el error absoluto medio de todas. Después se determina la precisión del aparato, y se toma como imprecisión absoluta la que resulte mayor entre la precisión y el error absoluto medio. El resultado se expresa: Media $\pm$ Imprecisión Absoluta.
- El error relativo se calcula dividiendo el valor absoluto del error absoluto entre el valor medio de la magnitud y multiplicando por 100.
- De ordinario, muchas magnitudes físicas dependen de ciertas medidas directas, y se calculan, de forma indirecta, aplicando alguna fórmula. Para calcular el error del resultado hallado con la fórmula, conocidos los errores de cada una de las medidas, se aplica el Teorema de los Errores Absolutos (sumas y restas) y el Teorema de los Errores Relativos (productos, cocientes, potencias y raíces).

5. CUESTIONES

- a) Hallar la precisión de un nonius que tiene 20 divisiones, si la regla está dividida en mm. Si se quiere construir un nonius que aprecie 0.05 mm, ¿Cómo se haría?
- b) Se quiere adaptar un nonius que aprecie 1 centésima de mm a una regla dividida en medios milímetros. ¿Cómo se ha de construir?
- c) Se pretende construir un nonius que aprecie 1 minuto al adaptarlo a un sextante dividido en grados. ¿Cómo debe procederse?

d) Un palmer tiene 0.5 mm de paso de rosca y su cabeza, 50 divisiones. Hallar el espesor de un objeto si se han dado 5 vueltas y 20 divisiones.

e) Al medir el diámetro de una varilla con un calibrador que aprecia 0.1 mm, se observa que abarca 20 divisiones (mm) de la regla y que la división del nonius que coincide con una de la regla es la 6. ¿Cuánto mide el diámetro de la varilla?

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE UN SÓLIDO

1. OBJETIVO

Determinar la densidad de un sólido desconocido y tratar de identificarlo a partir de este dato, dado que se trata de una propiedad específica de la materia.

2. MÉTODO DE TRABAJO

Determinar experimentalmente la masa y el volumen de un sólido problema. Posteriormente calcular la densidad a través de la fórmula:

$$\rho = m/V$$

3. MATERIAL

- Balanzas (0.1 g // 0.01 g).
- Probeta.
- Regla de plástico, calibre, etc.
- Sólido problema (prisma metálico, canica, etc.).

4. PROCEDIMIENTO

- Determinar la masa del cuerpo.
- Determinar el volumen por el método de inmersión en probeta.
- Determinar el volumen midiendo las dimensiones del objeto, y aplicando la fórmula correspondiente.
- Nota: Si el objeto no tiene forma geométrica, utilizar solo el método de inmersión para medir el volumen.

5. ESTUDIO DE LOS RESULTADOS

- Expresar la masa y el volumen con sus cifras significativas correctas.
- Hallar la densidad con sus correspondientes cifras significativas.
- Tratar de identificar el sólido con la ayuda de una Tabla de Densidades.
- Consultar con el Profesor la naturaleza del sólido y el verdadero valor de su densidad. Determinar el error absoluto y el error relativo en %.
- Repetir las medidas si el error es superior al 10 %, y calcular la densidad con los nuevos datos.
- Explicar, si es el caso, es decir, si la diferencia es importante, las posibles causas de error.

6. CUESTIONES

- a) Al medir la masa con una precisión del dg (0.1 g) y del cg (0.01 g), ¿Tendrá esto alguna importancia o influencia respecto del resultado final? ¿Habría alguna diferencia? Razonar la respuesta.
- b) Hacer una investigación bibliográfica resumida de los diversos instrumentos que existen para medir longitudes, diámetros, etc.
- c) Buscar en un libro de Matemáticas el volumen de los sólidos regulares.
- d) Anotar todas las dudas y preguntas que haya sugerido la práctica anterior.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE UN LÍQUIDO

1. OBJETIVO

Determinar la densidad de un líquido desconocido y tratar de identificarlo a partir de este dato.

2. MÉTODO DE TRABAJO

Tomar un volumen dado de un líquido con una pipeta y medir su masa con una balanza. Obtener la densidad por cociente entre ambas magnitudes:

$$\rho = m/V$$

3. MATERIAL

- Balanzas (0.1 g // 0.01 g).
- Pipeta.
- Vasos de precipitados.
- Líquido problema.

4. PROCEDIMIENTO

- Determinar la masa de un vaso de precipitados pequeño, limpio y seco con una balanza.
- Tomar con la pipeta, de una sola vez, 20.0 cm³ del líquido problema y verterlos con cuidado en el vaso. Medir la masa del conjunto con la balanza. La resta entre esta pesada y la anterior es la masa del líquido.
- Conviene ser rápidos al medir la masa para evitar al máximo la posible evaporación del líquido. Tener, también, mucha precaución al aspirar con la pipeta, por si se trata de un líquido tóxico.

5. ESTUDIO DE LOS RESULTADOS

- Anotar los resultados obtenidos: Masa del vaso vacío, masa del vaso con el líquido, masa del líquido y volumen del líquido.
- Calcular la densidad del líquido.
- Expresar todos los valores con el número correcto de cifras significativas.
- Tratar de identificar el líquido con la ayuda de una Tabla de Densidades.
- Consultar, después, con el Profesor acerca de la naturaleza del líquido y su densidad correcta. Anotar los resultados pertinentes.
- Comentar la calidad del trabajo realizado. Hallar el error relativo en %.
¿Cuáles son las causas de las posibles divergencias?
- Si el error es grande, repetir las medidas y dar los nuevos resultados.

6. CUESTIONES

- ¿Es lo mismo medir las masas con precisión 0.1 g que con 0.01 g? ¿Por qué?
- ¿Sería preferible medir los 20.0 cm³ del líquido con una probeta? ¿Y con una bureta? ¿Por qué?
- ¿De qué forma puede disminuirse la evaporación del líquido y su influencia?
- Anotar todas las dudas y preguntas que haya sugerido la práctica anterior.

MOVIMIENTO RECTILINEO UNIFORME (MRU)

1. OBJETIVO

Estudiar el MRU de avance de un punto de ignición sobre una tira de papel impregnada con una disolución de Nitrato de Potasio, KNO_3 .

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

El MRU se caracteriza porque la velocidad del móvil es constante tanto en módulo como en dirección, por lo cual carece de aceleración, tanto tangencial como centrípeta. El móvil recorre espacios iguales en tiempos iguales.

La ecuación del movimiento es:

$$s = s_0 + v t$$

3. MATERIAL

- Disolución saturada de Nitrato de Potasio, KNO_3 .
- Hoja de papel DIN – A4 con una línea de 25 cm pintada con lápiz (Fig. 1)
- Hoja de papel DIN – A4.
- Cronómetro (o reloj de pulsera con segundero).
- Varilla de vidrio (o cuentagotas).

4. PROCEDIMIENTO

- Doblar una hoja de papel en forma de U y poner encima otra preparada como se indica en la Fig. 1. De esta forma podrá circular el aire entre las dos hojas y, además, una vez acabada la experiencia, se podrán recoger las cenizas fácilmente y así dejar limpio el Laboratorio.
- Impregnar la línea de 25 cm dibujada sobre la hoja con una disolución saturada de KNO_3 . Para aplicar la disolución debe utilizarse una varilla de vidrio maciza o un cuentagotas.
- El producto debe estar extendido de una forma lo más homogénea posible, y la línea debe ser lo suficientemente ancha para impedir que la ignición se interrumpa.
- Aplicar sobre el punto A la punta encendida de una mecha de papel sin llama, e ir anotando los valores en la Tabla de Datos.
- Nota: t_0 es el tiempo que marca el cronómetro cuando el punto de ignición alcanza el punto de la división 0.

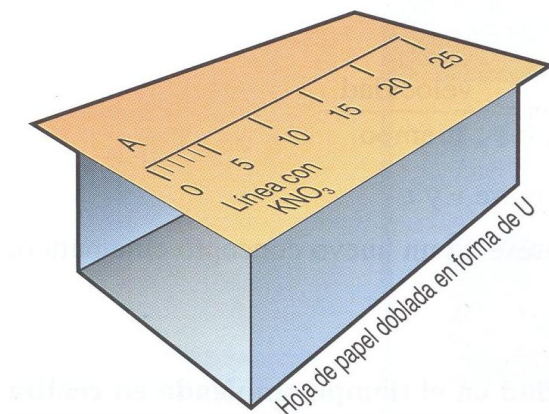


Fig. 1

5. RESULTADOS

- Preparar la Tabla de Datos que se expresa a continuación y anotar en ella los resultados.
- Dibujar una gráfica con el Espacio (s) en ordenadas y el Tiempo (t) en abscisas. ¿Qué forma tiene la línea obtenida?
- Hallar la velocidad numérica en el punto de ignición. ¿Es constante? Determinarla, además, gráficamente. Expresar los resultados en el S.I.

s / cm	Lectura Cronómetro / s	t / s
0	$t_0 =$	$t_0 - t_0 =$
1	$t_1 =$	$t_1 - t_0 =$
2	$t_2 =$	$t_2 - t_0 =$
3	$t_3 =$	$t_3 - t_0 =$
4	$t_4 =$	$t_4 - t_0 =$
5	$t_5 =$	$t_5 - t_0 =$
10	$t_{10} =$	$t_{10} - t_0 =$
15	$t_{15} =$	$t_{15} - t_0 =$
20	$t_{20} =$	$t_{20} - t_0 =$
25	$t_{25} =$	$t_{25} - t_0 =$

6. CUESTIONES

- a) ¿Qué puede deducirse a la vista de la gráfica **s – t**?
- b) Dibujar las gráficas **v – s** y **v – t**.
- c) Completar la frase: “Los espacios y los.....son.....proporcionales”. Escribir la conclusión anterior mediante una ecuación matemática.
- d) ¿Qué nombre recibe la constante de proporcionalidad de la ecuación? ¿En términos gráficos, qué nombre recibe?

MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE ACELERADO (MRUA)

1. OBJETIVO

Investigar las características del movimiento de una bola de acero cuando se deja caer por un plano inclinado.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Cuando se deja caer una pequeña bola de acero por un plano inclinado, nos parece que cae con rapidez creciente, es decir, de forma acelerada. ¿Se tratará de un Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA)? Para que lo sea, es preciso que exista una aceleración y que ésta sea constante.

En el MRUA la ecuación que expresa la distancia recorrida en función del tiempo es: $s = s_0 + v_0 \cdot t + a \cdot t^2 / 2$. En nuestra experiencia $s_0 = 0$ y la bola cae sin velocidad inicial ($v_0 = 0$). La ecuación queda como: $s = a \cdot t^2 / 2$.

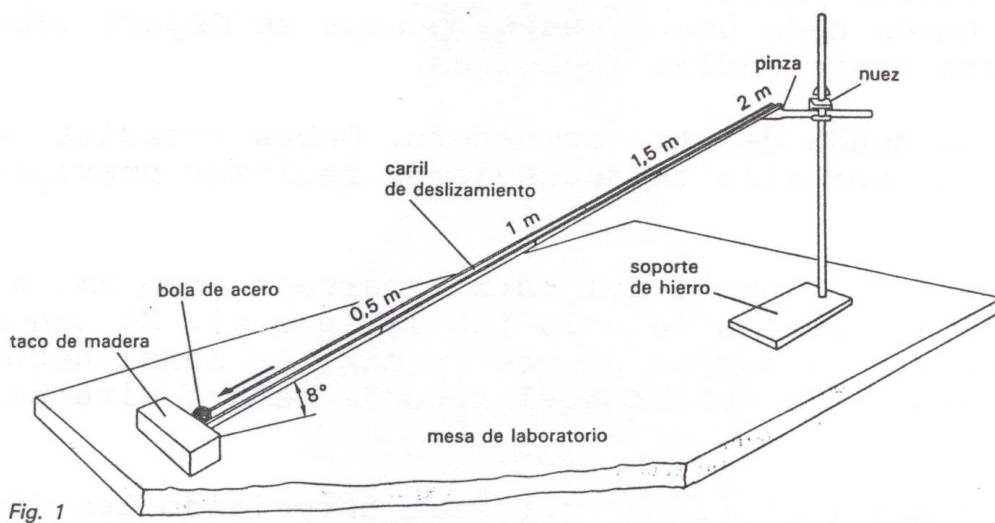
Y si es verdad que la bola cae con aceleración constante, la expresión anterior tendrá la forma: $s = K \cdot t^2$. Es decir, la distancia recorrida es directamente proporcional al cuadrado del tiempo empleado.

3. MATERIAL NECESARIO

- Varias bolas de acero de diversos tamaños.
- Cronómetro.
- Soporte de hierro provisto de pinza y nuez.
- Carril de 2 m de longitud (puede ser un perfil metálico de sección recta, por ejemplo, el de una estantería metálica, por el cual rodará la bola).
- Taco de madera.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Realizar el montaje representado esquemáticamente en la **Fig. 1**.



- Marcar en el carril, previamente, las siguientes distancias: 0.5 m; 1.0 m; 1.5 m; 2.0 m. Desde cada uno de estos puntos se dejará caer la bola de acero en cuatro experiencias sucesivas.

- Se ha de actuar por parejas y coordinar adecuadamente las acciones. Se recomienda realizar previamente algunos ensayos.
- Sujetar la bola en el punto del carril marcado como 2.0 m. A una señal óptica u acústica hecha por el miembro de la pareja que sujeta la bola, soltará a ésta (no la lanzará), y el otro miembro de la pareja pondrá el cronómetro en marcha y lo parará cuando oiga chocar la bola contra el taco de madera situado al final del carril.
- Anotar en la **Tabla 1** el tiempo obtenido, apreciando las décimas de segundo. Repetir la experiencia cuatro veces más, anotando cada vez el tiempo obtenido.
- Siguiendo el mismo procedimiento, dejar caer la bola sucesivamente desde las marcas situadas a 1.5 m, 1.0 m y 0.5 m, respectivamente.

5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- Tabla de Datos: En la Tabla 1 hacer constar las distancias recorridas por la bola (**s**) y los tiempos empleados en ello (**t**). El tiempo medio ($\bar{t}$) es la media aritmética de los cinco tiempos. Hallar, también, los valores de t^2 y de la aceleración en cada experiencia ($a = 2 \cdot s / t^2$). Si la aceleración obtenida es constante, dentro de los errores experimentales, el movimiento investigado será un MRUA.

Exp.	s / m	t / s					$\bar{t}/s$	t^2 / s^2	a / m·s ⁻²
		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅			
1 ^a	2.0								
2 ^a	1.5								
3 ^a	1.0								
4 ^a	0.5								

Tabla 1

- Gráfica distancia recorrida – cuadrado del tiempo: Representar sobre papel milimetrado la gráfica **s – t²**. En ordenadas **s** y en abscisas **t²**. La gráfica pasará por el origen de coordenadas, ya que cuando **t = 0**, también **s = 0**. Si se obtiene una línea recta, se habrá comprobado el hecho de que **s = K · t²**, es decir, que la bola cae con MRUA. La pendiente o inclinación es **a / 2**. Calcularla gráficamente. Deberá coincidir apreciablemente con el valor anterior.

6. CUESTIONES

a) ¿La aceleración obtenida depende de la masa de la bola de acero? (Repetir alguna de las experiencias con una bola de masa distinta a la anterior, comparar los tiempos obtenidos y responder).

b) ¿La aceleración de caída depende de la inclinación del carril? (Colocar la pinza sobre la que se apoya el carril a una altura mayor o menor que la empleada antes. Repetir alguna de las experiencias, comparar el tiempo obtenido con el anterior, y si no es igual calcular la aceleración como se ha indicado y emitir una conclusión).

c) Si el carril se hubiera colocado verticalmente sobre la mesa, formando con ésta un ángulo de 90° , ¿Con qué aceleración hubiera caído la bola?

d) Representar en papel milimetrado la gráfica distancia recorrida – tiempo, es decir, $s - t$. ¿Qué forma tiene? ¿Concuerda con lo estudiado en la Teoría del MRUA?

e) Posiblemente, los resultados obtenidos en la medida de los tiempos, en el cálculo de la aceleración y en la gráfica $s - t^2$ no son tan buenos como se desearía. ¿Cuál es la causa de estos errores experimentales?

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA CAÍDA LIBRE

1. OBJETIVO

Estudiar y comprobar las leyes de la caída libre de los cuerpos y calcular la aceleración de la gravedad.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

El dispositivo que se ilustra en la Figura 1 permite medir el tiempo de caída de un taco de hierro entre un punto origen del movimiento y otro cualquiera variable. Se trata de un MRUA sin espacio ni velocidad inicial. La ley que rige el movimiento es:

$$s = g \cdot t^2 / 2$$

El dispositivo de medida es un contador electrónico que mide el tiempo de caída de un cuerpo entre dos puertas fotoeléctricas. La primera, situada en el mismo origen del movimiento, pone en marcha el contador a la vez que se inicia la caída, hasta que pasa por la segunda puerta, que actúa parando el contador.

Las puertas miden el tiempo con una precisión de 0.001 s y la distancia recorrida se mide con la regla graduada con una precisión de 0.001 m. Para poder establecer la ley es preciso obtener cinco o seis pares de valores (s, t) correspondientes a otras tantas posiciones de la puerta con contador situada en la parte inferior.

A partir de los pares de valores medidos se realiza una representación gráfica en unos ejes **x – y** con la siguiente analogía:

$$\begin{array}{l} y = 2 s \\ x = t^2 \end{array}$$

De forma que la gráfica de la ecuación de arriba debe ser una línea recta. La pendiente de la recta es el valor de **g** y la ordenada en el origen indica que el principio del movimiento no coincide exactamente con la primera puerta. Si así sucede, hay que hacer la corrección correspondiente desplazando en paralelo el eje de abscisas.

3. MATERIAL NECESARIO

- Pie cónico.
- Varilla cuadrada de 250 mm / Varilla cuadrada de 1000 mm.
- Nueces dobles / Pinza de mesa.
- Corredera para regla.
- Bola de péndulo.
- Metro graduado.
- Taco de hierro.
- Alimentador a 5 V c.c.
- Puerta fotoeléctrica / Puerta fotoeléctrica con contador.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Realizar el montaje de la Figura 1 procurando conectar adecuadamente las puertas fotoeléctricas (se unen entre sí colores iguales y a continuación al alimentador de 5 V c.c.). Después el contador de la puerta inferior se coloca en posición de medir el tiempo que tarda el objeto que cae en interrumpir el haz de las dos puertas.

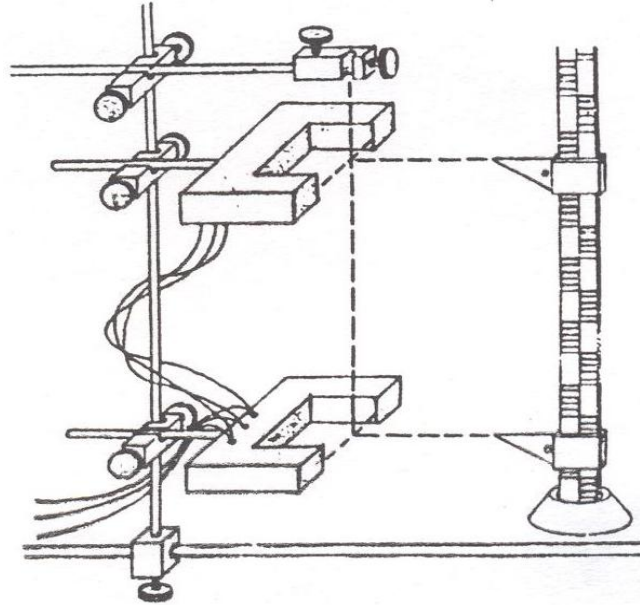


Figura 1

- Conseguir la alineación vertical de los dos haces de infrarrojos de las puertas con ayuda de un péndulo que haga de plomada. Los puntos medios de los dos haces deben quedar interceptados por la plomada.
- Se utiliza como objeto que cae un taco de hierro. Este se sujeta con una nuez de forma que su cara inferior quede tangente al haz de infrarrojos de la puerta superior. Es muy importante situar correctamente el taco, pues la precisión de la medida depende de ello.
- Medir espacios (**s**) y tiempos (**t**).

5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- Completar la Tabla de Datos adjunta.
- Dibujar la Gráfica **y** frente a **x**, es decir, **2 s** frente a **t²**. Obtener **g** de la Gráfica.

Puntos de Medida		1°	2°	3°	4°	5°
Espacios (s)						
Tiempos (t)	1°					
	2°					
	3°					
	4°					
	5°					
Tiempo Medio ($\bar{t}$)						
$(\bar{t})^2$						
$g = 2 \cdot s / (\bar{t})^2$						

6. CUESTIONES

- a) ¿Qué Gráfica se obtiene al representar $2s$ frente a t ?
- b) Indicar todas las posibles fuentes de error en el experimento y analizar la forma de solucionarlos o de minimizarlos.
- c) ¿Cuál sería la pendiente de la recta si se representa t^2 frente a $2s$?
- d) Comparar los valores de g , es decir, el valor obtenido de la Gráfica y el valor medio obtenido de la Tabla de Datos anterior.
- e) Anotar todas las dudas y sugerencias que hayan surgido en la realización de la práctica.

LA LEY DE HOOKE

1. OBJETIVO

Comprobar la *Ley de Hooke* mediante un resorte elástico, determinar la constante elástica de éste y pesar algún objeto utilizando el resorte anterior como dinamómetro.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Si se somete un sólido a la acción de una fuerza, su forma y su volumen experimentan cambios que dependen de las características del cuerpo y de la fuerza ejercida sobre él. En general, todos los cuerpos tienden a poseer una forma estable, por lo cual reaccionan contra las fuerzas deformadoras. Estas fuerzas de reacción se llaman “fuerzas elásticas”.

Cuando un cuerpo recobra su forma y volumen primitivos al cesar la fuerza deformante se dice que ha experimentado una deformación elástica. En caso contrario, la deformación se llama inelástica o plástica.

En los cuerpos elásticos las deformaciones son proporcionales a las fuerzas que las producen, siempre que dichas fuerzas no hagan superar al cuerpo su “límite de elasticidad”, a partir de cuyo momento no se recupera al cesar la fuerza deformante. Este enunciado constituye la *Ley de Hooke*.

Un ejemplo de cuerpo elástico es el resorte elástico (muelle helicoidal). Cuando de su extremo se cuelga un cuerpo, sufre una deformación que da lugar a que aparezca la fuerza recuperadora, alcanzándose, finalmente, si el peso no es demasiado grande, una posición de equilibrio en la que se cumple:

$$F = K \cdot \Delta x$$

O bien

$$m \cdot g = K \cdot \Delta x$$

siendo Δx la deformación o alargamiento del muelle y K su constante recuperadora, que es característica de cada muelle.

3. MATERIAL

- Soporte de Hierro / Pie.
- Dos nueces dobles.
- Pinzas de bureta (para sostener la regla graduada).
- Varilla metálica (para sostener el muelle).
- Muelle helicoidal con índice.
- Portapesas o Platillo (para aplicar la carga).
- Juego de pesas o discos ranurados de peso conocido.
- Regla graduada en mm.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

- Preparar el montaje indicado en la Figura 1.
- Antes de colgar el portapesas, ajustarlo a cero, de modo que el índice del muelle coincida con el cero de la regla o con otro valor que se elija y que se tomará como “cero”.
- Pesar el portapesas que se vaya a utilizar, utilizando una balanza.

- Colocar sobre el portapesas los discos o pesos necesarios para lograr un alargamiento apreciable.
- Medir el alargamiento que experimenta el muelle. Es fundamental que la línea de visión sea horizontal para evitar errores de paralaje.
- Anotar en la Tabla 1 los datos obtenidos.
- Añadir pesas sucesivamente, por ejemplo, de 10 g en 10 g, anotando en cada caso el valor de las pesas más el del portapesas, así como el alargamiento conseguido. Realizar de esta forma seis medidas.
- Repetir la experiencia dos veces. De este modo se obtendrán dos valores del alargamiento Δx para cada carga aplicada.

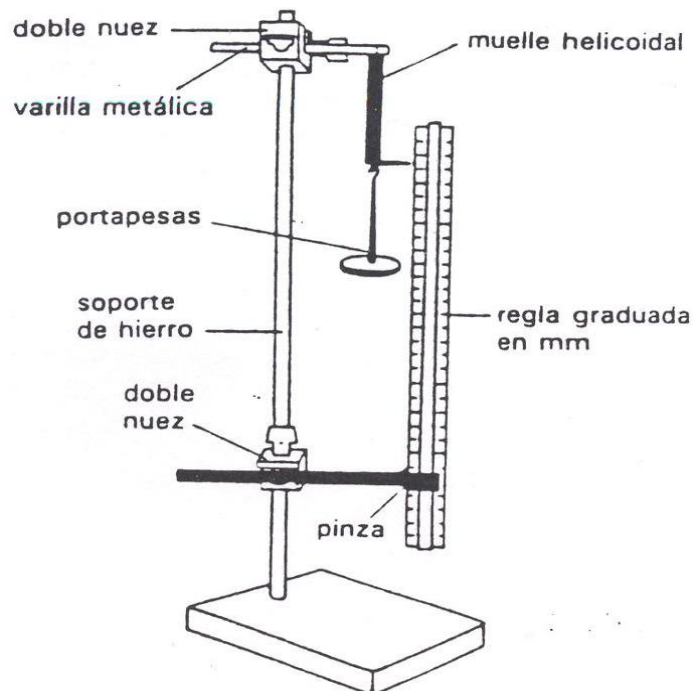


Figura 1

5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- Tabla de Datos: Completar la Tabla 1, considerando que m es la masa de las pesas más el portapesas y que la fuerza aplicada F es el peso aplicado al muelle. Tomar $g = 9.80 \text{ m/s}^2$.
- Gráfica Fuerza aplicada – Alargamiento producido: Representar en papel milimetrado la gráfica $F - \Delta x$, es decir, F en el eje de ordenadas e Δx en el eje de abscisas. Uniendo los puntos obtenidos, y dentro de los errores experimentales, se obtendrá una línea recta que pasa por el origen de coordenadas y cuya pendiente o inclinación es la constante elástica K . Esto significa que “el alargamiento del muelle es directamente proporcional a la fuerza aplicada”. Así, si cierta fuerza origina un alargamiento determinado, una fuerza doble producirá doble alargamiento, una fuerza triple el triple, etc. Los cocientes $F/\Delta x$ obtenidos deben ser sensiblemente iguales, y coincidir muy apreciablemente con la pendiente gráfica. Los efectos de las fuerzas son independientes del orden de colocación y de que exista o no previamente otra fuerza.

Medida	m/kg	(F=P=m·g)/N	x ₀ /m	x/m		(Δx=x-x ₀)/m		Δx̄ /m	(K=F/ Δx̄)/N·m ⁻¹
				x ₁	x ₂	Δx ₁	Δx ₂		
1									
2									
3									
4									
5									
6									

Tabla 1

6. CUESTIONES

a) Tomando como base la experiencia realizada, ¿Cómo se podría graduar un dinamómetro?

b) ¿Qué resultados se obtendrían con un muelle distinto? Razonar la respuesta analizando las distintas posibilidades.

c) ¿La línea obtenida en la gráfica es verdaderamente una línea recta? ¿Cuál puede ser el motivo?

d) Realizar la siguiente aplicación: Colgar del muelle un cuerpo cualquiera, leer la deformación y, mediante la gráfica, calcular su peso interpolando. Comparar el resultado con el obtenido midiendo la masa en una balanza.

COMPOSICIÓN DE FUERZAS CONCURRENTES

1. OBJETIVO

Comprobar experimentalmente la Regla del Paralelogramo para sumar fuerzas concurrentes.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

El módulo de la fuerza resultante R de componer dos fuerzas F_1 y F_2 de la misma dirección y sentido es la suma de los módulos de aquéllas ($R = F_1 + F_2$). Si son de sentido contrario, el módulo de la resultante es la resta de los módulos ($R = F_1 - F_2$), y sentido el de la mayor F_1 .

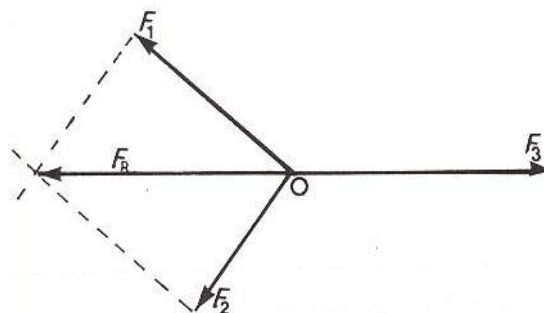
Si las direcciones de las fuerzas forman entre sí un ángulo cualquiera α se aplica la Regla del Paralelogramo para obtener la resultante. El valor numérico se obtiene aplicando el Teorema del Coseno, resultando:

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}$$

Si $\alpha = 90^\circ$, considerando este ángulo en la fórmula anterior o el Teorema de Pitágoras, resulta: $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$.

Si se trata de fuerzas paralelas del mismo sentido el módulo de la resultante es la suma de los módulos y su punto de aplicación está entre las fuerzas originales, mientras que si son de sentido contrario hay que restar los módulos y el punto de aplicación está fuera de la línea que une a las fuerzas originales.

Se trata de construir un sistema de tres fuerzas F_1 , F_2 y F_3 que se encuentra en equilibrio. Esto significa que F_3 es la equilibrante del sistema formado por F_1 y F_2 . Después se dibuja la diagonal del paralelogramo limitado por F_1 y F_2 y se comprueba que es igual y opuesta a F_3 . Por tanto, esta diagonal es la resultante de F_1 y F_2 , ya que forma con la equilibrante F_3 un sistema nulo.



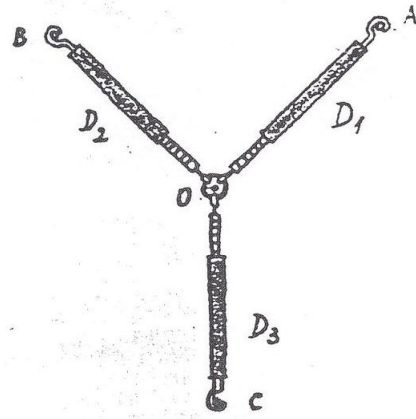
3. MATERIAL NECESARIO

- Tres dinamómetros iguales / Anilla / Tres tachuelas grandes o clavos.
- Soporte de corcho / Cinta adhesiva / Hoja de papel grande (doble folio).
- Regla / Escuadra.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

a) Realizar el montaje del esquema indicado más abajo. Para ello es necesario:

- Fijar la hoja de papel sobre el soporte de corcho (o mesa de madera) con papel o cinta adhesiva. Clavar las tachuelas A y B y colocar en ellas los dinamómetros D_1 y D_2 .



- Colocar la anilla y el dinamómetro D_3 . Tirar del dinamómetro D_3 hasta que los tres dinamómetros indiquen lecturas perfectamente medibles, hacia el centro de su escala.
 - Fijar D_3 con una tachuela (punto C) procurando evitar el rozamiento de los dinamómetros con la mesa o soporte, y entre la escala y la cápsula del dinamómetro.
 - Marcar con un lápiz el centro de la anilla (punto O).
- b)** Anotar las indicaciones de los tres dinamómetros (F_1 , F_2 y F_3).
- c)** Desmontar el conjunto y trazar sobre el papel las líneas OA, OB y OC.
- d)** Dibujar sobre estas líneas, y siempre en la misma escala, los tres vectores, es decir, las tres fuerzas, F_1 , F_2 y F_3 , tomando como origen el punto O.
- e)** Dibujar con sumo cuidado, utilizando la regla y la escuadra, la diagonal del paralelogramo construido sobre F_1 y F_2 , es decir, la resultante de F_1 y F_2 . Llamarla F_R . Medir la longitud de esta diagonal F_R y compararla con la de F_3 . ¿Qué conclusiones se obtienen? Comprobar también que se encuentra en la misma dirección de F_3 .
- f)** En el caso de que las conclusiones no concuerden con las previstas por la Regla del Paralelogramo o no coincida la dirección, repetir la experiencia.

5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- Anotar en el Cuaderno de Laboratorio los módulos F_1 , F_2 y F_3 , así como la longitud de la diagonal F_R .
- ¿Están F_3 y la diagonal F_R en la misma dirección y tienen sentido opuesto?
- ¿Cuál es la conclusión obtenida? ¿Queda la Regla del Paralelogramo suficientemente probada?

6. CUESTIONES

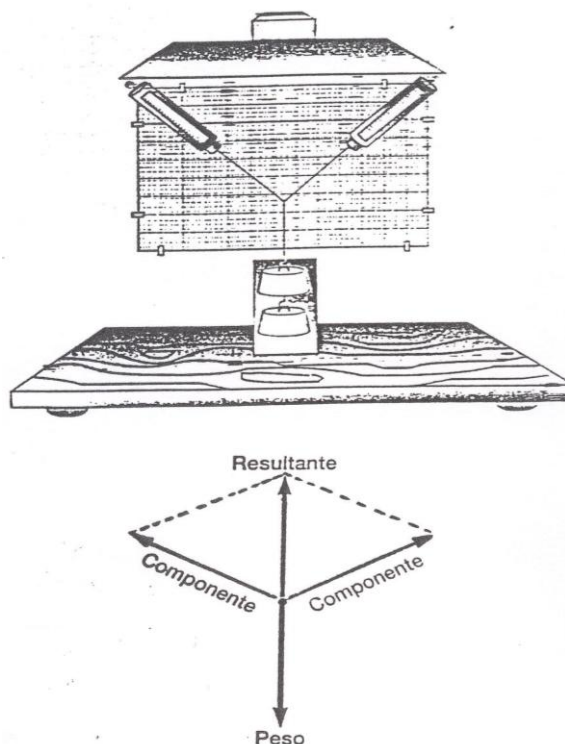
- a) Determinar el valor del módulo de la resultante de dos fuerzas concurrentes perpendiculares: $F_x = 8 \text{ N}$ y $F_y = 6 \text{ N}$. ¿Qué ángulo forma la resultante con el eje OX (+)? ¿Cuánto valdría la resultante si el ángulo entre ellas fuera de 60° ?
- b) Una fuerza F_1 de 500 N está dirigida hacia el E, otra F_2 de 400 N hacia el N y una tercera F_3 de 200 N hacia el O. Determinar gráfica y numéricamente el valor de la resultante en módulo y dirección.
- c) Suponer dos fuerzas de módulos $F_1 = 5 \text{ N}$ y $F_2 = 6 \text{ N}$. ¿Puede asegurarse que el módulo de su suma o resultante es 11 N? Razonar la respuesta.
- d) Describir algún caso práctico habitual donde se ponga de manifiesto la composición de dos fuerzas concurrentes.
- e) Dos individuos tiran de dos cuerdas unidas a una pesada mesa para trasladarla. ¿Cuál es la forma más cómoda de hacerlo?
- f) Al resolver problemas de fuerzas se utiliza, unas veces, la Regla del Polígono, y otras veces, la descomposición de fuerzas. Indicar en qué consisten.
- g) Anotar las dudas, sugerencias y observaciones aparecidas en la práctica.

7. ANEXO: Puede realizarse una práctica similar a la anterior:

Material: Tablero de 40 cm x 40 cm / Dos dinamómetros / Pesas conocidas / Hilos de seda finos / Papel milimetrado.

Montaje y Realización:

Monta en un tablero los dinamómetros, el papel milimetrado y las pesas, conforme se indica en la figura adjunta:



Con un lápiz o bolígrafo de punta fina señalar varios puntos para indicar las direcciones de las fuerzas actuantes. Los hilos servirán de referencia.

Retirar del tablero el papel milimetrado, y una vez trazadas completamente las direcciones de las fuerzas actuantes, dibujarlas a escala. Los valores de las fuerzas componentes vienen señalados por los dinamómetros y el del peso se conoce por las pesas colocadas.

Construir la fuerza resultante y comprobar que su valor equivale al del peso colocado.

PÉNDULO SIMPLE. MEDIDA DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD

1. OBJETIVO

Comprobar la Ley del Péndulo Simple y determinar el valor numérico de la aceleración de la gravedad terrestre.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Un péndulo matemático es un punto material que oscila suspendido en un hilo inextensible y sin masa. Es puramente ideal y una aproximación bastante cercana al mismo es el péndulo simple, que consiste en un cuerpo cualquiera (generalmente una esferita metálica) de gran masa y poco volumen que oscila pendiente de un eje horizontal que no pasa por su centro de gravedad.

Si el péndulo está en reposo, hilo y esferita adoptan la posición que señala la vertical. Si se separa de su posición de equilibrio un ángulo dado, realizando un trabajo, y se deja libre, oscilará a un lado y a otro de aquella posición. Para oscilaciones de pequeña amplitud se tiene un **MVAS** (Movimiento Vibratorio Armónico Simple), puesto que al confundirse la cuerda con el arco, la trayectoria puede suponerse rectilínea. El trabajo realizado se manifestará como energía potencial gravitatoria de la esfera, como energía cinética o como energía potencial y energía cinética, según cuál sea la posición de la esfera.

La única fuerza que actúa sobre la esfera es su peso, $m \cdot g$, que puede descomponerse en sus componentes rectangulares (**Figura 1**):

$F' = m \cdot g \cdot \cos \alpha$, en la dirección del hilo; su efecto físico es mantenerlo tenso.

$F = -m \cdot g \cdot \sen \alpha$, perpendicular al hilo, y que origina el movimiento oscilante.

El signo (–) se debe a que el sentido de la fuerza productora del movimiento pendular es contrario al de la elongación, y tiende a disminuir el valor de α , es decir, es atractiva hacia un punto fijo (posición de equilibrio).

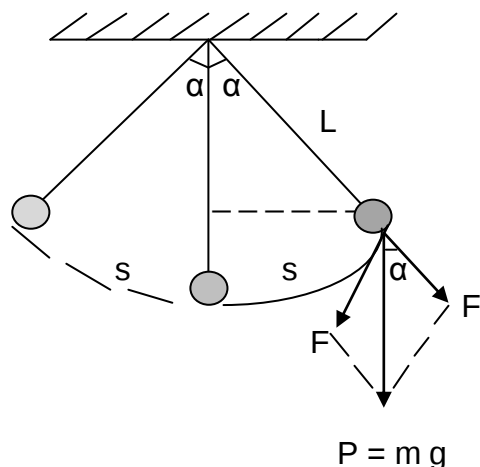


Figura 1

Si α es pequeño, $\sen \alpha = \alpha$ (en rad), con lo cual, $F = -m \cdot g \cdot \alpha$, y como $s = L \cdot \alpha$ (arco = radio $\cdot$ ángulo), entonces, $F = -m \cdot g \cdot s / L$, y como m , g y L son constantes para un péndulo dado que oscila en un determinado punto, $F = -K \cdot s$, con $K = m \cdot g / L = \text{Constante}$. Esa ecuación indica que la fuerza es variable, y directamente proporcional a la elongación, a través de la constante elástica K .

Sustituyendo este valor de **K** en la expresión general del periodo de un MVAS, $T = 2\pi\sqrt{m/K}$, se obtiene la Ley del Péndulo Simple: $T = 2\pi\sqrt{L/g}$. En ella se observa que **T** es independiente de la masa y de la naturaleza del punto oscilante, así como de la amplitud de la oscilación. Además, **T** es directamente proporcional a $\sqrt{L}$ e inversamente proporcional a $\sqrt{g}$.

Aplicación: La medida del periodo de oscilación, **T**, de un péndulo simple en un cierto lugar, puede utilizarse para calcular **g** en ese punto. De la ecuación anterior se deduce fácilmente: $g = 4\pi^2 \cdot L / T^2$. Dadas las dificultades de construcción del péndulo, los rozamientos, etc., se obtienen valores aproximados.

3. MATERIAL NECESARIO

- Dos bolas de distinto material (metal, corcho, madera...) con tornillo.
- Hilo de nylon o de seda (de unos 2 m de longitud).
- Cronómetro.
- Cinta métrica (2 m) / Calibre.
- Soporte para el péndulo: Tornillo de mesa, varilla soporte, nuez doble y mordaza con varilla.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Montar el dispositivo de la **Figura 2**.

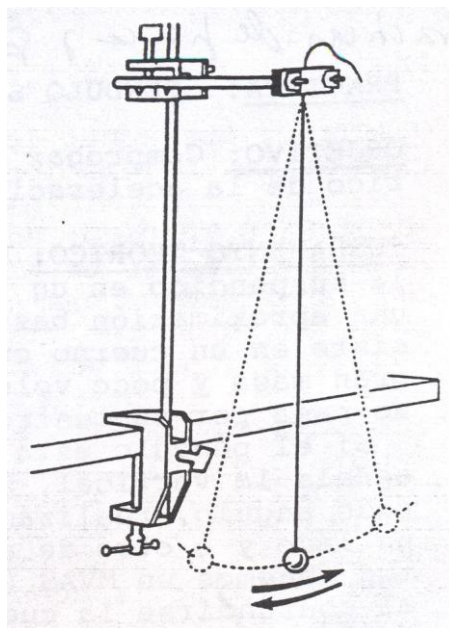


Figura 2

- Medir la longitud del hilo (desde el apoyo al centro de la bola). Se recomienda actuar como sigue: Aflojar la mordaza, bajar la bola hasta tocar la mesa (o el suelo), medir con la cinta métrica hasta el borde de la mordaza, y restar el radio de la bola (el diámetro se debe medir previamente con un calibre). Subir, posteriormente, la mordaza para que no tropiece el péndulo.

c) ¿Cómo sería la gráfica $T - L$ en un péndulo simple?

d) Considerar dos péndulos de igual longitud e igual masa. Uno de ellos da oscilaciones de 5° y el otro de 10° . ¿Cuál tarda más tiempo en realizar 100 oscilaciones?

e) ¿Por qué razón es conveniente para determinar el periodo medir el tiempo de no menos de 50 oscilaciones en lugar de determinar directamente dicho periodo?

f) Un reloj de péndulo funciona bien aquí y en primavera. Razonar si adelantará o retrasará en: i) El Polo Norte; ii) El Ecuador; iii) La Luna; iv) El Himalaya; v) Invierno; vi) Verano.

g) ¿Influye la gravedad en la marcha de un reloj de pulsera?

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE ROZAMIENTO

1. OBJETIVO

Determinar el coeficiente de rozamiento entre dos superficies y comprobar la proporcionalidad entre la fuerza de rozamiento y la componente normal del peso.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

La fuerza de rozamiento se debe a las irregularidades presentes en mayor o menor medida en las superficies. Es consecuencia de que las superficies de los cuerpos no son lisas sino rugosas. Su intensidad depende del mayor o menor grado de acoplamiento entre las irregularidades de las superficies en contacto. Se produce siempre que haya movimiento relativo entre dos superficies.

Se distingue entre rozamiento por deslizamiento y rodamiento por rodadura (al menos una de las superficies es curva). Por otra parte, el rozamiento es distinto cuando un cuerpo está en movimiento (dinámico) o pretende iniciarlo (estático).

El estudio del rozamiento es totalmente experimental. Puede comprobarse que la fuerza de rozamiento es directamente proporcional a la fuerza que actúa en dirección normal al desplazamiento:

$$F_R = \mu \cdot N$$

La constante de proporcionalidad μ se llama coeficiente de rozamiento, y su valor es característico de las superficies en contacto.

Se trata de medir la fuerza necesaria para que un bloque de madera (u otro material) comience a deslizarse por una superficie horizontal. Esta fuerza equivale a la fuerza de rozamiento. Determinando previamente el peso del bloque puede calcularse el coeficiente de rozamiento con la fórmula anterior. Es preciso efectuar varias medidas para representar los valores gráficamente y obtener la media de los valores del coeficiente de rozamiento.

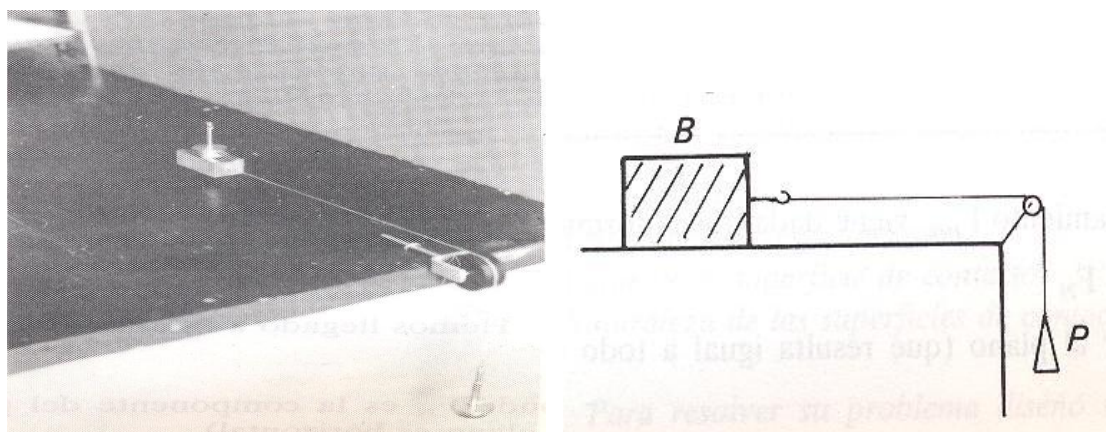
3. MATERIAL NECESARIO

- Bloque de madera (u otro material) con gancho / Polea / Balanza.
- Mordaza y pinza de bureta / Caja de pesas / Platillo o portapesas.
- Objetos de masa conocida.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Pesar el bloque de madera B y el platillo P (Ver figura adjunta). Anotar los resultados.
- Preparar el montaje de la figura. La polea debe sujetarse firmemente al borde de la mesa mediante un sistema de pinza y mordaza u otro procedimiento cualquiera. Procurar que el hilo que une el bloque B y el platillo P sea fino y que la polea gire sin dificultad. Las superficies de rozamiento de la mesa y del bloque deben estar perfectamente limpias de suciedad. Asegurarse bien de este punto.

- Ir colocando pesas en el platillo P, justamente hasta que el bloque comience a deslizarse. Del cuidado de esta operación depende, en buena parte, el éxito de la experiencia. A veces conviene “ayudar” ligeramente al bloque, dándole un ligerísimo impulso inicial. Unos cuantos tanteos serán suficientes para adquirir la habilidad necesaria. Anotar el valor de las pesas utilizadas. Basta con apreciar hasta el gramo.



- Retirar las pesas del platillo y colocar encima de B un objeto de masa conocida. Pueden servir pesas u otro cuerpo cualquiera. Procurar que el peso del conjunto se incremente en no menos del 25 % respecto al peso del bloque. Colocar ahora pesas en el platillo, hasta que, de nuevo, el bloque comience a deslizarse. Anotar el valor de las pesas del platillo.
- Repetir la operación anterior otras tres o cuatro veces.

5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- Teniendo en cuenta que en la fórmula citada anteriormente, F_R viene dada por el peso del platillo y las pesas incorporadas en cada caso, y que N es el peso del bloque y los objetos colocados sobre él, completar el siguiente cuadro:

N (Peso del bloque más Objetos) / N				
F_R (Peso del platillo más Pesas) / N				

- Representar gráficamente los valores de F_R (en ordenadas) frente a N (en abscisas). ¿Qué conclusiones pueden obtenerse?
- Calcular el valor medio de μ . Consultar con el profesor el valor correcto y juzgar la calidad de la medida efectuada.

6. CUESTIONES

- Suponiendo que el peso total del bloque anterior fuera de 2 kilopondios (kg_f) (masa de 2 kg), ¿Cuál sería la fuerza de rozamiento?
- ¿Se hubiera obtenido igual valor para el coeficiente de rozamiento si la superficie de la mesa hubiera estado inclinada? Razonar la respuesta.
- Puede sustituirse el sistema hilo – platillo por un dinamómetro unido al bloque B. ¿Qué ventajas y qué inconvenientes supone este sistema?
- ¿Cuáles son las principales causas de error en la experimentación anterior?
- Anotar todas las dudas y observaciones que hayan surgido en la práctica.

PRESIÓN HIDROSTÁTICA

1. OBJETIVO

Se pretende comprobar de manera experimental las variables que determinan el valor de la presión hidrostática.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Un fluido pesa y ejerce presión sobre las paredes del fondo del recipiente que lo contiene y sobre la superficie de cualquier objeto sumergido en él. Esta presión que es debida al peso del fluido en reposo recibe el nombre de presión hidrostática. Es la presión que sufren los cuerpos sumergidos en un líquido o fluido por el simple y sencillo hecho de sumergirse dentro de éste.

Se calcula mediante la ecuación: $p = \gamma \cdot h = \rho \cdot g \cdot h$, donde:

p = Presión Hidrostática (en Pa, pascuales).

γ = Peso Específico del fluido (en N/m^3).

h = Profundidad bajo la superficie del fluido o la altura del fluido (en m).

ρ = Densidad del fluido (en kg/m^3).

g = Aceleración de la gravedad (en m/s^2 o N/kg).

La presión hidrostática provoca, en fluidos en reposo y en equilibrio, fuerzas perpendiculares sobre cualquier superficie sumergida en su interior y sobre las paredes del recipiente, sin importar la orientación que adopten las caras.

La diferencia de presión entre dos puntos del fluido separados una distancia vertical Δh será:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

Si uno de los puntos está en la superficie del líquido, en ese punto la presión es la presión atmosférica, $p_0 = 101325 \text{ Pa}$.

Si hay flujo de fluido las fuerzas resultantes de las presiones ya no serían necesariamente perpendiculares a las superficies. En un fluido en movimiento puede aparecer, además, una presión hidrodinámica adicional relacionada con la velocidad del fluido.

El Principio de Arquímedes indica que todo cuerpo sumergido total o parcialmente en un fluido experimenta una fuerza de empuje vertical y hacia arriba igual al peso del volumen del fluido desalojado.

Además, en un fluido incompresible, la presión se transmite íntegramente y por igual en todas las direcciones (Principio de Pascal).

3. MATERIAL NECESARIO

- Manómetro de aire libre / Cápsula Manométrica / Tubo de goma o plástico / Jeringuilla / Probeta.
- Base con soporte / Pinza de bureta / Nuez.
- Banda de goma / Papel de celofán / Globo / Regla milimetrada.
- Tetracloruro de Carbono / Alcohol Etílico / Agua salada.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Con un manómetro de aire libre se mide la presión hidrostática a diferentes profundidades, con distintos líquidos y en diferentes orientaciones. Es decir, se trata de analizar los factores de los que depende la presión hidrostática y observar que actúa por igual en todas las direcciones. Ver **Figura 1**.
- Colocar el manómetro sobre una base con soporte, sujeto en posición vertical. Después, poner Agua con la jeringuilla hasta que alcance aproximadamente la mitad de ambas ramas. Procurar que no se formen burbujas de aire.
- Conectar al manómetro el tubo de goma o plástico y al extremo de éste adaptar la cápsula manométrica tapada con papel de celofán o con un trozo de globo tenso (membrana) asegurado con la banda de goma.
- Verter Tetracloruro de Carbono en la probeta y sumergir la cápsula manométrica hasta una cierta profundidad.
- Anotar el desnivel indicado por el manómetro.
- Medir con la regla milimetrada la profundidad a que se encuentra la membrana de la cápsula y anotar el resultado.
- Repetir las medidas para otra profundidad.
- Cambiar la orientación de la cápsula poniéndola inclinada a diferentes profundidades.
- Recuperar el Tetracloruro de Carbono.
- Poner Alcohol Etilico (Etanol) en la probeta y repetir todas las medidas anteriores.
- Repetir la experiencia con Agua salada.

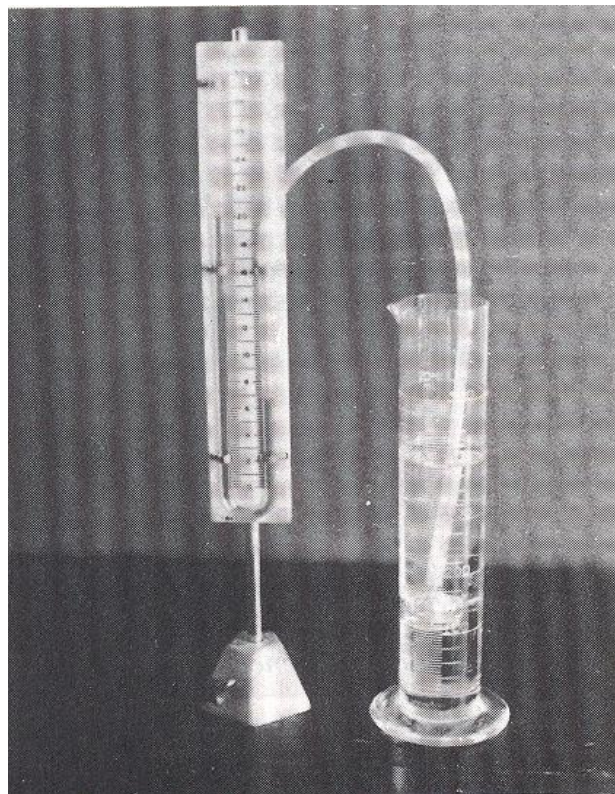


Figura 1

5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- Con los datos obtenidos completar el siguiente cuadro:

Orientación de la cápsula	Líquido de la probeta	$\rho / \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	h / m	Presión Hidrostática $p = \rho \cdot g \cdot h$	Presión Manométrica (Real)
	CCl₄				
	“				
	“				
	CH₃CH₂OH				
	“				
	“				
	H₂O				
	“				
	“				

- ¿Coincide la presión hidrostática teórica con la real? ¿Qué conclusiones pueden obtenerse?
- ¿Actúa la presión hidrostática en una dirección determinada? ¿Por qué? ¿Qué podría hacerse para obtener mayor seguridad?
- Representa en los mismos ejes de coordenadas las gráficas, presión manométrica real – profundidad, correspondientes al Tetracloruro de Carbono, al Alcohol Etilico y al Agua salada. ¿Qué conclusiones pueden obtenerse?

6. CUESTIONES

a) ¿Por qué las gráficas presión – profundidad, **p – h**, de los tres líquidos investigados tienen distinta pendiente? ¿Qué magnitud podría obtenerse midiendo la pendiente de estas rectas?

b) Considerar la siguiente Tabla de Datos que representa la relación presión hidrostática (p) – profundidad (h) para un líquido desconocido X:

p / Pa	13330	26660	39990	53320
h / m	0.10	0.20	0.30	0.40

Dibujar la gráfica correspondiente. ¿De qué líquido X se trata?

c) Cuando se inicia la experiencia, ¿Qué nivel tiene el Agua en las dos ramas del tubo manométrico? ¿Cuál será la presión del aire encerrado en la cápsula y en el tubo de plástico en esta situación?

d) ¿Hubiera sido mejor poner Mercurio en el interior del manómetro?

e) Anotar todas las dudas, sugerencias u observaciones personales que hayan aparecido durante la realización de esta práctica.

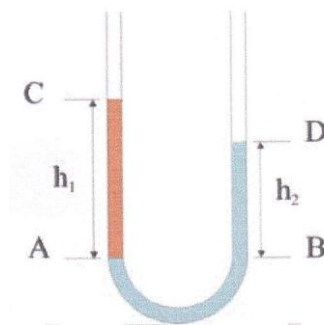
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE UN ACEITE

1. OBJETIVO

Determinar la densidad de un líquido inmiscible con el Agua comparando las presiones hidrostáticas que ejercen ambos líquidos en dos columnas de vasos comunicantes.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Cuando se vierte Agua por un extremo de un tubo en U y Aceite por el otro, cada líquido ejerce una presión hidrostática determinada que solamente depende de la altura de la columna y de su densidad. Como las alturas se van a poder medir con la regla y la densidad del Agua es conocida, se puede calcular fácilmente la densidad del Aceite. Ver la Figura adjunta.



Dado que los puntos que se encuentran a igual altura tienen la misma presión

$$P_A = P_B$$

Estas presiones se deben al peso de las respectivas columnas de líquido situadas sobre ambos puntos. Teniendo en cuenta la Ecuación Fundamental de la Estática de Fluidos:

$$\rho_1 \cdot h_1 \cdot g = \rho_2 \cdot h_2 \cdot g$$

Simplificando la aceleración de la gravedad, y despejando se obtiene la densidad buscada.

$$\rho_1 \cdot h_1 = \rho_2 \cdot h_2$$

$$\rho_1 = \rho_2 \cdot h_2 / h_1$$

3. MATERIAL NECESARIO

- Tubo de vidrio en forma de U (abierto por ambos extremos).
- Soporte para sujetar el tubo.
- Regla graduada / Rotulador.
- Vaso de precipitados / Embudos pequeños.
- Agua / Aceite.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Sujetar el tubo en U al soporte en posición vertical, asegurándose de que queda estable.
- Verter algo de Agua por una de las ramas del tubo en U hasta que alcance algunos centímetros en cada rama. Comprobar que alcanza la misma altura en ambos lados.

- Verter, con cuidado, un poco de Aceite por la otra rama, y dejar que se alcance el equilibrio.
- Marcar con un rotulador la interfase entre el Aceite y el Agua (A) y el punto situado a la misma altura en la otra rama (B). Medir con la regla las alturas h_1 de la interfase a la superficie del Aceite (C) y h_2 , desde la otra marca del rotulador hasta la superficie del Agua (D).
- Añadir un poco más de Aceite y repetir el proceso, midiendo h_1 y h_2 .
- Repetir el proceso hasta obtener cinco pares de valores de h_1 y h_2 .

5. RESULTADOS Y CÁLCULOS

- Anotar los datos en la siguiente Tabla y completarla:

						$\bar{h} / \text{mm}$	$\rho_1 / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
h_1 / mm							
h_2 / mm							

- Consultar en una Tabla de Densidades la densidad del Agua (ρ_2), o bien preguntar al Profesor.
- Realizar los cálculos necesarios para hallar la densidad del Aceite, ρ_1 . Expresar el resultado en Unidades del S.I.
- Otra forma de proceder consistiría en calcular con la fórmula indicada y los valores de las cinco alturas h_1 y h_2 , los respectivos cinco valores de ρ_1 , y hallar posteriormente la media de ésta. Comparar los resultados.
- ¿Qué manera o forma de proceder sería más recomendable? Justificar la respuesta.

6. CUESTIONES

a) Considerar tres líquidos inmiscibles A, B y C, de densidades respectivas: 900 kg/m^3 , 1400 kg/m^3 y 1100 kg/m^3 . Si se prepara una mezcla de los tres líquidos, indicar el orden de las sucesivas capas de líquido al descender.

b) Explicar cómo es posible romper un robusto tonel con un tubo muy fino y una pequeña cantidad de Agua. ¿Se necesitaría igual altura de tubo si en lugar de Agua se utilizara Mercurio? Razonar las respuestas.

c) ¿Cuál es el Principio de los Vasos Comunicantes? Explicar el fundamento físico de los pozos artesianos y de los pozos de bombeo. ¿Qué es un manantial?

d) ¿Tiene algo que ver la Práctica realizada con el Principio de Arquímedes? ¿Y con el Principio de Pascal?

e) Anotar todas las dudas y sugerencias que hayan aparecido durante la realización de la Práctica, así como las posibles fuentes de error de la misma.

DETERMINACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO DE UN SÓLIDO

1. OBJETIVO

Hallar el calor específico de un sólido desconocido por el método de las mezclas.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

La cantidad de calor que intercambia una sustancia viene dada por la ecuación:

$$Q = m \cdot c_e \cdot \Delta t$$

Q = Calor intercambiado [Absorbido (> 0) o Desprendido (< 0)], en J (Julios).

m = Masa de la sustancia que intercambia calor, en kg.

c_e = Calor específico, característico de cada sustancia, en J / (kg · K).

Δt = Variación de temperatura = $t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}}$, en °C o K ($\Delta t_{\text{°C}} = \Delta T_{\text{K}}$).

Este calor se llama calor sensible, y es el que se intercambia cuando hay un cambio de temperatura, bien en procesos de calentamiento o de enfriamiento.

Sin embargo, cuando una sustancia pura cambia de estado la temperatura permanece constante y el calor que interviene (absorbido o desprendido) se llama Calor Latente, L . La ecuación que se utiliza es:

$$Q = m \cdot L$$

Se trata de calentar un sólido de masa m y calor específico c_e hasta una temperatura t utilizando un baño de agua y mezclarlo con una masa conocida de agua m' que se encontraba a una temperatura inferior t' . Cuando se alcanza el equilibrio térmico, ambos cuerpos quedan a una temperatura intermedia t'' .

Por tanto, el calor perdido (desprendido, negativo) por el sólido y el calor ganado (absorbido, positivo) por el agua y el calorímetro son, respectivamente:

$$Q_{\text{perdido}} = m \cdot c_e \cdot (t'' - t).$$

$$Q_{\text{ganado}} = m' \cdot c_{e(\text{Agua})} \cdot (t'' - t') + m_{\text{Calorímetro}} \cdot c_{e \text{ Vidrio}} \cdot (t'' - t').$$

Como en el equilibrio sucede que:

$$- Q_{\text{perdido}} = Q_{\text{ganado}}$$

, entonces:

$$- m \cdot c_e \cdot (t'' - t) = m' \cdot c_{e(\text{Agua})} \cdot (t'' - t') + m_{\text{Calorímetro}} \cdot c_{e \text{ Vidrio}} \cdot (t'' - t')$$

$$c_e = [m' \cdot c_{e(\text{Agua})} \cdot (t'' - t') + m_{\text{Calorímetro}} \cdot c_{e \text{ Vidrio}} \cdot (t'' - t')] / [m \cdot (t - t'')]$$

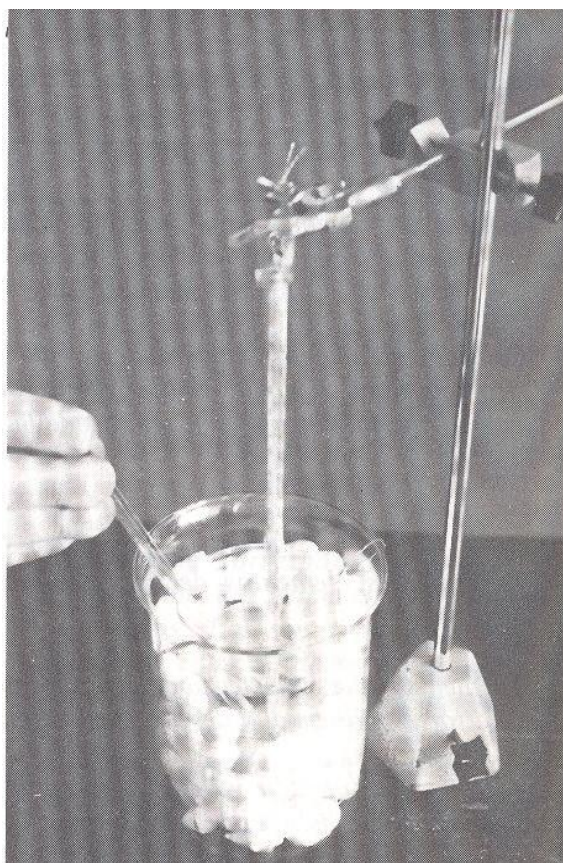
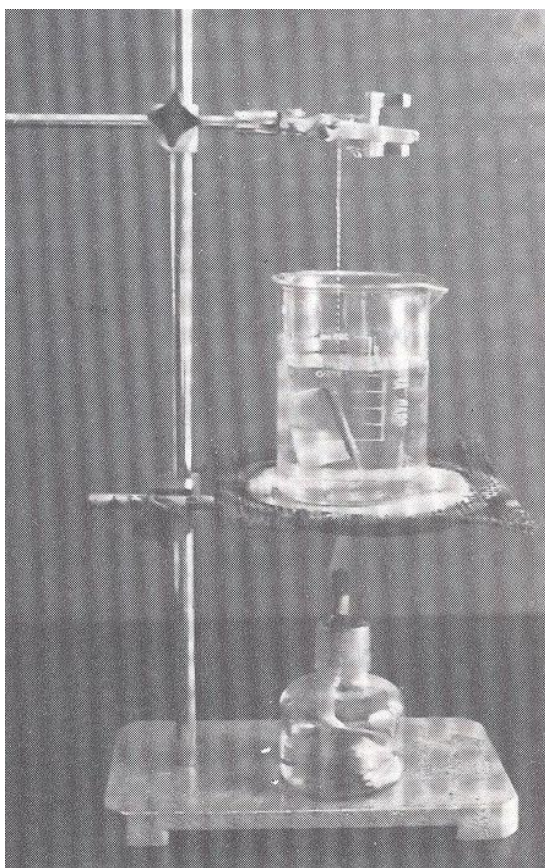
Esta última ecuación nos da el calor específico del sólido, c_e , que se buscaba.

3. MATERIAL NECESARIO

- Calorímetro (vaso de precipitados pequeño / espuma plástica / agitador).
- Vaso de precipitados de 250 mL.
- Balanza / Termómetro / Mechero (gas o alcohol) / Trípode (o Aro) / Rejilla.
- Pie / Varilla / Pinzas / Nueces.
- Objeto metálico (poco grosor) / Hilo.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Medir la masa del vaso – calorímetro con la balanza ($m_{\text{calorímetro}}$). Verter en él unos 100 g de Agua (m') medidos con probeta. Esperar unos minutos y medir la temperatura inicial del Agua (t').
- Medir la masa del objeto metálico con la balanza (m).
- Echar en el vaso de precipitados unos 200 mL de Agua y sumergir en ella el objeto metálico sujeto con un hilo cuyo extremo debe quedar fuera del vaso. Calentar el Agua a ebullición ($t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Cuando el agua lleve un rato hirviendo sacar el objeto del vaso tirando del hilo y rápidamente introducirlo en el interior del vaso – calorímetro.
- Observar cómo sube la temperatura del calorímetro hasta estabilizarse unos instantes a una temperatura dada (t'').
- Repetir toda la experiencia tres veces en las mismas condiciones. Si se obtuviera en alguna experiencia una temperatura final muy discordante con las otras, eliminarla y efectuar otra medida.



5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- Con los datos que se han obtenido, completar el cuadro que se indica a continuación.
- Preguntar al Profesor el valor del calor específico del Agua y del vidrio del vaso – calorímetro.
- Consultar al Profesor el verdadero valor del calor específico del sólido utilizado. Hallar, después, el error absoluto y el error relativo en % de las medidas realizadas. Si el error es superior al 10 %, hay que repetir toda la experiencia.

Exp.	m Calorímetro (Vaso-Calorímetro) (kg)	m' (Agua) (kg)	t' (Inicial del Agua) (°C)	m (Sólido) (kg)	t (Inicial del Sólido) (°C)	t'' (Final de la Mezcla) (°C)	C _e (Sólido) (J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)
$\bar{c}_e$							

6. CUESTIONES

- a) Describir los elementos de un calorímetro y la función que desempeña cada uno de ellos.
- b) Las medidas efectuadas han sido sólo aproximadas. Indicar las principales causas de error experimental y describir procedimientos para disminuir estos errores.
- c) ¿Serviría la fórmula utilizada si, en lugar de Agua, se emplease otro líquido? ¿Qué modificaciones habría que introducir?
- d) Describir un procedimiento para determinar el calor específico de un líquido miscible con el Agua.
- e) Lo mismo si el líquido fuera inmisible con el Agua.
- f) Anotar todas las dudas, sugerencias y observaciones que hayan aparecido durante la realización de la práctica.

LEYES DE LA REFLEXIÓN DE LA LUZ

1. OBJETIVO

Estudiar el fenómeno de la reflexión de la luz y demostrar sus leyes.

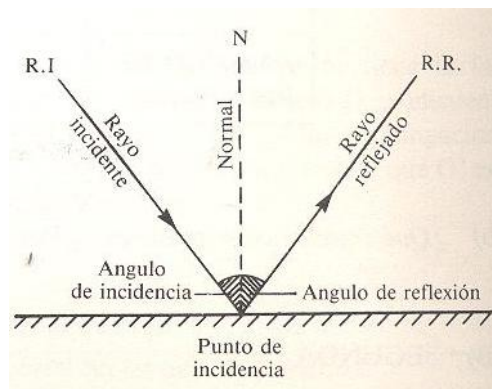
2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Cuando un rayo de luz que se propaga en un medio alcanza la superficie de otro medio transparente suelen ocurrir estos tres fenómenos:

- Una parte de la luz se refleja, o sea, sigue propagándose en el primer medio.
- Otra parte se propaga por el segundo medio, es decir, se refracta.
- Otra parte se absorbe en el segundo medio produciendo fenómenos diversos.

La reflexión puede producirse sobre una superficie lisa y pulimentada (espejo) o sobre una superficie irregular. Sólo nos interesa la reflexión especular. La reflexión especular de la luz obedece a dos leyes:

- El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.
- El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal (recta perpendicular al espejo en el punto de incidencia) están en el mismo plano.



Se trata de comprobar estas leyes en un espejo plano. Para ello, haremos llegar un rayo de luz procedente de una rendija a un espejo y observaremos las características del rayo reflejado.

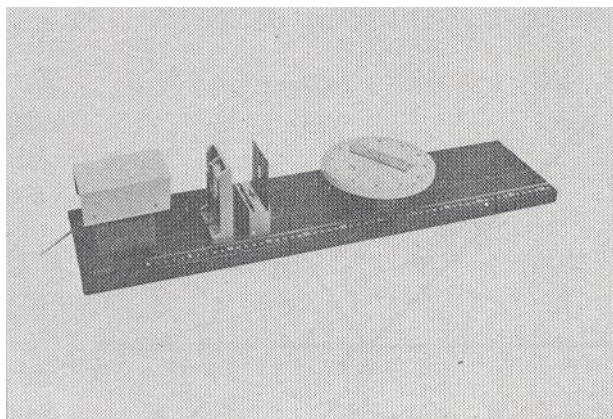
3. MATERIAL NECESARIO

- Banco óptico / Foco luminoso / Espejo plano / Lente ($f' = +50$ mm) / Transformador bitensión (12 V, 20 W).
- Diafragma con ranura / Disco de Hartl / Soporte para diafragma / Soporte para foco y disco (2)

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1ª Ley

- Efectuar el montaje del esquema adjunto. La ranura debe quedar vertical. Ajustar la lente para que se obtenga un rayo nítido sobre el espejo. Colocar el disco de Hartl de modo que el rayo luminoso coincida con la dirección 0 – 180.
- Situar ahora el espejo en la dirección 90 – 90.



- Girar el espejo y el disco un cierto ángulo, cuidando que el punto de incidencia de la luz coincida con el centro del círculo. Anotar los ángulos de incidencia y de reflexión.
- Repetir la experiencia, con las mismas precauciones, para otros ángulos. Tomar nota de todas las observaciones.

2ª Ley

- Para un ángulo cualquiera de los anteriores, inclinar el espejo hacia atrás ligeramente y observar lo que ocurre. Repetir inclinando el espejo hacia adelante. Observar cuál debe ser la posición del espejo para que aparezca nítido el rayo reflejado.

5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

1ª Ley

- Con los datos obtenidos completar el siguiente cuadro:

Ángulo de Incidencia				
Ángulo de Reflexión				

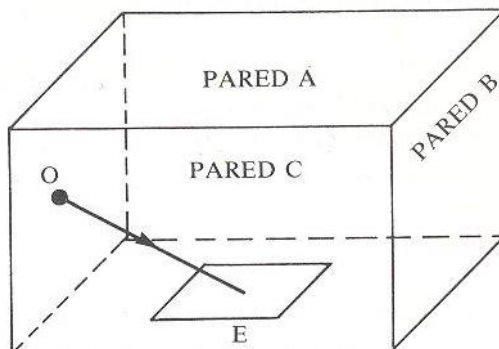
- ¿Qué conclusiones se obtienen? ¿Por qué?

2ª Ley

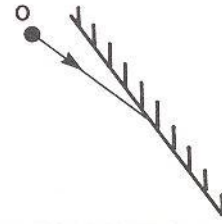
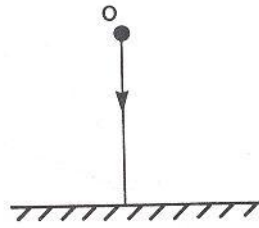
- Describir las observaciones realizadas.
- ¿Qué conclusiones se obtienen? ¿Por qué?

6. CUESTIONES

a) Un rayo de luz procedente del orificio O situado en el centro de la pared del dibujo incide sobre el espejo E situado en el centro del suelo. ¿En qué pared y en qué punto de ésta incidiría el rayo reflejado? ¿Por qué?



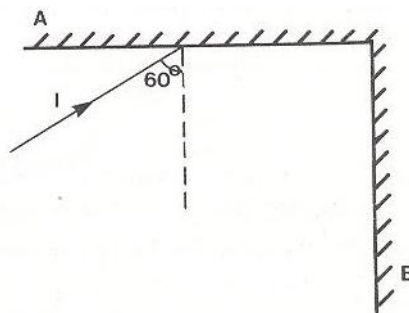
b) Dibujar la normal y el rayo reflejado en los siguientes casos:



c) Describir un procedimiento “doméstico” para comprobar las leyes de la reflexión de la luz.

d) En la reflexión “difusa” también se cumplen las leyes anteriores. ¿Por qué entonces dos rayos paralelos no emergen también paralelos?

e) Se colocan dos espejos en ángulo recto. Un rayo que incide en el espejo A con un ángulo de 60° es reflejado hacia el espejo B. Dibujar la marcha del rayo. ¿Cuál es el ángulo de incidencia en el espejo B? ¿Cómo son el rayo incidente I y el emergente de B? Demostrarlo.



f) Anotar todas las dudas y sugerencias que hayan surgido en la realización de la Práctica.

ESPEJOS ESFÉRICOS

1. OBJETIVO

Comprobar el cumplimiento de las leyes de la reflexión en los espejos esféricos y definir el foco como elemento óptico de los mismos.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Revisar la diferencia entre un espejo cóncavo y uno convexo, así como los conceptos de centro de curvatura, vértice, eje óptico, radio de curvatura y focal.

Se trata de enviar un haz formado por tres rayos paralelos a un espejo esférico y estudiar su comportamiento. Los tres rayos reflejados cumplen las leyes de la reflexión y coinciden (ellos o sus prolongaciones) en un punto que se denomina “foco” y que constituye un elemento óptico de gran interés.

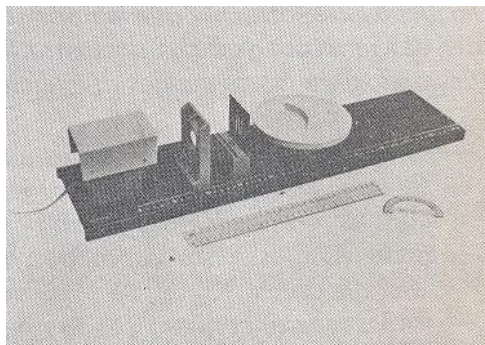
3. MATERIAL NECESARIO

- Banco óptico / Foco luminoso / Transformador bitensión (12 V, 20 W) / Diafragma con tres ranuras / Disco de Hartl / Discos de papel / Espejo cóncavo – convexo / Lente ($f' = +100$ mm) / Soporte para diafragma / Soporte para foco y disco (2).
- Semicírculo graduado / Triple decímetro / Escuadra.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Espejos cóncavos

- Efectuar el montaje del esquema adjunto. Situar convenientemente la lente para obtener el haz de tres rayos verticales con nitidez.



- Colocar en el Disco de Hartl un disco de papel y sobre éste el espejo cóncavo – convexo con su cara cóncava hacia el foco, de forma que el rayo central coincida con el eje óptico del espejo.
- Inclinar el espejo hacia atrás y hacia adelante. Ver qué ocurre. Buscar la posición del espejo para que los rayos reflejados aparezcan con nitidez.
- Con cuidado de que no se mueva el sistema, dibujar el contorno interior del espejo y marcar los puntos de incidencia y la dirección de los rayos incidentes y reflejados.
- Retirar la cartulina y, utilizando métodos geométricos, localizar con cuidado el centro de curvatura y el vértice. Dibujar los rayos incidentes y los reflejados. Dibujar también las normales (Observar que se trata de las rectas que unen los puntos de incidencia con el centro de curvatura).

Espejos convexos

- Repetir toda la experimentación anterior pero poniendo el espejo con su cara convexa frente al foco.
- Dibujar también las prolongaciones de los rayos reflejados hasta que corten al eje óptico.

5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Espejos cóncavos

- ¿Qué sucede al inclinar el espejo hacia atrás o adelante? ¿Conclusión?
- Observar el dibujo que se ha obtenido sobre el disco de papel. ¿Cómo son los ángulos de incidencia y de reflexión? ¿Cuál es la conclusión?
- Los rayos reflejados deben cortarse en un punto sobre el eje óptico (Repetir la experiencia si no ha sido así). Ese punto se llama Foco (F) del espejo. La distancia del vértice al foco se llama distancia focal. ¿Qué relación tiene con el radio de curvatura del espejo?

Espejos convexos

- Describir lo que sucede cuando se inclina el espejo hacia atrás o hacia adelante. ¿Qué conclusión se obtiene?
- Observar despacio el dibujo obtenido sobre el disco de papel. ¿Cómo son los ángulos de incidencia y de reflexión? ¿Cuál es la conclusión?
- Las prolongaciones de los rayos reflejados deben cortarse en un punto sobre el eje óptico (Repetir la experiencia si no ha sido así). Ese punto se llama Foco (F) del espejo. La distancia del vértice al foco se llama distancia focal. ¿Qué relación tiene con el radio de curvatura del espejo?

6. CUESTIONES

a) La normal en un punto dado es la recta que une ese punto con el centro de curvatura. ¿Podría demostrarse?

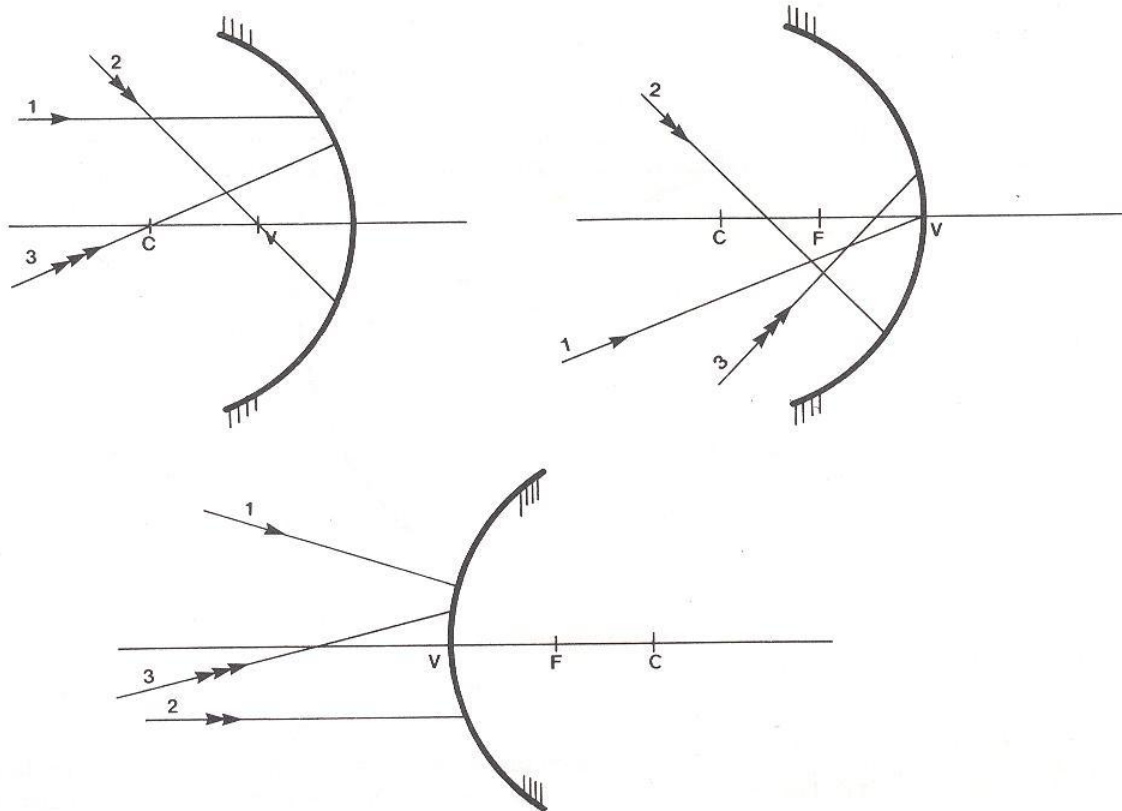
b) Reflexionar sobre las siguientes afirmaciones indicando las correctas:

- En los espejos cóncavos todos los rayos paralelos al eje óptico salen por el foco.
- En los espejos convexos todos los rayos paralelos al eje óptico salen reflejados de modo que sus prolongaciones pasan por el foco.
- En los espejos cóncavos, todo rayo que llegue al espejo pasando por el foco sale paralelo al eje óptico.
- En los espejos convexos, todo rayo que llegue apuntando al foco sale paralelo al eje óptico.
- En los espejos cóncavos todo rayo que llegue al espejo pasando por el centro de curvatura regresa sobre sí mismo.
- En los espejos convexos todo rayo que llegue apuntando al centro de curvatura regresa sobre sí mismo.

c) Dibujar vértice, centro de curvatura, foco y eje óptico en estos espejos:



d) Dibujar los rayos reflejados en los siguientes casos:



e) Si se coloca un punto luminoso en el foco de un espejo cóncavo, ¿Cómo saldrían todos los rayos que incidieran en el espejo? ¿Se encuentra alguna utilidad a este sistema?

f) Arquímedes parece que consiguió incendiar las naves romanas utilizando espejos. Explicar cómo lo consiguió.

g) Las grandes antenas de seguimiento de satélites artificiales tienen forma esférica o parabólica. Explicar por qué y cómo funcionan.

h) Anotar todas las dudas, sugerencias y observaciones que tengan relación con el desarrollo de esta práctica.

LEYES DE LA REFRACCIÓN DE LA LUZ

1. OBJETIVO

Estudiar el fenómeno de la refracción de la luz y comprobar las leyes de éste.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Cuando la luz procedente de un medio transparente alcanza la superficie de separación con otro medio transparente, parte de ella pasa al interior y se propaga por el otro medio. Al hacerlo, sufre un cambio de dirección y de velocidad, se ha refractado. Si el segundo medio no fuera transparente, sino opaco, la refracción no tendría lugar.

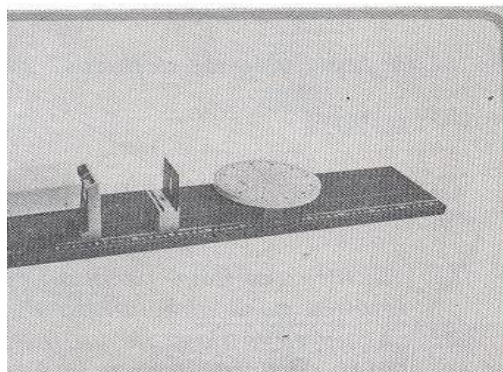
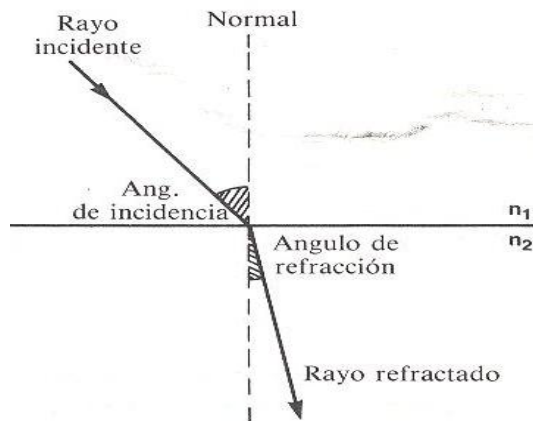
El fenómeno de refracción obedece a dos leyes:

1ª) El cociente entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es igual al cociente del índice de refracción del segundo medio con respecto al primero:

$$\sin \hat{i} / \sin \hat{r} = n_2 / n_1 = \text{Constante}$$

2ª) El rayo incidente, la normal y el rayo refractado están en el mismo plano.

En esta experiencia se trata de comprobar el cumplimiento de ambas leyes, dentro de los errores experimentales. Para ello se hará llegar un haz de luz a una superficie de vidrio y se estudiará el comportamiento del rayo refractado.



3. MATERIAL NECESARIO

- Banco óptico / Foco luminoso / Transformador bitensión (12 V, 20 W).
- Diafragma con ranura / Disco de Hartl / Soporte para diafragma / Soporte para foco y disco (2).
- Lente ($f' = +50$ mm) / Sección de lente semicircular ($r = +25$ mm).

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1ª Ley

- Efectuar el montaje del esquema mostrado antes. Ajustar la lente para que se obtengan rayos nítidos. Colocar el Disco de Hartl de modo que el rayo luminoso coincida con la dirección 0 – 180.
- Situar sobre el disco la lente semicircular, con la cara deslustrada en contacto con él. La superficie plana diametral debe coincidir con la dirección 90 – 90 y mirar hacia el foco luminoso.
- Girar ahora el disco un cierto ángulo, cuidando de que el rayo luminoso incida en el centro del círculo graduado. Observar la marcha del rayo de luz y tomar nota de los ángulos de incidencia y de refracción.
- Repetir las medidas, con las mismas precauciones, para otros dos o tres ángulos.

2ª Ley

- Para una posición cualquiera anterior, interceptar gradualmente de arriba hacia abajo el rayo incidente y observar qué sucede con el rayo refractado.
- Levantar ligeramente la superficie plana del disco semicircular y observar lo que sucede. Repetir para la superficie semicircular. Buscar la posición idónea para obtener los rayos refractados con nitidez.

5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

1ª Ley

- Con los datos obtenidos completar el siguiente cuadro:

Ángulos de		sen $\hat{i}$	sen $\hat{r}$	sen $\hat{i} / \text{sen } \hat{r}$
Incidencia ($\hat{i}$)	Refracción ($\hat{r}$)			

- ¿Qué conclusiones se deducen? ¿Por qué?
- ¿Cuánto vale el índice de refracción del vidrio de la lente semicircular? ¿Por qué? ¿Cuál es la velocidad de la luz dentro del vidrio?

2ª Ley

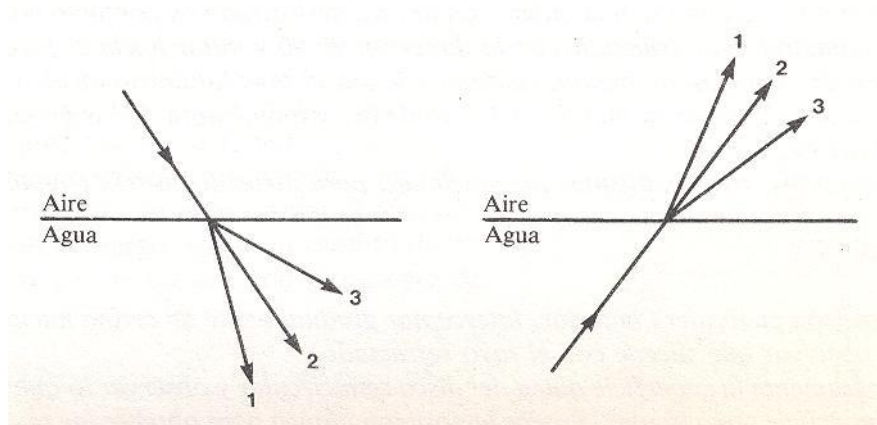
- Describir las observaciones realizadas.
- ¿Qué conclusiones se obtienen? ¿Por qué?

6. CUESTIONES

a) Estudiar las siguientes proposiciones y decir cuáles son correctas. Hacer un dibujo aclaratorio.

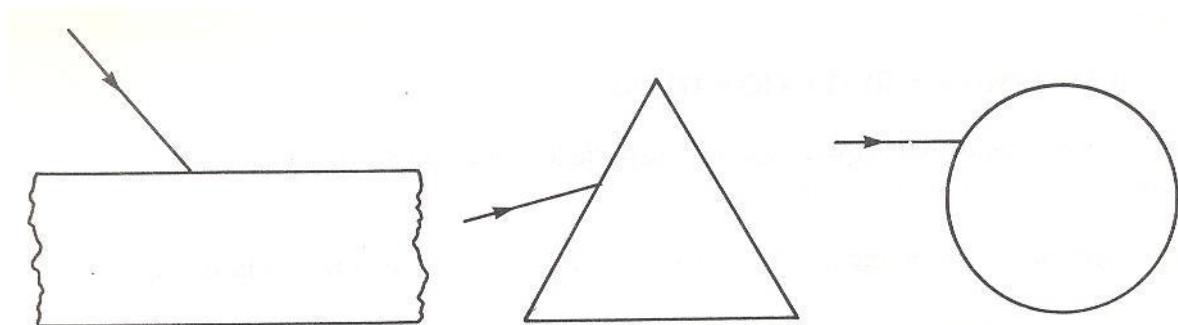
- i. Si un rayo llega perpendicularmente a la superficie de separación de dos medios transparentes pasa al segundo medio sin desviarse.
- ii. Si un rayo pasa de un medio menos refringente a otro más refringente cambia de dirección, acercándose a la normal.
- iii. Si un rayo pasa de un medio más refringente a otro menos refringente cambia de dirección, alejándose de la normal.

b) En los casos siguientes señalar cuál de los tres rayos 1, 2 y 3 pueden representar trayectorias reales de luz.



c) Dibujar la marcha aproximada de los rayos de luz en los siguientes sistemas:

- i. Lámina de caras planas y paralelas.
- ii. Prisma óptico.
- iii. Gota de Agua.



d) Anotar todas las dudas, sugerencias y observaciones que haya deparado la realización de la práctica.

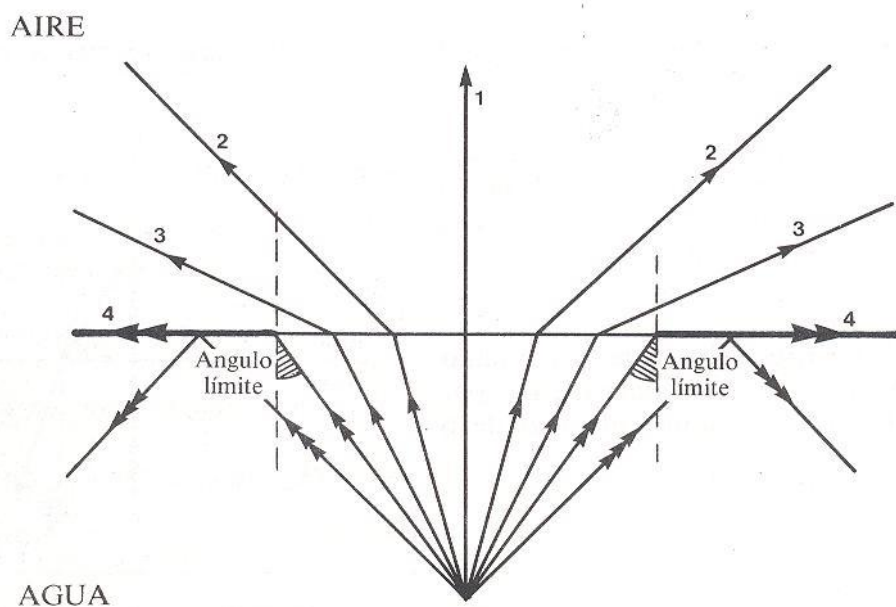
ÁNGULO LÍMITE Y REFLEXIÓN TOTAL

1. OBJETIVO

Observar el fenómeno de reflexión total y determinar el ángulo límite del vidrio.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Cuando un rayo de luz pasa de un medio más refringente [n (Agua) = $4/3$] a otro menos refringente [n (Aire) = 1] se aleja de la normal. Esto significa que el ángulo de refracción es mayor que el ángulo de incidencia (rayos 2 y 3). Al observar el rayo 4 del esquema se ve que el ángulo de refracción es ya de 90° . Esto significa que si la inclinación del rayo incidente fuera mayor no podría producirse refracción. El ángulo de incidencia al que corresponde un ángulo de refracción de 90° se llama ángulo límite ($\hat{i}_L$).



Todos los rayos que incidan sobre la superficie de separación de dos medios con un ángulo superior al límite, no se refractan, sino que se reflejan como si la superficie fuera un espejo. Este fenómeno se llama reflexión total.

Matemáticamente: $n_1 \cdot \sin \hat{i}_L = n_2 \cdot \sin 90^\circ$. Como resulta que: $\sin 90^\circ = 1$, entonces, $\sin \hat{i}_L = n_2 / n_1$. Y, finalmente, despejando $\hat{i}_L$, queda:

$$\hat{i}_L = \arcsen (n_2 / n_1)$$

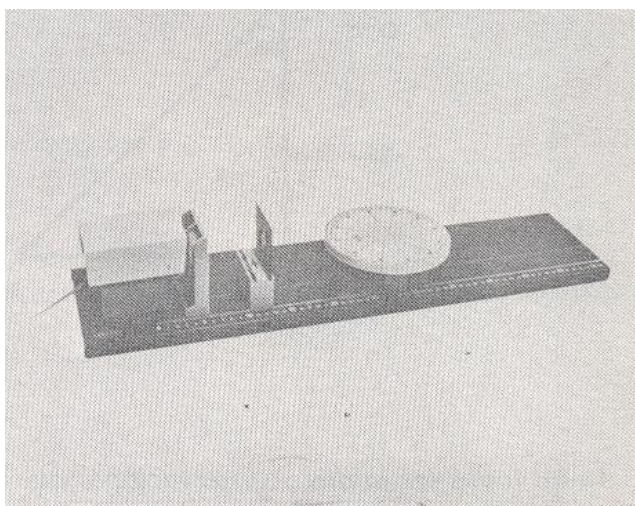
Se trata de hacer llegar un rayo de luz a una lente por su cara semicircular y apuntando a su centro geométrico (la luz no se refracta) y estudiar la salida del rayo por la cara plana de la lente (se produce refracción). En este caso habrá un ángulo de incidencia al que corresponde un ángulo de refracción de 90° (ángulo límite) y a partir de él puede observarse el fenómeno de reflexión total. La medida del ángulo límite proporciona un método para determinar el índice de refracción del vidrio.

3. MATERIAL NECESARIO

- Banco óptico / Foco luminoso / Transformador bitensión (12 V, 20 W).
- Diafragma con una ranura / Disco de Hartl / Lente ($f' = +50$ mm) / Sección de lente semicircular.
- Soporte para diafragma / Soporte para foco y disco.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Montar el esquema de la figura adjunta. Colocar la lente de forma adecuada. Colocar el Disco de Hartl de modo que el rayo coincida con la dirección 0 – 180.



- Situar sobre el Disco de Hartl la sección de lente semicircular con la cara deslustrada en contacto con él. La superficie plana diametral debe coincidir con la dirección 90 – 90 y la cara semicircular debe mirar hacia el foco luminoso.
- Girar el disco un cierto ángulo cuidando siempre que el punto de incidencia de la luz coincida con el centro del círculo graduado. Observar y anotar lo que ocurre en ambas caras de la lente.
- Girar lentamente el disco hasta que el ángulo de refracción en la cara plana sea de 90°. Medir el ángulo de incidencia (ángulo límite) en este momento. Repetir la operación varias veces.
- Girar un poco más la lente para que el ángulo de incidencia en la cara plana sea superior al límite y observar lo que ocurre.

5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

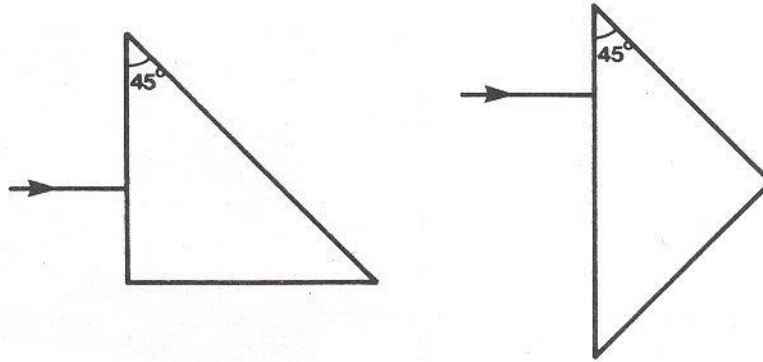
- Con un dibujo adecuado explicar la marcha de los rayos de luz en las dos caras de la sección semicircular, antes de alcanzarse el ángulo límite.
- Idem cuando se alcanza el ángulo límite y después de sobrepasarlo.
- Indicar los valores obtenidos para el ángulo límite y su valor medio.
- A partir de este valor determinar el índice de refracción del vidrio de la sección de lente.

6. CUESTIONES

- a) Calcular la velocidad de la luz dentro del vidrio utilizado en la experiencia.

b) Describir un procedimiento cómodo para medir la velocidad de propagación de la luz en el aire y elaborar un plan experimental para determinar la velocidad de la luz en el interior de un líquido desconocido.

c) El ángulo límite de un vidrio “normal” suele ser de unos 41° . Suponer un prisma como el de la figura (prisma de reflexión total). Dibujar la marcha de los rayos de luz en los casos que se indican.



d) Anotar todas las dudas, observaciones y sugerencias relativas al desarrollo de esta práctica.