

# METODOLOGIA

## Las Reuniones de Estudio del Profesorado de Enseñanza Media

### III. F I S I C A

*En la tercera reunión de Profesores de Física y Química se realizaron las prácticas fundamentales referentes a Calor, Acústica y Óptica.*

*Entre los asistentes figuraron: D. Antonio Manzanares, D. Antonio Valenciano Garro, D. Delio Mendaña Alvarez, D. Eladio Gayoso Díaz, D. Ernesto Rivera Grau, D. Francisco Molina Múgica, D. José María Gallart Sanz, D. José Gassiot Llorens, D. José Pisa Leza, D. Luis Llopis Carbonell, D. Marcelino Pardo Casas, D. Martín Santos Romero, D. Nicolás Flores Michco, D. Roberto Feo García, D. Eduardo del Arco y D. Aurelio de la Fuente Arana. A continuación se detallan las cuestiones y prácticas estudiadas:*

#### TERMOMETRIA Y DILATAACIONES

##### GRADO ELEMENTAL

###### **Lecturas termométricas.**

1. Hacer una tabla a dos columnas de las temperaturas leídas cada dos horas, durante una jornada, en un termómetro situado en una ventana. Con los datos de la tabla anterior construir una gráfica, marcando en ella las temperaturas máxima y mínima e indicando cuál es la temperatura media.

2. Colocar en la ventana de la clase un termómetro de máxima y mínima y leer durante dos semanas las temperaturas máxima y mínima diarias. Hacer una tabla a tres columnas: días, temperatura

máxima y temperatura mínima. Construir en una misma hoja de papel las dos gráficas (la de máximas y la de mínimas) y ver a qué días corresponden las temperaturas extremas.

###### **Graduación de un termómetro centigrado**

3. Determinar los puntos fijos de un termómetro centigrado de mercurio. Comprobar algún otro punto fijo por la temperatura de fusión o de ebullición de una substancia pura adecuada.

###### **Curvas de enfriamiento y de calentamiento.**

4. Estudiar la velocidad de enfriamiento.

to de un líquido contenido en una vasija ordinaria y construir la curva temperatura-tiempo.

5. Seguir la elevación de temperatura de un líquido frío que está en contacto con el ambiente y construir la curva temperatura-tiempo.

6. Construir las curvas de enfriamiento de un mismo líquido contenido en una vasija ordinaria, de aluminio o de hierro esmaltado, y en un termo. Dibujar las dos gráficas en el mismo papel.

7. Demostrar que un cuerpo de superficie metálica brillante se enfría más despacio que si la tiene ennegrecida. Utilizar para ello dos botes iguales de hojalata con tapa en la que se ha hecho un agujero. Valen perfectamente los botes de «Nescafé», por ejemplo. A uno de ellos se le deja con la superficie externa brillante, mientras que al otro se le ennegrece con una llama fuliginosa. Se pone en los botes cantidades iguales de agua muy caliente, se introducen sendos termómetros por el agujero de la tapa y se hacen las lecturas, frecuentes en los pri-

meros minutos y más espaciadas después. Se construyen las dos gráficas de enfriamiento sobre el mismo papel.

### Dilataciones

8. Dilatación de un alambre (véase la figura 1): En una tabla se clava una punta que va a servir de eje de giro a un corcho, o mejor a un aislador de porcelana en forma de polea. Un hilo de cobre, fijo por extremo a un clavo, da una vuelta a la polea y queda tenso por

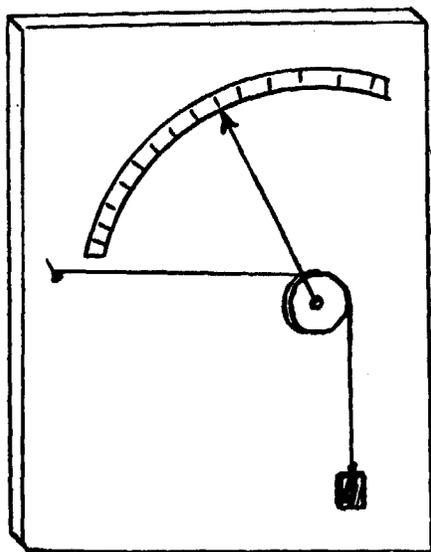


Figura 1

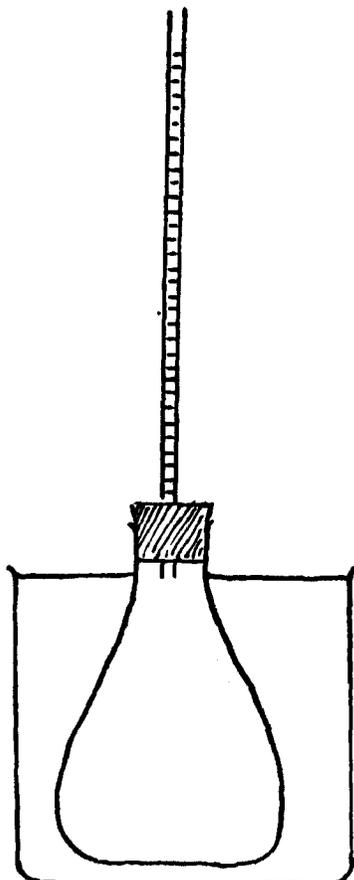


Figura 2

un peso que pende de su extremo libre. Un índice unido a la pclea sirve para marcar en un semicírculo graduado. Al calentar el hilo, el índice se desplaza. La calefacción puede hacerse con una lamparilla o mejor con una débil corriente eléctrica.

9. Coeficiente de dilatación aparente de un líquido: El benceno se presta muy bien para esta determinación. El aparato se monta según indica la figura 2: Se comienza aforando el Erlenmeyer hasta el borde inferior del tapón; éste se atraviesa por una pipeta recta graduada. Se introduce el Erlenmeyer en un recipiente con agua a 0°C, se anota el nivel que alcanza el benceno; se aumenta la temperatura muy lentamente y se anotan los niveles para construir una gráfica volúmenes-temperaturas. Enseguida se advierte que la dilatación aparente es proporcional a la elevación de temperatura. El cálculo del coeficiente de dilatación aparente es inmediato.

10. Dilatación de gases: Observaciones cualitativas se pueden realizar median-

observar el desplazamiento del índice (ver figura 3).

Sobre el coeficiente de dilatación de los gases se propone el siguiente experimento, muy sencillo: Se calienta en la

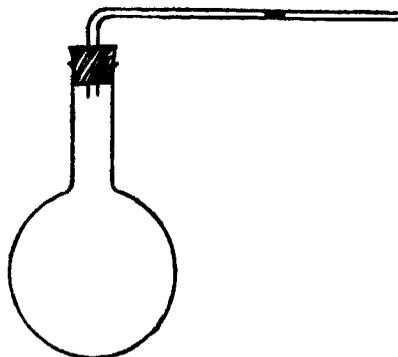


Figura 3

te un matraz vacío tapado con un corcho que se atraviesa con un tubo de vidrio doblado, en cuya rama horizontal se coloca un índice de agua. Basta calentar con las manos el matraz para

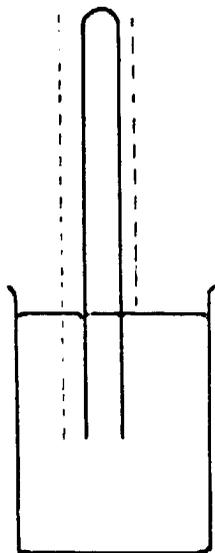


Figura 4

estufa un tubo de ensayo a la temperatura de 100°C y rápidamente se introduce el extremo abierto en mercurio, se lee el volumen igualando niveles dentro y fuera. Para el cálculo del coeficiente de dilatación se opera con alturas en lugar de volúmenes (ver figura 4).

### QUESTIONES PARA EL GRADO ELEMENTAL

1. Definir los puntos fijos de un termómetro. Describir cómo se podrían comprobar los puntos fijos de un termómetro de mercurio.
2. Si te entregasen un termómetro completamente hecho, pero sin graduar, ¿cómo procederías para convertirlo en un termómetro centígrado? ¿Y para hacer de él un termómetro Fahrenheit?

3. Enumerar las operaciones que habría que hacer para construir y graduar un termómetro de mercurio cuya graduación se extendiese desde  $10^{\circ}\text{C}$  a  $100^{\circ}\text{C}$ .

4. Indicar las ventajas y desventajas de un termómetro de alcohol sobre uno de mercurio.

5. Hacer, con el modelo delante, un dibujo cuidadoso, a su tamaño natural, de un termómetro clínico, incluyendo la graduación y la señal de la temperatura normal del cuerpo humano. Explicar por escrito los detalles de construcción que determinan: a) que registre la temperatura máxima del cuerpo; b) que la temperatura máxima se alcance en muy poco tiempo; c) que se pueda hacer fácilmente visible la lectura.

6. ¿Qué ventajas y desventajas tiene el emplear en la construcción de un termómetro un depósito mayor que otro para una determinada sección del tubo capilar?

7. Hacer del natural un dibujo de un termómetro de máxima y mínima copiando las dos escalas. Describir su funcionamiento haciendo referencia al dibujo.

8. Una madre para saber si su hijo tenía fiebre, tuvo que usar un termómetro de escala Fahrenheit. Leyó en él  $100, 1^{\circ}\text{F}$ . ¿Cuántos grados centígrados sobre la temperatura normal del cuerpo humano, tenía el niño?

9. Cómo crees que puede ser afectada la sensibilidad de un termómetro; a) por el tamaño del depósito; b) por la forma del mismo; c) por la sección del tubo capilar, y d) por su longitud.

10. Una pipeta tiene grabada esta indicación:  $25 \text{ c. c. } 15^{\circ}\text{C}$ . Explicar qué indican estas señales. ¿Cómo podrías comprobarlo?

### QUESTIONES PARA EL GRADO SUPERIOR

1. Definir el coeficiente de dilatación. Completar la siguiente frase: El coeficien-

te de dilatación de un metal es  $0,000019$ , esto significa que ... ..

2. En el laboratorio has visto, alguna vez, ponerle a un hilo de platino un mango de vidrio. Si se hiciese lo mismo con un hilo de cobre, no se sostendría, pues quedaría siempre flojo. ¿Puedes dar una explicación de este hecho de observación?

3. Consultando la tabla de coeficientes de dilatación de tu libro de texto, responde a las siguientes preguntas: a) ¿Qué combinación de metales formaría una cinta bimetalica que se curvase, por la misma variación de temperatura, más que la de latón y hierro? b) ¿Qué metal sería el mejor para hacer el péndulo de un reloj? c) ¿Por qué el vidrio pìrex se rompe menos fácilmente que el vidrio ordinario? d) Las lámparas eléctricas tienen en su interior hilos metálicos soldados en el vidrio: ¿Qué metal puede ser adecuado para ese fin?

4. Explicar la significación de los coeficientes de dilatación aparente y absoluta de un líquido e indicar la relación existente entre ellos. Describir cómo podrían determinarse.

5. ¿Cómo varía la densidad de un líquido cuando se eleva su temperatura? ¿Ocurre lo mismo en el agua que en un líquido cualquiera? Dibujar gráficos que ilustren las afirmaciones anteriores.

6. Dar dos razones por las cuales el agua es menos adecuada que el alcohol para usarla en los termómetros. ¿Qué propiedades harían de un líquido el líquido ideal para construir termómetros?

7. ¿Qué quiere decir que el agua en determinadas condiciones, no tiene que ciertas aleaciones de acero níquel, tiene un coeficiente de dilatación negativo?

8. Describir un experimento que demuestre que el agua tiene su máxima densidad a  $4^{\circ}\text{C}$ . ¿Qué consecuencias importantes se deducen de esta propiedad del agua? Un termómetro de vidrio con agua como líquido termométrico, mostraría una lectura mínima a  $4^{\circ}$ , a tempe-

ratura más alta, o la temperatura más baja de 4? Razonar la respuesta.

9. Una ampolla de cuarzo contiene dentro una cantidad de líquido justa para que, al echarla al agua a 0°, se hunda. ¿Qué sucederá si el agua se va calentando gradualmente hasta 20°?

10. Comparar la significación del cero en las escalas centígrada, Fahrenheit y Kelvin.

11. Exponer el razonamiento que conduce a predecir el cero absoluto como la temperatura 273°C. ¿Cuál es el cero absoluto en la escala centígrada? ¿Y en la escala Fahrenheit?

12. Una taza se saca del agua muy caliente y se deja invertida sobre una superficie algo blanda; se observa después que no se puede levantar. Explicar por qué.

13. Si has visto alguna vez poner ventosas a un enfermo, da una explicación para demostrar que lo que se observa tiene algo que ver con la dilatación del aire.

14. ¿Podría duplicarse al mismo tiempo, el volumen, la presión y la temperatura de un gas?

15. Explicar por qué varía el período de un péndulo con la temperatura. Indicar algún medio de compensarlo.

### QUESTIONES PARA EL CURSO PREUNIVERSITARIO

1. Completar el siguiente cuadro con

las temperaturas centígradas y Fahrenheit correspondientes:

°C -50° ... .. 10° ... 45° 75° ...

°F ... -13° 23° ... 59° ... ... 203°

Con los datos de la tabla anterior hacer una gráfica para demostrar la relación entre las dos escalas y deducir de ella la temperatura que está representada en las dos escalas por el mismo número.

2. Si los puntos hielo y vapor de agua hirviendo de un cierto termómetro, estuviesen representados por los números 50 y 170 respectivamente: calcular el número sobre esa escala que correspondería a la temperatura de 250° C.

3. El depósito de un termómetro contiene 0,45 c. c. de mercurio. ¿Cuál debe de ser la sección interna del tubo capilar para que en la graduación quede separado un grado de otro 2 mm. (Dar el coeficiente de dilatación del mercurio.)

4. ¿A qué temperatura es la lectura en la escala Fahrenheit tres veces la de un termómetro centígrado? Un termómetro de mercurio sin graduar, está unido a una escala milimétrica en la que se lee 22,8 milímetros en hielo y 242,4 milímetros en vapor de agua a la presión normal. ¿Cuál sería la lectura en un día en que la temperatura fuese 18° C.?

## CALORIMETRIA Y CAMBIOS DE ESTADO

### PRACTICAS DE GRADO ELEMENTAL

1. Demostración de que, al comunicar a masas idénticas de dos cuerpos, la misma cantidad de calor, no se eleva por igual su temperatura.

En un vaso de precipitados se calienta medio litro de agua, con un hornillo

eléctrico, y se anotan las variaciones de temperatura de medio en medio minuto, siendo suficientes 10 lecturas, por ejemplo.

Repítase el experimento con 500 gramos de mercurio en las mismas condiciones de foco calorífico y se anotan las variaciones de temperatura de forma

análoga al caso anterior. Se llevan los valores de ambas experiencias sobre un papel milimetrado para construir las dos gráficas y a la vista de la misma se ve cómo queda demostrada la propuesta.

2.ª Demostración de que dos cuerpos de igual peso y la misma temperatura no poseen la misma cantidad de calor.

Calientese en un vaso de precipitados 500 grs. de agua a 20°C y de la misma forma otros 500 grs. de agua a 60°C; mézclense y después de agitar se comprueba que la temperatura de la mezcla es de 40°C aproximadamente. Se vuelve a calentar otros 500 grs. de agua a 20° y 500 grs. de mercurio a 60°; se mezclan agitando y se comprueba que la temperatura de la mezcla aproximadamente es de 21°.

3.ª Mezclas frigoríficas.

Colóquese en dos vasijas hielo machacado y un termómetro; hágase la lectura del termómetro 5 minutos después. Añádase sal común a uno de los vasos y obsérvese por comparación el descenso de temperatura producida en esta vasija.

Como experimentos de cátedra, se estiman de interés los siguientes:

a) La demostración de la diferente capacidad calorífica de los cuerpos, por el conocido procedimiento del disco de cera y esferitas iguales de cuerpos distintos.

b) Vaporización en el vacío, tensión de vapor y vapor saturante, utilizando los tubos de Torricelli.

c) Ebullición de líquidos a más baja temperatura, por enrarecimiento.

En un balón de vidrio se coloca agua hasta su mitad, se hierva para expulsar el aire y conseguido esto, se tapa e invierte, retirándolo de la llama. Aplíquese un paño con agua fría y el agua del interior del matraz hervirá.

## PRACTICAS A REALIZAR POR LOS ALUMNOS DE GRADO SUPERIOR

1.ª Determinación del calor específico por el método de las mezclas.

2.ª Determinación calorimétrica de la temperatura de una llama.

Se toma un vaso de precipitados de unos 250 c. c. y se pesa. Se añaden unos 150-180 c. c. de agua y se vuelve a pesar. Por diferencia se conoce el peso del agua colocada. Se coloca este vaso dentro de otro mayor apoyándolo sobre tres corchos de manera que no se toquen los vasos. En el interior del vaso con agua se coloca un termómetro y se observa la temperatura del agua.

Se toma un trozo de cobre de unos 20 gramos de peso y de forma apropiada para que pueda quedar todo él dentro de la llama. Se le sujeta con un alambre fino de cobre y se pesa hasta el centígramo. Se coloca dentro de una llama el tiempo necesario para que alcance la temperatura de ésta. La llama debe estar cerca del calorímetro. Cuando el cobre se ha puesto al rojo, alcanzando la temperatura de la llama, se introduce rápidamente, pero con cuidado, dentro del agua. Se agita con el termómetro y se observa la temperatura en el termómetro, sin sacarlo del agua y sin dejar de agitar.

En la temperatura se observa que primero asciende rápidamente, luego con más lentitud, para al final descender lentamente. La temperatura máxima alcanzada es la que interesa anotar. Si es posible se aprecia cuartos de grado. Con los datos que se obtienen y aplicando las fórmulas de calorimetría, se determina la temperatura del cobre y, por lo tanto, la de la llama.

3.ª Calor de fusión del hielo.

Se procede de forma análoga a la práctica anterior, hasta dejar montado el vaso calorimétrico con una cantidad de agua conocida, con su correspondiente termómetro cuya temperatura se anota.

Se toma un trocito de hielo que se seca con un papel de filtro y se añade al agua del calorímetro, agitando con el termómetro y anotando la temperatura más inferior marcada por el termómetro. Se retira el termómetro escurriéndolo lo mejor posible (si se quiere mayor precisión pueden hacerse todas las pesadas, la del vaso, vaso más agua y vaso más agua y agua procedente del hielo, con el termómetro en el vaso), se vuelve a pesar y de esta forma, por diferencia, se determina el peso del trocito de hielo. Con todos los datos obtenidos y las fórmulas de calorimetría, se determina el calor absorbido por el hielo durante su fusión y, referido a la unidad de masa, el calor latente de fusión del hielo.

#### 4.° Puntos de fusión.

Por el conocido procedimiento del tubo capilar o por el procedimiento que se describe a continuación para la determinación del punto de fusión de la naftalina:

Se toma un vaso de precipitados de unos 400-500 c.c. y se coloca sobre un soporte con una tela metálica; se vierte agua en el vaso hasta un poco más de la mitad y se calienta.

En un tubo de ensayo se introduce naftalina en polvo hasta cerca de la mitad y se coloca dentro del agua del vaso anterior sujetándolo para que no toque al vaso. Cuando la naftalina está fundida, se introduce en ella un termómetro, sujetándolo de manera que no toque al tubo y que el depósito de mercurio esté todo él sumergido en la naftalina. El agua del vaso debe de quedar por encima del nivel de la naftalina. Cuando el termómetro marca 95°C, se retira el manantial calorífico y se procede a estudiar la solidificación de la naftalina. Para ello se necesitan dos operadores, uno observa el termómetro y otro un reloj con cuenta-segundos. Se anotan las temperaturas cada medio minuto, apreciando por lo menos medios grados. Evítase en la lectura del ter-

mómetro el error de paralaje. Se hacen lecturas hasta que el termómetro haya descendido a unos 70°. Con los datos obtenidos se construye una gráfica, en la que aparece de forma muy manifiesta un trozo recto, que corresponde al período de solidificación de la naftalina y que corresponde en la gráfica a la temperatura de 79, 5°. Es interesante que el alumno se dé cuenta de este hecho, es decir, cómo durante cierto tiempo la temperatura se estaciona y que se fije en lo que está sucediendo en el tubo que contiene la naftalina, la cual comienza a solidificarse.

5.° Practíquese una destilación de vino, con un montaje fácilmente asequible.

Como experimentos de cátedra se recomiendan:

a) Fenómenos de sobrefusión.

Fúndase a 50° hiposulfito sódico, déjese enfriar a 20° y entonces se añade un cristalito de sal, para que inmediatamente solidifique toda ella.

b) Sublimación del iodo.

Calientese un balón de cristal paseándolo por la llama, y una vez suficientemente caliente y alejado de la llama, échese en su interior unos cristales de iodo; se forman abundantes vapores violetas, que poco a poco, por enfriamiento, van desapareciendo a la vez que se forman gran número de cristales de iodo en las partes frías del matraz.

c) Fusión del alumbre en su agua de cristalización y solidificación del producto resultante.

## QUESTIONES PARA GRADO ELEMENTAL

1. Significado de los términos calor y temperatura. ¿Qué diferencia hay entre ellos?

2. A qué se llama calor específico de un cuerpo. ¿Cómo deducirías la cantidad de calor perdida por un cuerpo al descender cierto número de grados centígrados su temperatura?

3. ¿Qué quiere decir que el calor específico del agua es 30 veces mayor que el de mercurio?

4. Dos cuerpos distintos del mismo peso, a la misma temperatura, ¿tienen la misma cantidad de calor? Explíquese la respuesta.

5. Dos cuerpos distintos de igual peso, con la misma cantidad de calor, ¿tendrán la misma temperatura? Explíquese la contestación.

6. Si se quiere enfriar rápidamente una masa de agua, ¿en qué vasija la colocarías, metálica o de madera?

7. ¿Por qué para secar la ropa rápidamente se dispone extendida al aire libre?

8. ¿Por qué al empezar a nevar suele notarse elevación de temperatura?

9. La disolución de las sales en los líquidos ¿qué variación determinan en los puntos de solidificación y fusión?

10. ¿Hierve a la misma temperatura el agua en Madrid que en Barcelona? Causas que favorecen la ebullición.

11. Fundamento de los autoclaves y las marmitas.

12. Para conseguir una sustancia a temperatura fija, suele colocarse en una vasija de agua con hielo. Explíquese el fundamento.

13. ¿Por qué se emplean vasijas de paredes porosas para conservar fresca el agua en verano.

14. Una mano introducida en agua templada y expuesta después al aire, se enfría; si hacemos lo mismo con éter, el enfriamiento es mayor. Explíquese éste hecho.

15. ¿Por qué se añade sal común al hielo en la fabricación de los helados?

16. ¿A qué se llama rehielo y en qué consiste el fenómeno? Citar algún experimento que lo demuestre.

17. Citar y explicar algunos ejemplos que pongan de manifiesto la absorción o desprendimiento de calor en los cambios de estado.

18. ¿A qué se debe el ruido denomina-

do «canto del líquido» que se produce momentos antes de la ebullición, al calentarlo para que hierva?

19. La ebullición se produce a temperatura constante, ¿y la vaporización?

### **QUESTIONES PARA EL GRADO SUPERIOR**

1. ¿Sabes la razón del por qué los calores específicos se expresan con cantidades menores que la unidad? ¿Por qué se escoge el calor específico del agua como unidad?

2. Tienes polvo de sulfato de cobre. ¿Qué harías para cristalizarlo?

3. Un sólido en suspensión y otro en disolución ¿por qué método se pueden separar del líquido? Defínense los fenómenos correspondientes.

4. Por qué se emplean líquidos muy volátiles (Cloruro de etilo) para producir anestesia local en uso externo, en pequeñas intervenciones quirúrgicas.

5. ¿Cuál es el motivo de la templanza de los climas marítimos?

6. ¿Por qué, al fundirse o hervir un cuerpo, su temperatura no aumenta, aunque se siga suministrando calor?

7. Relaciónense ligeramente algunos cambios de estado con los meteoros acuosos, rocío, escarcha, nieblas, nubes y precipitaciones atmosféricas.

8. ¿Qué se entiende por calor de fusión y de vaporización y en general calor de los cambios de estado?

9. A 100 gramos de agua a 80° colocados en un vaso, les agregamos 100 gramos de hielo a 0°, la temperatura de la mezcla es de 0,5°. ¿A qué se debe esta diferencia tan considerable entre las temperaturas de ambas mezclas?

10. Fundamento de la refrigeración artificial y producción de frío.

11. ¿Existen gases permanentes, es decir, que no se puedan licuar? ¿En qué condiciones desaparece la diferencia líquido y gas?

# ONDAS

## Modelo mecánico para estudiar la propagación de ondas longitudinales

Se construye, según indica la figura n.º 5: alrededor de un eje que pasa por el centro de un tablero, gira por detrás de éste un disco en el que se han dibujado unas circunferencias ex-céntricas como indica la figura 6. A través de la mirilla rectangular abierta en el tablero se ve la propagación de una onda longitudinal cuya longitud de onda es igual a la diferencia entre los radios de dos circunferencias consecuti-

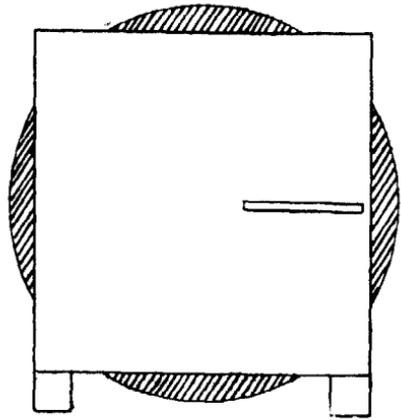


Figura 5

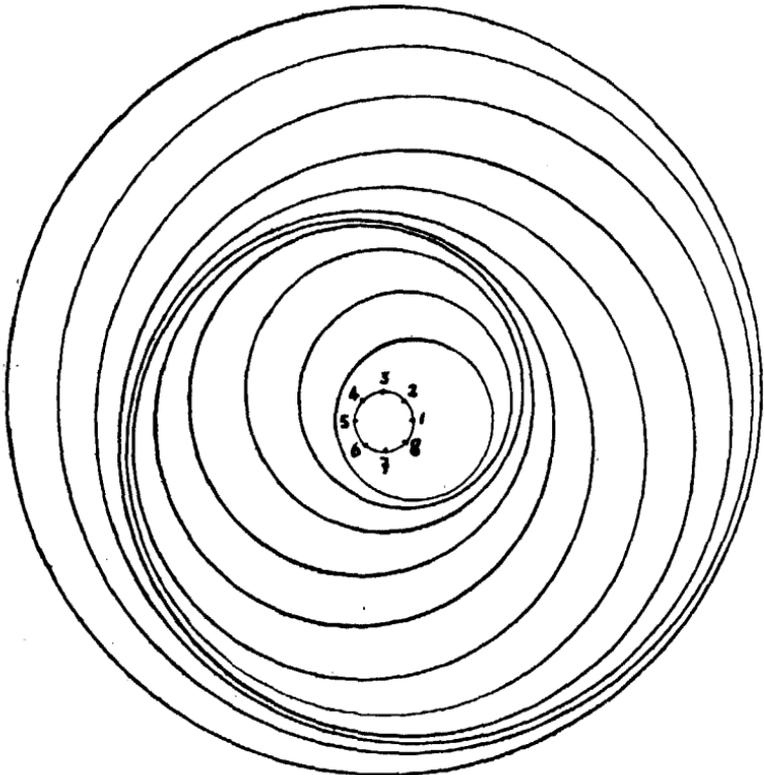


Figura 6

vas con centro en el mismo punto. Estas circunferencias se trazan de la siguiente manera: dividida en ocho partes iguales la pequeña circunferencia central, se dibuja la primera circunferencia con centro en 1 y de radio arbitrario; luego se hace centro en 2 y se traza la segunda circunferencia, cuyo radio será el de la anterior, incrementando en una longitud igual al radio de la circunferencia pequeña; a continuación se hace centro en 3 y se traza la tercera circunferencia, cuyo radio será el de la anterior, incrementado también en una longitud igual al radio de la circunferencia pequeña, y así sucesivamente.

Si se dispone de un aparato de proyección y se dibujan las circunferencias en un disco transparente, se puede proyectar la propagación de la onda y el experimento resulta muy vistoso.

#### Modelo «mecánico» de propagación de una onda transversal

Este modelo tiene, entre otras, la ventaja de que los propios alumnos «viven» la onda con todo detalle y «sienten» cómo la onda no es más que el aspecto global de los movimientos vibratorios de todas y cada una de las partículas. Consiste sencillamente en lo que podríamos llamar una «tabla rítmica» de educación física: En el patio del Centro se traza una línea recta y en ella se marcan trece puntos distanciados un metro; por estos puntos se trazan perpendiculares y en éstas, a uno y otro lado de la línea central, se marcan puntos situados a 2, 3, 4 y 4 metros de aquella línea central. Los trece alumnos ocupan los trece puntos alineados. A la primera palmada del profesor, el alumno número 1 se desplaza al primer punto, que tiene a su derecha, los demás permanecen quietos. A la segunda palmada, el alumno núm. 1 se desplaza al siguiente punto que tiene a su derecha, y el alumno núm. 2 se desplaza como

lo hizo en el tiempo anterior el alumno núm. 1, los demás permanecen quietos. Ya se ve, sin necesidad de continuar describiendo los movimientos, que

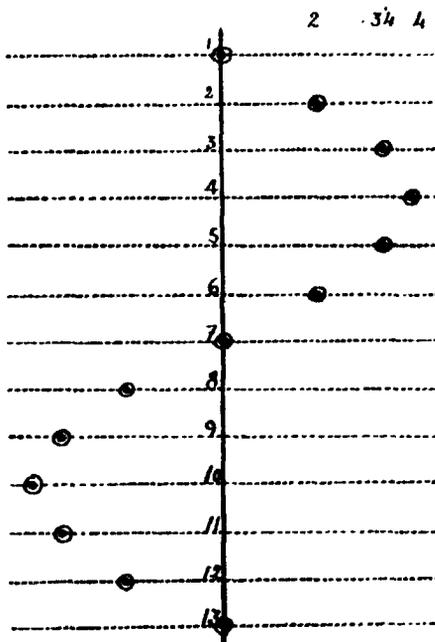


Figura 7

cada alumno efectúa los mismos movimientos que el anterior, pero con una palmada de retraso. Al cabo de doce palmadas, la onda se ha desarrollado por completo y el alumno núm. 13 no se ha movido. El experimento es muy fácil de realizar y los alumnos se prestan encantados al «juego». Mientras estos trece alumnos «vibran», el resto de la clase observa el movimiento desde un balcón y responde a las preguntas que pueda hacerles el profesor sobre la elongación de un determinado «punto», por ejemplo.

Es fácil comprender que esta experiencia, mutatis mutandis, sirve para

estudiar la propagación de una onda longitudinal.

### **Propagación de ondas sobre la superficie de un líquido**

Sobre la superficie tranquila de un líquido colocado en una cubeta grande, se producen perturbaciones periódicas que originan ondas superficiales, las cuales se pueden estudiar fácilmente iluminándolas lateralmente con un proyector y observándolas contra el fondo blanco de la cubeta o proyectadas contra una pantalla o contra el techo o la pared de la clase. La experiencia no ofrece ninguna dificultad. Se puede utilizar agua en la cubeta plana y producir las perturbaciones mediante un alambre unido al martillo de un timbre o más sencillamente por goteo, desde una bureta, con la ventaja en este caso de que se puede modificar la frecuencia y, por tanto, la longitud de onda.

Dividiendo la cubeta por medio de un listón con una rendija, se comprueba el principio de Huyghens; mediante un obstáculo interpuesto se observa el fenómeno de la difracción; mediante un obstáculo sumergido cosa de un milímetro y de forma lenticular, se observa la acción convergente o divergente de la «lente», debido a que las ondas se propagan con menos velocidad en aguas superficiales que en aguas profundas, dando así origen a una refracción.

## **C.—CUESTIONES PARA GRADO SUPERIOR**

### **a) Ondas en general:**

1. ¿En qué se diferencian esencialmente los movimientos vibratorio y ondulatorio?

2. Calcular la velocidad con que se propaga un movimiento ondulatorio cuya longitud de onda es de 2,5 cmts., sabiendo que por un punto determinado pasan 460 ondas por minuto.

3. En la superficie de un vaso con agua se produce un ultrasonido de frecuencia 100.000 hertz (Vibración/segundo); reflejado en el fondo produce un tren de ondas estacionarias en el vaso. Calcular la distancia entre dos nudos consecutivos, sabiendo que la velocidad de propagación del ultrasonido en el agua es de 1.500 mts./sg.

4. En un tren de ondas estacionarias ¿qué relación hay entre dos nodos consecutivos, la velocidad de propagación y la frecuencia de vibración?

5. Al sacar agua de un pozo, es frecuente que, al dar una sacudida brusca a la cuerda, el cubo, si está vacío, pega contra la pared y si está lleno no se mueve. ¿Por qué?

### **b) Interferencias:**

6. Entornando suficientemente los ojos y mirando hacia una luz, se ven líneas irisadas. Da la razón del fenómeno y descríbelo físicamente.

7. Cuando llueve y en aquellos sitios donde había caído grasa, se ven unas manchas irisadas, ¿a qué son debidas estas irisaciones? Dar una explicación física del fenómeno y describir algunos otros del mismo tipo.

8. ¿A qué se deben los colores de las pompas de jabón? ¿Y las irisaciones del nácar? Describir físicamente este fenómeno.

9. ¿Qué se precisa para que se produzcan interferencias y cómo se consiguen?

### **c) Difracción:**

10. A 12.000 metros de altura el cielo se ve negro, ¿por qué?

¿Qué ventajas presenta el espectro de redes?

11. ¿Qué diferencia presenta el espectro de redes de difracción y el espectro de prisma?

¿Cuáles de los dos es más claro y por qué?

12. ¿Por qué se ve un festón brillante en los cúmulos cuando se miran a contra luz?

13. Entra un rayo de luz en una ha

bitacion, y a pesar de propagarse aquella en linea recta, se ilumina toda la habitacion, ¿por que?

14. ¿Por qué en una habitacion en penumbra se ve el rayo de sol que entra por una rendija de la ventana si se mira perpendicularmente a la direccion de propagacion del rayo?

15. ¿Que relacion debe guardar la anchura de una rendija, o el diametro de una partícula, con la longitud de onda de la luz iluminante para que se produzca difraccion?

16. ¿Por qué el sol y la luna se ven rojos cuando están próximos al horizonte?

## ACUSTICA

### I.—CONSIDERACIONES PREVIAS

Desde algún tiempo a esta parte se observa, con disgusto, el hecho de que los estudios de Acústica han perdido gran parte del interés de que antes gozaban en el ánimo de los Profesores de Física. No encontramos razón para tal postergación. Por el contrario, se estima que tales estudios, apoyados con algunos experimentos de cátedra, constituyen insustituible enseñanza para comprender a fondo conceptos, no sólo muy difíciles de alcanzar por mera intuición, sino de la mayor importancia en la moderna técnica ondulatoria.

### II.—FINALIDAD PERSEGUIDA CON LOS EXPERIMENTOS DE CÁTEDRA

Dejando aparte los experimentos que tienen por finalidad llevar al ánimo de los alumnos las características del sonido y las de su propagación, conducido por los medios materiales interpuestos, que se expondrán en forma de lista, se persigue con la experimentación acústica, el establecimiento de los siguientes fenómenos fundamentales:

1. Registro gráfico del sonido.
2. Realidad de la existencia de nodos y vientres en las ondas estacionarias.
3. Realidad de la existencia del fenómeno de resonancia.
4. Producción de pulsaciones.

### I. Registros gráficos del sonido

#### Material

- Un diapason excitado eléctricamente.
- Un índice de acero.
- Una placa rectangular de vidrio de 22 x 15 cm. y de 2 a 3 mm. de gruesa.
- Una bateria NIFE de tres elementos (4 v.) y conexiones eléctricas.

Se monta el diapason, al cual, previamente, se la ha sujetado en una rama el índice de acero mediante un tornillo que pasa por una perforación que tiene la laminita. Se comprueba el funcionamiento. Entre tanto, mientras, un alumno hace el esquema eléctrico en la pizarra (recordar timbre eléctrico), se engrandece con la llama de la bujía esteárica, una de las caras de la lámina de vidrio. Ya preparada, se la toma entre el índice y el pulgar de la mano derecha, y manteniéndola inclinada contra el índice vibrante, se le da un movimiento de traslación transversal al de vibración. Con muy poca práctica se consigue hacer muy uniforme esta traslación. Queda grabada sobre el negro de humo una sinusoide cuyo examen y explicación constituye una excelente lección pedagógica.

Repítase con otros diapasones, de modo que las curvas se marquen paralelamente. No es difícil llegar a establecer la relación tono/frecuencia, limitando las partes más regulares de las si-

nusoides entre paralelas trazadas normalmente al eje de las curvas.

## 2. Producción de ondas estacionarias

Con este experimento se pretende dar la visión plástica substancial de la formación de ondas estacionarias. Una vez «visto» por el alumno que los medios soporte de ondas se mueven así, se pueden explicar, sin más experimentación notablemente más difícil y menos clara, los siguientes hechos:

a) **En acústica.**—Vibraciones de cuerdas, hasta la ley fundamental.

**Vibraciones del aire en tubos**, hasta las leyes que las rigen.

b) **En óptica.**—Fotografía interferencial de colores.

c) **En electricidad.**—Naturaleza ondulatoria de la propagación electromagnética, (ideas de Hertz), con todo lo que de este conocimiento se puede deducir.

De todos los experimentos ideados hasta la fecha, ninguno mejora el primero, practicado por Melde.

### Material

Un diapasón excitado eléctricamente.

Una batería NIFE de tres elementos (4 vol.).

Un hilo de bordar (2,5 m. de largo).

Un platillo para añadir pesos variables.

Un soporte corriente de laboratorio con mordaza de matraz.

Conexiones eléctricas.

Se sujeta el hilo, por un extremo, a una de las ramas del diapasón (tiene un tornillito y una chapita de presión) y en la otra se sujeta al platillo; el hilo pasa por la pinza y queda horizontal. Se excita el diapasón dispuesto para vibrar en un plano también horizontal. Se producen nodos y vientres: si se dispone de elementos, es mejor iluminar la cuerda, en la clase oscura, con el proyector, de Cátedra. Variando la tensión, con pesos en el platillo, varía el número

de nodos; (a mayor tensión, menor número de nodos intermedios).

## Preguntas

Explica cómo funciona la excitación eléctrica del diapasón. Recuerdo del timbre eléctrico. Generaliza este conocimiento a todos los interruptores mecánicos automáticos.

Comprobar la equidistancia nodal.

Explicar por qué se forman nodos en los extremos de la cuerda.

## 3. Fenómenos de resonancia.

a) Demostración práctica de su producción.

### Material

Dos diapasones idénticos montados sobre cajas de resonancia.

Se inicia la clase con una explicación teórica del hecho examinado, centrada en la siguiente premisa: **si un sistema tiene un período propio de vibración, sólo puede ser excitado por otro sistema con idéntico período.** Ejemplo: un diapason que da cierto número de vibraciones, tiene un **período propio de vibración** que le es peculiar y característico. Lo excito con un golpe de mazo y, naturalmente, vibra. Si le golpeo periódicamente con el mazo, sólo serán eficaces los golpes que le dé si van de acuerdo con la posición que en el momento de recibir la excitación tenga el diapason. Hacerlo ver bien (un buen ejemplo que los chicos entienden siempre, es el de los columpios de las ferias).

1. Excítase un diapason, mediante un golpe: déjese vibrar unos 5 segundos; con los dedos, de modo un poco teatral, deténgaselo; cesa el sonido. El alumno aprende que la vibración del diapason y la producción de sonido son fenómenos simultáneos. Repítase dos o tres veces.

II. Múntense los dos diapasones de modo que las bocas de sus cajas, enfrentadas, queden a unos 25 cm. de distancia. Ituéguese el más profundo silencio. Excítese uno de ellos, como antes. Al cabo de 5 segundos, deténgasele tocando con los dedos en sus ramas. Persiste un sonido: se demuestra que es producido por el otro diapasón, porque al pararlo con los dedos, se hace el silencio. Repítase dos o tres veces, excitando uno u otro de los diapasones, hasta que no quede la menor duda en el ánimo de los alumnos.

Repítase la explicación teórica inicial aplicada al caso particular practicado.

III. Si los diapasones **no son idénticos**, es decir, con diferente periodo de propia vibración, no pueden entrar en resonancia. El siguiente experimento lo demuestra. Modifíquese uno de los diapasones mediante una pequeña pieza metálica que puede sujetarse con un tornillo de presión a una de las ramas. Hecho esto, repítase el experimento II. No hay resonancia en absoluto. Quitese la pieccecita suplementaria: hay resonancia. Con algún tanteo también se puede conseguir que la haya, sobrecargando el segundo diapasón con la pieccecita metálica, y repitiendo, con los dos diapasones idénticos, modificados igualmente, el experimento II.

#### 4.—Producción de pulsaciones

##### Material

Dos diapasones idénticos sobre su caja de resonancia.

Una pieccecita metálica suplementaria para variar ligeramente la frecuencia de uno de ellos.

I. Excítese suavemente los dos diapasones, mediante golpecitos con el mazo. Vибran al unísono: se suman sus intensidades y se oye un sonido constante. Visto esto, modifíquese la frecuencia de uno de ellos con la sobrecarga metálica fijada, aproximadamente a unos 3 cm.

de distancia desde la parte libre de la del diapasón. Hágase el silencio total; excítese ambos diapasones. Al conseguirse sus vibraciones, se notarán altibajos sonoros periódicos: **pulsaciones**. Repítase, sin modificar nada.

Aquí es conveniente intercalar la explicación teórica del fenómeno, que se procurará tener dibujada en la pizarra correspondiente, dado que resulta difícil improvisarlo: es bueno utilizar tizas de colores.

II. Para demostrar experimentalmente que las pulsaciones son resultado de la composición de dos sonidos de frecuencia próxima, proceder como sigue: Se repite el experimento; hecho el silencio total se nota la pulsación; párese con los dedos, algo teatralmente, uno de los diapasones: en el instante mismo, desaparece la pulsación y se oye sólo el sonido continuo del diapasón en vibración. Excítese, de nuevo, el que hemos parado; reaparecen las pulsaciones.

En este punto, es conveniente ampliar la explicación teórica, con otro gráfico dibujado con dos sonidos de frecuencias más alejadas; aumenta la frecuencia de la pulsación. Como antes, es útil tener la pizarra preparada, dada la dificultad de improvisar los gráficos, algo difíciles.

III. Repítase el experimento I, para refrescar la memoria sonora del auditorio y, sobre todo, para anotar mentalmente la frecuencia de la pulsación. Enseguida, trasládese la sobrecarga metálica, un centímetro hacia la boca del diapasón modificado y repítase la maniobra de excitación. Se oyen, de nuevo, pulsaciones, pero más rápidas, tal como exige la teoría: hágase de nuevo: modifíquese en uno y otro sentido la frecuencia de vibración del diapasón. Anotar todo lo que sucede.

Si se quiere, a la vista del nivel de la clase, es posible calcular teóricamente, la frecuencia de la pulsación. Utilizar para ello la expresión de la intensidad sonora con la función coseno, más sen-

cilla que la función seno para el cálculo matemático.

**NOTA.**—La importancia de este experimento tan sencillo y comprensible es mucha para entender los fundamentos de la detección heterodina y superheterodina en la radio; en la recepción rár-dica, etc.: en general, todos los casos en que se utiliza alta frecuencia emisora.

## OTRAS EXPERIENCIAS DE CATEDRA

1. Vibración de cuerpos sólidos.
2. Transmisión de sonidos por sólidos, líquidos y gases.
3. Tono de los sonidos por la sirena. Mejor para práctica.
4. Interferencia de sonidos. Mejor para práctica.

Se detalla algo la forma de realizar los experimentos 2, 3, y 4.

a) **Vibración de cuerpos sólidos.**—Hacer sonar un diapasón y observar su vibración tocándolo con la mano o aproximando un pendulillo con un poco de plomo.

b) **Transmisión del sonido por cuerpos sólidos.**—Se toma un diapasón con la mano y se transmite su sonido a su caja de resonancia, mediante un cuerpo sólido, por ejemplo una regla.

c) **Transmisión por líquidos.**—Se transmiten las vibraciones de un diapason a su caja de resonancia a través del agua contenida en un recipiente. Si se introduce la cola del diapason en el agua se oye poco: es preferible sumergir una de las ramas del diapason o unir la cola del diapason a un pequeño disco que se introduce en el agua.

d) **Transmisión del sonido por diferentes gases.**—Se cuelga una campanilla del tapón de un matraz provisto de tubadura lateral. Entre el hilo de suspensión y la campanilla se coloca un anillo de caucho. Se hace el vacío. Las vibraciones producidas en el matraz no se perciben. Se deja entrar el aire, percibiéndolas entonces con toda claridad

Si se emplea H el sonido se debilita, si se emplea CO<sub>2</sub>, se refuerza.

e) **Pulsaciones.**—Se disponen dos diapasones al unisono montados sobre sus cajas de resonancia dando preferentemente la nota *do*<sub>4</sub>: se pone en uno de ellos un poco de cera de forma que haciéndoles vibrar en conjunto, se perciban alrededor de 4 pulsaciones por segundo.

Desplazar uno de los diapasones acercándole o alejándole rápidamente del otro toda la longitud del brazo. Un observador situado a alguna distancia en la dirección del movimiento, podrá comprobar que el número de pulsaciones aumenta o disminuye, según el sentido del movimiento.

f) **Tono de los sonidos. Sirena.**—Sobre un disco de cartón blanco (D=35 cm.) se trazan circunferencias concéntricas de diámetros 33 cm., 30 cm., 27 y 24 cm. Estas circunferencias se dividen en 24, 20, 15 y 12 partes iguales. Luego se hacen agujeros de 0,5 cm. de diámetro sobre las divisiones. Se pega en el centro del disco un taco de madera (6 centímetros × 6 cm. × 2 cm.) y se hace un agujero en el centro que adapta al eje de un motor eléctrico. Se prepara asimismo un tubo de vidrio estrado (D=0,8 centímetros, d=0,3 cm.).

Se pone en marcha el motor y se produce un ruido soplando sobre unas de las coronas de agujeros. Al aumentar la velocidad, aumenta el tono del sonido. Para medir el tono de un sonido se pone al unisono con la sirena.

g) **Método gráfico.**

h) **Interferencias del sonido y medida de la velocidad del sonido.**—El sonido es producido por un diapason que se fija con una pinza sobre un soporte con interposición de caucho entre el diapason y el soporte, así como entre el soporte y la mesa. El diapason empleado debe dar una nota fuertemente aguda.

A continuación, se disponen dos pares de tubos de vidrio de diámetros tales

que permitan entrar uno dentro del otro a frotamiento suave (1=60 cm. dia. 0,8). Empalmar simétricamente estos dos pares de tubos con los tubos en T (d=0,8 centímetros, 3L=15 cm.) por medio de tubos de caucho (1=60 cm.). Ajustar a continuación, sobre uno de estos tubos en T, un tubo de caucho al que se adapta un pequeño tubo de vidrio acodado, que se adapta al oído.

El otro tubo T recoge el sonido producido por diapasón. Por alargamiento de uno de los caminos, se pone de manifiesto los fenómenos de interferencia y se puede medir la longitud de onda del sonido emitido y determinar la velocidad del sonido.

Si se quiere emplear como experimento de cátedra se pueden emplear llamas manométricas.

#### 5. Efecto Doppler.

Se comprueba repitiendo el experimento de producción de pulsaciones (descrito en el número 4), alejando o acercando rápidamente, todo lo largo del brazo, uno de los diapasones. Varía muy perceptiblemente la frecuencia de la pulsación; la explicación teórica del hecho experimental lleva de la mano a la comprensión del efecto de Doppel-Fizeau.

6. Las clásicas de tubos, descritas en todos los libros, en especial dirigidas a la determinación experimental de nodos.

7. Resonancia con columna de agua de altura variable.

8. Sonómetro.

### QUESTIONES

A título de ejemplo, se incluyen algunas de las muchas que se pudieran sugerir.

1. Definir la intensidad, tono y timbre del sonido. ¿Qué diferencia existe entre un ruido y una nota musical?

2. Se produce un sonido agudo a algunos metros de distancia de una pared vertical y se mueve una llama

sensible entre el cuerpo sonoro y la pared. Se observa que en algunos puntos la llama no acusa el sonido. Explíquese la razón de ello e indiquese cómo podría servirse de este experimento para determinar el tono de la nota.

3. Cómo se puede medir el número de vibraciones de un diapasón.

4. Si se comunicase una serie de impulsos a una cuerda que está fija por un extremo y estos impulsos se producen con regularidad, la cuerda vibra de modo que queda quieta en alguno de sus puntos. ¿Por qué?

5. Enunciense las leyes de las vibraciones transversales de las cuerdas y explíquense los experimentos adecuados para comprobarlas.

6. ¿Qué efecto produce un aumento de temperatura sobre la nota de un diapasón? Dénse razones que justifiquen la respuesta.

7. Explíquese la resonancia. Dos diapasones iguales se hacen sonar: uno cerca de un resonador que responda a su nota; el otro lejos de todo resonador. ¿Qué diferencia se observa en la velocidad con que disminuye la intensidad del sonido en uno y otro diapasón y por qué?

8. Se sopla suavemente un tubo sonoro abierto y, entre tanto, se cierra con la mano el otro extremo. ¿Qué ocurre? ¿Por qué?

9. ¿Qué son los armónicos y qué efecto tienen sobre el timbre de una nota musical?

10. Cómo podría demostrarse experimentalmente que el sonido se propaga más rápidamente en un gas cuando está caliente que cuando está frío.

11. ¿Qué son las pulsaciones? ¿Cómo se pueden demostrar experimentalmente?

### PROBLEMAS

1. Calcular la longitud de onda del tono más bajo y más alto de una soprano que alcanza de 200 a 1.100 hz.

2. Calcular la longitud de onda, en el aire, a 0° C, de una nota musical cuya frecuencia es 135 hz.

3. En un triángulo, ABC, los tres lados son tres cuerdas sonoras igualmente tensas. Determinar la forma de este triángulo, sabiendo que los tres lados al vibrar producen el acorde perfecto mayor.

4. La velocidad del sonido en el aire es de 340 m/seg. ¿Cuál sería la velocidad del sonido en el hidrógeno y en el anhídrido carbónico? Dato. Densidad del hidrógeno 0,077; del anhídrido carbónico 1,97 y del aire 1,29 gr./dm<sup>3</sup>.

5. La distancia entre dos nodos consecutivos de un tubo sonoro lleno de hidrógeno es 290 c., para una nota cuya frecuencia es 435 hz. Calcular la velocidad del sonido en dicho gas.

6. Se inscriben sobre el mismo cilindro registrador las vibraciones de un diapasón y los pasos por la vertical de un péndulo de 196 cm. de longitud, de manera que entre dos pasos de éste contemos 299 vibraciones completas de aquél. Calcular la frecuencia del sonido que produce. El diapasón vibra delante del extremo abierto de un tubo cerrado por una pared móvil cuya distancia al orificio del tubo no puede pasar de 1 metro. Calcular la posición del tabique móvil para que el tubo entre en resonancia.

7. En un experimento con un tubo de Kundt importó la distancia entre dos montoncitos de polvo próximos 164 centímetros cuando el tubo estaba lleno con aire y 275 cuando estaba lleno de hidrógeno. Calcular la velocidad del sonido en el hidrógeno (C aire = 340 m/seg).

8. ¿Cuál es la profundidad del mar bajo un navío de 120 m. de eslora, si el ruido de las hélices se oye a proa como si procediese de una dirección que forma ángulo de 30° con la horizontal?

9. Dos cuerdas de la misma longitud y de distinto metal están al unísono con

pesos tensores tales, que, el de la primera cuerda triplica al de la segunda. La razón entre sus densidades respectivas es 1,15. Se pide: 1.°, la razón entre los diámetros de las dos cuerdas; 2.°, la tensión que se debe dar a la segunda cuerda para que la razón de intervalos entre los sondeos producidos por ambas sea 3/2.

10. Un diapasón (261 hz) se mantiene sobre un tubo de vidrio situado verticalmente y que se sumerge por su parte inferior en agua. ¿Cuánto debe sobresalir el tubo para que se produzca resonancia?

11. Un tubo sonoro cerrado presenta en su vibración solamente dos nodos distantes 0,50 m. Determinar: 1.°, la longitud de onda del sonido emitido; 2.°, la longitud del tubo; 3.°, la frecuencia del sonido; 4.°, la longitud del tubo abierto, cuyo sonido fundamental es el precedente.

12. Se tiene una cuerda, AB, de longitud 1. Se coloca un caballete en un punto C tal que  $AC^2 = AB \cdot BC$ . Hallar la relación de los tonos de los dos sonidos que darían los dos segmentos vibrando transversalmente. Toda la cuerda al vibrar da el fa<sup>4</sup> sostenido; hallar el número de vibraciones de cada uno de los dos segmentos.

13. Una cuerda de longitud 1 m. y diámetro 1 mm. sometida a un esfuerzo tensor de 10 kg. da la misma nota que otra cuerda de la misma substancia de 75 cm. de longitud estirada con un peso de 5 kg; ¿cuál será el diámetro de la segunda cuerda?

14. Se hace sonar un tubo cerrado de 1 m. de longitud, con corriente de hidrógeno. Da su sonido fundamental que está al unísono con el de una sirena de 16 orificios, cuya velocidad es 300 vueltas en 15 seg. Calcular la velocidad del sonido en el hidrógeno.

15. Calcular la tensión de una cuerda de violoncelo cuya nota fundamental es de 65 hz., su masa 15 g./m., y su longitud vibrante 70 cm.

# PROPAGACION Y REFLEXION DE LA LUZ

## EXPERIENCIAS PARA GRADO ELEMENTAL

1.° La demostración de la propagación rectilínea de la luz, se puede hacer con un foco luminoso cualquiera y dos cartulinas provistas de sendos pequeños orificios; alineándolos debidamente se puede proyectar una pequeña mancha luminosa sobre una pantalla.

2.° Sombra. Un haz de luz, divergente, por ejemplo una bombilla a suficiente distancia, produce una sombra muy marcada de cualquier objeto que se interponga entre ella y la pared.

3.° Penumbra. Se coloca una vela encendida a unos 30-40 cms. de una pantalla y entre ambos se interpone una varilla de un cm. de diámetro. Se obtiene una sombra nimbada por una zona llamada penumbra a la que llegan algunos de los rayos emitidos por la vela.

4.° Cámara oscura. Con un haz de rayos paralelos en el cual se coloca un diafragma en forma de flecha, al interponer entre éste y una pantalla un diafragma de pequeño orificio, se forma en la pantalla la imagen invertida de la flecha.

5.° Reflexión difusa. Se necesita una pantalla, pintada de blanco por una cara y de negro por otra. Al iluminarla con un foco luminoso, la cara blanca refleja casi toda la luz en todas las direcciones y la cara negra refleja muy poca luz, también en todas las direcciones.

6.° Reflexión especular. Con el disco de Hartl, que se describe en el tema de la refracción, se demuestran las leyes de la reflexión muy claramente. En el centro del disco se coloca un espejo plano y se hace incidir sobre él un haz luminoso estrecho. La medida de los ángulos

de incidencia y reflexión comprueba la ley.

También puede comprobarse de la siguiente forma: se dispone un vidrio (FIGURA 8) perpendicular al plano de la

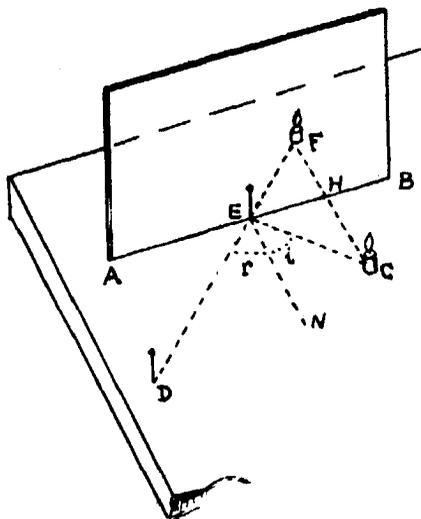


Fig. 8.

de mesa y con un lápiz o tiza se traza la recta AB; se coloca una vela encendida delante del cristal y se señala el punto C, donde se ha colocado; se clavan dos alfileres en D y E alineados con la imagen de la vela; se hace coincidir una vela apagada (de igual tamaño que la que hace de objeto) con la imagen de la vela encendida y se señala el punto F. Se retira todo el sistema y se dibujan las rectas DEF, EC, CF y la normal EN; se comprueba la igualdad de los ángulos «i» y «r» y que HF es igual a CH.

7. Espejos esféricos. Con el disco de Hartl, colocando en su centro un espejo esférico cóncavo o convexo y haciendo incidir sobre ellos un haz de luz pa-

ralelo, se comprueban las leyes de reflexión en estos sistemas ópticos.

## QUESTIONES SOBRE PROPAGACION DE LA LUZ

### 1.º Grado elemental.

1. ¿Conoces lo que son las sombras chinescas? ¿Cuál es la explicación de este fenómeno?

2. Sabiendo que la luz se propaga en línea recta, interpreta la aparición de un barco en el horizonte.

3. ¿Por qué en una cámara oscura se ven las imágenes invertidas?

4. ¿Cuál es el fundamento del reloj de Sol?

5. Explicación de los eclipses.

6. Explicación de las fases de la luna.

7. ¿Con qué clase de movimiento se propaga la luz?

8. ¿Cuál es el valor de la velocidad de propagación de la luz, en el vacío y en el aire?

### 2.º Grado superior.

1. Indica el fundamento de algún método para determinar la velocidad de propagación de la luz.

2. ¿Qué factores modifican el valor de la velocidad de propagación de la luz?

3. ¿Las radiaciones que forman la luz solar, se propagan con la misma velocidad?

4. ¿Se propagan, a través de un prisma óptico, con la misma velocidad, la luz roja y la luz violeta?

5. Define el concepto óptico de color ¿Cuántos colores existen?

6. ¿Cómo se pueden obtener simultáneamente dos sombras de un mismo objeto?

7. ¿Cómo podrás obtener simultáneamente dos sombras idénticas de un mismo objeto con dos focos de distinta intensidad?

8. ¿Por qué se puede oír a una persona situada detrás de una pared, y no se la ve?

9. ¿Por qué es conveniente utilizar luz amarilla, los días de niebla, en los faros de los automóviles?

10. Explica por qué, al mirar un objeto a través de un cristal de espato de Islandia, en dirección distinta del eje óptico, ves dos imágenes ¿Cuándo ves una sola?

11. ¿Qué se entiende por medios ópticamente vacío y llenos?

12. ¿Qué fenómenos físicos te permiten formar una idea intuitiva de la propagación rectilínea de la luz?

13. Describe los fenómenos que se producen por la propagación de la luz solar, y que permiten ver un objeto sumergido en el agua.

14. ¿Tienen la misma energía las radiaciones extremas del espectro visible?

15. ¿Por qué en los climas de altura es más energética la acción pigmentadora de los rayos solares?

16. ¿En qué formas se nos manifiesta la energía emitida por el Sol?

## QUESTIONES SOBRE REFLEXION DE LA LUZ

### 1.º Grado elemental.

1. Diferencias entre reflexión especular y difusa.

2. Diferencias entre imágenes real y virtual.

3. ¿Por qué se disponen sobre los focos luminosos pantallas opacas pintadas de blanco?

4. ¿Por qué se pintan de blanco los árboles, postes, bordillos, etc. en las carreteras?

5. ¿Se puede recoger en una pantalla la imagen de un objeto obtenida con espejos planos, cóncavos o convexos?

6. Enumera distintas superficies especulares que hayas visto.

7. ¿Podrías determinar ópticamente si una superficie es rugosa o pullmentada?

8. ¿Por qué son visibles la luna, los planetas y las estrellas?

9. Explica el funcionamiento del dispositivo de la bicicleta que se llama captafaros.

10. ¿Qué es un espejo? Clases de espejos.

11. Define gráficamente los elementos de un espejo.

12. Diferencia entre los focos de un espejo cóncavo y uno convexo.

13. ¿A qué distancia del espejo se encuentra el foco de un espejo cóncavo, convexo y plano?

14. ¿Cuánto mide el radio de curvatura de un espejo plano, y a qué distancia se encuentra el foco?

15. ¿Dónde parece estar situado un objeto que ves a través de un instrumento óptico?

16. ¿Cómo es la imagen producida por un espejo plano? Dibuja un esquema aclaratorio.

17. Un objeto está situado frente a un espejo plano, y sabes que:

Si acercas o alejas el objeto del espejo la imagen también se acerca o aleja del espejo la misma distancia. Razónalo.

Igualmente, si alejas o acercas paralelamente el espejo al objeto, la imagen se aleja o acerca al espejo una distancia doble. Razónalo gráficamente.

18. Un bastón está situado a 5 m. de

un espejo plano; se desplaza paralelamente a sí mismo el espejo 2 m., acercándose al objeto. ¿Cuánto has de desplazar el objeto para que la imagen se obtenga en la posición inicial?

19. ¿Cómo obtener una imagen real y otra virtual de un mismo objeto mediante un espejo cóncavo?

20. Determina gráficamente dónde ha de situarse el objeto, frente a un espejo cóncavo, para obtener una imagen del mismo tamaño.

21. Dibuja gráficamente la imagen de un objeto colocado frente a un espejo convexo.

22. ¿Cuántas imágenes se pueden obtener con dos espejos paralelos? Resuelve la cuestión gráficamente.

23. ¿Cuántas imágenes se obtienen con dos espejos que forman un ángulo de 90°.

## 2.º Grado superior.

1. Explica físicamente la frase de Campoamor «En este mundo traidor nada es verdad ni mentira, todo es según el color del cristal con que se mira».

2. ¿Por qué unos objetos se ven rojos, otros amarillos, otros verdes, ..., iluminados con luz solar?

3. Interpreta las denominaciones negro y blanco.

4. ¿Por qué deslumbra más la luz solar en un paisaje nevado?

5. ¿Varia la naturaleza de la luz al reflejarse?

# REFRACCION DE LA LUZ

## EXPERIMENTOS PARA GRADO ELEMENTAL

1.º La experiencia clásica de introducir un bastón en el agua, el cual parece que se dobla.

2.º Colóquese una moneda en el fon-

do de un vaso, preferible metálico, y el observador se aleja hasta que justamente deja de ver la moneda; cuando esto ocurre se añade agua al vaso y la moneda vuelve a verse.

3.º Con un disco de Hartl y un foco de rayos luminosos paralelos, se puede

estudiar la marcha de la luz en lentes convergentes, divergentes, prismas reflexión total, etc.

El «disco de Hartl» consiste en un disco de madera o metálico de unos 30-35 centímetros de diámetro, dividido en 40 partes por medio de radios pudiendo girar alrededor de su centro en un plano vertical u horizontal y va provisto de un dispositivo para sujetar en su centro las lentes, prismas, etc.

Al incidir rasante al disco, el haz luminoso, después de pasar por la lente

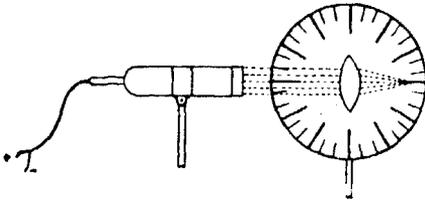


Fig. 9.

o prisma, se puede ver perfectamente la marcha de la luz a través de los medios ópticos indicados (FIGURA 9).

Si se hace llegar un haz estrecho sobre el prisma, es fácil estudiar la mínima desviación del prisma y de la medida de dicho ángulo. Determinar el índice de refracción del material de que está hecho el prisma.

4.° La refracción de la luz puede estudiarse por medio del aparato siguiente (FIGURA 10): en un recipiente hemisférico, cuya parte interior está pintada de blanco y que en la mitad de la cara plana tiene una rendija tapada por una lámina de vidrio. La cara interna curva, está graduada y su cero coincide con el centro de dicha cara, enfrente de la rendija. Se llena de agua hasta su mitad y se envía a través de la rendija un haz luminoso. Sobre la cara curva se ven los impactos luminosos del rayo

no desviado y del refractado; los ángulos de incidencia y refracción son respectivamente el «i» y el «r». Variando el

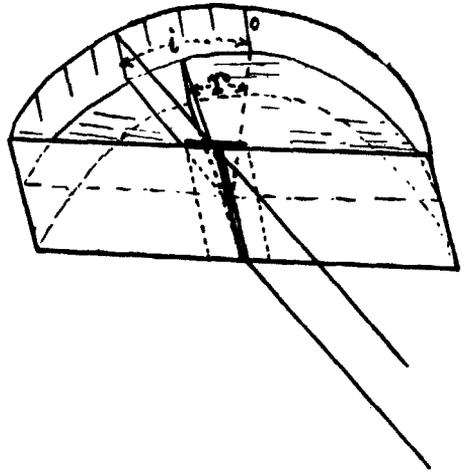


Fig. 10.

ángulo «i», se comprueba la constancia del cociente  $\text{sen } i / \text{sen } r$ .

Otro método más sencillo es el siguiente: Se dispone verticalmente un disco de madera, graduado, que puede girar alrededor de un eje horizontal y provisto de un soporte, para ser colocado dentro de una vasija con agua (FIGURA 11).

Se clava un alfiler en un punto cualquiera A, se introduce el disco dentro del recipiente y se añade agua hasta el centro del disco; se mira desde el exterior y se clava en el disco otro alfiler B, que se vea alineado con el A y con el eje del disco. Se miden los ángulos «i» y «r» y se comprueban las leyes de la refracción.

Se arrolla suavemente en el eje (D) un alambre cuya longitud sea la del diámetro del disco y que esté ligeramente las-

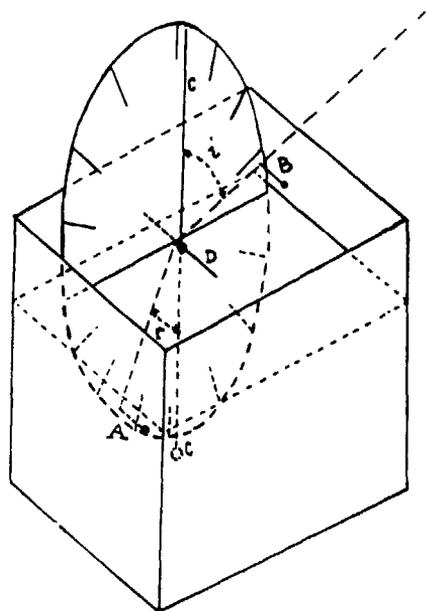


Fig. 11.

trado en la parte inferior para que su posición sea siempre la vertical (C).

5.° La comprobación de la ecuación de los focos conjugados se puede hacer fácilmente. Se dispone de una vela y con la lente convergente se forma su imagen sobre una pantalla vertical. Se miden las distancias vela-lente y lente-pantalla y se determina la distancia focal. Se repite la experiencia variando la distancia vela-lente y se determina la nueva distancia, lente-pantalla; se comprueba la ecuación.

6.° Relación entre el tamaño de la imagen y el objeto:

Delante de la vela se coloca una pantalla hecha con una cartulina, en la que se ha recortado, a la altura de la llama,

una pequeña flecha o un triángulo; con la lente que forma la imagen de la flecha o triángulo en la pantalla, se miden el tamaño de la imagen, y las distancias 1.° pantalla-lente y 2.° lente-pantalla; conocido el tamaño de la flecha o del triángulo se comprueba la fórmula.

## GRADO SUPERIOR

Se pueden repetir las anteriores experiencias y las que siguen:

### 1.° Microscopio:

Se necesita una lente de 10 cms. y otra de 15 cms. La primera constituye el objetivo y la segunda, que debe de ser de diámetro mayor que la anterior, el ocular.

Se dispone de un foco luminoso, a continuación una diapositiva y con la lente de 10 cms. se forma su imagen sobre una pantalla translúcida que se observa con la lente de 15 cms. Se retira la pantalla y se sigue viendo el objeto ampliado. Es necesario que los ejes ópticos de las dos lentes coincidan.

### 2.° Anteojo astronómico:

Se necesita una lente de 30 cms. (objetivo) y otra de 10 (ocular).

Con el objetivo se forma en una pantalla translúcida una imagen de un objeto distante que se observa con el ocular. Se retira la pantalla y se ve el objeto ampliado e invertido. Los ejes ópticos de ambas lentes han de coincidir.

### 3.° Anteojo de Galileo:

Se necesita una lente de 30 (objetivo) y otra de 10 (ocular).

Se observa un objeto lejano a través del sistema de las dos lentes, con su eje óptico coincidiendo y a una distancia una de otra lente un poco menor que la diferencia de sus distancias focales. Se observarán los objetos mayores y derechos.

# REFRACCION, LENTES, PRISMAS Y APARATOS OPTICOS

## PARA BACHILLERATO ELEMENTAL

1. Define y diferencia la reflexión y la refracción.
2. ¿Por qué al mirar el fondo de un estanque nos parece menos profundo de lo que realmente es?
3. ¿Cómo se distinguen en unas gafas las lentes convergentes de las divergentes? ¿Qué tipos de lentes conoces? ¿En qué aparatos se emplean?
3. Diferencia entre imágenes reales y virtuales. ¿Por qué expuestas al sol unas lentes pueden quemar sustancias combustibles y otras no?
5. Comparar la máquina fotográfica y el aparato de proyección.
6. ¿Cómo se podría medir la distancia focal de una lente?
7. Una sustancia tiene de índice de refracción  $3/4$  y otra  $7/5$ . ¿En cuál de ellas se propaga la luz con mayor velocidad y cuántas veces más?
8. Explicar esquemáticamente cómo desde un submarino sumergido puede verse un barco en alta mar.
9. ¿Es lo mismo un prisma óptico y un prisma geométrico? Razónalo.
10. Explicar cómo se propagan los rayos en la sección principal del prisma y cómo se obtiene esta sección.
11. Si se coloca una vela entre una lente convergente y su foco principal ¿dónde se producirá su imagen? ¿Y si se coloca a doble de su distancia focal? ¿Y a mayor distancia del doble de la focal? ¿Qué clase de imagen se obtiene en cada caso y cómo es su tamaño con relación al objeto?
12. (La misma que la anterior pero con una lente divergente).
13. La imagen de una bombilla quiere ser proyectada en una pantalla por

medio de una lente ¿Qué clase de lente tiene que ser? y ¿Cómo ha de colocarse?

14. Una lente da una imagen invertida. ¿Qué clase de lente es? ¿Esa imagen es real o es virtual?

15. ¿A qué se llama potencia o poder convergente de una lente? Una lente de distancia focal (-25 cm.) ¿Qué potencia o poder convergente tiene?

16. ¿Por qué por la noche te ves en el cristal de una ventana y por el día no?

17. Un magnífico tirador dispara sobre un pequeño pez dentro del agua ¿Por qué fracasa en su intento de acertar en el blanco si apunta al pez que él ve?

## PARA EL BACHILLERATO SUPERIOR

1. ¿Qué influencia tiene la refracción de la luz en la duración del día? Explicarlo.
2. ¿Por qué un determinado prisma, cuál, se prefiere a veces a un espejo para reflejar la luz?
3. Un pez puede ver parte del fondo de un acuario mirando hacia la superficie del agua. Explicar por qué y aclarar la explicación con un esquema.
4. ¿Qué propiedad tiene el centro óptico de una lente?
5. Diferencia entre imagen real y virtual en las lentes. Explicar esta diferencia por medio de un esquema.
6. ¿Qué relación existe entre la distancia del objeto y de la imagen y la distancia focal de la misma? Primero, en una lente convergente, y segundo, en una divergente.
7. ¿Cómo podría determinarse experimentalmente la distancia focal y el aumento de una lente convergente?
8. Una misma lente puede emplearse

en una cámara oscura para obtener una imagen más pequeña que el objeto, o en un aparato de proyección, para obtener una imagen aumentada. Explicar los dos usos.

9. ¿Qué clase de imagen produce el aparato de proyección, sea el ordinario o sea epidiáscopo? ¿Qué camino sigue en su interior un rayo de luz? Dibuja su esquema y analiza la diferencia que existe entre ambos.

10. ¿En qué posición un objeto y su imagen son del mismo tamaño en una lente convergente?

11. Hacer un esquema que demuestre la formación de la imagen de un objeto situado a la distancia 2f: a) en una lente convergente; b) en una lente divergente. Comparar los resultados.

12. ¿En qué punto del eje principal se colocaría un objeto para producir una imagen aumentada y derecha? usando: a) una lente convergente y b) una lente divergente.

13. ¿Qué clase de lente necesita una persona miope y cuál una hipermetrope? Explicación.

14. Comparar el funcionamiento del ojo humano con un instrumento óptico.

15. ¿En qué consiste el astigmatismo? ¿Cómo se corrige?

16. ¿Qué modificación hay que hacer en el esquema de un antejo astronómico para que dé las imágenes derechas?

18. ¿Cómo explicas el espejismo?

19. ¿En qué consiste el defecto de un presbita? ¿Cómo se corrige?

## PRACTICAS RECOMENDADAS SOBRE POLARIZACION, BIRREFRINGENCIA, FOTOMETRIA Y ESPECTROS

### BIRREFRINGENCIA

1. Experiencia personal de observar una raya gruesa a través de un cristal de espato de Islandia, haciéndole girar.

2. Se hace pasar un haz de luz paralelo a través de cada una de las dos láminas polaroides, para formar juicio de la impresión sobre la pantalla. El haz luminoso se hace pasar a través de los dos, haciendo girar uno de ellos hasta conseguir máxima iluminación y extinción. La escala que lleva el proyector prueba que este cambio requiere un giro de 90°.

3. Simil mecánico. Como material hace falta una caja de cigarras a la que se le han suprimido las dos paredes laterales pequeñas y un tubo de caucho de unos 5 mm. de diámetro y 5 m. de longitud. Colocada sobre la mesa la caja apoyada sobre una de sus caras mayores se hace pasar el tubo de goma que se extiende rectilíneamente sobre la mesa. Imprimiendo al tubo un mo-

vimiento de rotación por el extremo más próximo a la caja aparece una línea sinuosa en la otra parte, en el plano de la mesa. Repitiendo la misma experiencia con la caja en posición vertical, la onda plana resultante es perpendicular al plano de la mesa.

4. Desviación del plano de polarización y polarización cromática. Entre las láminas polaroides de la experiencia número 2 se coloca el tubo polarimétrico conteniendo disolución concentrada de azúcar, estando las láminas cruzadas. Se observa una débil luminosidad que puede hacerse desaparecer girando uno de los polaroides hacia la derecha.

Al girar la lámina polaroide se observan diversas tonalidades del rosa azul, causados por el diferente poder rotatorio respecto a los diversos componentes de la luz blanca.

### FOTOMETRIA

5. Relación entre iluminación y distancia. Se disponen cuatro velas por

una parte y una vela por otra a igual distancia de la barra y se observa que la sombra producida por las primeras es más intenso que la de la vela única. Se alejan las cuatro velas hasta una distancia doble de la anterior, observándose una relativa igualdad de la intensidad de las sombras. La experiencia así realizada no tiene de ningún modo valor cuantitativo.

6. La iluminación depende de la inclinación. Se coloca sobre una plataforma un prisma triangular equilátero de cartulina blanca mate, apoyado sobre su base. A un lado se coloca una vela y a igual distancia, en el otro lado, dos velas juntas. Mirando a la arista anterior del prisma se observa desigualdad de iluminación, si el prisma está simétricamente colocado con relación al plano perpendicular a la recta que une los dos focos. Pero se observan igualmente iluminadas cuando una de las caras del prisma (la que se enfrenta con la vela única) recibe iluminación normal. En estas circunstancias la otra iluminación con respecto a la normal es de  $60^\circ$ , cuyo coseno es medio.

7. Experiencia fundamental sobre la dispersión de la luz. (Única de este grupo correspondiente al grado elemental.) Se monta el prisma de flint sobre el disco de Hartl, colocando en el proyector un diafragma de rendija horizontal. Se recomienda que el rayo incida lo más próximo a la base, para conseguir mayor recorrido en vidrio.

8. Proyección de un espectro continuo. Utilizando el material del experimento siete y empleando la rendija variable y una lente adecuada se proyecta el espectro continuo, bastante luminoso, sobre la pantalla. Conviene observarlo por transparencia.

9. Espectro de emisión. Retirando el proyector del experimento 8 y colocando próximo a la rendija una lamparilla de alcohol en cuya mecha se ha espolvoreado sal, se puede observar pa-

te aunque débil la raya amarilla del sodio.

10. Espectro de absorción. En el dispositivo del experimento 7 se intercala entre proyector y rendija un tubo conteniendo disolución diluida del permanganato potásico. En la pantalla se observa la zona verde del espectro surcada por cuatro rayas verticales negras, dos más gruesas que las otras. El éxito de este experimento reside en la concentración del permanganato y en la posición del tubo frente a la rendija.

Dispuesto el espectro continuo del experimento 7 entre proyector y rendija se intercalan vidrios coloreados que extinguen partes del espectro.

11. Aberración cromática. Con el proyector y una lente se forma la imagen del filamento sobre la pantalla, enfocándola con un vidrio azul interpuesto entre foco y lente. Sustituyendo éste por otro rojo, la imagen del filamento queda desenfocada, siendo necesario desplazar la pantalla para conseguir de nuevo la nitidez de la imagen.

## BIRREFRINGENCIA

1. El espató de Islandia es birrefringente. ¿Qué significa esto, así como los términos de rayo ordinario y extraordinario, eje óptico, y cristales uniáxicos y biáxicos?

2. ¿Qué relación tiene la birrefringencia con los sistemas cristalinos que has estudiado en Mineralogía?

3. ¿Tiene algo que ver la birrefringencia con la polarización de la luz?

4. En la doble refracción, ¿camina la luz con igual velocidad en las dos direcciones?

## POLARIZACION

5. ¿Qué es luz polarizada? ¿Cómo representas en tus esquemas los rayos polarizados para distinguirlos de los de luz ordinaria?

