

Problema 1: Elevador Espacial Electrodinámico

Toda nave utilizada en una misión espacial debe llevar consigo la energía requerida para lograr sus objetivos, la cual se encuentra, usualmente, en forma de propelentes químicos, celdas fotovoltaicas o reactores nucleares. Un servicio espacial de entrega de energía puede ser sumamente costoso. Por ejemplo, la Estación Espacial Internacional necesitará, a lo largo de su vida útil, de aproximadamente 77 toneladas de propelentes químicos, sólo para evitar una gradual caída de su órbita.

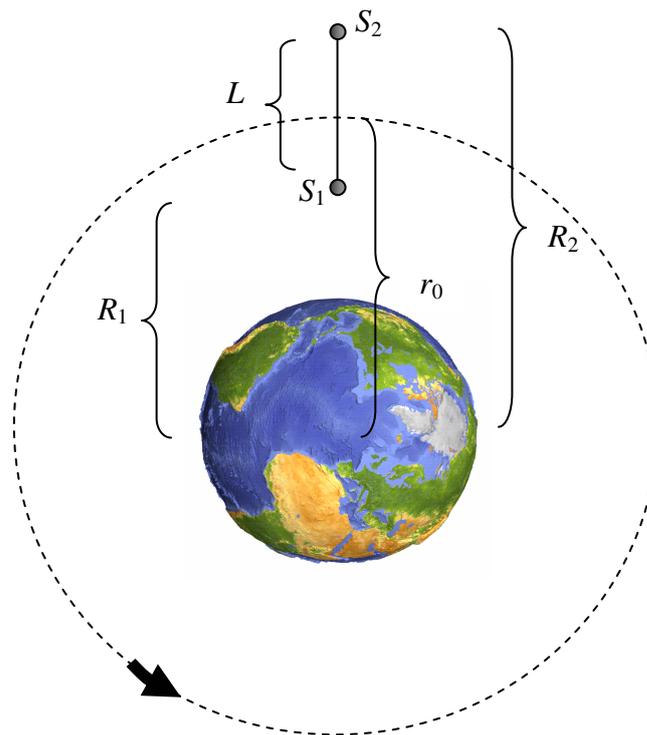


Figura 1: Sistema Elevador – Tierra (Dibujo no a escala)

Para solucionar este tipo de inconvenientes, se ha propuesto un dispositivo alternativo de propulsión, conocido en la literatura inglesa como Tether y que nosotros llamaremos Elevador Espacial. Los elevadores espaciales son sistemas en los cuales dos masas que orbitan alrededor de la Tierra, están unidas por un cable (ver figura 1). Cuando el cable es un conductor eléctrico, hablaremos de un Elevador Espacial Electrodinámico (EEE). A diferencia de los sistemas convencionales, en el cual los motores químicos o eléctricos intercambian momento entre la nave espacial y el propelente, un EEE intercambia momento con el planeta por intermedio de su campo magnético.

Para fijar ideas, consideremos dos satélites S_1 y S_2 , ambos de masa $M = 500$ kg. Un cable conductor de largo $L = 50$ km, de masa despreciable, une a ambos satélites, los

cuales orbitan en torno a la Tierra. Ésta se considerará como una esfera de masa M_T y radio R_T . El centro de masa del sistema de satélites se encuentra a 1 000 km por encima de la superficie terrestre. Esto hace que valgan las desigualdades

$$L \ll R_1 \text{ y } L \ll R_2 \quad (1)$$

A lo largo de todo este problema supondremos que el movimiento orbital de los dos satélites ocurre en un único plano que pasa por el ecuador terrestre y que ellos pueden tomarse como masas puntuales.

- 1) Suponga que el movimiento de los dos satélites S_1 y S_2 es tal que la prolongación de la línea que los une (y que coincide con la dirección del cable que los mantiene unidos) pasa siempre por el centro de la Tierra.

Bajo esta condición, determine analíticamente y calcule

- a) ***La velocidad angular del sistema alrededor de la Tierra, y***
- b) ***La tensión del cable que une a los dos satélites.***

Nota: para realizar aproximaciones puede usar la siguiente expresión, válida cuando $\delta \ll a$:

$$\frac{1}{(a + \delta)^2} \approx \frac{1}{a^2} \left(1 - \frac{2\delta}{a} \right)$$

- 2) Para un observador fijo a un objeto en una órbita estable, la fuerza de inercia (ficticia o aparente) se equilibra con la fuerza de gravedad. En un sistema como el EEE, todas las fuerzas están equilibradas respecto al centro de masa. Pero en el satélite más alejado de la Tierra, la fuerza aparente, es superior a la fuerza de gravedad. Como resultado, un objeto ubicado en él sentirá una fuerza neta de sentido opuesto a la de la gravedad terrestre (gravedad artificial o aparente).

- a) ***Encuentre la expresión analítica de esa fuerza para un objeto de masa m ubicado en el interior del satélite S_2 .***
- b) ***Compruebe que esa fuerza es aproximadamente proporcional a la longitud del cable, L .***

- 3) En órbitas bajas ($r_0 \sim 1\,000$ km), cuando el cable conductor que mantiene a los dos satélites unidos atraviesa el campo magnético terrestre, se induce en él una fuerza electromotriz. Debido a la presencia de la ionosfera conductora, se establece una corriente eléctrica que circula por el cable conductor. Además, esta corriente interactúa con el campo magnético terrestre y experimenta una fuerza.

- a) Calcule la magnitud y sentido de la corriente eléctrica inducida en el cable conductor. Suponga que la resistencia eléctrica efectiva del sistema conductor-ionosfera es $R = 10 \text{ k}\Omega$ y que el cable está recubierto por un material aislante excepto en sus extremos. Aquí utilice la aproximación dipolar del campo magnético terrestre, al cual supondremos de magnitud $B_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ T}$ sobre el ecuador y a una altura de 1 000 km por encima de la superficie terrestre. Suponga que el EEE gira hacia el Este y que los dos satélites S_1 y S_2 están fabricados de un material no conductor (ver figura 2).
- b) Determine la magnitud, dirección y sentido de la fuerza resultante de la interacción entre la corriente calculada en el punto a) y el campo magnético terrestre.
- c) ¿Qué efecto tiene esa fuerza sobre el EEE?

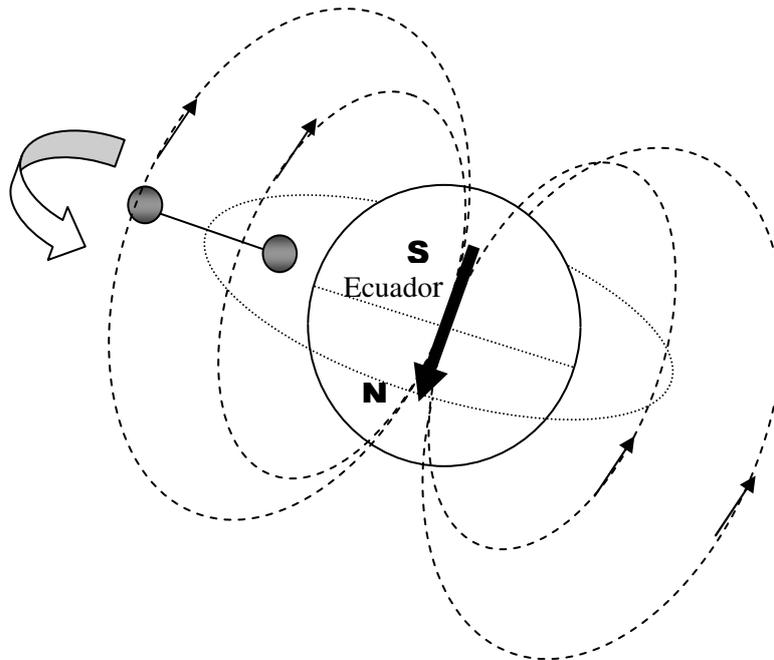


Figura 2: Diagrama del campo magnético terrestre: N y S indican el polo norte y el polo sur magnético, respectivamente.

- 4) Considere ahora que el cable forma un ángulo φ con la dirección radial a la Tierra, tal como se muestra en la figura 3.
- a) Determine el valor del ángulo φ para el cual el sistema se encuentra en una orientación estable. Justifique.

b) *Determine la frecuencia de oscilación del sistema cuando se aparta ligeramente de su posición de equilibrio.*

Nota: Puede serle de utilidad el siguiente desarrollo, válido para x pequeño:

$$\frac{1}{\sqrt{1+ax+bx^2}} \approx 1 - \frac{ax}{2} + \frac{1}{2} \left[\frac{3}{4}a^2 - b \right] \frac{x^2}{2}$$

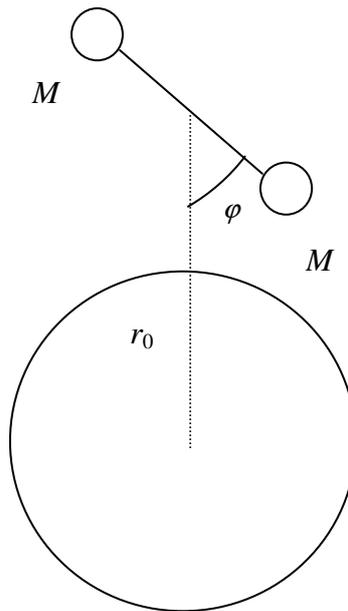


Figura 3: Sistema EEE-Tierra (Dibujo no a escala)

Datos Útiles:

$G = \text{Constante de Gravitación Universal} = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$

$M_T = \text{Masa Terrestre} = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$

$R_T = \text{Radio Terrestre} = 6\,367 \text{ km}$

Problema 2: Misión a Venus

La forma más sencilla de realizar un viaje entre dos planetas del Sistema Solar es utilizando lo que se conoce como órbita de Transferencia de Hohmann, que es, desde el punto de vista energético, la más económica. En dicha transferencia el satélite recorre, en el ambiente interplanetario, un camino que es una semi-elipse, con el Sol en uno de los focos, entre el planeta interior en la posición más cercana al Sol (perihelio) y el planeta exterior en el punto más apartado de esa cónica (afelio) (Ver Figura 1). En nuestro caso, el de una supuesta misión satelital a Venus, se puede suponer que las órbitas de los planetas involucrados están en el mismo plano y pueden ser consideradas círculos perfectos. Además supondremos que es posible esperar la configuración ideal para la transferencia de Hohmann, donde la posición de Venus (a la llegada de la nave) es diametralmente opuesta a la posición en la que estaba la Tierra en el instante de la partida del satélite.

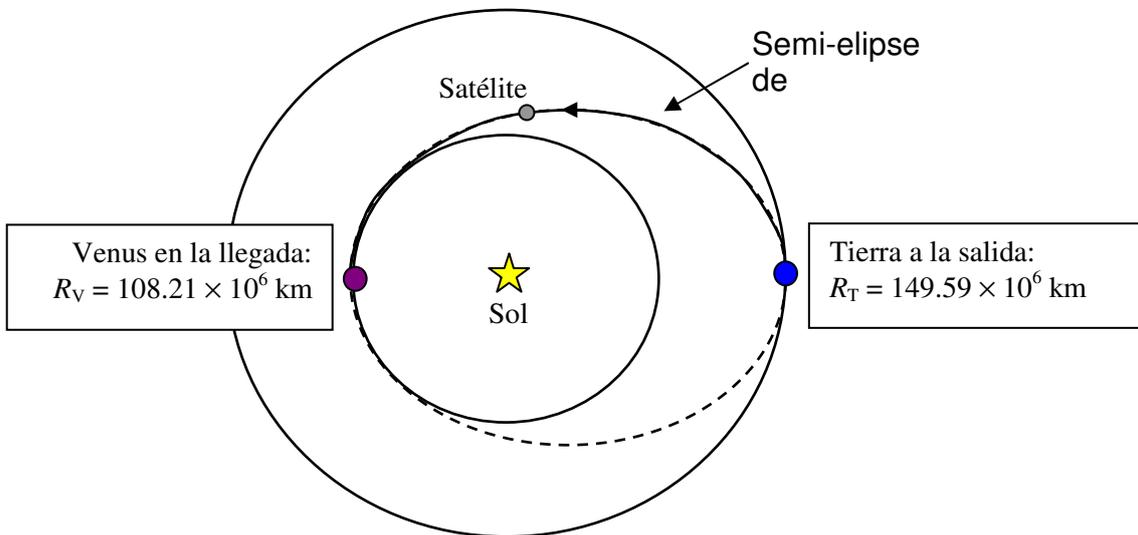


Figura 1

- a) Determine el tiempo de vuelo de una misión desde la Tierra al planeta Venus en una trayectoria de Hohmann, considerando que el movimiento del satélite cumple con las mismas leyes que cualquier astro del sistema solar y despreciando las perturbaciones gravitatorias de todos los planetas.

Con el objeto de suministrar energía a la nave se instalan 2 paneles solares idénticos para aprovechar la potencia que irradia el Sol, que es de 4×10^{23} kW. Las celdas fotovoltaicas, que convierten la luz del Sol en electricidad, absorben solamente una fracción de ese total para suministrar energía a la nave espacial. En la actualidad se usan celdas de arseniuro de galio que alcanzan una eficiencia de alrededor del 35 %.

- b) Determine el área mínima que debe tener cada panel solar para poder hacer su viaje a Venus. Suponga que tras abandonar la atmósfera terrestre, la nave necesita una potencia mínima de 2 kW para el correcto funcionamiento de su

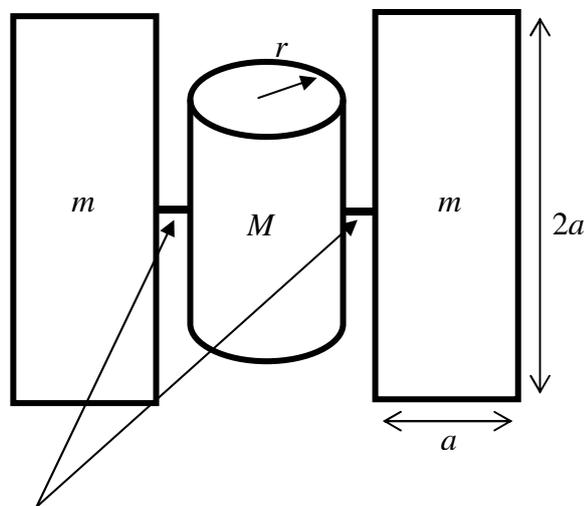
instrumental y que los paneles solares siempre se orientan perpendiculares a la luz solar.

Una de las propuestas mas interesantes que existen para el desarrollo de una nave interplanetaria es lo que se conoce como "velero solar" o "vela de fotones" (nave espacial del Conde Duku en la Guerra de las Galaxias episodio II). Es un tipo de propulsión espacial que se basa en el aprovechamiento de la presión de la radiación del Sol. Cuando los fotones chocan con un objeto, le transfieren momento lineal o cantidad de movimiento. El empuje que así se genera tiene la ventaja de que es permanente y gratuito, y puesto que en el espacio no existe rozamiento, cualquier velocidad adquirida mediante este procedimiento permanecerá así casi indefinidamente.

c) Encuentre una expresión para la presión de radiación en función de la energía radiante por unidad de tiempo y área, suponiendo que la superficie es perfectamente absorbente.

En la actualidad, los paneles solares de las naves espaciales o satélites son ocasionalmente usados como velas solares para ayudar a los satélites a hacer correcciones menores a su órbita sin usar combustible.

El diseño esquemático de la nave se muestra en la Figura 2. La masa de la nave es $M = 480$ kg, su radio es $r = 1$ m y la masa de cada panel es $m = 30$ kg



Masa y longitud despreciables

Figura 2

d) Calcule la aceleración angular inicial de la nave cuando se encuentra orbitando alrededor de Venus, si uno de los paneles absorbe totalmente y el otro refleja el 50 % de la radiación incidente. Suponga los paneles solares orientados perpendicularmente a la luz solar.

Debido a un desperfecto, la nave se sale de su órbita e interesa conocer cuánto se aproximará al Sol antes de que se fundan sus paneles.

Se sabe que la energía emitida por unidad de tiempo y por unidad de área por un objeto a temperatura T está dada por la ley de Stefan-Boltzmann

$$S = \sigma T^4 e$$

donde σ es una constante universal y e es la emisividad. Un cuerpo en equilibrio con sus alrededores irradia y absorbe la misma cantidad de energía en la unidad de tiempo, manteniendo su temperatura constante. Para un absorbente ideal $e = 1$.

Considerando que las placas solares están sólo constituidas por arseniuro de galio, que su espesor es despreciable y que el Sol emite energía uniformemente en todas direcciones:

e) Encuentre la distancia al Sol a la que comienzan a fundirse las celdas solares, teniendo en cuenta que la temperatura de fusión del arseniuro de galio es de 1 511 K. Suponga que los paneles están siempre orientados perpendicularmente a la luz solar.

Datos útiles:

- $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
- Momentos de inercia:
 - Cilindro respecto a su eje: $MR^2/2$
 - Placa respecto eje mayor: $ML^2/12$ (L ancho de la placa)

Problema 3: Criostato para bajas temperaturas

Un sistema simple para controlar la temperatura de una muestra entre 77 K y 300 K consiste en sumergir el recipiente que la contiene en un baño de nitrógeno líquido (NL) contenido en un termo de vidrio.

En nuestro caso, el recipiente que contiene la muestra es un cilindro de 5 cm de radio conectado con el exterior por medio de un tubo cilíndrico de 1 cm de radio. Las paredes laterales del cilindro y del tubo son adiabáticas (aislantes térmicos). La temperatura de la muestra en el interior del cilindro se mantiene a 100 K mediante un sistema que regula la corriente que pasa por una resistencia. Un esquema simplificado de dicho sistema es mostrado en la figura 1.

Las tapas del cilindro interior están compuestas de dos materiales, cobre y alúmina (óxido de aluminio), siendo de cobre la parte externa. El cobre tiene un espesor de 1 cm y la alúmina 3 cm. A 77 K las conductividades térmicas del cobre y la alúmina son $k_{\text{cu}} = 600 \text{ W/m K}$ y $k_{\text{A}} = 26 \text{ W/m K}$ respectivamente.

Experimentalmente se encuentra que, en condiciones de régimen estacionario, el flujo de calor, es decir, la cantidad de calor por unidad de tiempo y por unidad de área, que pasa a través de una pared plana de espesor e y coeficiente de conducción térmica k , está dado por:

$$\frac{1}{A} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = k \frac{\Delta T}{e}$$

donde ΔT es la diferencia de temperatura existente entre las caras de la pared de espesor e y área A .

Obtenga la expresión y calcule:

- La temperatura en la interfase entre el cobre y la alúmina.**
- La cantidad de calor que por unidad de tiempo atraviesa las dos tapas del cilindro interior.**

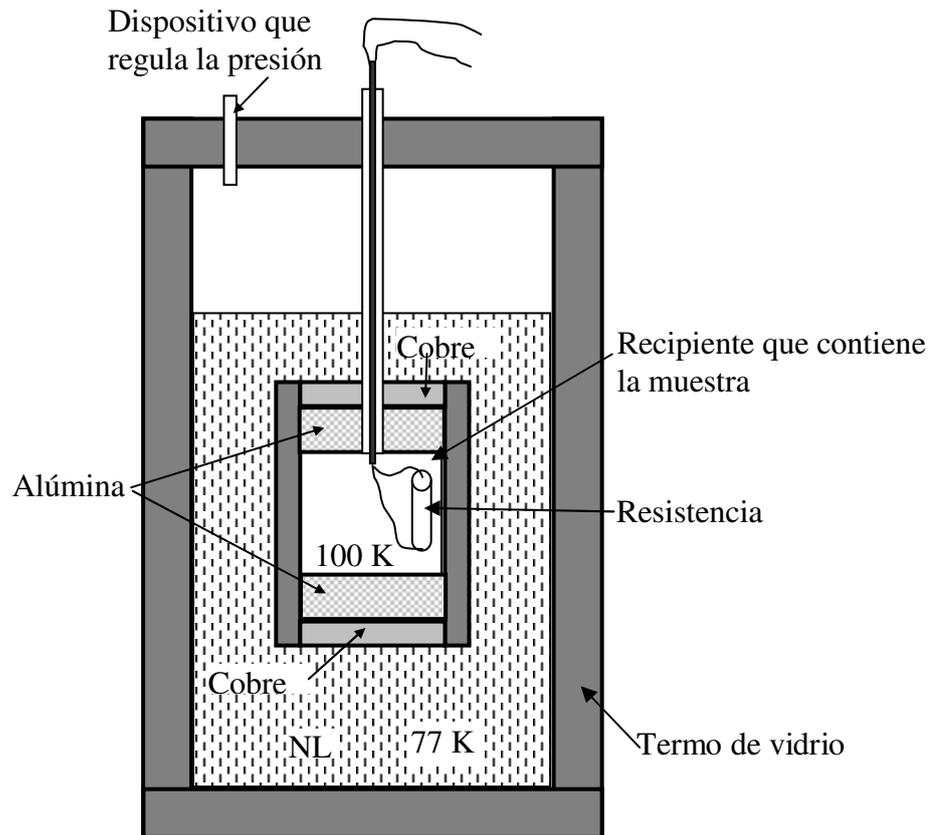


Figura 1

El radio interior del termo que contiene el nitrógeno líquido es de 15 cm. Las paredes y tapa del termo son adiabáticas. En la tapa del termo existe un dispositivo que permite mantener la presión en su interior igual a la atmosférica, p_a .

Obtenga la expresión y calcule:

- c) La masa de nitrógeno líquido que se vaporiza por unidad de tiempo.
- d) El cambio del nivel de nitrógeno líquido por unidad de tiempo.
- e) El número de moles de gas que salen por unidad de tiempo a través del dispositivo.

Otros datos útiles:

- Temperatura de ebullición del nitrógeno líquido a presión atmosférica es 77 K
- Calor de vaporización del NL: $\lambda_v = 198.38 \text{ kJ/kg}$
- Densidad del nitrógeno líquido: $\delta_L = 808.61 \text{ kg/m}^3$
- Densidad del nitrógeno gaseoso a 77 K: $\delta_G = 4.61 \text{ kg/m}^3$
- Masa molecular del nitrógeno gaseoso: $m_N = 28.01 \text{ g/mol}$
- Constante de los gases: $R = 8.31 \text{ J/(mol K)}$
- Presión atmosférica: $p_a = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$

Prueba Experimental: Determinación de la estructura cristalina y la concentración de un cristal coloidal, por medio de difracción de luz visible

Objetivo:

Determinación de la estructura cristalina y la concentración de un cristal coloidal, por medio de difracción de luz visible.

Material suministrado:

- Un difractómetro integrado por:
 - Una fuente de luz láser, fija a una base de altura y nivel regulables.
 - Una rendija de cartulina azul para colimar el haz láser.
 - Un tubo, con orificio para el ingreso de un haz de luz, fijo sobre una base.
- Un portamuestras.
- Una linterna.
- Una regla.
- Lápiz, hojas de papel blanco y papel milimetrado.
- Una calculadora.

Datos:

Longitud de onda de la luz de láser $\lambda = (659 \pm 1) \times 10^{-9} \text{ m}$
Índice de refracción del agua $n = (1.332 \pm 0.003)$

ATENCIÓN

Lea detenidamente los párrafos que describen el funcionamiento de las distintas partes del difractómetro. Vaya mirando e identificando las partes, pero **no toque nada** hasta que haya terminado de leer íntegramente las siguientes secciones:

-Difracción de Bragg.

-Cristales coloidales.

En esta sección se hace hincapié sobre el cuidado extremo con el que deberá realizar el experimento, debido a las propiedades de la muestra que usará.

-Descripción del funcionamiento del difractómetro.

-Procedimiento.

Esta sección lo guiará en la realización de la experiencia.

Mucho cuidado y suerte.

La difracción de Bragg

Cuando un haz de luz incide sobre un cristal, es dispersado, en todas las direcciones, por todas las partículas que lo constituyen. Si la longitud de onda de la luz tiene un valor adecuado, entre los rayos dispersados se produce interferencia. En algunas direcciones la interferencia es constructiva y entonces habrá un máximo de intensidad luminosa, en otras, las más, será destructiva y habrá oscuridad. Este fenómeno se denomina difracción de la luz (la más común es la de rayos X).

En la figura 1 se esquematizan algunos de los centros dispersores de un cristal que está siendo irradiado.

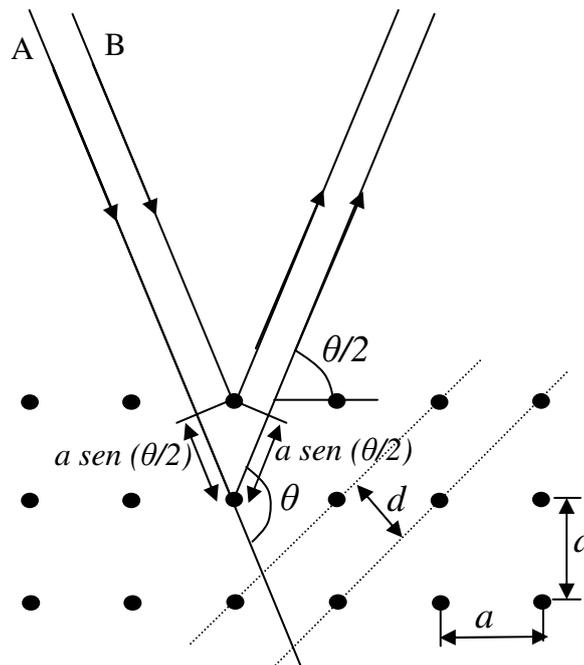


Figura 1

Según se observa en la figura 1, habrá interferencia constructiva entre el rayo A y el B (o lo que es lo mismo, un máximo de difracción) cuando la diferencia de camino óptico entre ambos ($2 a \text{sen}(\theta/2)$) satisfaga la expresión:

$$2 a \text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{\lambda}{n} \quad (1)$$

donde n es el índice de refracción del medio, λ/n la longitud de onda de la luz en el medio y a la separación entre los dispersores (ver Figura 1). A esta expresión se la conoce como “Ley de Bragg”.

Aunque obtenida de un ejemplo sencillo, esta expresión resulta de la contribución de todos los dispersores que forman el cristal.

Note que la expresión anterior resulta como surgida de reflexiones de rayos paralelos (A y B), sobre “planos paralelos” del cristal, separados por la distancia a . Estos

“planos cristalinos” se consideran formados por las partículas que están contenidas en ellos.

En el caso en que se considere la incidencia del haz, por ejemplo, sobre los planos indicados por las líneas punteadas, en la Fig. 1, los cuales están separados por una distancia $d=a/\sqrt{2}$, se tendrá que reemplazar a a por d , en la ecuación (1).

$$2 d \operatorname{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{\lambda}{n} \quad (2)$$

El ejemplo esquematizado en la figura 1 es bidimensional. En tres dimensiones se puede obtener que la expresión genérica para d , en el caso de redes cristalinas cúbicas, es:

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

donde h, k, l son enteros mayores o iguales a cero, denominados índices de Miller.

Reemplazando esta expresión para d , en la ecuación (2), queda

$$\frac{2a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \operatorname{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{\lambda}{n}$$

Definiendo $h^2 + k^2 + l^2 = N$ es inmediato que

$$\operatorname{sen}^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = \left(\frac{\lambda}{2an}\right)^2 N \quad (3)$$

De esta ecuación es importante notar que *para cada N corresponde un único θ* para a y λ fijos.

Una de las formas más simples en la que se ordenan las partículas, es según redes cristalinas cúbicas. Estas redes pueden ser cúbicas simples (CS), cúbicas centradas en el cuerpo (BCC), o cúbicas centradas en las caras (FCC). Los esquemas de las celdas elementales de dichas redes están graficados en la Figura 2.

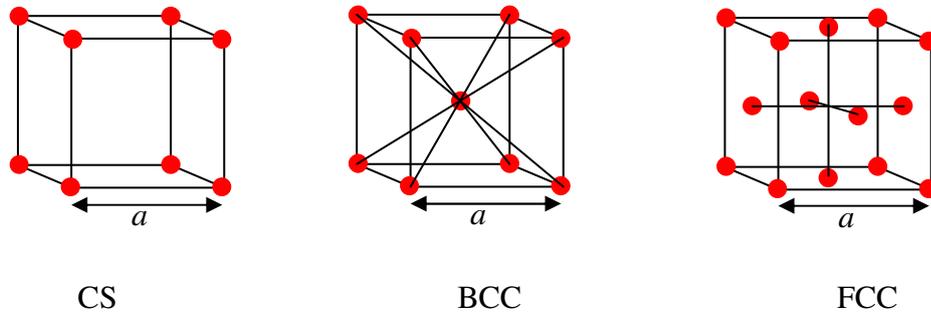


Figura 2

Según se observa en esta figura, para el caso CS las partículas se ubican en los vértices de un cubo de lado a . En el caso BCC se agrega una partícula en centro del cubo, mientras que en el caso de una FCC, a las partículas de una CS se agregan partículas en el centro de cada una de las caras del cubo.

A la longitud de la arista del cubo, a , se la conoce con el nombre de *parámetro de red*.

Para que se produzca un máximo de difracción, no es suficiente con que se satisfaga la Ley de Bragg (ecuación 1). Además, es necesario que los índices de Miller (h, k, l) cumplan ciertas reglas, que surgen de la ubicación de las partículas que forman la celda elemental.

Estas reglas, para las estructuras cúbicas, son las siguientes.

BCC- Si la suma $h + k + l$ es par, la reflexión existe; si es impar, no existe.

FCC- Si h, k, l son todos pares o todos impares, la reflexión existe; si hay mezcla de paridad, no existe (al cero se lo considera como par).

CS- No hay restricciones.

Estas reglas permiten obtener los valores de N permitidos correspondientes a los máximos de difracción.

Como ejemplo se muestra la Tabla 1, para la estructura BCC y FCC, con algunos de los valores de índices de Miller para haces difractados.

h	k	l	$N = h^2 + k^2 + l^2$ BCC	$N = h^2 + k^2 + l^2$ FCC
1	0	0	-	-
1	1	0	2	-
1	1	1	-	3
2	0	0	4	4
2	1	0	-	-
2	1	1	6	-
2	2	0	8	8
2	2	1	-	-
3	1	0	10	-
3	1	1	-	11
etc.	etc.	etc.	etc.	etc.

Tabla 1
Valores permitidos de N en redes BCC y FCC

Cristales coloidales

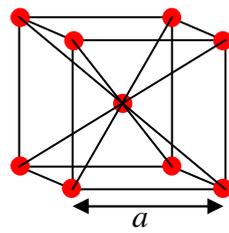
Un cristal coloidal es un arreglo ordenado de partículas en el seno de un líquido. En nuestro caso las partículas son esferas de látex y el líquido es agua, sin iones. Las esferas de látex tienen una cierta cantidad de carga negativa adherida y distribuida uniformemente sobre su superficie. Todas las esferas tienen la misma carga. Como el agua que las rodea no contiene iones positivos que neutralicen la carga negativa de las esferas, éstas se repelen mediante fuerzas de Coulomb.

Las paredes del recipiente que contiene a las esferas de látex en agua, impiden que aquellas se aparten indefinidamente. Esta restricción hace que las esferas alcancen posiciones de equilibrio que minimizan la energía de repulsión coulombiana, para el volumen V que ocupan las N_0 esferas.

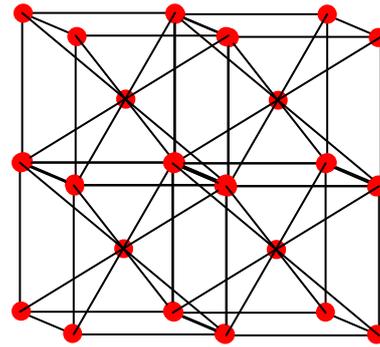
Bajo estas condiciones y dependiendo de la concentración o densidad numérica de esferas en el volumen V , $c = \frac{N_0}{V}$, las esferas se acomodarán formando estructuras

BCC o FCC.

Un cristal con estructura, por ejemplo, cúbica centrada en el cuerpo, se “arma” repitiendo esa celda elemental, un gran número de veces (Figura 3-b). Cuando muchos de estos cristales se agrupan, con orientaciones al azar, como en el caso de la muestra de este experimento, se dice que se forma un policristal.



(a)



(b)

Figura 3

- a-Esquema de una celda elemental BCC
 b-Porción de un cristal con estructura BCC

En nuestro caso tenemos un policristal de esferas de latex en agua. Las fuerzas que mantienen “armado” los cristales del policristal son muy débiles. Por esta razón, cualquier golpe o vibración destruye el ordenamiento y luego transcurre cerca de una hora hasta que vuelve a ordenarse. Por lo tanto, trate al dispositivo con mucho cuidado, sobre todo al portamuestras, rotándolo lentamente cuando deba hacerlo. Cuide de no mover ni golpear la mesa. Respetando estas consignas conservará el policristal sobre el cual se basarán todas sus mediciones.

Descripción del difractor

La figura 4 muestra el esquema de un corte vertical del difractor del equipo experimental. Su cuerpo principal es un tubo de vidrio que en su extremo inferior está fijado a una base de aluminio y en el superior tiene un tapón de plástico de color negro. La base de aluminio está apoyada dentro de un alojamiento que la contiene y que le permite girar según un eje vertical. Para ello, se debe tomar al portamuestras por el tapón negro (superior) y **sin levantarlo**, hacerlo girar. En el tubo de vidrio está insertada una placa de acrílico transparente que tiene una línea marcada en dirección radial. Esta línea permite medir los ángulos girados en una escala graduada o goniómetro, que está fija al borde superior del “tubo T”, el cual aloja a todo este sistema portamuestras. La placa acrílica, además, tiene adosada una pantalla de papel, sobre la que aparecerán marcas luminosas (puntos y líneas) debidos a la luz difractada por la muestra.

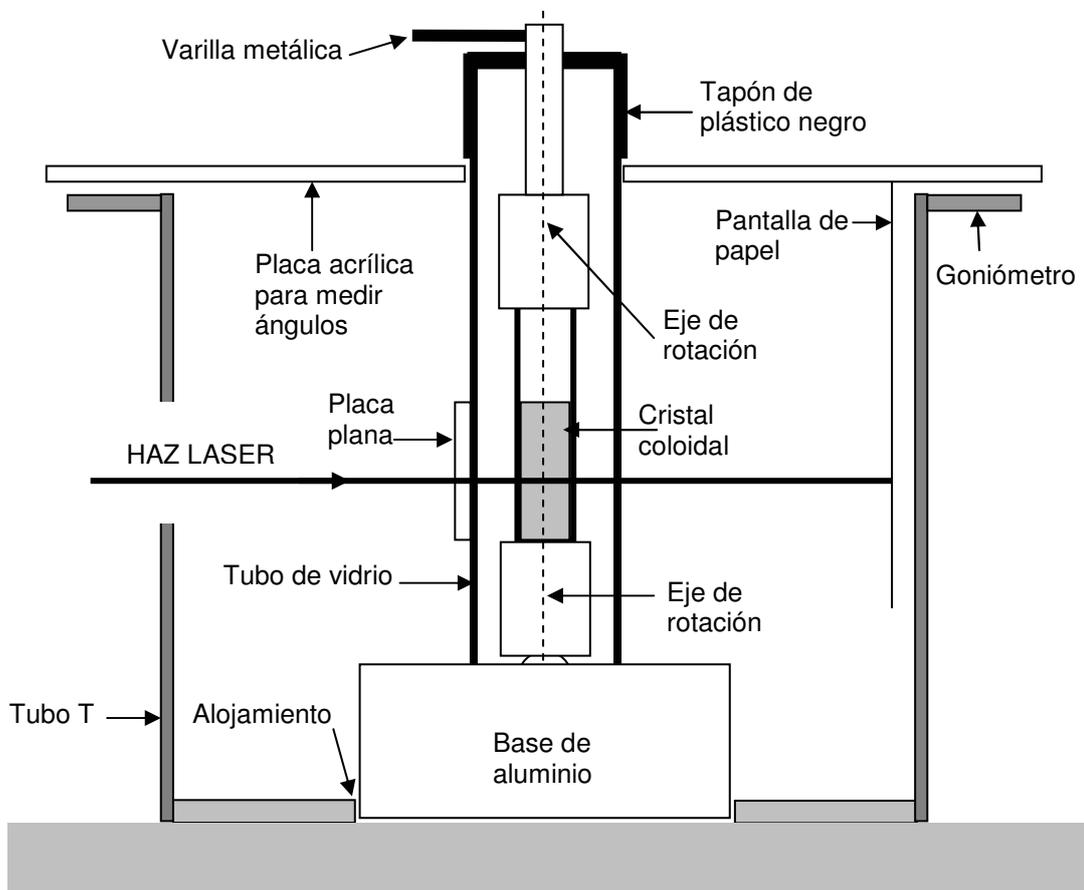


Figura 4
Esquema del corte vertical del difractor.

Dentro del tubo de vidrio está el recipiente que contiene la muestra, la cual es un “cristal coloidal”. Por el centro del tapón negro sobresale una varilla blanca, que tiene un perno metálico, transversal. A esta varilla está fijado el recipiente que contiene la muestra. Con la ayuda del perno se puede girar suavemente la varilla y de esta forma rotar la muestra.

Es conveniente que el haz de luz de la fuente incida perpendicularmente a la pared del recipiente que contiene la muestra. Para ello se ha adherido a la pared del tubo de vidrio, una pequeña placa plana, de vidrio, para ayudar a verificar esta incidencia normal.

La fuente láser está montada sobre un dispositivo que posee tres tornillos, con los que se puede corregir la altura y el ángulo de incidencia del haz sobre la pequeña placa plana de vidrio. Junto a la fuente láser está adosada una pequeña pantalla graduada, en ella se podrá observar el haz parcialmente reflejado en la placa plana de vidrio y así poder corregir su dirección (ver figura 5).

Por último se dispondrá de una rendija, confeccionada con un trozo de cartulina azul, que, una vez que el difractómetro esté listo para medir, se podrá colocar junto al tubo “T”, para colimar el haz láser y mejorar, de este modo, el contraste de los haces difractados respecto de un fondo rojizo de luz dispersada.

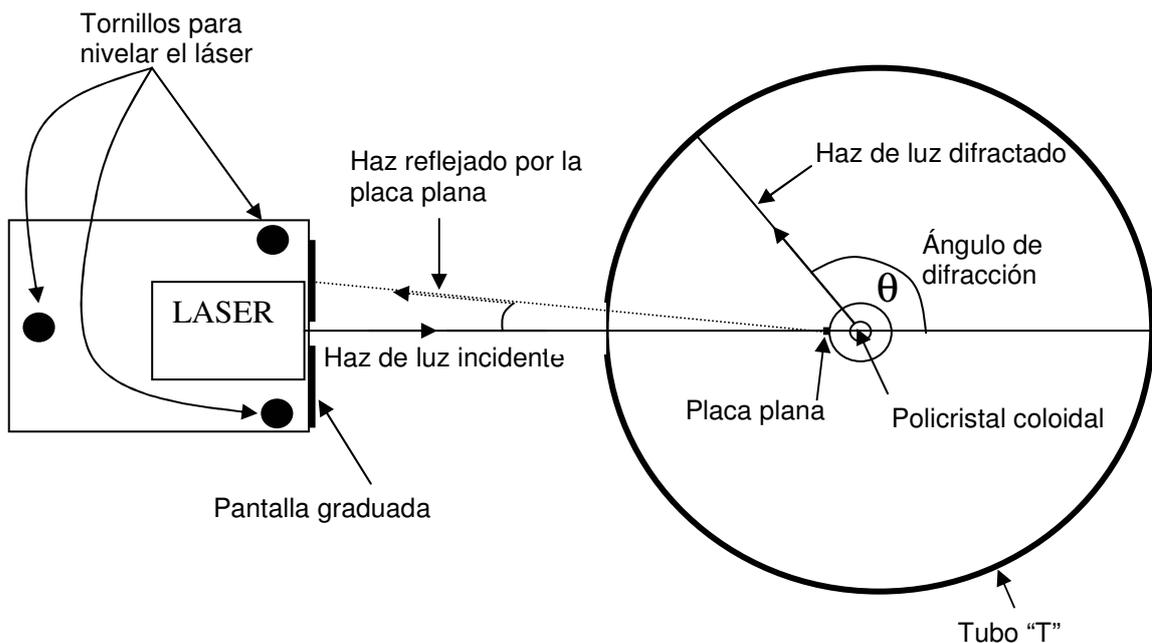


Figura 5

Esquema del corte horizontal del dispositivo experimental

Procedimiento:

Actividades preliminares

Las actividades y observaciones que continúan, enumeradas del 1 al 8, le servirán para familiarizarse con el equipo, razón por la cual debe regular el tiempo invertido en esta tarea.

- 1- Encienda la fuente de luz láser accionando la llave del portapilas, que se encuentra junto al puntero láser.
- 2- Haciendo uso de los tornillos y/o desplazando cuidadosamente la base en donde está apoyado el puntero láser, haga incidir el haz de luz perpendicularmente sobre la placa de vidrio plana, que tiene pegado el portamuestras.
- 3- Para que el haz incida perpendicularmente sobre la placa plana podrá girar el portamuestra tomándolo (sin levantarlo) del tapón negro y variando la posición de los tornillos que nivelan el láser.
- 4- Sobre la pantalla de papel se pueden ver los puntos luminosos donde inciden los haces difractados por la muestra. Estos puntos se ven formando arcos luminosos, verticales. A cada uno de ellos le corresponde un único valor de N . Los arcos luminosos se deberían presentar en posiciones simétricas respecto al punto de incidencia del haz directo. Es decir que se observa el mismo diagrama de difracción a derecha e izquierda del haz incidente.
- 5- Al rotar la muestra por medio de la varilla metálica usted observará que algunos puntos luminosos, que corresponden a los haces difractados, aparecen y otros desaparecen. Esto le permitirá medir ángulos de difracción correspondientes a algunos de los valores de N posibles.
- 6- Mediante los tornillos para nivelar el láser podrá variar la altura del haz incidente para iluminar distintas zonas de la muestra y obtener otros puntos luminosos de haces difractados.
- 7- Si se coloca la rendija de cartulina para colimar el haz de la fuente, los puntos de difracción quedarán mejor definidos, con lo cual, las mediciones serán más precisas.
- 8- La intensidad de los haces difractados para valores de $\theta > 70^\circ$ es baja, por lo que las mediciones son difíciles. Extreme sus habilidades experimentales.

Actividades que se evaluarán

- I- Mida y tabule todos los ángulos de difracción θ observables. Mediante un esquema describa brevemente el procedimiento que usó para realizar la medición.
- II- Determine la incertidumbre $\Delta\theta$ de cada una de las mediciones obtenidas en I.
- III- Suponiendo que la estructura cristalina sea BCC, construya una tabla con valores de θ , $\Delta\theta$ y los N asociados.

- IV- Mediante la ecuación (3) obtenga el valor del parámetro de red, a , y su incertidumbre, haciendo uso del par (θ, N) que produzca la menor incertidumbre en el parámetro de red.
- V- Con los datos de la tabla del item III construya la gráfica que estime adecuada para obtener el parámetro de red. Compare los valores obtenidos por ambos métodos.
- VI- Desarrolle un método de análisis para descartar la estructura FCC, en favor de la BCC.
- VII- Obtenga el valor de la concentración o densidad numérica de esferas ($c = N_0/V$) en la muestra.