

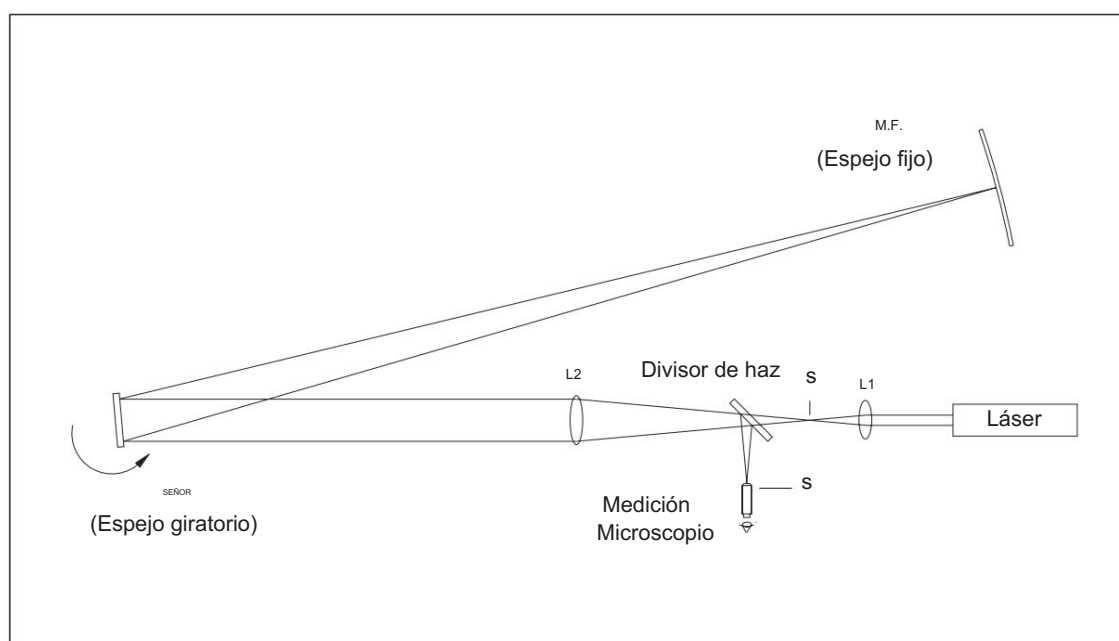
Manual de instrucciones y

Guía de experimentos para
el PASCO científico

Modelo OS-9261A, 62 y

63A

VELOCIDAD DE APARATO DE LUZ





El rayo con punta de flecha, dentro de un triángulo equilátero, tiene como objetivo alertar al usuario de la presencia de "voltaje peligroso" no aislado dentro del gabinete del producto que puede ser de magnitud suficiente para constituir un riesgo de descarga eléctrica para las personas.

PRECAUCIÓN

RIESGO DE DESCARGA ELÉCTRICA
NO ABRIR

PRECAUCIÓN:

PARA EVITAR EL RIESGO DE DESCARGA ELÉCTRICA, NO quite la cubierta trasera. NO se permite al usuario piezas mantenibles en el interior. CONFÍE el mantenimiento a personal de servicio calificado.



El signo de exclamación dentro de un triángulo equilátero tiene como objetivo alertar al usuario sobre la presencia de instrucciones importantes de funcionamiento y mantenimiento (servicio) en la literatura que acompaña al aparato.

Tabla de Contenido

Sección	Página
Derechos de autor, garantía y devolución de equipos	ii
Introducción	1
Medición de la velocidad de la luz: Historia	2
Galileo	
Román	
Fizeau	
Foucault	
El método Foucault	3
Una descripción cualitativa	
Una descripción cuantitativa	
Equipo.....	6
Configuración y alineación	8
Resumen de alineación.....	12
Consejos de alineación.....	13
Cómo realizar la medición	14
Notas sobre precisión y mantenimiento	16

Derechos de autor, garantía

Devolución de equipo

Por favor, siéntase libre de duplicar este manual sujeto a las restricciones de derechos de autor que aparecen a continuación.

Aviso de derechos de autor

El manual del aparato de medición de la velocidad de la luz PASCO scientific 012-07135A está protegido por derechos de autor y todos los derechos reservados. Sin embargo, se concede permiso a instituciones educativas sin fines de lucro para reproducir cualquier parte del manual, siempre que las reproducciones se utilicen únicamente en sus laboratorios y no se vendan con fines de lucro. Se prohíbe la reproducción en cualquier otra circunstancia sin el consentimiento por escrito de PASCO scientific.

Garantía limitada

PASCO scientific garantiza que el producto está libre de defectos de materiales y mano de obra durante un período de un año a partir de la fecha de envío al cliente. PASCO reparará o reemplazará, a su elección, cualquier parte del producto que se considere defectuosa en materiales o mano de obra. La garantía no cubre los daños al producto causados por abuso o uso indebido. La determinación de si una falla del producto es el resultado de un defecto de fabricación o uso indebido por parte del cliente será realizada exclusivamente por PASCO scientific. La responsabilidad de la devolución del equipo para reparación bajo garantía es del cliente. El equipo debe estar correctamente embalado para evitar daños y debe enviarse con el franqueo o el flete prepagados. (Los daños causados por un embalaje inadecuado del equipo para el envío de devolución no estarán cubiertos por la garantía).

Los gastos de envío para la devolución del equipo después de la reparación correrán a cargo de PASCO scientific.

Créditos

Este manual fue escrito por: Bruce Lee

Este manual fue editado por: Dave Griffith

Devolución de equipo

Si por algún motivo es necesario devolver el producto a PASCO Scientific, notifique a PASCO Scientific por carta, teléfono o fax ANTES de devolver el producto. Una vez que reciba la notificación, se emitirán de inmediato la autorización de devolución y las instrucciones de envío.

**NOTA: NO SE ENTREGARÁ NINGÚN EQUIPO
ACEPTADO PARA DEVOLUCIÓN SIN PREVIO AGRADECIMIENTO
AUTORIZACIÓN DE PASCO.**

Al devolver equipos para su reparación, las unidades deben estar embaladas correctamente. Los transportistas no aceptarán responsabilidad por daños causados por un embalaje inadecuado. Para asegurarse de que la unidad no se dañe durante el envío, observe las

siguientes reglas: La caja de embalaje debe ser lo suficientemente resistente para el artículo enviado.

Asegúrese de que haya al menos dos pulgadas de material de embalaje entre cualquier punto del aparato y las paredes internas de la caja.

Asegúrese de que el material de embalaje no pueda desplazarse en la caja o comprimirse, permitiendo que

El instrumento entra en contacto con el embalaje.
caja de cartón.

Dirección: PASCO scientific

10101 Bulevar Foothills
Roseville, CA 95747-7100

Teléfono: (916) 786-3800

FAX: (916) 786-3292

correo electrónico: techsupp@pasco.com

web: www.pasco.com

Introducción

La velocidad de la luz en el espacio libre es una de las constantes más importantes y fascinantes de la naturaleza. Tanto si la luz procede de un láser sobre un escritorio como de una estrella que se aleja a velocidades fantásticas, si se mide la velocidad de la luz, se mide el mismo valor constante. En términos más precisos, la velocidad de la luz es independiente de las velocidades relativas de la fuente de luz y del observador.

Además, como Einstein presentó por primera vez en su teoría especial de la relatividad, la velocidad de la luz es de importancia crítica en algunos aspectos sorprendentes. En particular:

1. La velocidad de la luz establece un límite superior a la velocidad que puede impartirse a cualquier objeto.
2. Los objetos que se mueven cerca de la velocidad de la luz siguen un conjunto de leyes físicas drásticamente diferentes, no sólo de las Leyes de Newton, sino de los supuestos básicos de la intuición humana.

Teniendo esto en mente, no es sorprendente que se haya invertido una gran cantidad de tiempo y esfuerzo en medir la velocidad de la luz. Algunas de las mediciones más precisas fueron realizadas por Albert Michelson entre 1926 y 1929, utilizando métodos muy similares a los que utilizará con el aparato PASCO para medir la velocidad de la luz. Michelson midió la velocidad de la luz en el aire y obtuvo un resultado de $2,99712 \times 10^8$ m/s.

A partir de este resultado dedujo que la velocidad en el espacio libre era $2,99796 \times 10^8$ m/seg.

Pero Michelson no fue en absoluto el primero en ocuparse de esta medición. Su trabajo se basó en una trayectoria de metodología en constante mejora.

Medición de la Velocidad de Luz: Historia

Galileo

A lo largo de gran parte de la historia, aquellos pocos que se atrevieron a especular sobre la velocidad de la luz la consideraban infinita. Uno de los primeros en cuestionar esta suposición fue el gran físico italiano Galileo, quien sugirió un método para medir realmente la velocidad de la luz.

El método era sencillo. Dos personas, a las que llamaremos A y B, llevan linternas cubiertas a las cimas de unas colinas que están separadas por una distancia de aproximadamente una milla. Primero, A destapa su linterna. Tan pronto como B ve la luz de A, destapa su propia linterna. Midiendo el tiempo desde que A destapa su linterna hasta que A ve la luz de B, y luego dividiendo este tiempo por el doble de la distancia entre las cimas de las colinas, se puede determinar la velocidad de la luz.

Sin embargo, como la velocidad de la luz es la que es y los tiempos de reacción humanos los que son, Galileo sólo pudo determinar que la velocidad de la luz era mucho mayor que la que se podía medir con su procedimiento. Aunque Galileo no pudo proporcionar ni siquiera un valor aproximado para la velocidad de la luz, su experimento sentó las bases para intentos posteriores. También introdujo un punto importante: para medir grandes velocidades con precisión, las mediciones deben realizarse a lo largo de una gran distancia.

Román

La primera medición exitosa de la velocidad de la luz fue proporcionada por el astrónomo danés Olaf Römer en 1675. Römer basó su medición en observaciones de los eclipses de una de las lunas de Júpiter. Como esta luna orbita alrededor de Júpiter, hay un período de tiempo en el que Júpiter se encuentra entre él y la Tierra, y lo bloquea de la vista. Römer notó que la duración de estos eclipses era más corta cuando la Tierra se movía hacia Júpiter que cuando se alejaba. Interpretó correctamente este fenómeno como resultado de la velocidad finita de la luz.

Geoméricamente, la Luna siempre está detrás de Júpiter durante el mismo período de tiempo durante cada eclipse. Sin embargo, supongamos que la Tierra se está alejando de Júpiter. Un astrónomo en la Tierra capta su último vistazo de la Luna, no en el instante en que la Luna se mueve detrás de Júpiter, sino solo después de que el último rayo de luz no bloqueado de la Luna llega a sus ojos. Hay un retraso similar cuando la Luna se mueve detrás de Júpiter, pero, dado que la Tierra se ha movido

A mayor distancia, la luz debe recorrer una distancia mayor para llegar al astrónomo. Por lo tanto, el astrónomo ve un eclipse que dura más que el eclipse geométrico real. De manera similar, cuando la Tierra se mueve hacia Júpiter, el astrónomo ve un eclipse que dura un intervalo de tiempo más corto.

A partir de observaciones de estos eclipses a lo largo de muchos años, Römer calculó que la velocidad de la luz era de $2,1 \times 10^8$ m/s. Este valor es aproximadamente un tercio más lento debido a que en ese momento no se sabía con exactitud las distancias involucradas. Sin embargo, el método de Römer proporcionó evidencia clara de que la velocidad de la luz no era infinita y dio una estimación razonable de su valor real, nada mal para 1675.

Fizeau

En 1849, el científico francés Fizeau desarrolló un ingenioso método para medir la velocidad de la luz en distancias terrestres. Utilizó una rueda dentada que giraba rápidamente delante de una fuente de luz para enviar la luz a un espejo distante en pulsos discretos. El espejo reflejaba estos pulsos de vuelta hacia la rueda dentada.

Dependiendo de la posición de la rueda dentada cuando regresaba un pulso, bloquearía el pulso de luz o lo pasaría a un observador.

Fizeau midió las velocidades de rotación de la rueda dentada que permitieron la observación de los pulsos de retorno para distancias cuidadosamente medidas entre la rueda dentada y el espejo. Con este método, Fizeau midió la velocidad de la luz y determinó que era de $3,15 \times 10^8$ m/s, lo que representa un pequeño porcentaje del valor aceptado actualmente.

Foucault

Foucault mejoró el método de Fizeau, utilizando un espejo giratorio en lugar de una rueda dentada giratoria. (Dado que este es el método que utilizará en este experimento, los detalles se analizarán con bastante detalle en la siguiente sección). Como se mencionó, Michelson utilizó el método de Foucault para producir algunas mediciones notablemente precisas de la velocidad de la luz. La mejor de estas mediciones dio una velocidad de $2,99774 \times 10^8$ m/seg. Esto puede compararse con el valor aceptado actualmente de $2,99792458 \times 10^8$ m/seg.

El método Foucault

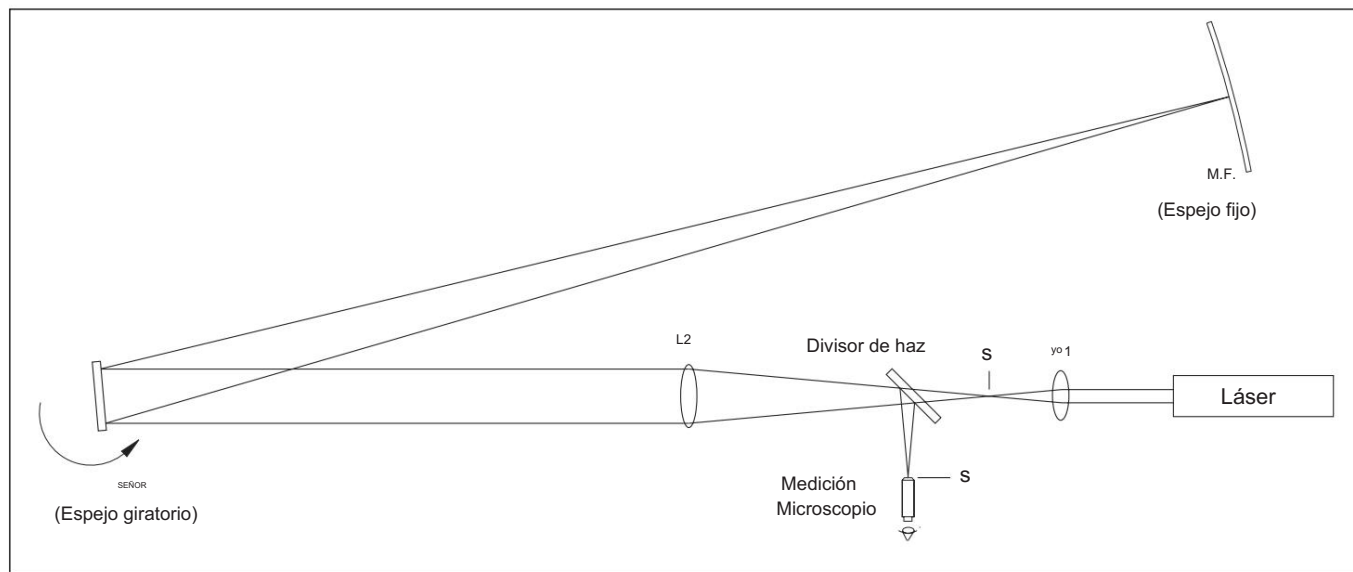


Figura 1: Diagrama del método Foucault

Una descripción cualitativa

En este experimento, utilizará un método para medir la velocidad de la luz que es básicamente el mismo que el desarrollado por Foucault en 1862. Un diagrama de la configuración experimental se muestra en la Figura 1, arriba.

Con todo el equipo correctamente alineado y con el espejo giratorio estacionario, la trayectoria óptica es la siguiente. El haz de luz paralelo del láser se enfoca en una imagen puntual en el punto s mediante la lente $L1$. La lente $L2$ se coloca de manera que el punto de imagen en s se refleje en el espejo giratorio MR y se enfoque en el espejo esférico fijo MF . MF refleja la luz de regreso a lo largo del mismo camino para enfocar nuevamente la imagen en el punto s .

Para que la imagen puntual reflejada pueda verse a través del microscopio, se coloca un divisor de haz en el camino óptico, de modo que también se forma una imagen reflejada de la luz que regresa en el punto s' .

Ahora, supongamos que MR se gira ligeramente de modo que el haz reflejado incida en MF en un punto diferente. Debido a la forma esférica de MF , el haz seguirá reflejándose directamente de vuelta hacia MR . La imagen de retorno del punto de origen seguirá formándose en los puntos s y s' . La única diferencia significativa al girar MR una pequeña cantidad es que el punto de reflexión en MF cambia.

Ahora imaginemos que MR está girando continuamente a una velocidad muy alta. En este caso, la imagen de retorno del punto de origen ya no se formará en los puntos s y s' . Esto se debe a que, con MR girando, un pulso de luz que viaja desde MR a MF y viceversa encuentra MR en un ángulo diferente cuando regresa que cuando se reflejó por primera vez. Como se mostrará en la siguiente derivación, midiendo el desplazamiento del punto de imagen causado por la rotación de MR , se puede determinar la velocidad de la luz.

Una descripción cuantitativa

Para poder utilizar el método de Foucault para medir la velocidad de la luz, es necesario determinar una relación precisa entre la velocidad de la luz y el desplazamiento del punto de la imagen. Por supuesto, otras variables del montaje experimental también afectan al desplazamiento. Entre ellas se incluyen:

- la velocidad de rotación de MR •

la distancia entre MR y MF • el aumento de

$L2$, que depende de la distancia focal de $L2$ y también de las distancias entre $L2$, $L1$ y MF .

Cada una de estas variables aparecerá en la expresión final que derivemos para la velocidad de la luz.

Para comenzar la derivación, considere un haz de luz que sale del láser. Sigue la trayectoria descrita en la descripción cualitativa anterior. Es decir, primero el haz se enfoca en un punto en s , luego se refleja de MR a MF y de regreso a MR. El haz regresa entonces a través del divisor de haz y se reenfoja hacia un punto en el punto s' , donde puede verse a través del microscopio. Este haz de luz se refleja desde un punto particular en MF. Como primer paso en la derivación, debemos determinar cómo se relaciona el punto de reflexión en MF con el ángulo de rotación de MR.

La figura 2a muestra la trayectoria del haz de luz, desde el láser hasta MF, cuando MR forma un ángulo θ . En este caso, el ángulo de incidencia de la trayectoria de la luz cuando incide en MR también es θ y, dado que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, el ángulo entre los rayos incidente y reflejado es de solo 2θ . Como se muestra en el diagrama, el pulso de luz incide en MF en un punto que hemos denominado S.

La figura 2b muestra la trayectoria del pulso de luz si sale del láser en un momento ligeramente posterior, cuando MR está en un ángulo $\theta_1 = \theta + \Delta\theta$. El ángulo de incidencia es ahora igual a $\theta_1 = \theta + \Delta\theta$, de modo que el ángulo entre los rayos incidente y reflejado es simplemente $2\theta_1 = 2(\theta + \Delta\theta)$. Esta vez etiquetamos el punto donde el pulso incide en MF como S_1 . Como la distancia entre MF y MR, entonces la distancia entre S y S_1 se puede calcular:

$$S_1 - S = D(2\theta_1 - 2\theta) = D[2(\theta + \Delta\theta) - 2\theta] = 2D\Delta\theta \text{ (EQ1)}$$

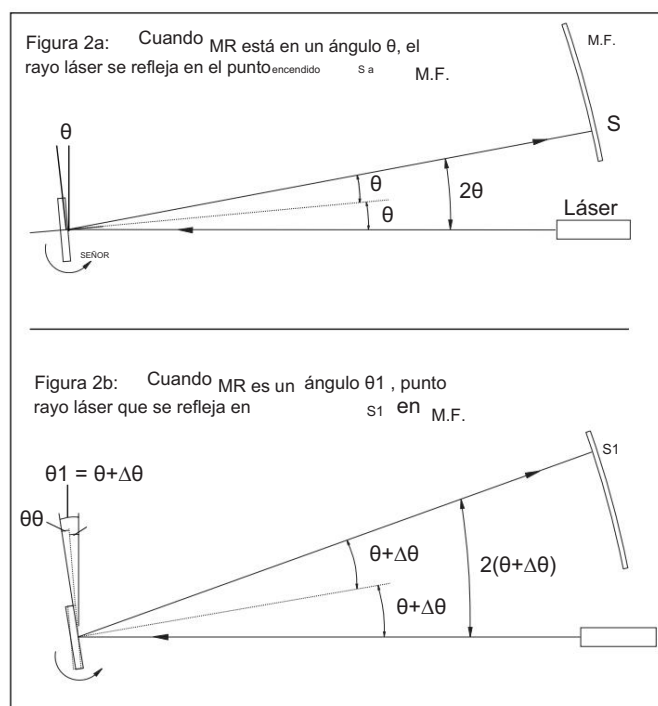


Figura 2a,b: El punto de reflexión sobre MF

En el siguiente paso de la derivación, resulta útil pensar en un único pulso de luz muy rápido que sale del láser. Supongamos que MR está rotando y que este pulso de luz llega a MR cuando está en un ángulo θ , como en la Figura 2a. El pulso se reflejará entonces en el punto S de MF. Sin embargo, cuando el pulso regrese a MR, MR habrá rotado hasta un nuevo ángulo, digamos el ángulo θ_1 . Si MR no hubiera estado rotando, sino que hubiera permanecido estacionario, este pulso de luz que regresa se reenfojaría en el punto s . Claramente, como MR ahora está en una posición diferente, el pulso de luz se reenfojará en un punto diferente. Ahora debemos determinar dónde estará ese nuevo punto.

La situación es muy parecida a la que se muestra en la Figura 2b, con una diferencia importante: el haz de luz que regresa a MR proviene del punto S en MF, en lugar de hacerlo desde el punto S_1 . Para simplificar la situación, es conveniente eliminar la confusión entre el espejo giratorio y el divisor de haz observando las imágenes virtuales de la trayectoria del haz, como se muestra en la Figura 3.

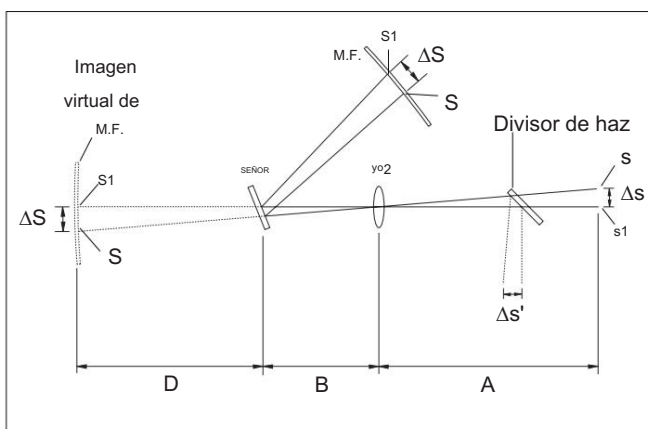


Figura 3: Análisis de las imágenes virtuales

La geometría crítica de las imágenes virtuales es la misma que para las imágenes reflejadas. Mirando las imágenes virtuales, el problema se convierte en una simple aplicación de la óptica de lentes delgadas. Con MR en un ángulo θ_1 , el punto S_1 está en el eje focal de la lente L_2 . El punto S está en el plano focal de la lente L_2 , pero está a una distancia $\Delta S = S_1 - S$ del eje focal. A partir de la teoría de lentes delgadas, sabemos que un objeto de altura ΔS en el plano focal de L_2 estará enfocado en el plano del punto s con una altura de $(-i/o)\Delta S$. Aquí i y o son las distancias de la lente a la imagen y al objeto, respectivamente, y el signo menos corresponde a la inversión de la imagen. Como se muestra en la Figura 3, la reflexión del divisor de haz forma una imagen similar de la misma altura.

Therefore, ignoring the minus sign since we aren't concerned that the image is inverted, we can write an expression for the displacement ($\Delta s'$) of the image point:

$$\Delta s' = \Delta s = (i/o)\Delta S = \frac{A}{D+B} \Delta S \quad (\text{EQ2})$$

Combining equations 1 and 2, and noting that $\Delta S = S_1 - S$, the displacement of the image point relates to the initial and secondary positions of M_R by the formula:

$$\Delta s' = \frac{2DA}{D+B} \Delta\theta \quad (\text{EQ3})$$

The angle $\Delta\theta$ depends on the rotational velocity of M_R and on the time it takes the light pulse to travel back and forth between the mirrors M_R and M_F , a distance of $2D$. The equation for this relationship is:

$$\Delta\theta = \frac{2D\omega}{c} \quad (\text{EQ4})$$

where c is the speed of light and ω is the rotational velocity of the mirror in radians per second. ($2D/c$ is the time it takes the light pulse to travel from M_R to M_F and back.)

Using equation 4 to replace $\Delta\theta$ in equation 3 gives:

$$\Delta s' = \frac{4AD^2\omega}{c(D+B)} \quad (\text{EQ5})$$

Equation 5 can be rearranged to provide our final equation for the speed of light:

$$c = \frac{4AD^2\omega}{(D+B) \Delta s'} \quad (\text{EQ6})$$

where:

c = the speed of light

ω = the rotational velocity of the rotating mirror (M_R)

A = the distance between lens L_2 and lens L_1 , minus the focal length of L_1

B = the distance between lens L_2 and the rotating mirror (M_R)

D = the distance between the rotating mirror (M_R) and the fixed mirror (M_F)

$\Delta s'$ = the displacement of the image point, as viewed through the microscope. ($\Delta s' = s_1 - s$; where s is the position of the image point when the rotating mirror (M_R) is stationary, and s_1 is the position of the image point when the rotating mirror is rotating with angular velocity ω .)

Equation 6 was derived on the assumption that the image point is the result of a single, short pulse of light from the laser. But, looking back at equations 1-4, the displacement of the image point depends only on the *difference* in the angular position of M_R in the time it takes for the light to travel between the mirrors. The displacement does not depend on the specific mirror angles for any given pulse.

If we think of the continuous laser beam as a series of infinitely small pulses, the image due to each pulse will be displaced by the same amount. All these images displaced by the same amount will, of course, result in a single image. By measuring the displacement of this image, the rate of rotation of M_R , and the relevant distances between components, the speed of light can be measured.

El Equipo

Lo que necesitas para medir la velocidad de Luz

Para medir la velocidad de la luz como se describe en este manual, necesitará todos los elementos que se enumeran a continuación (consulte la Figura 4). Si tiene un aparato completo de medición de la velocidad de la luz OS-9261, todo está incluido. Si tiene el aparato básico de medición de la velocidad de la luz OS-9262 o el espejo giratorio de alta velocidad OS-9263A, necesitará componentes adicionales, como se indica, para realizar la medición.

El aparato completo de velocidad de la luz OS-9261 incluye:

- OS-9262 Aparato básico de velocidad de la luz, que incluye:
 - Conjunto de espejo giratorio de alta velocidad OS-9263A
 - Espejo fijo
 - Microscopio de medición

- Láser He-Ne SE-9367 de 0,5 mW
- Banco óptico de un metro OS-9103
- Banco de alineación láser OS-9172
- Acopladores de banco óptico OS-9142
- Objetivo OS-9133 (48 mm de apertura)
- Objetivo OS-9135 (252 mm de distancia focal)
- Polarizadores calibrados OS-9109 (2)
- Soportes para componentes OS-9107 (3)
- Kit adaptador láser OS-8514
- Plantillas de alineación (2) – Número de pieza 648-02230

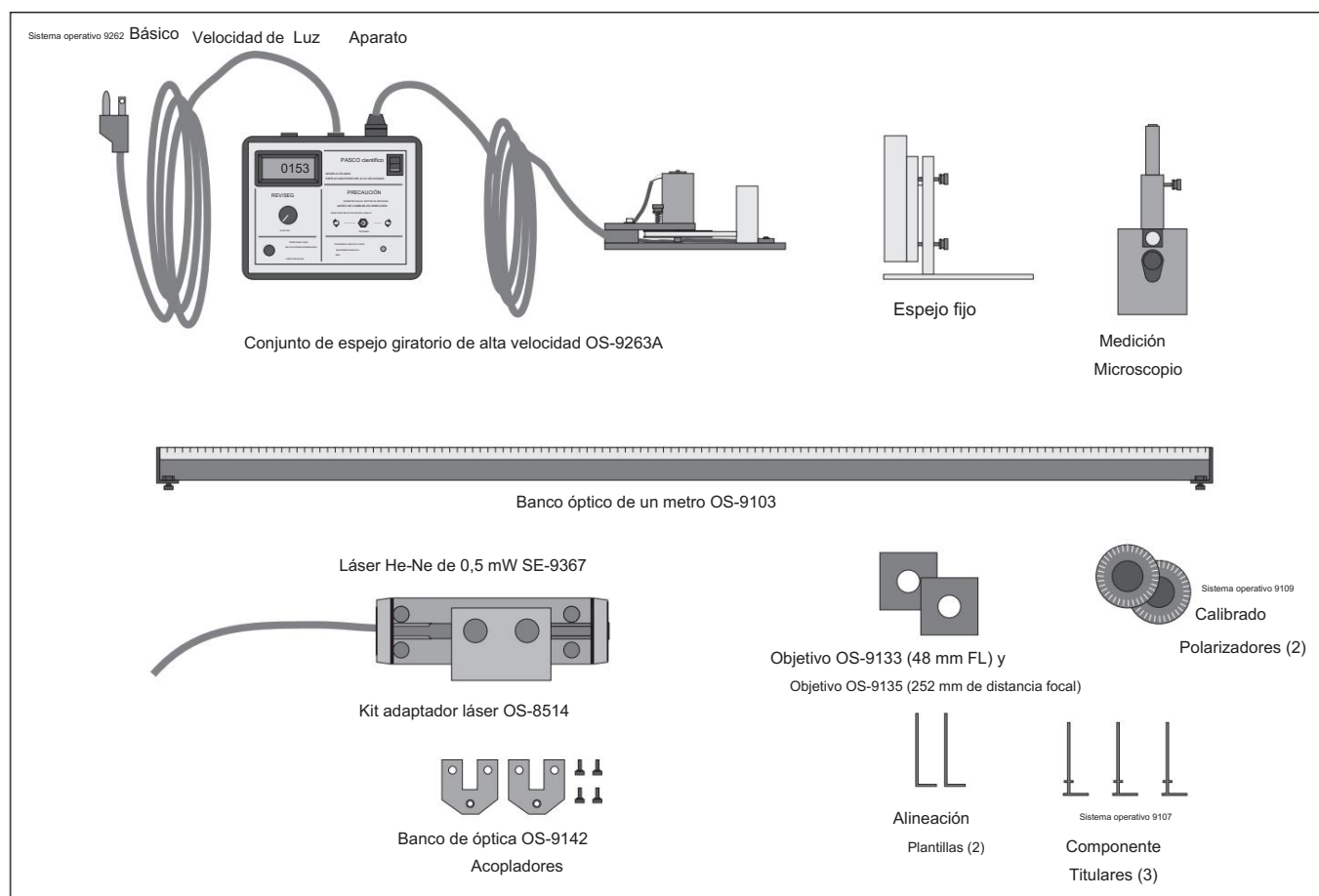


Figura 4: Equipo incluido con el aparato completo de medición de la velocidad de la luz OS-9261A

Acerca del equipo

1. Conjunto de espejo giratorio de alta velocidad

El espejo giratorio de alta velocidad viene con su propia fuente de alimentación y pantalla digital. El espejo es plano hasta 1/4 de longitud de onda. Está sostenido por cojinetes de bolas de alta velocidad, montados en una carcasa protectora y accionados por un motor de CC con una correa de transmisión. Un tornillo de bloqueo de plástico le permite mantener el espejo en su lugar durante el procedimiento de alineación.

Un detector óptico y la pantalla digital proporcionan mediciones de la rotación del espejo con una precisión de 0,1 % o 1 rev/s. La pantalla y los controles para la rotación del espejo se encuentran en el panel frontal de la fuente de alimentación. La rotación es reversible y la velocidad varía continuamente de 100 a 1000 rev/s. Además, si se mantiene pulsado el botón MAX REV/SEC, la velocidad de rotación alcanzará rápidamente su valor máximo, aproximadamente 1500 rev/s.

PRECAUCIÓN: Antes de encender el motor del espejo giratorio, lea atentamente los avisos de precaución en la sección de este manual titulada "Realizando la medición".

2. Microscopio de medición

El microscopio de 90 aumentos está montado sobre una platina micrométrica para realizar mediciones precisas del desplazamiento del punto de la imagen. Las mediciones se realizan más fácilmente centrando visualmente el punto de la imagen en la cruz del microscopio antes y después del desplazamiento. Al observar el cambio en la configuración del micrómetro, el desplazamiento se puede resolver con una precisión de 0,005 mm.

Para enfocar la cruz, deslice el ocular hacia arriba o hacia abajo en el microscopio. Para enfocar el microscopio, afloje el tornillo de bloqueo en el costado del tubo de montaje y deslice el microscopio hacia arriba o hacia abajo dentro del tubo.

Una vez aflojado el tornillo de bloqueo, también se puede retirar el microscopio del tubo de montaje. Esto puede resultar útil cuando se intenta localizar el punto de la imagen. Un trozo de papel tisú colocado sobre el tubo proporciona una pantalla que permite ver el punto sin enfocar el microscopio.

Además del microscopio y el micrómetro, la platina micrométrica también contiene el divisor de haz. La palanca en el lateral de la platina se utiliza para ajustar el ángulo del divisor de haz. Cuando la palanca apunta directamente hacia abajo, el divisor de haz está en un ángulo de cuarenta y cinco grados.

3. Espejo fijo

El espejo fijo es un espejo esférico con un radio de curvatura de 13,5 metros. Está montado sobre un soporte y tiene tornillos de alineación x e y separados.

4. Banco de óptica OS-9103

El banco óptico de 1,0 metros de largo proporciona una superficie plana y nivelada para alinear los componentes ópticos. El banco está equipado con una escala de un metro, cuatro tornillos niveladores y una superficie superior magnética. La "valla", un borde elevado en la parte posterior del banco, proporciona una guía para alinear los componentes a lo largo del eje óptico.

5. Láser SE-9367 con banco de alineación OS-9172

El láser de polarización aleatoria de modo TEM00 de 0,5 mW tiene una longitud de onda de salida de 632,8 nm. El banco de alineación se conecta al banco óptico para lograr un posicionamiento preciso y estable del láser.

6. Plantillas de alineación (2)

Estas plantillas se montan magnéticamente en el banco óptico. Cada uno tiene un orificio de 2 mm de diámetro que se utiliza para alinear el rayo láser.

7. Componentes ópticos

El uso de las lentes y polarizadores se describe en la sección Configuración y alineación del manual.

Configuración y Alineación

El siguiente procedimiento de alineación está diseñado para quienes utilizan el aparato completo de medición de la velocidad de la luz OS-9261A. Para quienes utilizan solo algunos de los componentes del sistema completo, el procedimiento general es el mismo, aunque los detalles dependen de los componentes ópticos utilizados.

IMPORTANTE: La alineación adecuada es fundamental, no solo para obtener buenos resultados, sino para obtener cualquier resultado. Siga este procedimiento de alineación cuidadosamente. Tómese unas tres horas para hacerlo correctamente la primera vez. Una vez que haya configurado el equipo varias veces, es posible que el resumen de alineación que se encuentra al final de esta sección le resulte una guía útil.

Como referencia para configurar el equipo, la Figura 5 muestra la posición aproximada de los componentes con respecto a la escala métrica en el costado del banco óptico. La ubicación exacta de cada componente depende de la posición del espejo fijo (MF) y debe determinarse siguiendo los pasos del procedimiento de alineación que se describe a continuación.

Todos los soportes de componentes, el microscopio de medición y el conjunto de espejo giratorio deben montarse a ras de la "valla" del banco óptico (Figura 6). Esto garantizará que todos los componentes estén montados en ángulos rectos respecto del eje del haz.

Figura 6:
Colocación de componentes
Alinee contra la cerca para lograr
una alineación adecuada

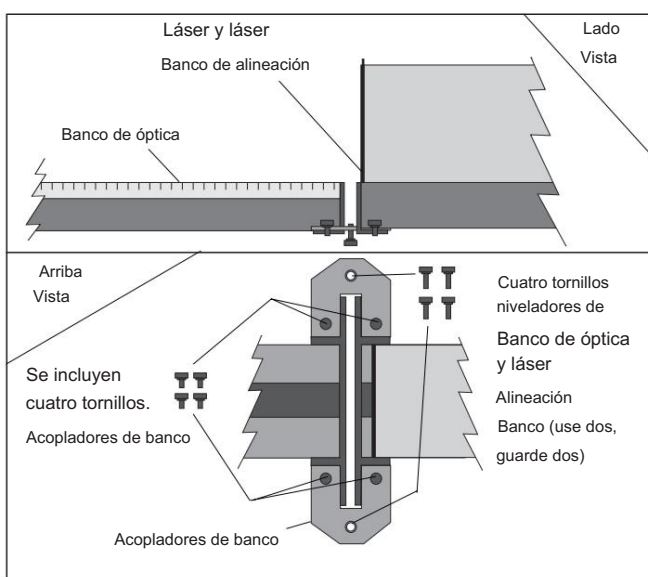
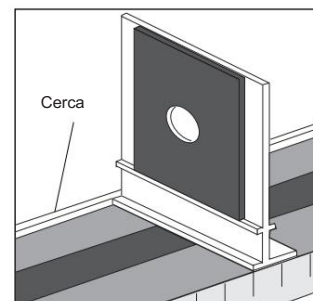


Figura 7: Acoplamiento del banco óptico y el
Banco de alineación láser

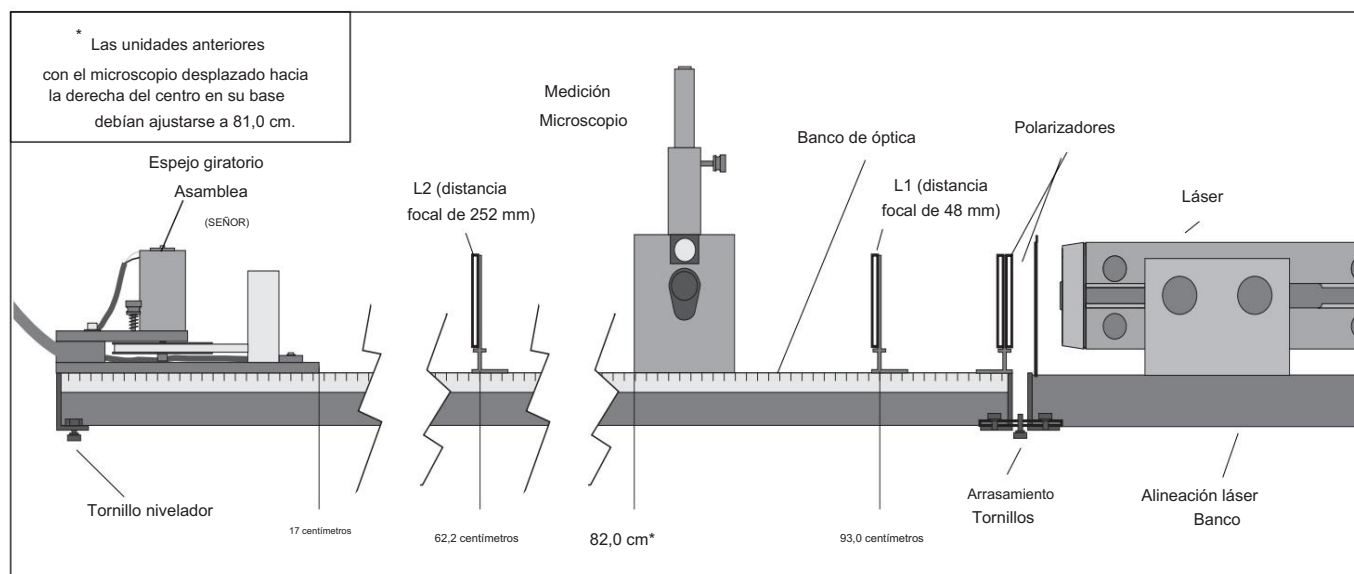


Figura 5: Alineación del equipo

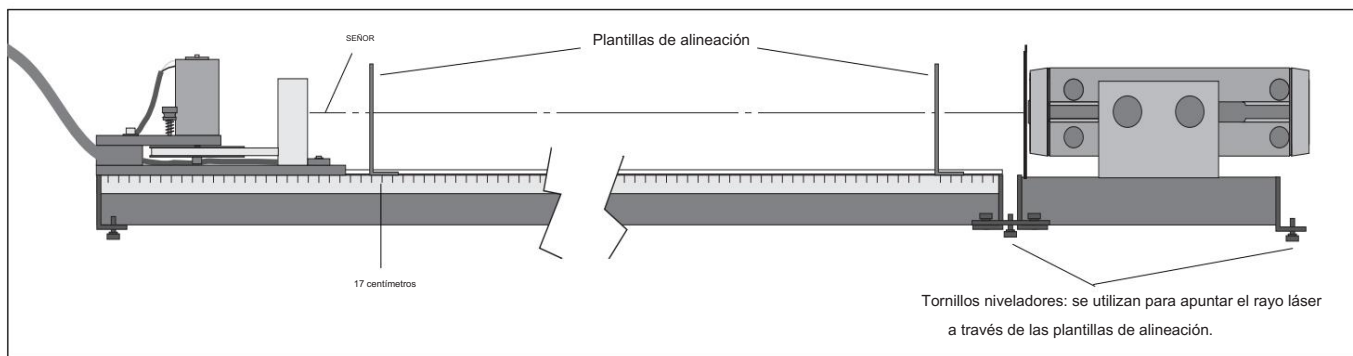


Figura 8: Uso de las plantillas de alineación para alinear el láser

Para configurar y alinear el equipo:

1. Coloque el banco óptico sobre una superficie plana y nivelada.
2. Coloque el láser, montado en el banco de alineación láser, de extremo a extremo con el banco óptico, en el extremo correspondiente a la marca de 1 metro de la escala métrica.
3. Utilice los acopladores de banco y los tornillos provistos para conectar el banco óptico y el banco de alineación láser. Los detalles se muestran en la Figura 7. No apriete aún los tornillos que sujetan los acopladores de banco. Tenga en cuenta que los tornillos niveladores se deben quitar del banco óptico y del banco de alineación láser para conectar los acopladores de banco. Luego, dos de los tornillos niveladores quitados se insertan en los orificios roscados de los acopladores de banco y se utilizan para nivelar.
4. Monte el conjunto del espejo giratorio en el extremo opuesto del banco. Asegúrese de que la base del conjunto esté alineada con la guía del banco óptico y alinee el borde frontal de la base con la marca de 17 cm en la escala métrica del banco óptico (consulte la Figura 8).
5. El láser debe estar alineado de manera que el haz incida en el centro del espejo giratorio (MR). Para este fin, se proporcionan dos plantillas de alineación. Coloque una plantilla en cada extremo del banco óptico, como se muestra en la Figura 8, con los bordes alineados contra la guía del banco. Cuando se colocan correctamente, los orificios de las plantillas definen una línea recta que es paralela al eje del banco óptico.
6. Encienda el láser.

PRECAUCIÓN: No mire el rayo láser, ni directamente ni cuando se refleja en cualquiera de los espejos. Además, al organizar el equipo, asegúrese de que la trayectoria del haz no atraviese un área donde alguien pueda mirar inadvertidamente el haz.

7. Ajuste la posición de la parte frontal del láser de modo que el haz pase directamente a través del orificio de la primera plantilla. (Use los dos tornillos de nivelación frontales para ajustar la altura. Ajuste la posición del láser en el banco de alineación láser para ajustar la posición lateral). Luego ajuste la altura y la posición de la parte trasera del láser para que el rayo pase directamente a través del orificio en la segunda plantilla.

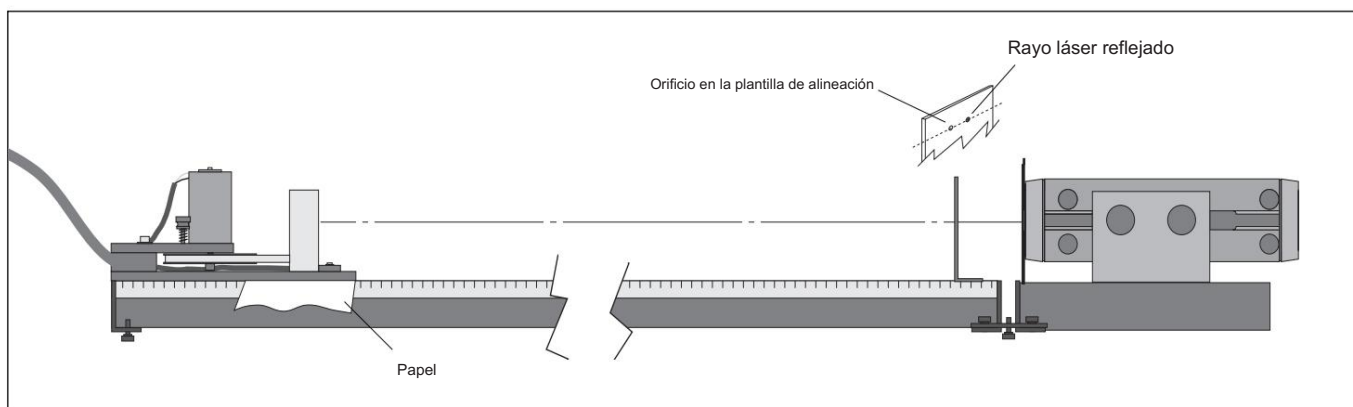


Figura 9: Alineación del espejo giratorio (MR)

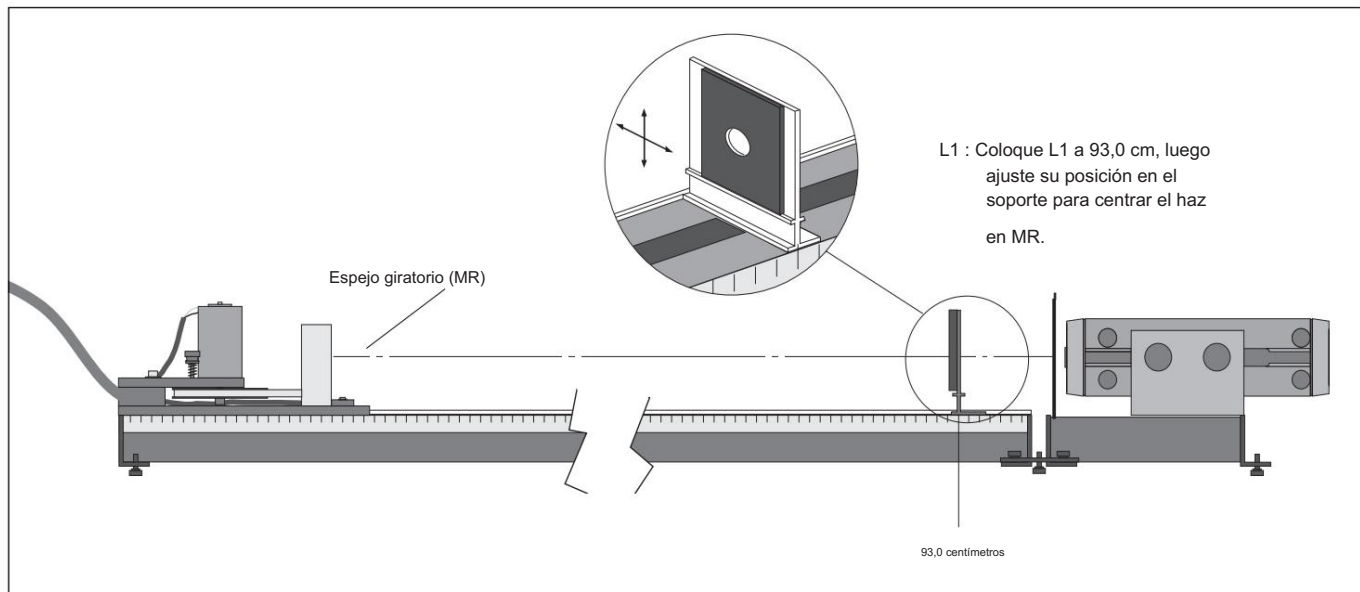


Figura 10: Posicionamiento y alineación de L1

8. Para fijar el láser en posición con respecto al banco óptico, apriete los tornillos en los acopladores del banco. Luego vuelva a verificar la alineación del láser.
9. Alinee el espejo giratorio. El MR debe estar alineado de modo que su eje de rotación sea vertical y también perpendicular al haz láser. Para lograr esto, retire la segunda plantilla de alineación y luego gire el MR de modo que el rayo láser se refleje hacia el agujero en la primera plantilla de alineación (Figura 9). Asegúrese de utilizar el lado reflectante del espejo. Esto ayuda a apretar el tornillo de bloqueo en el conjunto del espejo giratorio lo suficiente para que el MR mantenga su posición mientras ajusta su rotación. Si es necesario, utilice trozos de papel para colocar calzas entre el conjunto del espejo giratorio y el banco óptico, de modo que el rayo láser se refleje nuevamente a través del orificio en la primera plantilla.
10. Retire la primera plantilla de alineación.
11. Monte la lente de distancia focal de 48 mm (L1) en el banco óptico de modo que la línea central del soporte de componentes esté alineada con la marca de 93,0 cm en la escala métrica del banco. Sin mover el soporte de componentes, deslice L1 según sea necesario en el soporte para centrar el haz en MR (consulte la Figura 10). Observe que L1 ha extendido el haz en la posición de MR.
12. Monte la lente de distancia focal de 252 mm (L2) en el banco de óptica de modo que la línea central del soporte de componentes se alinee con la marca de 62,2 cm en la escala métrica del banco. Al igual que con L1 en el paso 11, ajuste la posición de L2 en el soporte de componentes de modo que el haz vuelva a estar centrado en MR.

13. Coloque el microscopio de medición en el banco óptico de modo que el borde izquierdo de la platina de montaje esté alineado con la marca de 82,0 cm del banco (consulte la Figura 5). La palanca que ajusta la inclinación del divisor de haz debe estar del mismo lado que la escala métrica del banco óptico.

Coloque esta palanca de manera que apunte directamente hacia abajo.

PRECAUCIÓN: No mire a través del microscopio hasta que se hayan colocado los polarizadores entre el láser y el divisor de haz en el paso 19.

El divisor de haz modificará levemente la posición del haz láser. Reajuste L2 en el soporte de componentes para que el haz vuelva a estar centrado en MR.

14. Coloque el espejo fijo (MF) a una distancia de entre 2 y 15 metros del MR, como se muestra en la Figura 11. El ángulo entre el eje del banco óptico y una línea que va del MR al MF debe ser de aproximadamente 12 grados. (Si es mayor a 20 grados, el haz reflejado quedará bloqueado por la carcasa del espejo giratorio). Asegúrese también de que el MF no esté del mismo lado del banco óptico que la perilla micrométrica, de modo que pueda realizar las mediciones sin bloquear el haz.

NOTA: Los mejores resultados se obtienen cuando el MF está a 10 o 15 metros del MR. Consulte las Notas sobre precisión cerca del final del manual.

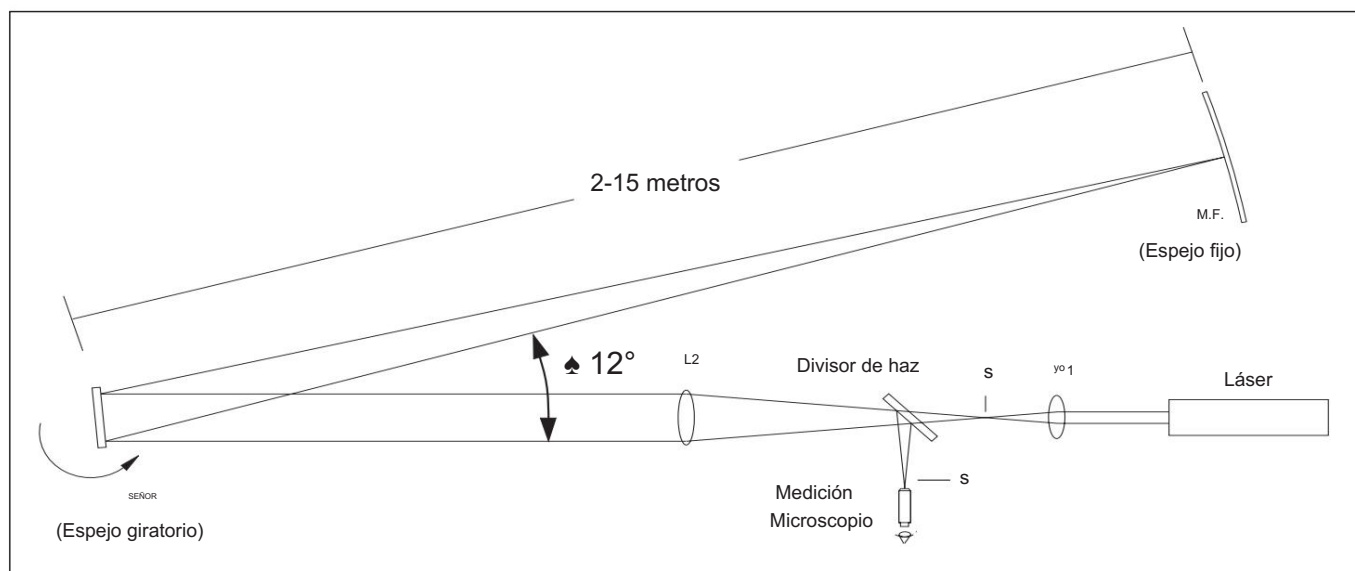


Figura 11: Posicionamiento del espejo fijo (MF)

15. Coloque el MR de manera que el haz láser se refleje hacia MF. Coloque un trozo de papel en la trayectoria del haz y "guíe" el haz hacia MF, ajustando la rotación del MR según sea necesario.
16. Ajuste la posición del MF de modo que el haz incida aproximadamente en el centro. Nuevamente, un trozo de papel en la trayectoria del haz hará que sea más fácil verlo.
17. Con un trozo de papel todavía contra la superficie de MF, deslice L2 hacia adelante y hacia atrás a lo largo del banco óptico para enfocar el haz en el punto más pequeño posible en MF.
18. Ajuste los dos tornillos de alineación en la parte posterior del MF de modo que el haz se refleje directamente hacia el centro del MR. Este paso se realiza mejor con dos personas: una ajustando el MF y otra observando la posición del haz en el MR.
19. Coloque los polarizadores (fijados a cada lado de un Soporte de un solo componente) entre el láser y L1. Comience con los polarizadores en ángulos rectos entre sí, luego gire uno hasta que la imagen en el microscopio sea lo suficientemente brillante para verla cómodamente.

Si no puede encontrar la imagen del punto, hay varias cosas que puede probar:

- Varíe ligeramente la inclinación del divisor de haz (no más de unos pocos grados) y gire la perilla micrométrica para variar la posición transversal del microscopio hasta que la imagen aparezca a la vista.

- Afloje el tornillo de bloqueo del microscopio. Como se muestra en la Figura 13, retire el microscopio y coloque un trozo de papel tisú sobre el tubo para ubicar el haz. Ajuste el ángulo del divisor de haz y la perilla micrométrica para centrar la imagen puntual en el tubo del microscopio.
 - Deslice el microscopio de medición un centímetro aproximadamente en cualquier dirección a lo largo del eje del banco óptico. Asegúrese de que el microscopio quede alineado con la guía del banco óptico. Si esto no funciona, vuelva a verificar la alineación, comenzando con el paso 1.
20. Enfoque la cruz del microscopio deslizando el ocular del microscopio hacia arriba y hacia abajo.
 21. Enfoque el microscopio aflojando el tornillo de bloqueo y deslizando el microscopio hacia arriba y hacia abajo. Si el aparato está correctamente alineado, podrá ver la imagen puntual a través del microscopio. Enfoque hasta que la imagen sea lo más nítida posible.

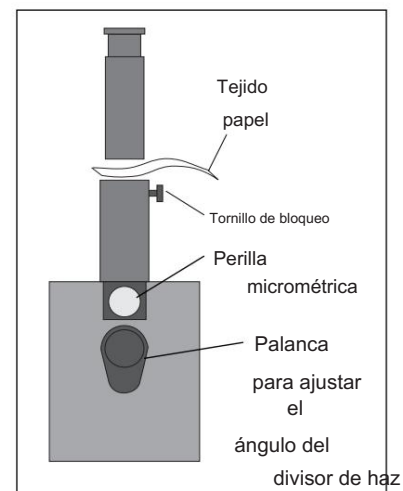


Figura 13: Buscando la imagen del haz

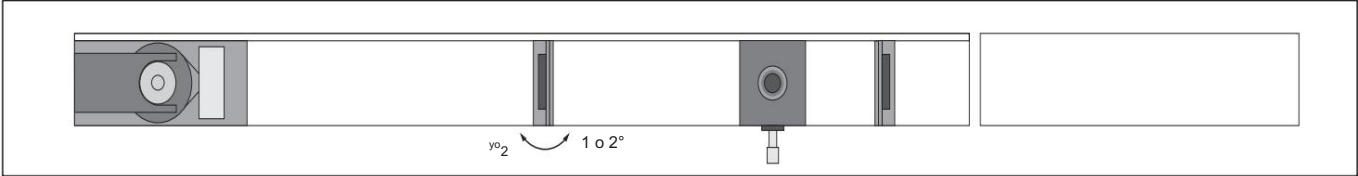


Figura 12: Girar L2 ligeramente para limpiar la imagen

IMPORTANTE: Además de la imagen puntual, también puede ver algunas imágenes de rayos extraños resultantes, por ejemplo, de la reflexión del rayo láser desde L1 . Para asegurarse de que está observando el punto de imagen correcto, coloque un trozo de papel entre MR y MF mientras observa la imagen en el microscopio. Si el punto no desaparece, no es la imagen correcta.

Limpiando la imagen

22. Además de la imagen puntual, también se pueden ver franjas de interferencia a través del microscopio (así como las imágenes de rayos extraños mencionadas anteriormente). Estas franjas no causan ninguna dificultad siempre que la imagen puntual sea claramente visible. Sin embargo, las franjas y las imágenes de rayos extraños a veces se pueden eliminar sin perder la imagen puntual. Esto se logra girando L2 ligeramente de forma oblicua, de modo que ya no esté en un ángulo exactamente recto con el eje del haz (consulte la Figura 12).

Resumen de alineación

(ver Figura 14 para la ubicación aproximada de los componentes)

Este resumen está destinado a quienes están familiarizados con el equipo y el experimento y solo necesitan un recordatorio rápido de los pasos del procedimiento de alineación. Si no ha alineado el aparato con éxito antes, le recomendamos que se tome el tiempo de revisar el procedimiento de alineación detallado en la sección anterior.

1. Alinee el láser de modo que el rayo láser incida en el centro de SR . (utilice las plantillas de alineación).
2. Ajuste el eje de rotación del MR para que quede perpendicular al haz (es decir, a medida que el MR gira, debe haber una posición en la que refleje el haz láser directamente hacia la apertura del láser).
3. Inserte L1 para enfocar el haz láser en un punto. Ajuste L1 de modo que el haz siga centrado en MR.
4. Inserte L2 y ajústelo para que la viga aún esté centrada en SEÑOR.
5. Coloque el microscopio de medición en posición y, Nuevamente, asegúrese de que el haz aún esté centrado en MR.

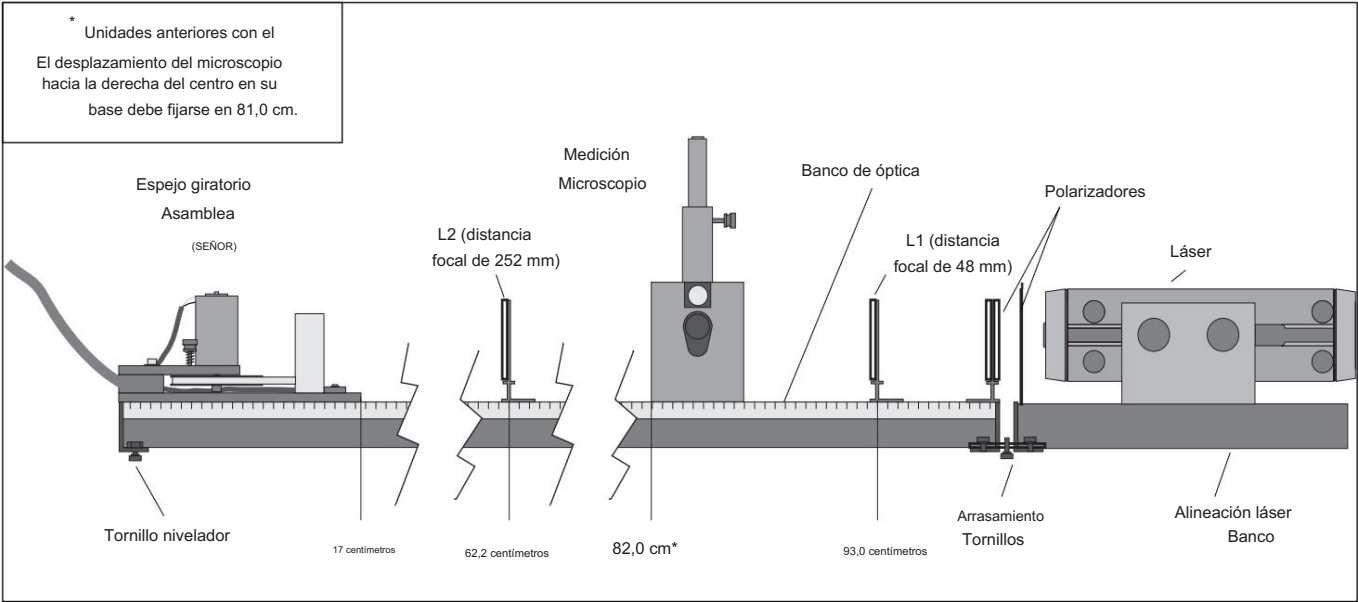


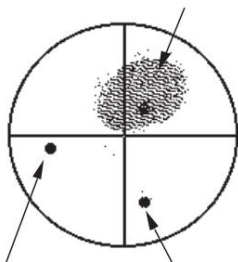
Figura 14: Alineación del equipo

PRECAUCIÓN: No mire a través del microscopio hasta que los polarizadores se hayan colocado entre el láser y el divisor de haz.

6. Coloque MF a la distancia elegida de MR (2 a 15 metros), de modo que la imagen reflejada de MR incida en el centro de MF.
7. Ajuste la posición de L2 para enfocar el haz a un punto en MF.
8. Ajuste MF para que el haz se refleje directamente hacia atrás.
SEÑOR.
9. Inserte los polarizadores entre el láser y el haz.
disidente.
10. Enfoque el microscopio en el punto de la imagen.
11. Retire los polarizadores.

Consejos de alineación

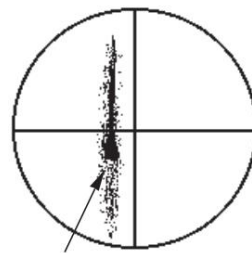
Una vez que haya enfocado el microscopio, puede que aún le resulte difícil obtener un buen punto. Es posible que haya otras luces visibles en el microscopio además del punto reflejado por el espejo fijo.



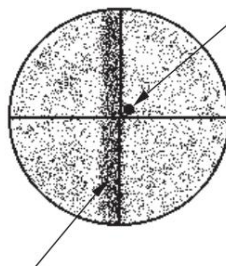
Los más comunes son los patrones de interferencia dispersos, que son causados por múltiples reflexiones de las superficies de las lentes y pueden ignorarse. Si es necesario, puede eliminarlos inclinando las lentes entre 1 y 2°.

Las manchas dispersas suelen deberse a los reflejos en la ventana de la carcasa del espejo giratorio. Para determinar qué punto es el que debe medir, bloquee el camino del haz entre el espejo giratorio y el espejo fijo. El punto en cuestión desaparecerá.

Si el punto que necesita medir está significativamente descentrado, puede moverlo ajustando el ángulo del divisor de haz.



Otro problema común es un punto que está "estirado" y no se pueden distinguir máximos fácilmente. Primero, verifique que este sea el punto que necesita bloqueando la trayectoria del haz entre los espejos fijo y móvil. Si es así, gire L2 ligeramente hasta que la imagen se fusione en un solo punto.



Una vez que el espejo comienza a girar, es seguro mirar a través del microscopio sin los polarizadores. Notará que el patrón cuidadosamente alineado ha cambiado: ahora todo el campo está cubierto con un patrón de interferencia aleatorio y hay una banda brillante en el centro del campo. Ignore el patrón de interferencia; de todos modos, no hay nada que pueda hacer al respecto. La banda es la imagen del láser cuando, una vez en cada rotación, el espejo lo refleja en el divisor de haz del microscopio. Esto también es inevitable.

El punto exacto probablemente estará justo a un lado de la banda brillante. Puedes comprobarlo bloqueando y desbloqueando el camino del haz entre el espejo giratorio y el espejo fijo y observando para ver qué desaparece.

Si alineó todo perfectamente, el punto quedará oculto por la banda brillante; en este caso, asegúrese de tener un punto cuando el espejo giratorio esté fijo y refleje el láser hacia el espejo fijo. Si tiene el punto correcto en condiciones estacionarias, desalinee el espejo fijo muy levemente (0,004° o menos) alrededor del eje horizontal. Esto hará que el punto real desaparezca de debajo de la banda brillante.

Haciendo el Medición

La medición de la velocidad de la luz se realiza girando el espejo a altas velocidades y utilizando el microscopio y micrómetro para medir la desviación correspondiente de el punto de la imagen. Al girar el espejo primero en un dirección, luego en la dirección opuesta, el haz total La desviación se duplica, duplicando así la precisión de La medida.

Importante: para proteger el espejo giratorio

Asamblea:

- Antes de encender el motor, asegúrese de que el bloqueo El tornillo del espejo giratorio está completamente aflojado, de modo que el espejo gira libremente con la mano.
- Siempre que se acelere la velocidad del motor, El LED rojo del panel frontal de la caja de control del motor se encenderá. A medida que la velocidad se estabilice, esto La luz debería apagarse. Si no lo hace, apague el motor. Algo está interfiriendo con la rotación del motor. Verifique que el tornillo de bloqueo del MR esté completamente aflojado.
- Nunca haga funcionar el motor con el MAX REV/SEC botón presionado durante más de un minuto a la vez, y siempre deja aproximadamente un minuto entre ejecuciones para El motor se enfríe.

1. Con el aparato alineado y la imagen del haz en enfoque nítido (ver la sección anterior), establezca la dirección Encienda la fuente de alimentación del espejo giratorio en CW, y encienda el motor. Si la imagen no estaba nítida enfoque, ajuste el microscopio. También debe girar L2 ligeramente torcido (aproximadamente $1 - 2^\circ$) para mejorar la imagen. Para obtener la mejor imagen, es posible que deba ajustar el microscopio y el L2 varias veces. Deje que el motor se caliente a aproximadamente 600 revoluciones/seg durante al menos 3 minutos.
2. Aumente lentamente la velocidad de rotación. Observe cómo el La desviación del haz aumenta.
3. Utilice la perilla ADJUST para ajustar la velocidad de rotación. hasta aproximadamente 1000 revoluciones por segundo. Luego, presione el Botón MAX REV/SEC y manténgalo presionado. Cuando el La velocidad de rotación se estabiliza, gire la perilla micrométrica en el microscopio para alinear el centro de la imagen del haz con la cruz del microscopio que es perpendicular a la dirección de desviación.
la velocidad a la que gira el motor, apáguelo el motor y registre la lectura del micrómetro.

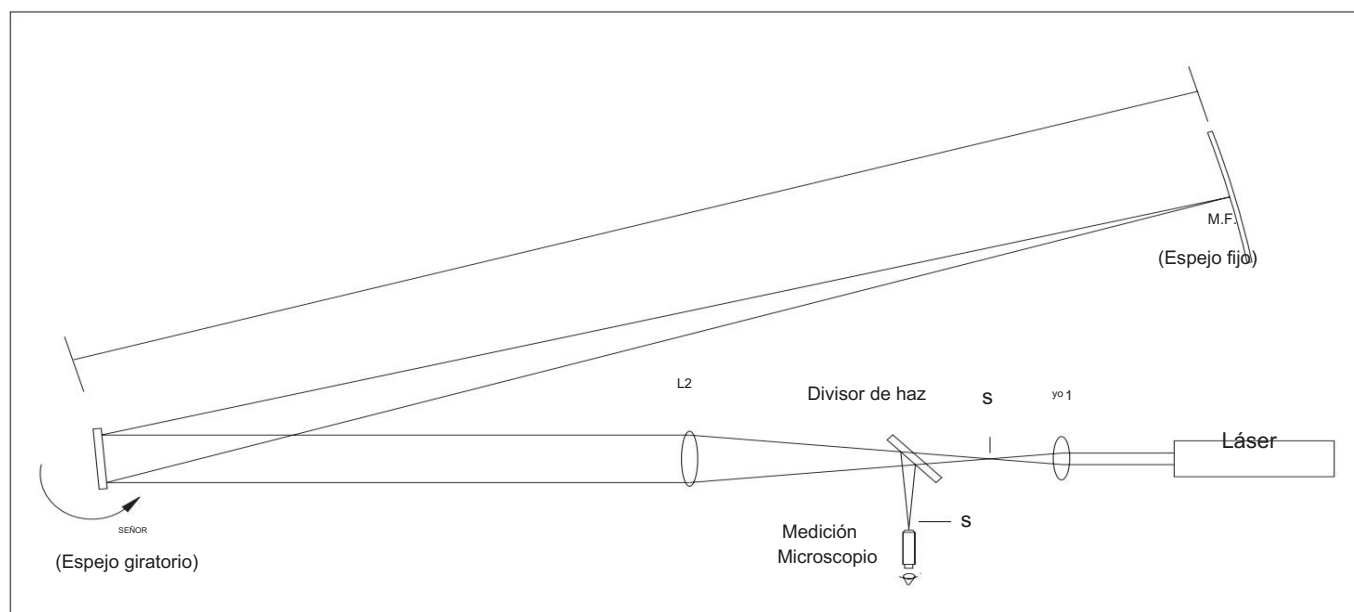


Figura 15: Diagrama del método Foucault

NOTA:

Al invertir la dirección de movimiento del carro micrométrico, siempre habrá algún movimiento de la perilla micrométrica antes de que el carro responda.

Aunque esta fuente de error es pequeña, se puede eliminar. Simplemente ajuste la posición inicial de la platina micrométrica de modo que siempre gire la perilla micrométrica en la misma dirección en que la ajusta.

Invierta la dirección de rotación del espejo cambiando el interruptor de dirección de la fuente de alimentación a CCW. Deje que el espejo se detenga por completo antes de invertir la dirección. Luego repita la medición como en el paso 3.

NOTAS:

-Cuando el espejo gira a 1000 rev/s o más, el punto de imagen se ensanchará en la dirección del desplazamiento. Coloque la cruz del microscopio en el centro de la imagen resultante.

- El micrómetro del microscopio de medición está graduado en incrementos de 0,01 mm para las deflexiones del haz.

5. La siguiente ecuación se derivó anteriormente en el manual:

$$c = \frac{4AD^2 \omega}{(D + B) \Delta s'}$$

Cuando se ajusta para adaptarse a los parámetros recién medidos, se convierte en:

$$c = \frac{8\pi AD^2 (\text{Rev/seg.} + \text{Rev/seg.})}{(D + B) (s' \text{ en sentido horario} - s' \text{ en sentido antihorario})}$$

Utilice esta ecuación, junto con el diagrama de la Figura 15, para calcular c, la velocidad de la luz. (Para medir A, mida la distancia entre L1 y L2, luego reste la longitud focal de L1, 48 mm).

NOTAS:

Esta ecuación es la misma que la ecuación original del paso 5, pero con dos diferencias:

La velocidad de rotación se expresa en rad/s.

La velocidad de rotación CCW se expresa como un número negativo, que refleja la dirección de rotación.

$$c = \frac{4AD^2 (\omega_{\text{contra}} - \omega)}{(D + B) (s' \text{ en sentido horario} - s' \text{ en sentido antihorario})}$$

Notas sobre Precisión y

Mantenimiento

Exactitud

Por supuesto, para que la medición sea precisa con este equipo, es esencial alinear con precisión los componentes ópticos y realizar mediciones cuidadosas. Además, el factor principal que afecta la precisión es la distancia entre los espejos fijos y giratorios.

Como se menciona en el procedimiento de alineación, la distancia óptima entre MR y MF es de 10 a 15 metros. En este rango, se puede obtener fácilmente una precisión del 5%. Si el espacio es un problema, la distancia entre los espejos se puede reducir a tan solo 1 metro y se obtendrá una reducción proporcional de la precisión.

En general, las distancias más largas proporcionan una mayor precisión. El MR gira más lejos a medida que la luz viaja entre los espejos y la desviación de la imagen es correspondientemente mayor. Las desviaciones mayores reducen el porcentaje de error de medición.

Sin embargo, los componentes ópticos están diseñados para enfocar de forma óptima el punto de imagen a 13,5 metros (este es el radio de curvatura del MF). El enfoque de la imagen no es un problema importante siempre que la distancia entre los espejos sea de unos 15 metros. A distancias mayores, la intensidad y el enfoque del punto de imagen comienzan a disminuir, y la medición y la alineación se ven obstaculizadas.

Los datos de muestra típicos tomados en nuestro laboratorio arrojan valores para c que están entre el 1,5 y el 2,5 % de los valores aceptados.

Mantenimiento

El mantenimiento periódico de este equipo es mínimo. Los espejos y lentes deben limpiarse periódicamente.

IMPORTANTE: Todos los espejos y lentes se pueden limpiar con papel especial para lentes, excepto el espejo esférico (MF). Tiene una delicada superficie frontal aluminizada y solo se debe limpiar con alcohol y un paño suave. No utilice ningún compuesto de limpieza que contenga amoníaco (como Windex); el amoníaco atacará la superficie de aluminio.

Si surgen problemas con el conjunto del espejo giratorio, como una correa de transmisión rota, notifique a PASCO Scientific. No recomendamos que intente reparar este equipo usted mismo. (Consulte la información sobre garantía y devolución de equipos al principio de este manual).

Apoyo técnico

Comentario

Si tiene algún comentario sobre el producto o el manual, infórmenos. Si tiene alguna sugerencia sobre experimentos alternativos o encuentra algún problema en el manual, infórmenos. PASCO agradece los comentarios de los clientes. Sus comentarios nos ayudan a evaluar y mejorar nuestro producto.

Para llegar a PASCO

Para obtener asistencia técnica, llámenos al 1-800-772-8700 (gratis dentro de los EE. UU.) o al (916) 786-3800.

fax: (916) 786-3292

Correo electrónico: techsupp@pasco.com

Web: www.pasco.com

Cómo ponerse en contacto con el soporte técnico

Antes de llamar al personal de soporte técnico de PASCO, sería útil preparar la siguiente información:

Si su problema es con el aparato PASCO, nota:

- Título y número de modelo (normalmente aparece en la etiqueta);
- Antigüedad aproximada del aparato;
- Una descripción detallada del problema/secuencia de eventos (en caso de que no pueda llamar a PASCO de inmediato, no perderá datos valiosos);
- Si es posible, tenga el aparato a su alcance al momento de llamar para facilitar la descripción de sus partes individuales.

Si su problema está relacionado con el manual de instrucciones, nota:

- Número de pieza y revisión (enumerados por mes y año en la portada);
- Tenga a mano el manual para poder comentar sus dudas.