

Medición del ángulo de desviación en un pentaprisma usando un interferómetro de Sagnac

A. Jaramillo Núñez

*Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica,
Apartado postal 51 Y 216, Puebla, Pue., México, 72000
e-mail: ajaramil@inaoep.mx*

Recibido el 1 de abril de 2004; aceptado el 8 de junio de 2004

En este trabajo se describe una técnica para medir el error en el ángulo de desviación de un pentaprisma la cual emplea un interferómetro de Sagnac. Los haces del interferómetro son empleados como haces de referencia para alinear el pentaprisma. El ángulo de desviación es medido con la ayuda de un plano de referencia fijado a un goniómetro. Ángulos de desviación con un error de 15 segundos de arco han sido medidos con una precisión de 2 segundos. La precisión puede ser mejorada sustituyendo el goniómetro por uno de mayor precisión.

Descriptores: Prismas; metrología; interferómetros.

A technique to measuring the error in the deviation angle of a pentaprism, which makes use of a Sagnac interferometer, is described. The beams of the interferometer are employed as reference beams in order to align the pentaprism. The deviation angle is measured with the aid of a reference flat attached to a goniometer mounting. Deviation angles with an error of 15 arcsec have been measured with a precision of 2 arcsec. The measurement precision can be improved substituting the goniometer for one of higher precision.

Keywords: Prisms; metrology; interferometers.

PACS: 42.79.B, 06.20, 07.60.Ly

1. Introducción

En un trabajo reciente [1] hemos descrito el uso de una máquina de medición por coordenadas (MMC) para medir el error en el ángulo de desviación de un pentaprisma. Sin embargo, por ser la MMC un instrumento demasiado caro resultó un método impráctico para tal aplicación. En este trabajo se está proponiendo emplear un interferómetro de Sagnac con el fin de sustituir la MMC, y también un par de elementos más para hacer el método mas económico, de tal manera que sea accesible. Con la MMC la precisión que se obtuvo en las mediciones fue menor a un segundo de arco y con la técnica descrita aquí se obtuvo una precisión del orden de dos segundos de arco. La precisión obtenida es comparable con la obtenida con otros métodos ya reportados [2, 3], aunque la que se describe aquí es más económica que alguna de ellas ya que no usa elementos costosos como por ejemplo autocolimadores.

El experimento se realiza aprovechando una de las dos principales cualidades del pentaprisma, que es la de ser un prisma de desviación constante, esto es, el ángulo de desviación de 90 grados es independiente de la orientación del prisma.

2. Medición del ángulo de desviación

El arreglo experimental empleado hace uso de un interferómetro de Sagnac (ver Fig. 1) con algunos elementos adicionales. Por ejemplo, como divisor de haz se empleó uno del tipo *pellicle* (PBS) con un diámetro útil de 75 mm. Entre el espejo M1 y el PBS está una montura donde se coloca el pentaprisma, la cual consiste esencialmente de una montura

rotatoria que puede girar 360 grados aunque solo se requiere que gire 90. Sobre esta montura se encuentra una mesa cinemática con la cual se pueden dar inclinaciones y que es requerida para alinear el pentaprisma (ver Fig. 2a). Para medir el error en el ángulo de desviación se emplea un goniómetro con una resolución de 6 segundos localizado donde se muestra en la Fig. 1. Una placa de vidrio con la superficie frontal pulida (superficie de referencia S1) y su superficie posterior esmerilada es fijada al goniómetro. Como elemento sensor se emplea una cámara CCD cuyas imágenes son digitalizadas mediante una tarjeta digitalizadora y enviadas a una PC para su análisis posterior.

El PBS se usa para evitar cualquier desplazamiento de los haces después de refractarse en él (lo cual ocurre en todo divisor con espesor [4]) y para evitar reflexiones no deseadas que generen patrones de interferencia adicionales que dificulten las mediciones.

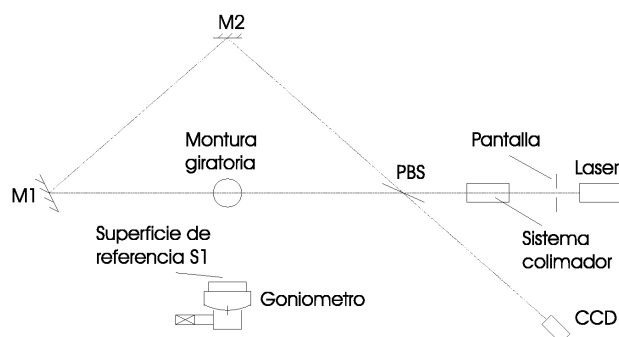


FIGURA 1. Arreglo experimental.

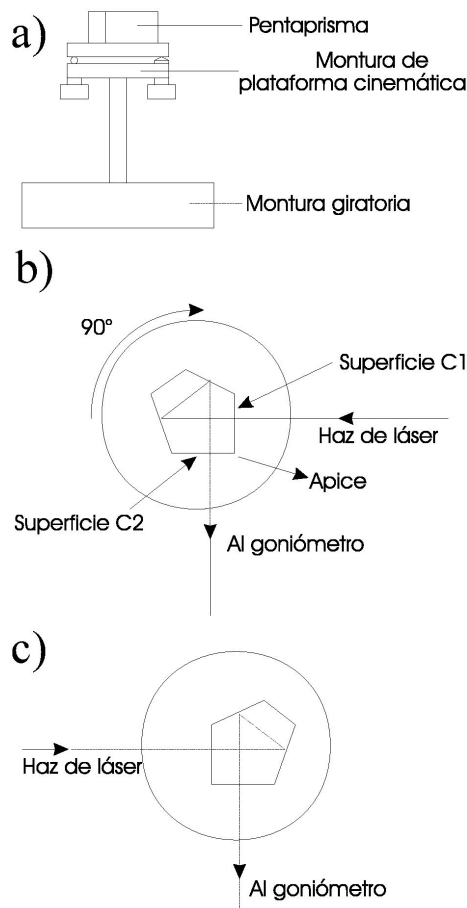


FIGURA 2. Montura del pentaprisma.

En ausencia del pentaprisma a medir, el interferómetro se alinea de tal manera que no se observe ninguna franja de interferencia en el campo de visión del CCD. A continuación, el pentaprisma a medir se coloca en la montura y su cara C1 se alinea perpendicular al haz incidente (ver Fig. 2b). La verificación del alineamiento es realizado mediante el método de autocolimación [5] con ayuda del sistema colimador y de una pantalla (con un orificio de 1 mm de diámetro), colocados después de la salida del láser.

En seguida, se rota la superficie $S1$, con ayuda del goniómetro, hasta que ésta sea perpendicular al haz transmitido a través del pentaprisma (ver Fig. 3a). En ausencia de error piramidal en las superficies del pentaprisma, una superficie $S1$ ajustada normalmente dará lugar a un campo libre de franjas (ver Fig. 4a), mientras que un desajuste en cualquier dirección introducirá franjas paralelas cuyo periodo disminuye con el incremento en el desalineamiento (vistas izquierda y derecha de la Fig. 4a). Nótese que en ambos casos todo el tiempo las franjas permanecen paralelas al ápice del pentaprisma.

En presencia de error piramidal un patrón de franjas es otra vez observado, pero esta vez el patrón rota como el goniómetro es alineado (ver Fig. 4b). El ajuste manual de la superficie falla para remover las franjas completamente, pe-

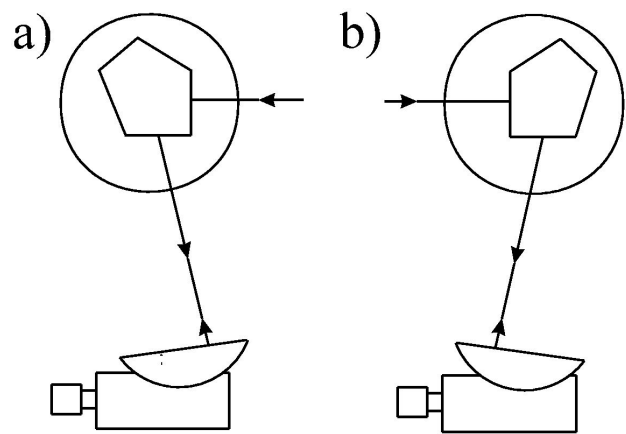
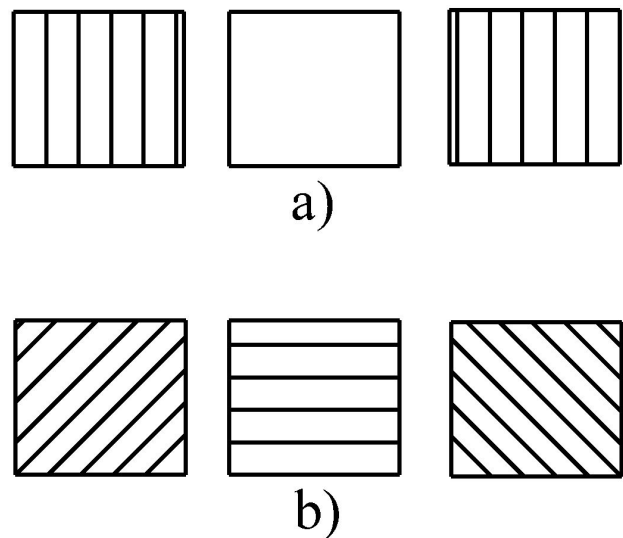
FIGURA 3. Posiciones del goniómetro, a) Cuando la superficie $C1$ es perpendicular al haz que viene del láser, b) Cuando la superficie $C2$ es perpendicular al haz reflejado en los espejos $M1$ y $M2$.

FIGURA 4. Patrones de interferencia observados a) en ausencia de error piramidal y b) en presencia de error piramidal.

ro la condición nula es fácilmente localizada, puesto que el periodo de la franja alcanza un máximo en este punto. En esta posición del goniómetro el patrón de franjas está alineado perpendicular al ápice del prisma (una descripción más detallada de este proceso puede ser hallada en la Ref. 6) por lo que en este punto se toma la lectura del goniómetro y ésta es usada como el cero del instrumento.

A continuación la mesa rotatoria se gira 90 grados tal como se muestra en la Fig. 2b y ahora el haz que viaja por la otra trayectoria del interferómetro es el que cruza el pentaprisma (ver Fig. 2c). Finalmente, se rota otra vez la superficie $S1$, con ayuda del goniómetro, hasta que ésta quede perpendicular al haz transmitido (ver Fig. 3b), por lo cual es necesario repetir la operación anteriormente descrita. Cuando la superficie $S1$ es perpendicular al haz, una segunda lectura del goniómetro es tomada, la diferencia entre las dos lecturas dará el ángulo del goniómetro μ_m , el cual es igual a dos veces el error en el ángulo de desviación del pentaprisma.

El signo del error se asigna de acuerdo a la siguiente convención. Se considera error positivo cuando el ángulo de giro del error en el ángulo de desviación es en el sentido de las manecillas del reloj y negativo en caso contrario. Por ejemplo, para el caso mostrado en la Fig. 5a el error es negativo y para el caso de la Fig. 5b el signo es positivo. El experimento fue realizado usando un pentaprisma de 25 mm de lado y un error de -15 segundos de arco fue obtenido.

3. Comentarios

Antes de realizar las mediciones es necesario verificar que el eje de rotación de la mesa rotatoria es perpendicular al plano formado por los haces del interferómetro. Esta verificación es realizada de la siguiente manera: antes de colimar el haz del interferómetro (ver Fig. 6a), las coordenadas del centroide del haz que llega a la cámara CCD son registradas y usadas como referencia. En seguida se coloca el pentaprisma a medir y la superficie C1 es alineada perpendicular al haz transmitido por el PBS (ver Fig. 6b), y posteriormente girado (usando la mesa rotatoria) hasta que el haz reflejado sobre ésta superficie incide en el CCD. El giro se detendrá hasta que las coordenadas del centroide del haz incidente coincidan con las coordenadas de referencia (ver Fig. 6c). La coincidencia es realizada con ayuda de la montura que da inclinaciones en el plano XY (ver Fig. 2a). Por último, la montura giratoria se rota nuevamente hasta completar aproximadamente 45 grados y a continuación la superficie de referencia S1, fijada al goniómetro, se ajusta de tal manera que el haz reflejado en ésta superficie regrese por el mismo camino (ver Fig. 6c). De esta manera la superficie de referencia queda colocada perpendicular al plano formado por los haces del interferómetro.

Para hallar la incertidumbre en la medición del error en el ángulo de desviación es necesario dividir entre dos el valor del ángulo μ_m , el cual tiene un error de ± 3 seg. (para llegar a este valor se tomó un medio de la lectura mínima del goniómetro). Por lo tanto, prácticamente, la incertidumbre obtenida con este método debería de ser 1.5 seg. Sin embargo, hay otro error que es necesario tomar en cuenta y que es el error debido al alineamiento de los haces del interferómetro.

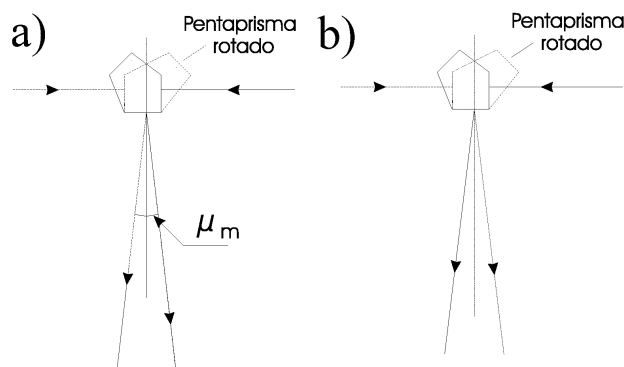


FIGURA 5. Determinación del signo del error en el ángulo de desviación, a) caso en que el signo asignado es negativo, b) caso en que el signo asignado es positivo.

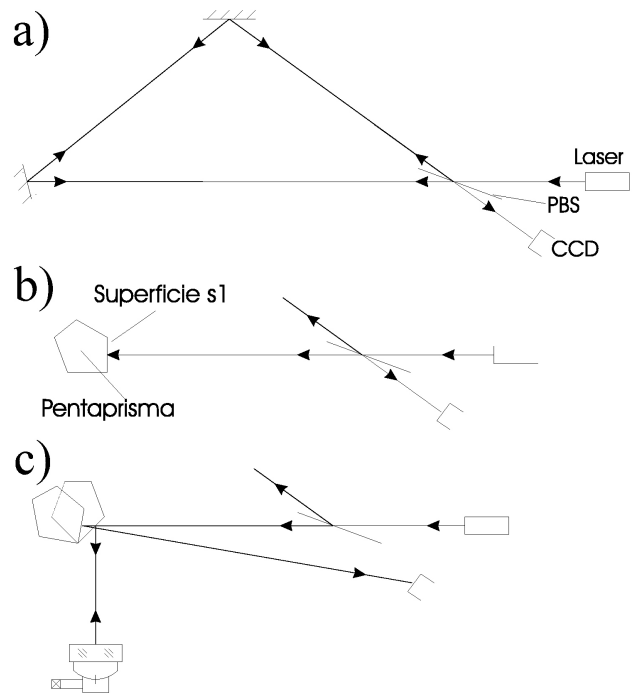


FIGURA 6. Pasos para verificar el giro de la montura giratoria a) plano formado por los haces del interferómetro b) superficie de referencia S1 alineada y c) la coincidencia de los haces reflejados indica que la montura está ajustada.

El error en el alineamiento, depende principalmente del diámetro del haz colimado, que en nuestro caso fue de 25 mm. Para este diámetro visualmente es posible observar media franja dentro del campo iluminado. Usando el CCD es posible resolver sin ningún problema hasta un cuarto de franja. Para lograrlo es necesario realizar un proceso de barrido ya que el área sensora del detector es de 8X6 mm. Haciendo referencia a la ecuación clásica para la interferencia de dos ondas planas [7],

$$2p \sin \theta = \lambda, \quad (1)$$

y usando la aproximación $\sin x \approx x$, podemos expresar θ como función del periodo p de las franjas del interferograma, de la siguiente manera:

$$\theta = \frac{\lambda}{2p}, \quad (2)$$

donde λ es la longitud de onda de iluminación. Usando para p el valor de 200 mm es posible hallar el desalineamiento de los haces dando como resultado un valor de .6 segundos de arco. Por lo tanto, la incertidumbre final asignada a las mediciones es de 2.1 segundos de arco.

En caso que se deseara disminuir el error sería necesario emplear un goniómetro de mayor precisión, ya que es este elemento quien tiene una contribución mayor al error. Otra manera sería usar el método descrito en la Ref. [1], sustituyendo la MMC por el interferómetro de Sagnac, pero con un haz colimado de menor diámetro, del orden de 4 mm, ya que los detectores de cuadrante empleados tienen un área sensora

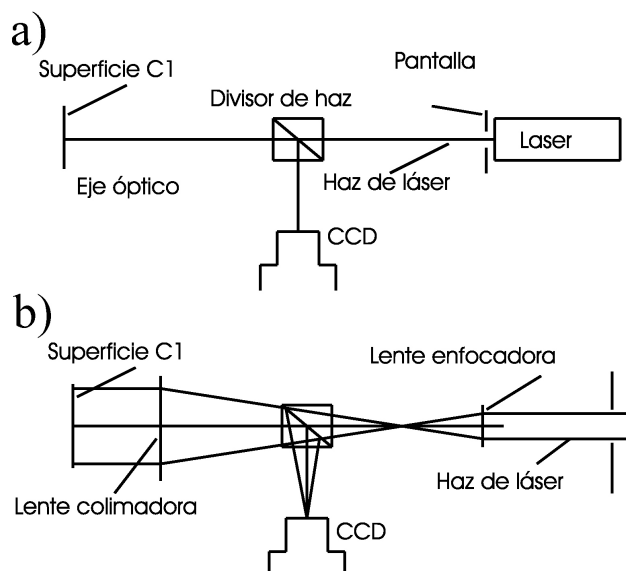


FIGURA 7. Sistema colimador a) colocación del CCD, b) verificación de la incidencia del haz enfocado en el CCD.

de 8 mm. El CCD sólo se usaría para verificar la alineación del interferómetro y para realizar las mediciones se sustituiría el goniómetro por los dos detectores de cuadrante. De esta manera, la incertidumbre en la medición sería menor a un segundo de arco.

Para que se puedan medir errores en el ángulo de desviación de algunos segundos de arco se debe cumplir la condición de que el pentaprisma tenga error piramidal. Para que en el campo de visión (25 mm en nuestro caso) se observen cinco franjas horizontales, las cuales consideramos es el número mínimo permisible para realizar las mediciones, se requiere que el error piramidal sea al menos de 13 segundos de arco, el cual es un valor relativamente pequeño para este error. Por lo tanto, podemos decir que con este método se pueden me-

dir pentaprismas con errores en el ángulo de desviación de algunos segundos de arco, debido a que es improbable que un prisma esté libre de error piramidal.

La coincidencia del punto formado por el colimador, de los haces retrorreflejados en las caras C1 y C2 del pentaprisma, con el eje óptico del interferómetro es imprescindible para garantizar resultados confiables. Por ello, el sistema colimador tiene algunos elementos adicionales que se muestran en la Fig. 7. Éstos son con el fin de poder observar con mayor precisión la coincidencia del punto con el eje óptico del interferómetro.

La función que tiene la pantalla en el sistema colimador es solo la de agilizar el alineamiento y la verificación de la coincidencia, ya que las dimensiones del CCD son pequeñas.

El método falla cuando las superficies C1 y C2 del pentaprisma tienen capas antireflectoras, debido a que no hay luz reflejada de éstas superficies y por consiguiente, no se pueden realizar las mediciones ya que las franjas horizontales, que son la referencia, no existen en el campo de visión.

4. Conclusiones

Se ha reportado un instrumento para medir el error en el ángulo de desviación de un pentaprisma. La técnica usa un goniómetro acoplado a un interferómetro de Sagnac. El uso del interferómetro en el arreglo experimental tiene las siguientes ventajas con respecto al método descrito en la Ref. 1: es un instrumento fácil de usar y más compacto, además de que es posible realizar las mediciones con mayor rapidez. Una desventaja importante es que es menos preciso, aunque ésta es posible mejorarla empleando un goniómetro con mayor precisión. En caso de que se deseara medir con mayor precisión a la obtenida con este método, se recomienda emplear el método descrito en la Ref. 1, pero sustituyendo la MMC por el interferómetro de Sagnac.

1. Aalberto Jaramillo N., Eduardo Ramírez y Lilia N. Faramillo C., "Caracterización de un plano en una máquina de medición por coordenadas de grandes dimensiones", Memorias en extenso de los trabajos de óptica del XLVII Congreso Nal. SMF, Hillo. Son. (2004).
2. O. Prakash y R.S. Ram, *J. Optics* (Paris) **26** (1995) 137.
3. A.F. Wagner, *Experimental Optics*, John Wiley and Sons, New York, USA, (1929)p. 115.

4. D. Malacara, *Optical shop testing* D. Malacara (Ed.) John Wiley and Sons, New York (1978) p. 50.
5. J.D. Mc. Grae, *Optical tooling in industry*, Hayden Book Company, Inc., New York, (1964) p. 40.
6. A. Jaramillo-Núñez y Carlos Robledo-Sánchez, *Opt. Eng.* **36** (1997) 2868.
7. R. Guenter, *Modern Optics*, Wiley, New York, USA, (1990) p. 485.