SOMI
CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN
Año 4, No. 01, octubre 2017
ISSN 2395-8499

Instrumento para realizar la alineación óptica de las rejillas de difracción usadas en espectrógrafos

J.M. Nuñez[1], M. A. Bardales[1], J. L. Monay[2], I. Porras[3], B. García[1], C. Tejada[1], J. L. Ochoa[1], P.F. Guillen[1], I. Plauchu[1]
[1]Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Astronomía, Observatorio Astronómico Nacional, Km. 107 carretera Tijuana-Ensenada, B.C., México.
[2]Instituto Tecnológico de Ensenada, Ensenada, B.C., México.
[3]Instituto Tecnológico de Costa Rica, San José, Costa Rica
jnunez@astro.unam.mx, bardales@astrosen.unam.mx

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño, construcción y uso de un instrumento óptico para poder realizar la alineación en su celda de las rejillas de difracción. La alineación óptica de las rejillas dentro de su celda juega un papel muy importante porque determina la orientación del espectro estelar (en el campo de la astronomía). Para aquellos espectrógrafos usados para observación astronómica como es el caso del espectrógrafo Boller & Chivens en el que es posible realizar un cambio de rejilla (cambio de la resolución espectral) es importante que ambos espectros estelares presenten la menor inclinación posible. El instrumento basa su funcionamiento en el fenómeno de difracción de la luz. Aquí se presenta el funcionamiento y resultados obtenidos con este nuevo instrumento después de evaluar las rejillas del espectrógrafo Boller & Chivens del Observatorio Astronómico Nacional.

PALABRAS CLAVE: Difracción, rejillas de difracción, espectrógrafo, espectro estelar.

1 INTRODUCCIÓN

ISSN 2395-8499

El Observatorio Astronómico Nacional (OAN) en San Pedro Mártir (SPM) [1], cuenta con un conjunto de instrumentos astronómicos usados para realizar investigación científica entre los que se encuentra el espectrógrafo Boller & Chivens [1]. Este es utilizado en el telescopio de 2.1m del OAN y cuenta con la característica de poder intercambiar su rejilla de difracción y con esto permite tener espectros en diferente rango espectral. El espectrógrafo cuenta con 9 rejillas de difracción que van desde los 150 líneas/mm hasta 1200 líneas/mm.

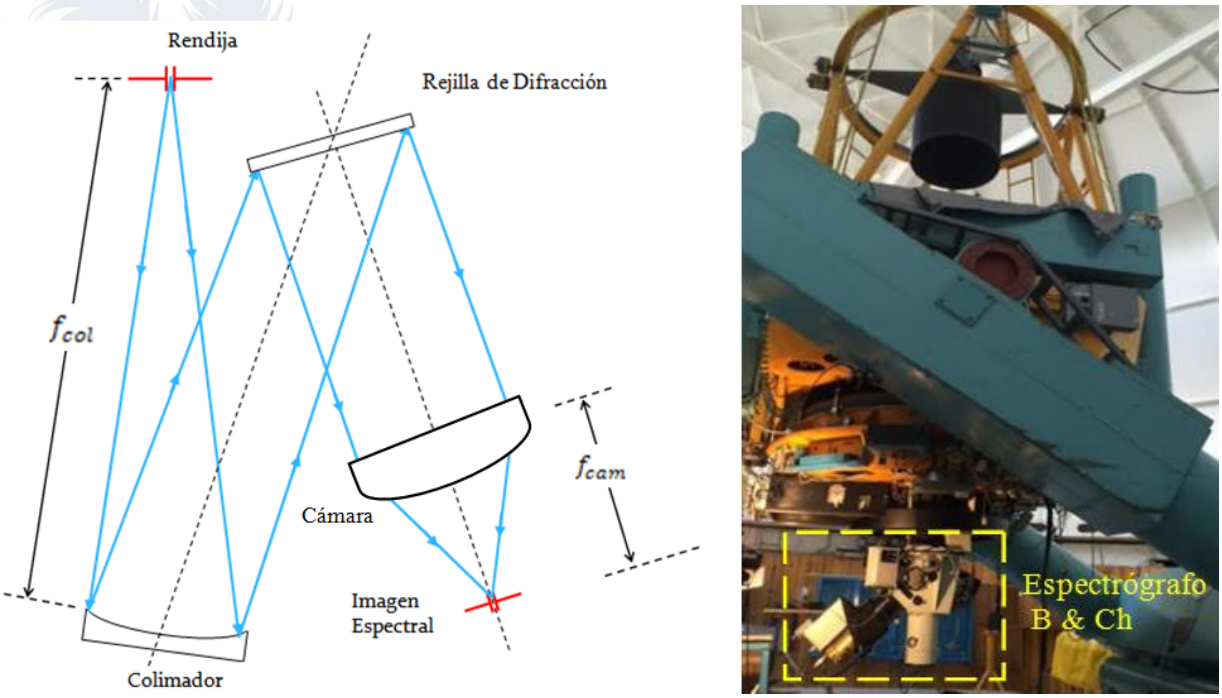
Durante una temporada de observación, es posible que el astrónomo en turno requiera estudiar objetos con diferente resolución espectral, lo que se logra cambiando la rejilla de difracción del espectrógrafo y en ocasiones es un requerimiento en una misma noche. Por tanto se vuelve fundamental que las rejillas estén debidamente orientadas, si una de ellas no está bien orientada dentro de su celda puede requerir de compensar esta ligera rotación con la rotación del CCD (en inglés Charge Coupled Device) usado para adquirir la imagen formada por el espectrógrafo, dando como consecuencia la pérdida de tiempo.

En este trabajo se presenta el diseño y construcción de un instrumento óptico, con el objetivo de poder realizar una revisión de la alineación actual de las rejillas de difracción dentro de su celda. Este instrumento basa su funcionamiento en el fenómeno de difracción de la luz.

2 ESPECTRÓGRAFO BOLLER & CHIVENS

El espectrógrafo Boller & Chivens es uno de los instrumentos astronómicos de uso en el OAN-SPM, en la figura 1a se muestra el arreglo óptico, básicamente se compone de una rendija de navajas con desplazamiento transversal (recientemente automatizado), posteriormente se encuentra el sistema colimador en este caso se usa una superficie cóncava reflectora (espejo parabólico), como elemento dispersor utiliza una rejilla de difracción que es adquirida “custom” dada sus dimensiones y posteriormente se encuentra la cámara óptica (formada por un conjunto de lentes, aunque aquí lo hemos representado por una sola lente) que tienen la función de formar la imagen en el plano del CCD que se encuentre acoplado al espectrógrafo. En la figura 1b, se muestra el espectrógrafo real acoplado al telescopio de 2.1m del OAN.

SOMI
CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN
Año 4, No. 01, octubre 2017
ISSN 2395-8499



(a) (b)

Figura 1. a) Arreglo esquemático conceptual del espectrógrafo Boller & Chivens y b) Espectrógrafo Boller & Chivens acoplado al telescopio de 2.1m del OAN-SPM,

2.1 Importancia de la alineación de las rejillas de difracción

El espectrógrafo Boller & Chivens tiene la característica de poder intercambiar su rejilla de difracción, y con esto tener espectros en diferente rango espectral. El espectrógrafo cuenta con 9 rejillas de difracción que van desde los 150 líneas/mm hasta 1200 líneas/mm.

Durante una temporada de observación astronómica, es posible que se requiera realizar un cambio de rejilla de difracción (cambia rango espectral) del espectrógrafo. Por tanto es fundamental que las rejillas estén debidamente orientadas, si una de ellas no está bien orientada dentro de su celda puede requerir de compensar esta ligera rotación con la rotación del CCD, dando como consecuencia la pérdida de tiempo.

En una temporada de observación astronómica se revisó la alineación óptica de las rejillas de difracción, tomando como parámetro comparativo el espectro estelar. En la figura 2 se muestra un espectro con la información que estamos interesados en comparar, aquí Δx es la cantidad de

SOMI
CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN
Año 4, No. 01, octubre 2017
ISSN 2395-8499

pixeles en dirección x, y Δy es la cantidad de pixeles que el espectro estelar se aleja desde la horizontal ideal.

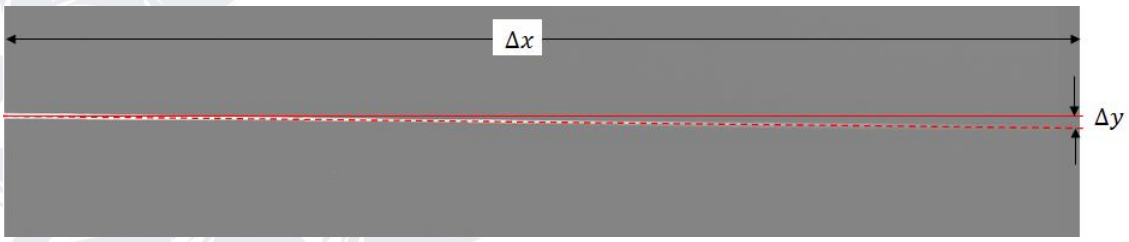
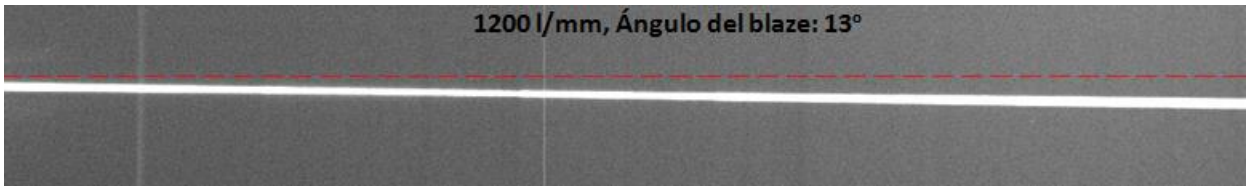
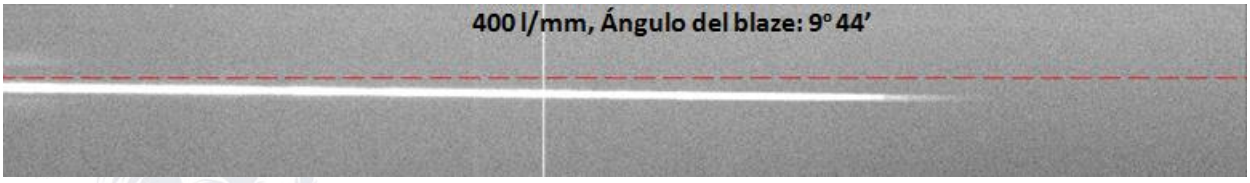


Figura 2. Espectro estelar adquirido con el espectrógrafo Boller & Chivens, aquí se muestran los parámetros que se tomarán en cuenta para realizar la comparación.

En la figura 3 se muestran los espectros estelares obtenidos con el espectrógrafo Boller & Chivens con las rejillas de difracción de: 1200 l/mm (blaze de 13^0) y 400 l/mm (blaze de $9^o\,44''$). Estos espectros estelares fueron obtenidos durante una campaña de observación astronómica en el 2010, en el cual se usó el detector CCD Thompson (2048 X 2048 pixeles). La línea horizontal de referencia fue trazada para mostrar la presencia de rotación del espectro, esto está directamente relacionado con una rotación de la rejilla dentro de su celda. Los desplazamientos encontrados son mostrados en la tabla 1.



(a)



(b)

Figura 3. Espectro estelar adquiridos con el espectrógrafo Boller & Chivens con la rejilla de: a) 1200 l/mm (blaze de 13^o) y b) 400 l/mm (blaze de $9^o\,44'$).

SOMI
CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN
Año 4, No. 01, octubre 2017
ISSN 2395-8499

Para tratar de entender y corregir la desalineación de la rejilla de difracción en su celda es necesario hacer una revisión de la celda de la rejilla de difracción, en la siguiente sección se aborda este tema.

Tabla 1.- Inclinación del espectro estelar para las rejillas obtenidas en la campaña de observación astronómica del 2010.

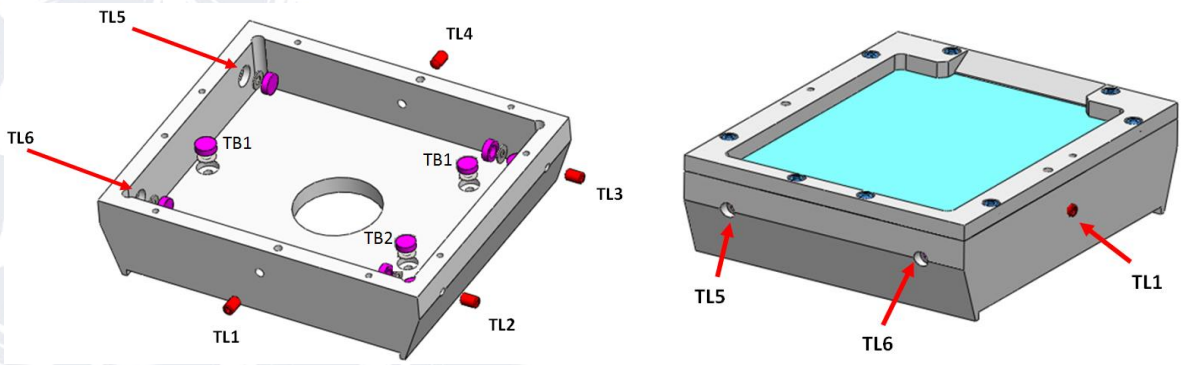
	Rejilla de difracción	**Angulo del Blaze**	**Δx (pixeles)**	**Δy (pixeles)**	**Inclinación del espectro estelar (grados)**
1	1200	13^{o}	2048	13pix	0.36
2	1200	26^{o} 7’	2048	12pix	0.33
3	600	13^{o}	2048	10pix	0.27
4	600	8^{o} 38´	2048	8pix	0.22
5	400	13^{o} 54’	2048	15pix	0.41
6	400	9^{o} 44’	2048	11pix	0.30
7	300	4^{o} 18’	2048	17pix	0.47
8	150	3^{o} 26’	2048	26pix	0.72
9	150	2^{o} 9’	2048	17pix	0.47

2.1 Rejillas de difracción

Las rejillas de difracción se encuentran en una celda de aluminio construida para poder acoplarla al barril que va insertado dentro del espectrógrafo Boller & Chivens, y que le permite rotar para poder inclinar la rejilla al ángulo deseado, normalmente muy cercano al ángulo del “blaze”.

En la figura 4 se muestran dos vistas del diseño mecánico de las celdas para las rejillas de difracción. En la figura 4a se muestra la celda con el conjunto de tornillos laterales que sirven para orientar la rejilla dentro de la celda y mantenerla fija, por otro lado en la base se encuentran tres tornillos que tienen la función de empujar la rejilla hacia arriba para garantizar que la rejilla se encuentra en el plano de giro del barril dentro del espectrógrafo Boller & Chivens. En la figura 4b se muestra a la rejilla dentro de su celda.

SOMI
CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN
Año 4, No. 01, octubre 2017
ISSN 2395-8499



(a) (b)

Figura 4. Celda de la rejilla de difracción usada en el espectrógrafo Boller & Chivens: a) Celda sin rejilla y b) celda con la rejilla...

3 INSTRUMENTO CONSTRUIDO PARA VERIFICAR LA ALINEACIÓN DE LAS REJILLAS DE DIFRACCIÓN

El diseño y construcción del instrumento tiene su base en la teoría de difracción [2,3] para una rejilla de difracción de tipo reflector, y tiene un ángulo de "blaze". Consideremos que una rejilla tiene un ángulo de blaze, ϕ, medido desde la horizontal de la rejilla hasta el "blaze", y además consideremos la normal que es una línea imaginaria que es normal a la rejilla de difracción y los ángulos α y β como los ángulos que forman los rayos de incidencia y difractados respecto de la normal respectivamente, y la separación entre "grooves" es denotada por la letra, d, ver figura 5.

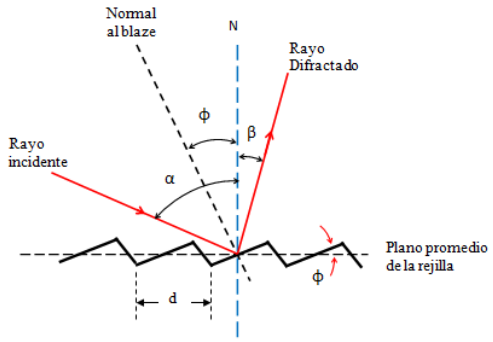


Figura 5. Fenómeno de difracción en una rejilla de difracción reflectora con "blaze".

SOMI
CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN
Año 4, No. 01, octubre 2017
ISSN 2395-8499

Sabemos que la ecuación de la rejilla de difracción está dada por [3]:

$$d(Sen\ \alpha - Sen\ \beta) = m\lambda \quad (1)$$

Donde *m* indica el número del orden y por tanto puede tomar valores enteros positivos o negativos, λ es la longitud de onda de la luz usada.

Si consideramos el caso para el cual el rayo incidente es normal al plano de la rejilla ($\alpha = 0$) entonces esta última ecuación puede ser escrita como:

$$\beta = Sen^{-1}\left(\frac{-m\lambda}{d}\right) \quad (2)$$

Considerando que las frecuencias de las rejillas de difracción con que cuenta el Observatorio Astronómico Nacional van desde 150 líneas/mm hasta 1200 líneas/mm, entonces podemos calcular ángulo difractado para el orden 1 para las rejillas de 150 líneas/mm y la de 1200 líneas/mm (ver tabla 2), con esto garantizamos que para las demás rejillas el ángulo del rayo difractado para el orden 1 estarán contenidas en ese intervalo angular.

Tabla 2.- Medición de ángulo de difracción para dos rejillas de diferente frecuencia

Frecuencia de la rejilla	Longitud de onda de la luz	Angulo difractado
150 líneas/mm	660 nm	5.68^o
1200 líneas/mm	660 nm	52.37^o

Si ahora consideramos que el plano de observación medido desde el plano de la rejilla se encuentra a 24cm, entonces podemos encontrar la distancia entre el orden 0 y el orden 1, esperado en el plano de observación (ver tabla 3).

Tabla 3.- Determinación de separación entre el orden 0 y 1 para dos rejillas de diferente frecuencia.

Frecuencia de la rejilla	Angulo difractado	Distancia del orden 0 al orden 1
150 líneas/mm	5.68^o	2.4 cm
1200 líneas/mm	52.37^o	31.1 cm

En la figura 6 se muestra el diagrama esquemático del instrumento construido para verificar la alineación de las rejillas de difracción dentro de su celda. En la figura 7 se muestra el

SOMI
CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN
Año 4, No. 01, octubre 2017
ISSN 2395-8499

instrumento construido, usa como fuente de iluminación un láser con una longitud de onda de 660nm (medido usando el espectrómetro del OAN), este instrumento incluye una montura que permite sostener de manera segura y centrada a la celda de la rejilla de difracción, esta montura cuenta con tres orificios de guía de manera similar a la montura del barril que permite mantener centrado a la rejilla de difracción dentro del espectrógrafo Boller & Chivens (ver figura 7).

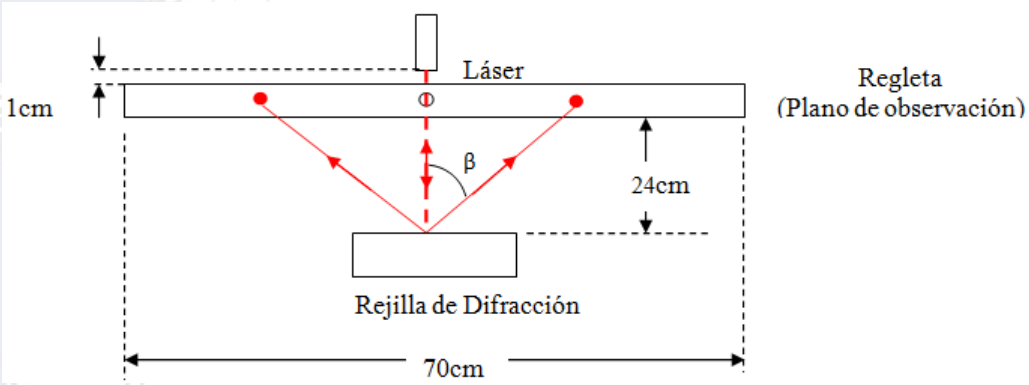


Figura 6. Diagrama Esquemático del instrumento

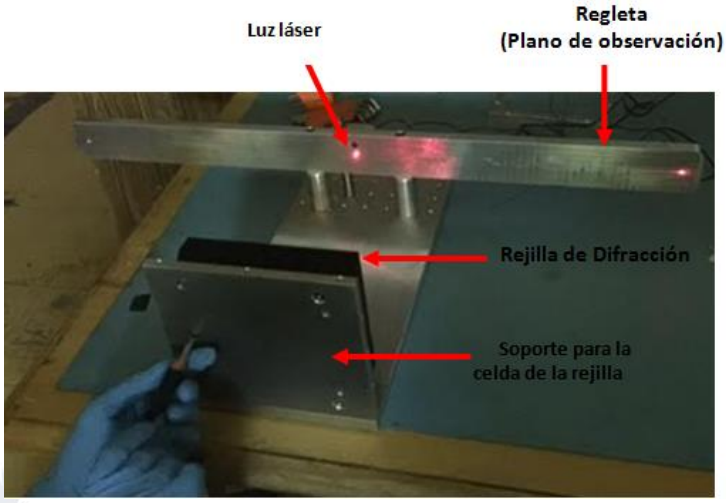
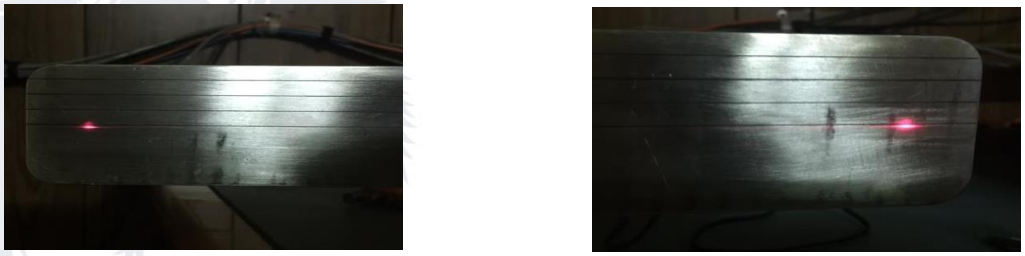


Figura 7. Instrumento real en funcionamiento.

SOMI
CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN
Año 4, No. 01, octubre 2017
ISSN 2395-8499

4 RESULTADOS

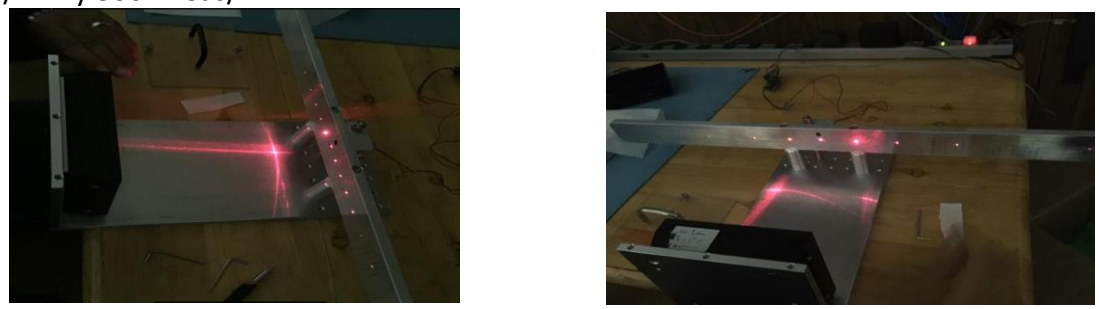
En esta sección se muestran los resultados obtenidos de la alineación de las rejillas de difracción en sus celdas respectivas. En la figura 8 es mostrada un acercamiento de los ordenes -1 y 1 obtenidos con la rejilla de de 1200 líneas/mm, los cuales se encuentra sobre la misma línea después de realizar la alineación usando el nuevo instrumento de alineación.



(a) (b)

Figura 8. Se muestra un acercamiento de los órdenes -1 (caso a) y 1 (caso b) en la regleta, esto después de realizar la alineación de la rejilla en su celda de la rejilla de 1200 líneas/mm.

En la figura 9 se muestran las fotografías obtenidas durante la alineación de las rejillas de 150 líneas/mm y 300 líneas/mm.

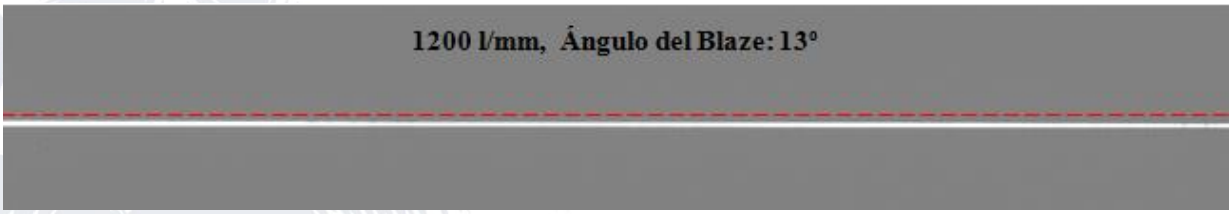


(a) (b)

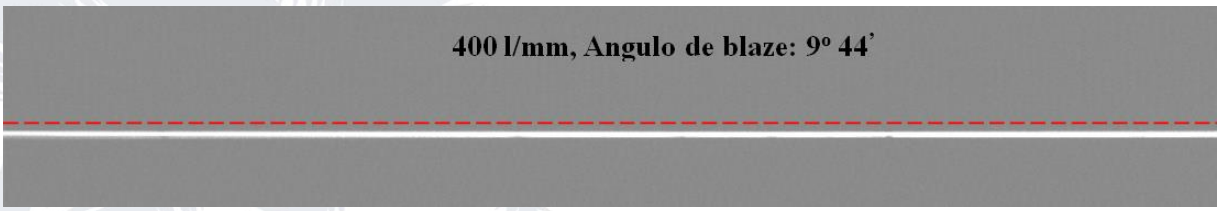
Figura 9. Alineación de las rejillas de: a) 150 líneas/mm y b) 300 líneas/mm.

Una vez realizada la alineación de las rejillas de difracción se procedió a realizar pruebas en el espectrógrafo acoplado al telescopio de 2.1m del OAN. En la figura 10 se muestran las imágenes de los espectros estelares obtenidos con la rejillas de difracción de 1200 líneas/mm y 400 líneas/mm.

SOMI
CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN
Año 4, No. 01, octubre 2017
ISSN 2395-8499



(a)



(b)

Figura 10.- Espectro estelar adquiridos con el espectrógrafo Boller & Chivens con la rejilla de: a) 1200 l/mm (blaze de 13°) y b) 400 l/mm (blaze de 9° 44').

En forma similar a como se realizó con los espectros obtenidos en el 2010, se midió el desplazamiento Δy para cada imagen y a partir de este valor se calculo el ángulo que indica la inclinación del espectro. Estos resultados se muestran en la tabla 4.

También es importante notar que para el caso de la rejilla de 300 líneas/mm, ya no fue posible poder corregir mas ya que no existe suficiente espacio en la celda que contiene esta rejilla para poder compensar esta rotación de la rejilla dentro de su celda.

Es importante ver que a excepción de la rejilla de 300 líneas/mm, todas las otras rejillas presentan una disminución de la inclinación notable respecto de las mediciones obtenidas en la campaña en el 2010. Esto indica que el instrumento propuesto trabaja adecuadamente y es una herramienta útil y de fácil uso para checar la alineación óptica de la rejilla dentro de su celda cuando se requiera.

Tabla 4.- Inclinación del espectro estelar para las rejillas obtenidas después de alinear las rejillas en su celda usando el nuevo instrumento de alineación (campaña de observación astronómica del 2016).

	Rejilla de difracción	Angulo del Blaze	Δx (pixeles)	Δy (pixeles)	Inclinación del espectro estelar (grados)
1	1200	13°	2048	1 pix	0.02

ISSN 2395-8499

2	1200	26° 7’	2048	4 pix	0.11
3	600	13°	2048	3 pix	0.08
4	400	6° 30’	2048	6 pix	0.16
5	400	13° 54’	2048	0 pix	0.00
6	400	9° 44’	2048	6 Pix	0.16
7	300	4° 18’	2048	13 pix	0.36
8	150	3° 26’	2048	2 pix	0.05
9	150	2° 9’	2048	4 pix	0.11

5 CONCLUSIONES

Se presentó el diseño, construcción y uso de un instrumento óptico para poder realizar la alineación en su celda de las rejillas de difracción usadas en el espectrógrafo Boller & Chivens. El nuevo instrumento basa su funcionamiento en el fenómeno de difracción de la luz, después de realizar la alineación con este nuevo instrumento, las rejillas se probaron en el uso con el espectrógrafo en observaciones astronómicas realizadas en una campaña en 2016, para llevar a cabo esto se adquirieron espectros estelares para cada rejilla y los resultados fueron comparados con espectros obtenidos en una campaña de observación astronómica del 2010. Los resultados obtenidos nos permitieron ver que el instrumento funciona adecuadamente y también que en el caso de la celda de la rejilla de 300 líneas/mm requerirá una modificación para poder alcanzar la alineación deseada.

Es importante comentar que este instrumento de alineación no requiere del espectrógrafo para su funcionamiento, por esta vez fue usado para comprobar que los resultados obtenidos pueden ser visibles en el espectrógrafo y que realmente representa una mejora para el uso de la rejilla dentro del espectrógrafo y consecuentemente una mejora en las temporadas de observación astronómica.

REFERENCIAS

[1] http://haro.astrossp.unam.mx/indexspm.html
[2] K.J. Gasvik, “Diffraction” in *Optical Metrology*, 3rd ed (Wiley, New York, 2012) Chap. 4.

ISSN 2395-8499

[3] M. C. Hutley, “Theory” in *Diffraction gratings*, Ed. N.H. March (Academic Press, New York, 1982) Chap. 1..