



PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS INTERNOS DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL DE SAN PEDRO MÁRTIR



Atlas de la lámpara de comparación del espectrógrafo Boller & Chivens del OAN-SPM.

PTI-OAN:0044

Ilse Plauchu Frayn & Michael G. Richer

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Astronomía, Observatorio Astronómico Nacional, Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ens., B.C., C.P. 22860, Méx.

Resumen

Se presenta una actualización del atlas de la lámpara de comparación (CuHeNeAr) del espectrógrafo Boller & Chivens del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir (OAN-SPM). Los datos fueron obtenidos el 6 de enero de 2025 durante la noche de ingeniería en el Telescopio de 2.1 m, dedicada a evaluar el instrumento. Se adquirieron imágenes tipo arco de la lámpara a distintos ángulos de la rejilla de difracción, cubriendo un rango espectral de 3800 a 10,600 Å. El análisis comparativo con el atlas previo, elaborado en 2005 cuando la lámpara actual reemplazó a la de HeAr, muestra que el número de líneas de emisión se ha conservado. Sin embargo, se ha observado una disminución generalizada en la intensidad de muchas de ellas, especialmente fuera del rango entre 7500 a 8500 Å. Esta reducción parece estar relacionada con una menor potencia de operación, lo que afecta la eficiencia de excitación de líneas de alta energía, como las del Neón, más que con una pérdida de gas. Aunque la lámpara aún puede emplearse la calibración espectral, es necesario realizar más pruebas antes de considerar su reemplazo.

Keywords: Telescopio 2.1m, espectroscopía, Boller & Chivens, lámpara de comparación.

Recibido: 18-04-2025

Aceptado: 08-05-2025

Publicado: 09-05-2025

1

PTI-OAN:0044

PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS INTERNOS

OAN-SPM

1. INTRODUCCIÓN

Los espectrógrafos Boller & Chivens son instrumentos ampliamente utilizados en astronomía para el análisis espectral de la luz proveniente de objetos celestes: estrellas, nebulosas planetarias, galaxias, cuásares, etc. Fueron desarrollados por la compañía Boller & Chivens, que se especializaba en la fabricación de telescopios e instrumentos ópticos de alta precisión [1]. El espectrógrafo Boller & Chivens del OAN-SPM es propiedad del Observatorio Astronómico di Brera y fue diseñado originalmente para el foco Cassegrain f/7 del telescopio de 1.37 m de dicho observatorio.

El atlas de la lámpara de comparación CuHeNeAr (Cobre, Helio, Neón, Argón) es una herramienta fundamental durante el proceso de calibración de los datos. Por ello, contar con un atlas actualizado de esta lámpara es esencial para garantizar una calibración precisa en longitud de onda de los datos espectroscópicos obtenidos con el espectrógrafo Boller & Chivens.

El último atlas de las líneas de esta lámpara se elaboró hace 20 años [2], cuando se adquirió la lámpara CuHeNeAr en sustitución de la lámpara HeAr, y desde entonces no se ha realizado un mapeo similar de esta lámpara de comparación.

Un atlas preciso permite a los usuarios identificar con fiabilidad y rapidez las líneas de emisión, realizar ajustes que aseguren la calidad de los datos científicos y optimizar el procedimiento de calibración en longitud de onda, garantizando así una mayor precisión en la reducción de los datos observacionales.

2. IMPORTANCIA DEL PROCEDIMIENTO

Un atlas actualizado de la lámpara de comparación proporciona referencias espectrales precisas, lo que permite minimizar errores en la calibración de datos y facilita la detección de posibles desviaciones en la instrumentación. Además, sirve para evaluar el estado de la lámpara de comparación, permitiendo detectar si ha habido una disminución en la intensidad de sus líneas espectrales. Estos cambios pueden deberse al envejecimiento de la lámpara, variaciones en la presión del gas en su interior, degradación de los electrodos o inestabilidad en la fuente de alimentación. Contar con una referencia actualizada es crucial para estudios de

alta precisión y para garantizar la calidad de los resultados obtenidos en las observaciones.

3. INSTRUMENTO, ACCESORIOS Y PAQUETES

Los datos espectroscópicos de la lámpara de comparación fueron obtenidos utilizando el espectrógrafo Boller & Chivens acoplado al Telescopio de 2.1 m del OAN-SPM. Se empleó su lámpara de comparación CuHeNeAr, que emite líneas de emisión de Cobre, Helio, Neón y Argón, junto con la rejilla de difracción de 1200l/mm blaze 26° 07', lo que permite una mayor resolución espectral y facilita la identificación individual y precisa de cada línea de emisión.

Esta lámpara tiene una alta densidad de líneas, lo que optimiza la calibración espectral con alta precisión. Para la adquisición de datos, se utilizó la cámara CCD Spectral Instruments 2 (CCD-Sp2), con un tamaño de píxel de 13.5 micras, de uso común en este telescopio [3]. El procesamiento y calibración de los datos se llevó a cabo con el paquete astronómico IRAF [4], mientras que los gráficos de los espectros fueron generados utilizando el paquete estadístico R [5].

4. METODOLOGÍA

4.1 Obtención de los datos.

Las observaciones se llevaron a cabo bajo condiciones controladas para garantizar la estabilidad instrumental. En primer lugar, con el telescopio al Cenit, se verificó que ningún filtro estuviera en el camino óptico, para lo cual se retiró la bayoneta de los filtros. En segundo lugar, se comprobó el enfoque del espectrógrafo midiendo el FWHM en tres líneas de emisión de la lámpara, obteniendo un valor promedio de 2.2 px (binning 1x1), lo que indica un enfoque adecuado con el CCD-Sp2. Finalmente, se encendió la lámpara CuHeNeAr con diez minutos de antelación para asegurar su estabilización térmica antes de iniciar la adquisición de datos.

Para garantizar una cobertura completa del rango espectral permitido por la óptica del instrumento y la eficiencia cuántica del CCD-Sp2, que abarca de 3000 a 10600 Å, se obtuvieron imágenes tipo arco de la lámpara de comparación. Se variaron los ángulos de la rejilla de difracción en incrementos de 3°, asegurando un

solapamiento adecuado entre los espectros registrados en exposiciones consecutivas. La Tabla 1 muestra los ángulos específicos a los que se rotó la rejilla de difracción y los rangos espectrales correspondientes. Además, se emplearon tiempos de integración ajustados para optimizar la relación señal/ruido, evitando la saturación de las líneas más intensas y/o permitiendo detectar las líneas más débiles de la lámpara de comparación. Todas las imágenes fueron adquiridas con un ancho de rendija de 100 μm para mantener la coherencia en la resolución espectral.

Tabla 1. Rangos espectrales cubiertos durante la obtención de los datos con el uso de la rejilla de difracción de 1200l/mm blaze $26^\circ 07'$.

Ángulo	Rango espectral ($\text{\AA}$)	Tiempo de exposición (s)	Región del espectro electromagnético
12°	2480-3680	600	Ultravioleta
15°	3240-4450	300	Ultravioleta – Visible 
18°	4020-5230	300	Visible 
21°	4740-5950	120	Visible 
24°	5490-6700	60	Visible 
27°	6180-7380	60	Visible 
30°	6880-8090	10	Visible 
33°	7570-8780	30	Visible - Cercano infrarrojo
36°	8210-9420	60	Cercano infrarrojo
39°	8880-10090	120	Cercano infrarrojo
42°	9470-10680	600	Cercano infrarrojo

4.2 Reducción de los datos.

El proceso de reducción de datos incluyó la corrección por *bias* y remoción de rayos cósmicos. La imagen del nivel cero del *bias* se produjo mediante la combinación mediana de una serie de 20 imágenes de *bias*, la cual se sustrajo a las imágenes de los arcos de la lámpara de comparación. Finalmente, se removieron los rayos cósmicos

de las imágenes con la tarea COSMICRAY de IRAF y los posibles remanentes de éstos con la tarea IMEDIT también de IRAF. No se realizó corrección por campos planos, porque al ser intensas las líneas de la lámpara consideramos que las correcciones por campos planos no son críticas en este caso.

4.3 Calibración en longitud de onda

Identificación de líneas de referencia.

Se identificaron las líneas espectrales más intensas en cada uno de los arcos con la tarea IDENTIFY y REIDENTIFY de IRAF. La tarea IDENTIFY permite marcar manualmente las líneas de referencia en un espectro, asignándoles una longitud de onda precisa a partir de un atlas de referencia. Posteriormente, la tarea REIDENTIFY automatiza este proceso en múltiples espectros, ajustando y refinando la identificación en función de la solución previa. Para la identificación de las líneas se hizo uso del atlas de la lámpara del 2005 [2] y la lista de las líneas de Cu, He, Ne y Ar del National Institute of Standards and Technology (NIST) [6].

Ajuste de la solución en longitud de onda.

Se utilizó la tarea FITCOORDS de IRAF para modelar y corregir la distorsión geométrica en la solución de calibración en longitud de onda, asegurando que los espectros calibrados mantengan una correcta alineación a lo largo del eje de dispersión.

Posteriormente, se utilizó la tarea TRANSFORM de IRAF para aplicar la solución de calibración en longitud de onda obtenida con FITCOORDS y transformar los espectros extraídos a una escala de longitud de onda uniforme, corrigiendo posibles distorsiones y asegurando una correcta alineación espectral.

Extracción del espectro

Aquí se utilizó la tarea APALL de IRAF para extraer los espectros y definir aperturas en el eje espacial, asegurando una correcta normalización y reducción del mismo.

Finalmente, se convirtieron los espectros del formato FITS al formato TXT con la tarea WSPECTEXT, la cual extrae y formatea los datos espectrales para su posterior análisis en otros programas o visualización.

5. RESULTADOS

En las Figuras 1 a 10 se presentan los espectros calibrados correspondientes a los ángulos de la rejilla de difracción indicados en la Tabla 1. En el caso de la rejilla a un ángulo de 12° , donde la sensibilidad del sistema óptico es muy baja y no se observan líneas de emisión, no se incluye su espectro.

En estos espectros, todas las líneas presentes en la lámpara se indican con una línea punteada gris, mientras que aquellas que podrían ser contaminación de otro gas o que corresponden a otros órdenes espectrales están marcadas con amarillo. La longitud de onda de estas líneas espurias se puede consultar en la lista de referencias [7]. En la parte superior de cada figura se indica la rejilla de difracción, tiempo de exposición y *binning* utilizado para adquirir el arco. Este análisis confirma que la lámpara mantiene una alta densidad de líneas en el rango espectral de 3800-10600 Å. En este rango, las líneas más intensas corresponden a los elementos de Argón y Neón.

Para minimizar la contaminación por luz de otros órdenes espectrales, se recomienda al usuario el uso de los filtros del espectrógrafo Boller & Chivens [8].

Atlas lámpara CuHeNeAr - Grating 1200 l/mm blaze 26° (300seg. / binning = 1x1)

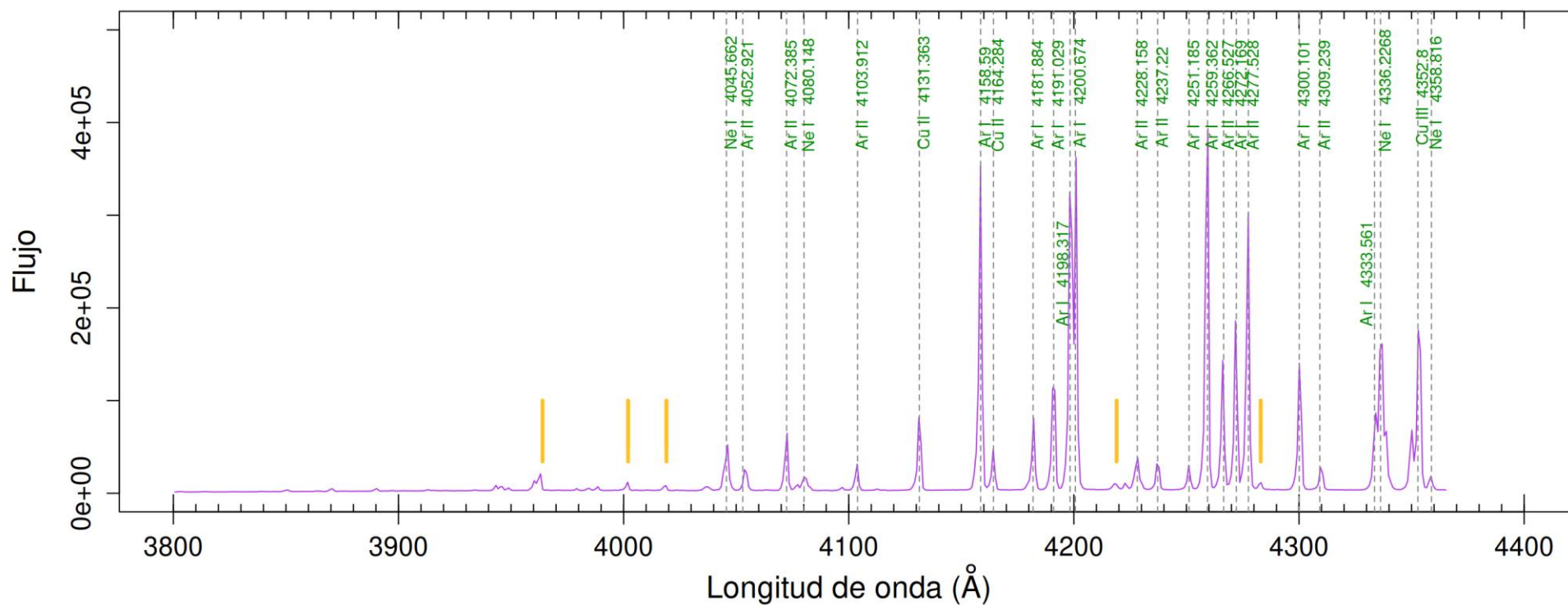


Figura 1. Espectro calibrado en longitud de onda para la rejilla de difracción de 1200l/mm blaze 26° a un ángulo de 15°.

Atlas lámpara CuHeNeAr - Grating 1200 l/mm blaze 26° (300seg. / binning = 1x1)

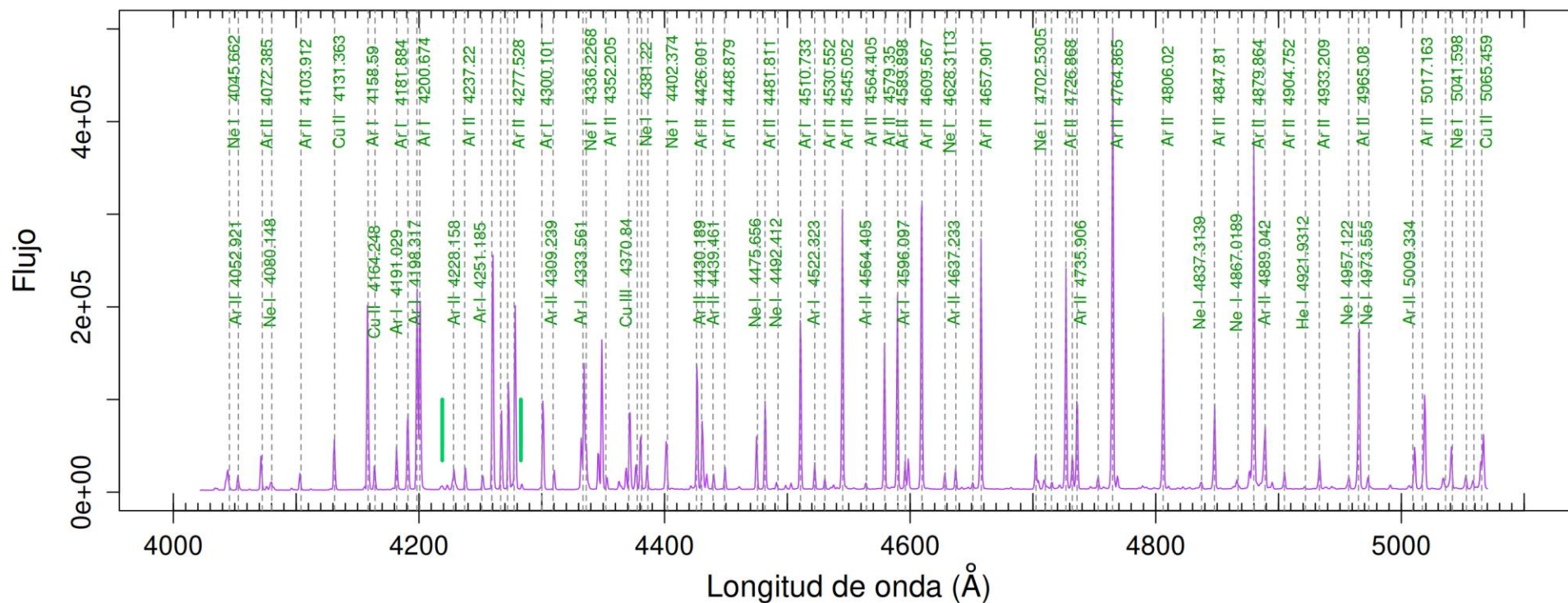


Figura 2. Espectro calibrado en longitud de onda para la rejilla de difracción de 1200l/mm blaze 26° a un ángulo de 18°.

Atlas lámpara CuHeNeAr - Grating 1200 l/mm blaze 26° (120seg. / binning = 1x1)

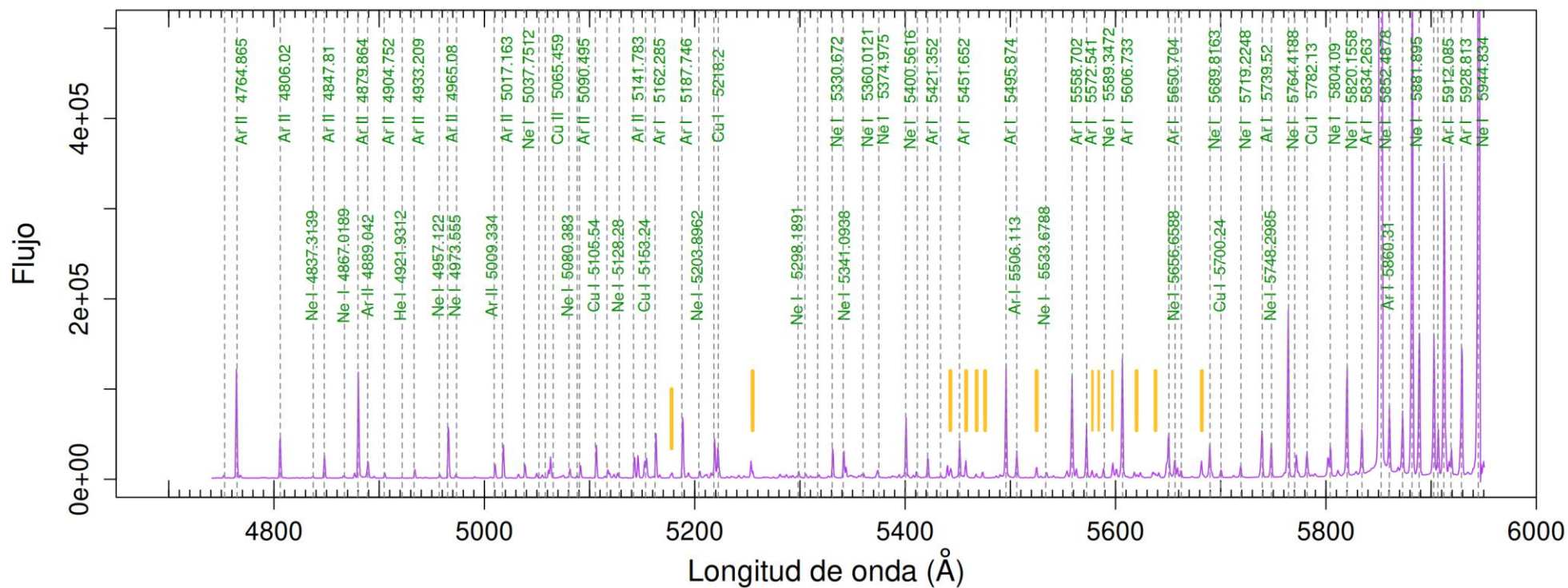


Figura 3. Espectro calibrado en longitud de onda para la rejilla de difracción de 1200l/mm blaze 26° a un ángulo de 21°.

Atlas lámpara CuHeNeAr - Grating 1200 l/mm blaze 26° (60seg. / binning = 1x1)

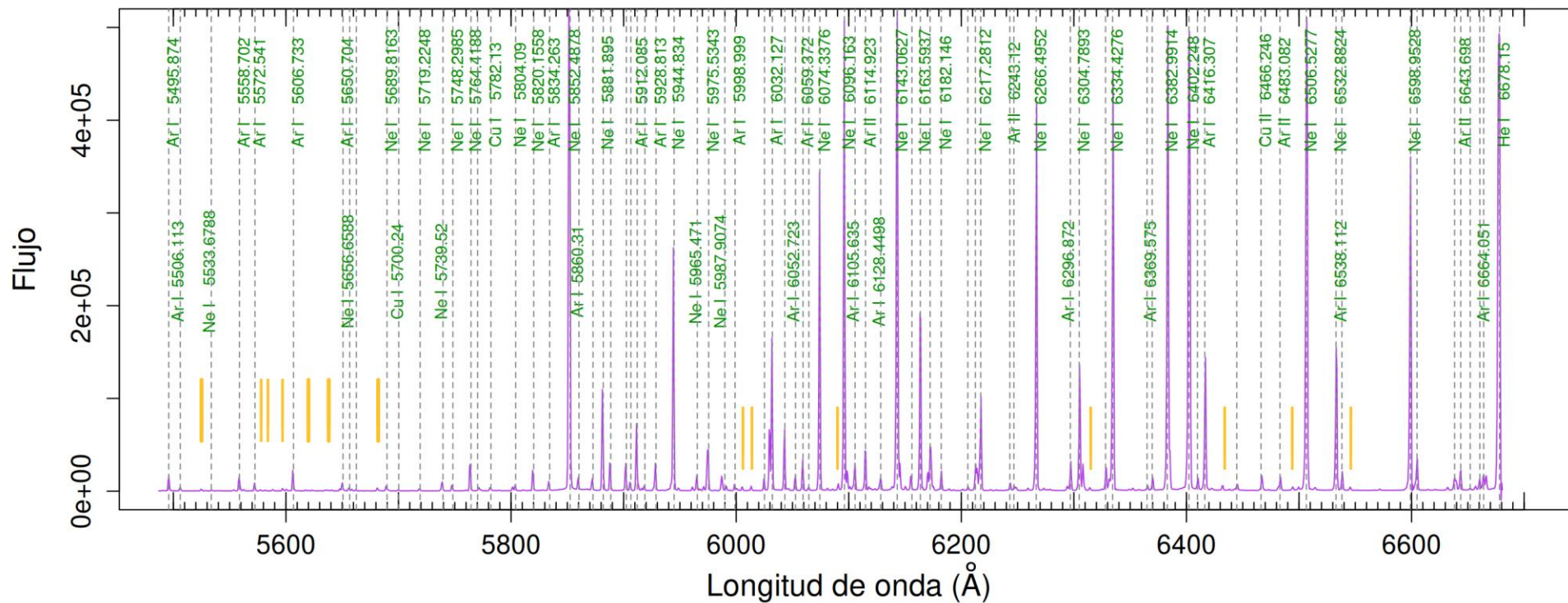


Figura 4. Espectro calibrado en longitud de onda para la rejilla de difracción de 1200l/mm blaze 26° a un ángulo de 24°.

Atlas lámpara CuHeNeAr - Grating 1200 l/mm blaze 26° (60seg. / binning = 1x1)

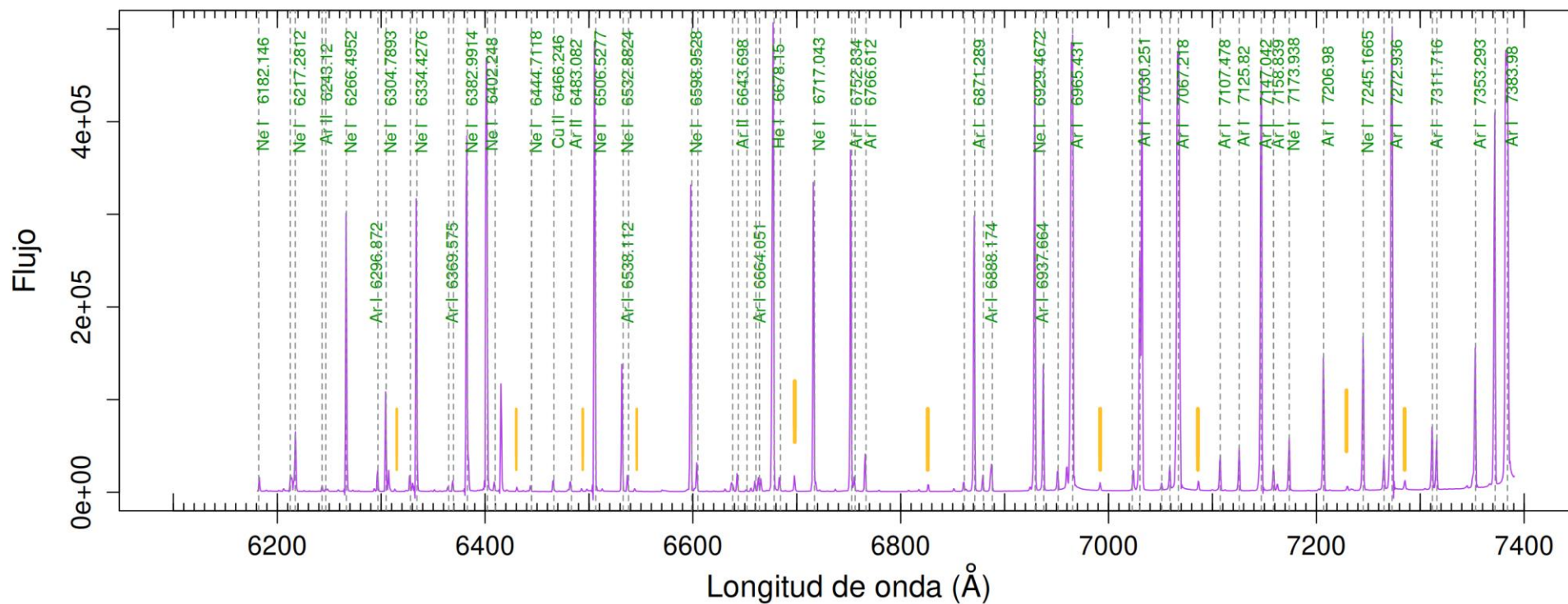


Figura 5. Espectro calibrado en longitud de onda para la rejilla de difracción de 1200l/mm blaze 26° a un ángulo de 27°.

Atlas lámpara CuHeNeAr - Grating 1200 l/mm blaze 26° (10seg. / binning = 1x1)

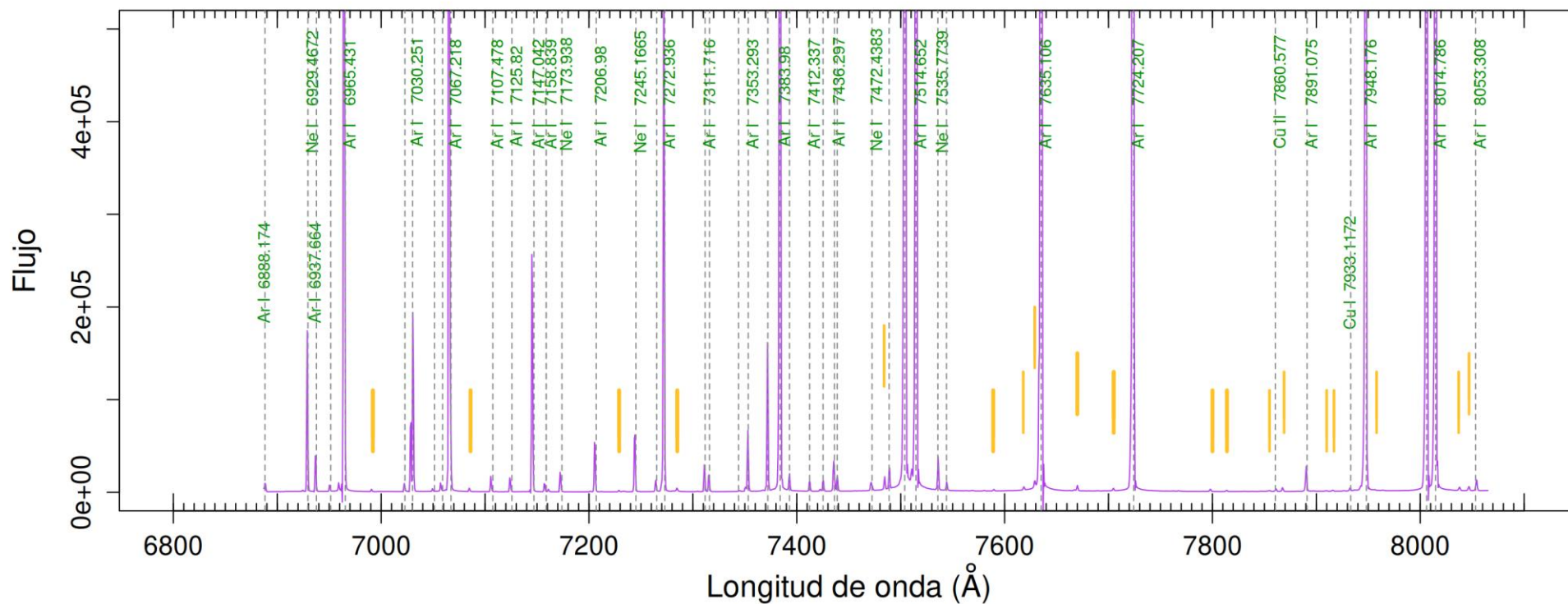


Figura 6. Espectro calibrado en longitud de onda para la rejilla de difracción de 1200l/mm blaze 26° a un ángulo de 30°.

Atlas lámpara CuHeNeAr - Grating 1200 l/mm blaze 26° (30seg. / binning = 1x1)

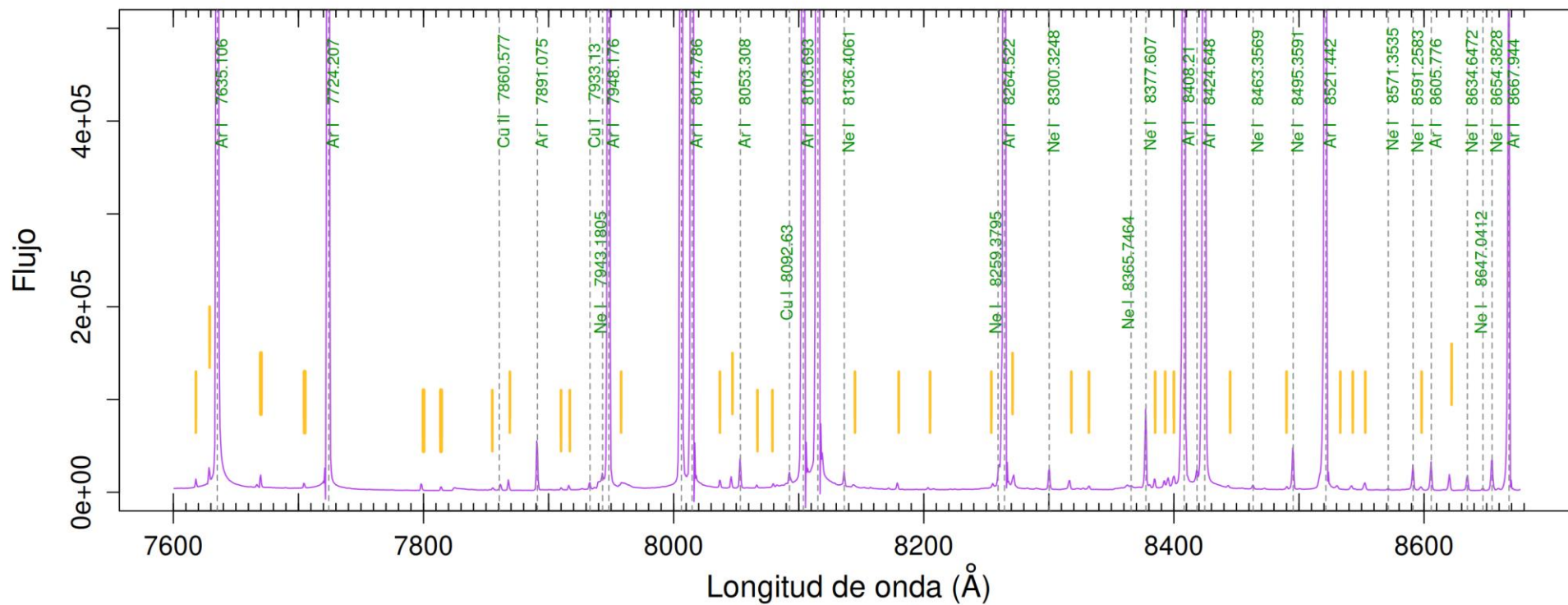


Figura 7. Espectro calibrado en longitud de onda para la rejilla de difracción de 1200l/mm blaze 26° a un ángulo de 33°.

Atlas lámpara CuHeNeAr - Grating 1200 l/mm blaze 26° (60seg. / binning = 1x1)

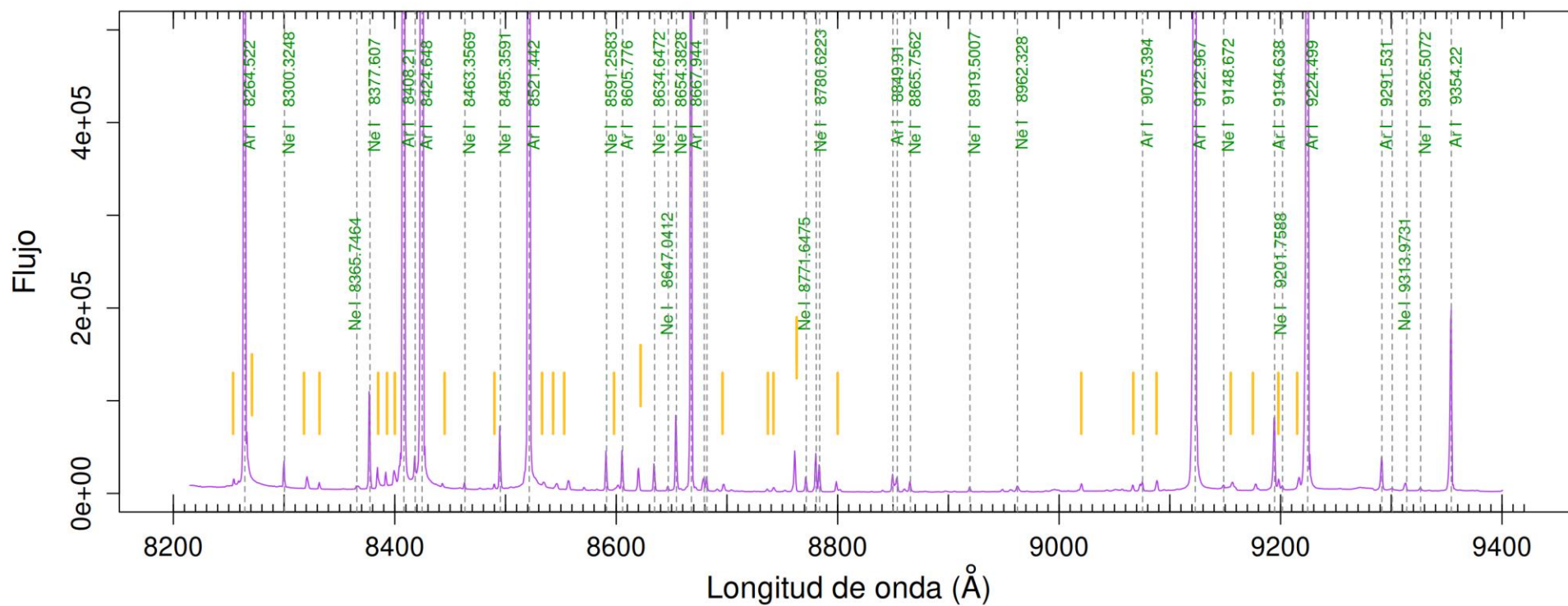


Figura 8. Espectro calibrado en longitud de onda para la rejilla de difracción de 1200l/mm blaze 26° a un ángulo de 36°.

Atlas lámpara CuHeNeAr - Grating 1200 l/mm blaze 26° (120seg. / binning = 1x1)

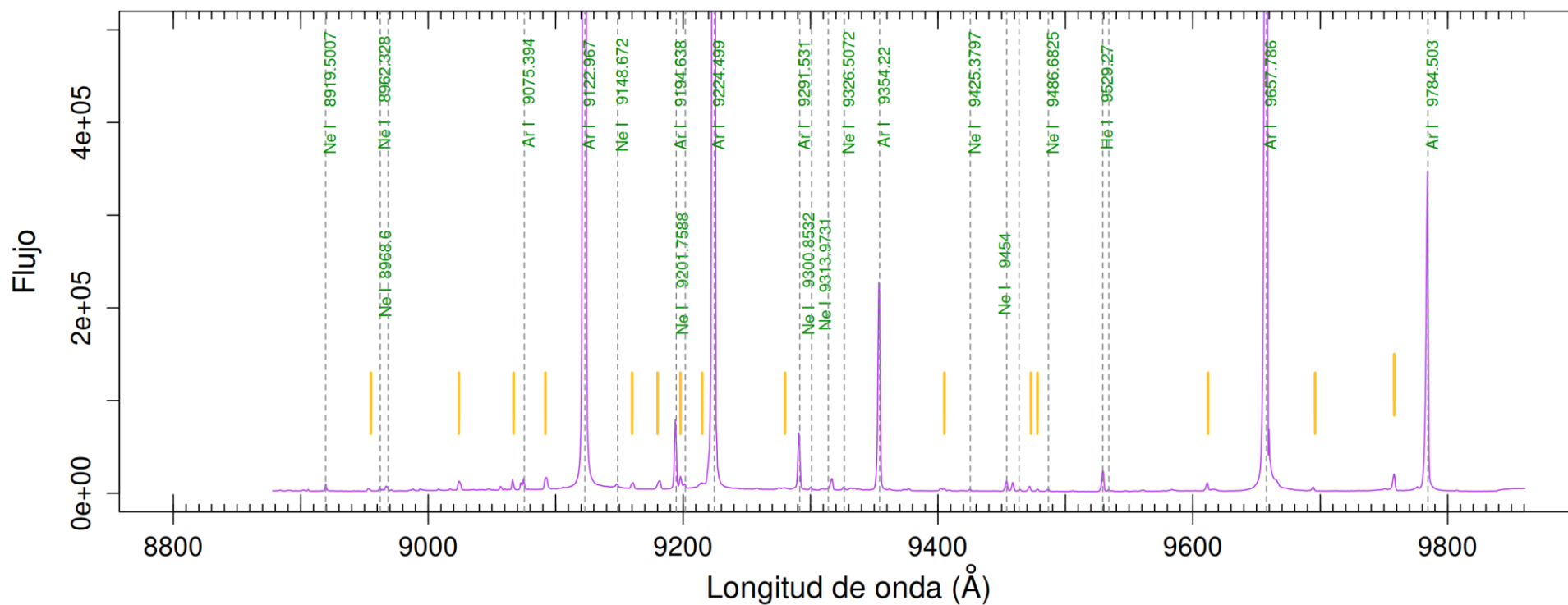


Figura 9. Espectro calibrado en longitud de onda para la rejilla de difracción de 1200l/mm blaze 26° a un ángulo de 39°.

Atlas lámpara CuHeNeAr - Grating 1200 l/mm blaze 26° (600seg. / binning = 1x1)

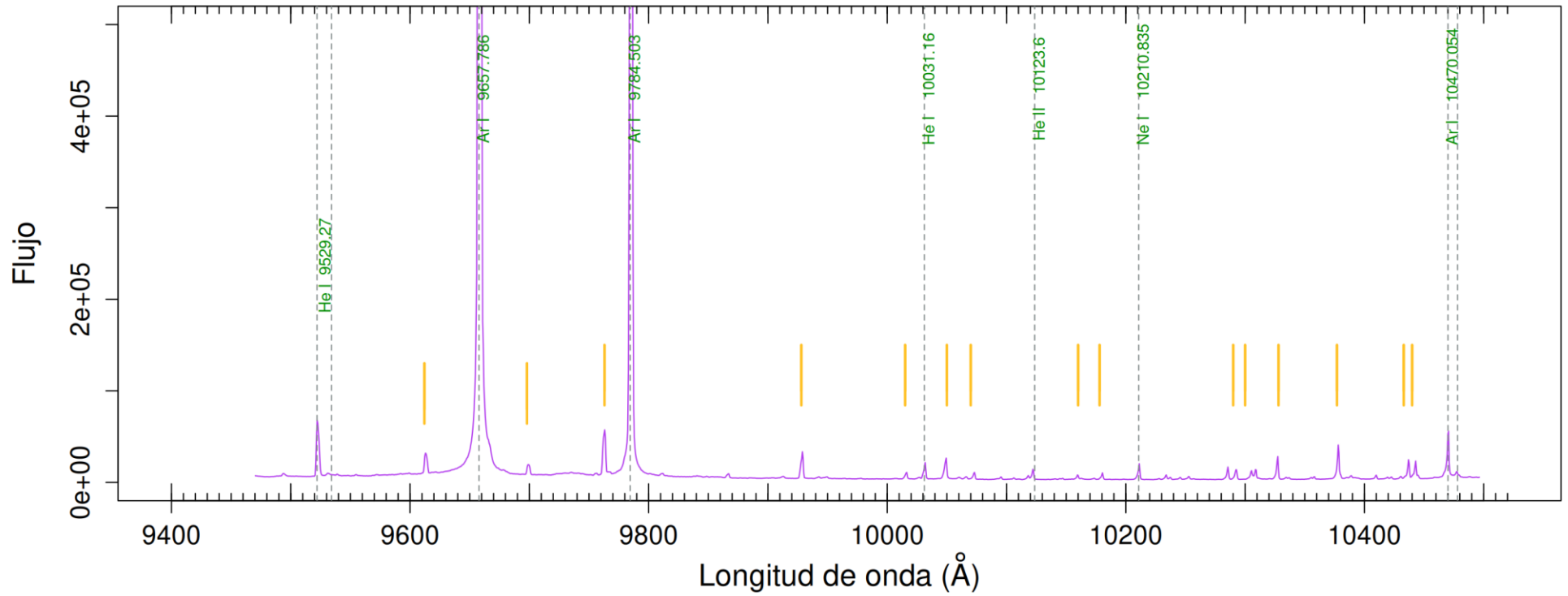


Figura 10. Espectro calibrado en longitud de onda para la rejilla de difracción de 1200l/mm blaze 26° a un ángulo de 42°.

La Figura 11 muestra el espectro de la lámpara de comparación en el rango de 3800-10600 Å obtenido en este estudio, mientras que la Figura 12 presenta el espectro registrado en 2005 [2]. En ambos espectros, se han señalado solo algunas de las líneas de emisión de la lámpara CuHeNeAr con líneas punteadas en color gris. Ambos espectros pueden ser obtenidos en formato FITS para IRAF en sitio web del instrumento [8].

En todo el rango espectral (3800-10600 Å), las líneas más intensas corresponden a los elementos Argón y Neón, mientras que las menos intensas pertenecen al Helio y Cobre. Al comparar las Figuras 11 y 12, se observa que el número de líneas de emisión se ha conservado en el tiempo; sin embargo, la intensidad de muchas de ellas ha disminuido. Esto es especialmente evidente en el rango de 5500 a 7500 Å, donde las líneas son notablemente más débiles en el espectro obtenido en este trabajo. En cambio, entre 7500 y 8500 Å la intensidad parece mantenerse estable, mientras que a partir de 8500 Å se observa nuevamente una disminución en la intensidad de las líneas. A pesar de la disminución de la intensidad de algunas líneas, la lámpara de comparación del espectrógrafo sigue siendo útil para la calibración en longitud de onda. Sin embargo, el debilitamiento observado, particularmente en líneas de Neón que requieren mayor energía de excitación en comparación con las de Argón, sugiere que no se trata de una pérdida de gas, sino de una reducción en la potencia de operación de la lámpara. Esto afecta su eficiencia para excitar transiciones de alta energía. Por ahora, puede continuar utilizándose para calibración en longitud de onda. Sin embargo, sería importante verificar que la potencia suministrada a la lámpara sea la adecuada, ya que una reducción de esta podría explicar la menor eficiencia observada en la excitación de algunas líneas, como las de Neón. Se recomienda realizar mediciones adicionales para evaluar esta posibilidad y descartar la adquisición de una nueva lámpara. En los rangos donde la intensidad de las líneas ha disminuido, podría ser necesario aumentar los tiempos de exposición al adquirir los espectros de calibración.

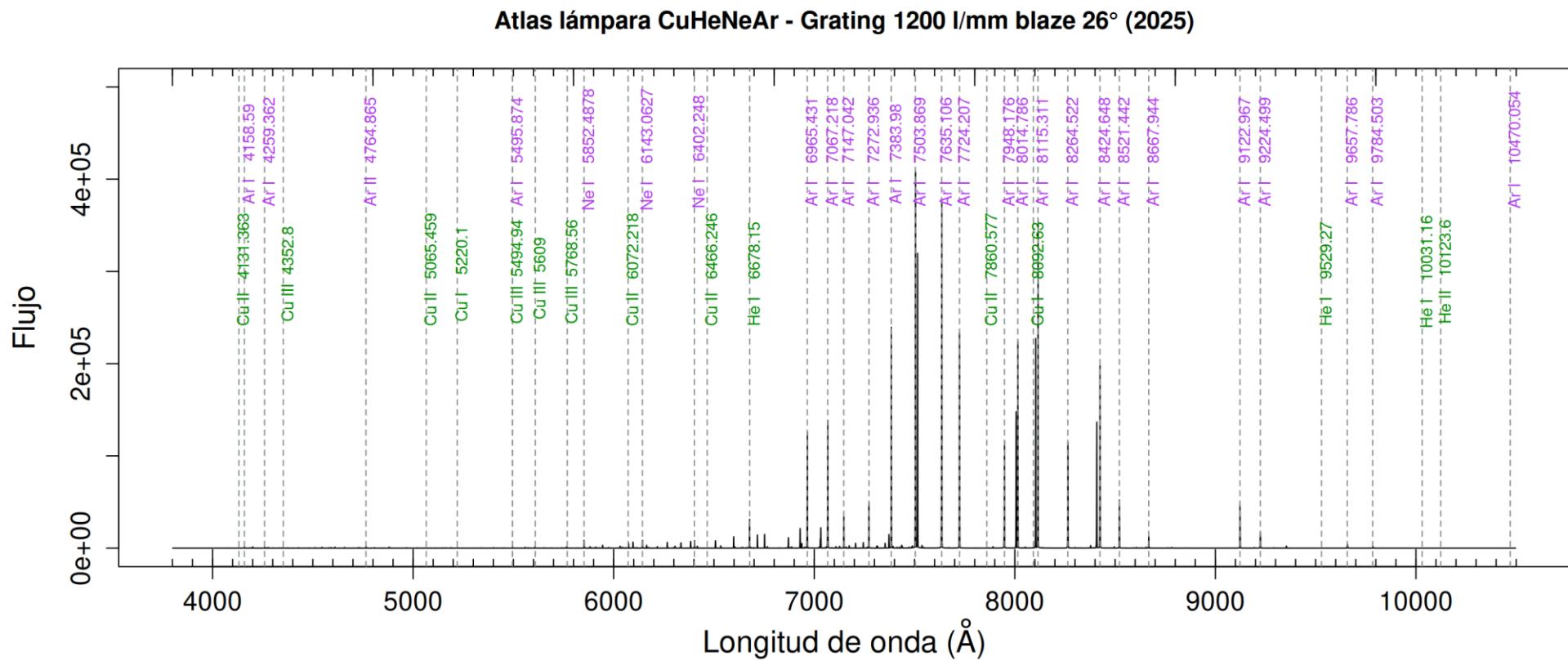


Figura 11. Espectro calibrado en longitud de onda para la rejilla de difracción de 1200l/mm blaze 26° obtenido en este trabajo.

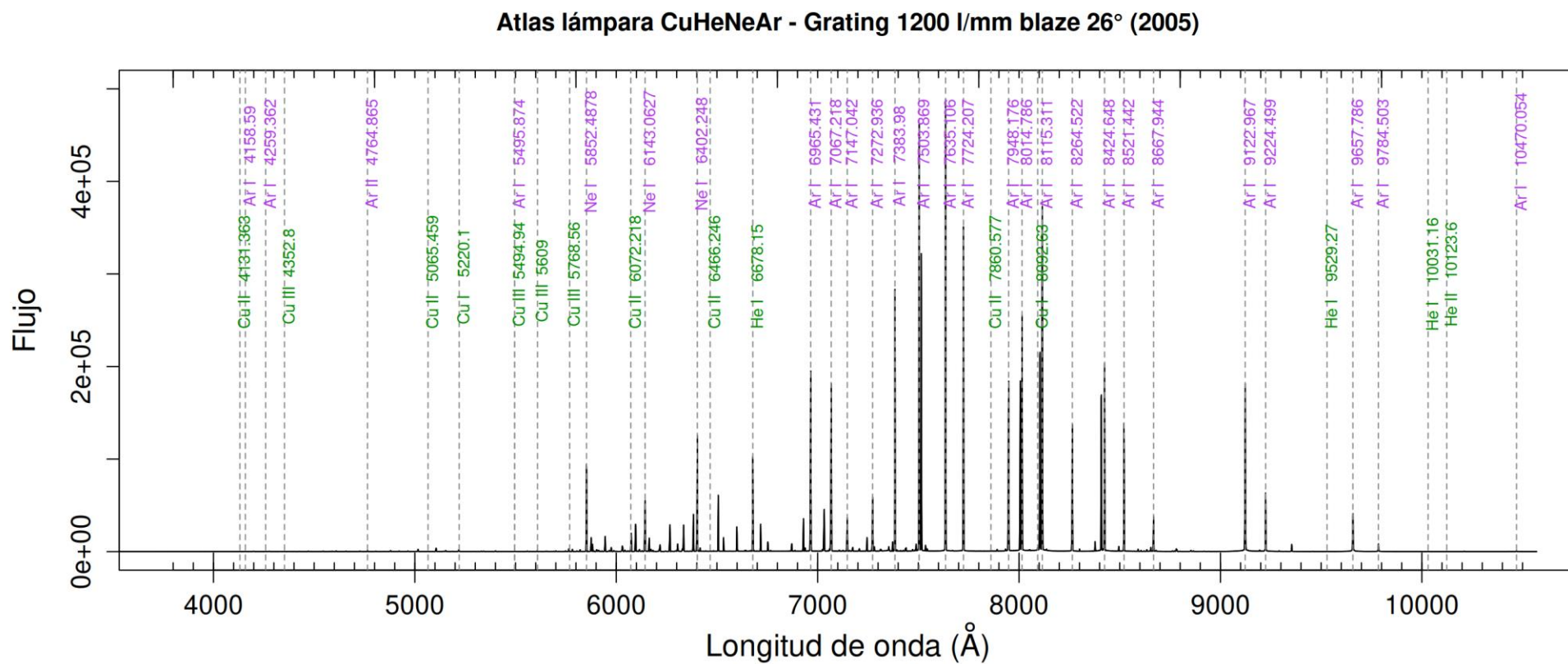


Figura 12. Espectro calibrado en longitud de onda para la rejilla de difracción de 1200l/mm blaze 26° obtenido en 2005 [1].

6. CONCLUSIONES

El atlas actualizado de la lámpara de comparación del espectrógrafo Boller & Chivens proporciona una herramienta esencial para la calibración precisa en longitud de onda. La actualización de este atlas permite a los usuarios identificar con mayor exactitud las líneas de emisión, reducir errores en la calibración y mejorar la calidad de los datos espectroscópicos obtenidos.

El análisis comparativo entre los espectros actuales y los obtenidos en 2005 indica que el número de líneas de emisión de la lámpara CuHeNeAr se ha mantenido a lo largo del tiempo. Sin embargo, se ha detectado una disminución en la intensidad de muchas de ellas. Esta disminución podría deberse a una reducción en la potencia de operación de la lámpara, lo cual afectaría su capacidad para excitar eficientemente las transiciones más energéticas, como las del Neón, y no necesariamente a una pérdida de gas.

Aunque la lámpara sigue siendo funcional para la calibración en longitud de onda, es importante verificar que esté recibiendo la potencia adecuada antes de considerar su reemplazo. Se recomienda realizar mediciones adicionales que confirmen esta hipótesis. En los rangos donde la intensidad de las líneas ha disminuido, puede ser necesario aumentar los tiempos de exposición al adquirir espectros de calibración. Estas medidas permitirán mantener la utilidad de la lámpara mientras se evalúa su desempeño a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al equipo técnico del OAN-SPM en turno, por la instalación del espectrógrafo Boller & Chivens para la noche de ingeniería. Se agradece especialmente a Francisco Guillén y Joel Herrera por su apoyo durante la obtención de los datos.

REFERENCIAS

- [1] I. Plauchu Frayn (2025) Manual del espectrógrafo Boller & Chivens del OAN-SPM ([acceso al documento en línea](#)).
- [2] Richer, M. (2005) *Atlas de la lámpara CuHeNeAr*.
https://www.astrossp.unam.mx/instrumentos/espectroscopia/bch/cuheneat/atlas_cuheneat.htm
- [3] Cámaras CCD del OAN-SPM. <https://www.astrossp.unam.mx/es/usuarios/ccds>
- [4] Tody, D. *The IRAF Data Reduction and Analysis System*. In Proc. SPIE Instrumentation in Astronomy VI, ed. D.L. Crawford. 627, 733 (1986)
[ADS:1986SPIE..627..733T](https://ui.adsabs.org/abs/1986SPIE..627..733T).
- [5] R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- [6] National Institute of Standards and Technology (NIST). *Atomic Spectra Database*. <https://www.nist.gov/pml/atomic-spectra-database>
- [7] Listado de líneas de otros órdenes y espurias ([ver aquí](#)).
- [8] Guillén, P. F., Núñez, J. M., Plauchu Frayn, I. & Melgoza Kenedy, G. (2017) *Estado actual de los filtros GG395 y OG550 instalados en el Boller & Chivens en el telescopio 2.1m del OAN-SPM*.
<https://www.astrossp.unam.mx/instrumentos/espectroscopia/bch/filtros/Filtros-RT-2017-02.pdf>
- [9] Atlas de la lámpara del espectrógrafo Boller & Chivens del OAN-SPM.
<https://www.astrossp.unam.mx/es/usuarios/instrumentos/espectroscopia/boller/26-espanol/espectroscopia/254-lamp>