

# ANÁLISIS TEMPORAL DE LOS ESPECTROS DE LA SUPERNOVA SN2014J

Amézquita Morataya, Erik José (1), Jack, Dennis (2)

(1) Licenciatura en Matemáticas, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico:  
ej.amezquitamorataya@ugto.mx

(2) Departamento de Astronomía, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: dennis@astro.ugto.mx

## Resumen

Se analizó una serie de 30 espectros detallados de la supernova tipo la SN 2014J. Los espectros se obtuvieron del telescopio TIGRE en los filtros rojo y azul durante los primeros días del año 2014. Se buscaron mínimos locales en cada espectro siendo el objetivo principal asociarlos a algún elemento esperado de supernovas la. Se reforzó la evidencia de presencia de silicio y calcio en el filtro rojo, así como de hierro, magnesio y azufre en el filtro azul. También se aporta evidencia que sugiere la presencia de oxígeno en el filtro rojo, así como de silicio en el espectro azul. Finalmente, no se halla evidencia de la presencia de magnesio en el filtro rojo y de sodio en el filtro rojo.

## Abstract

A time series of detailed spectra corresponding to type la supernova SN2014J was analyzed. Such spectra were obtained with TIGRE telescope in both filters blue and red during the first days of year 2014. Local minima were found for each spectrum, the main goal being to associate them with some element expected from type la supernovae. The facts that silicium and calcium are present in the red filter was reinforced. The fact that iron, magnesium and sulphur are shown in the blue filter was reinforced as well. New evidence was provided that suggests the presence of oxygen in the red filter, as well as the presence of silicium in the blue filter. Finally, no evidence was found that suggests presence of magnesium and sodium in the red and blue filters respectively.

Palabras Clave:

espectrografía; programación; supernova; SN2014J

## INTRODUCCIÓN

El 21 de enero del año 2014 se reportó la observación de la supernova 2014J en una etapa temprana [1]. Esta se encontró en la galaxia M82 con corrimiento al rojo bajo. Se determinó que ésta es del tipo Ia, lo cual generó mucho interés entre la comunidad astronómica, pues en pocas ocasiones se consigue observar este tipo de supernovas en fases previas a su máximo. La supernova SN 2014J fue la supernova más luminosa del año, alcanzando su máximo en el filtro visual alrededor del 04 de febrero y extinguiéndose a lo largo de marzo de ese mismo año. Esto permitió su observación detallada en el canal visual desde Guanajuato empleando el telescopio TIGRE.

Como menciona Jack et. al. en [2], en el filtro azul se observaron mínimos locales correspondientes a las líneas de absorción de Mg II, Fe II y S II mientras que en el filtro rojo se observaron las líneas correspondientes a Si II y Ca II. Estas observaciones, así como la ausencia de hidrógeno en las líneas de absorción, concuerdan con la composición química general de una supernova tipo Ia como describe Leibundgut en [4].

El objetivo de este proyecto fue desarrollar algoritmos computacionales que ayudasen a detectar otros mínimos locales en las espectrografías y a partir de ello deducir propiedades más particulares de la supernova SN 2014J. El código fue realizado en C/C++ y las gráficas fueron hechas con Gnuplot. Este algoritmo automatiza todos los pasos detallados en la sección para el análisis de espectros. Se espera que el código final ayude al procesamiento más rápido de espectros de otras supernovas y demás objetos.

## METODOLOGÍA

Se contó con espectros observados durante los primeros dos meses del año 2014 por el Telescopio TIGRE ubicado en el municipio de Guanajuato, Guanajuato. Se midió en dos filtros, azul y rojo, correspondientes a los rangos de longitud de onda (3796Å, 5740Å) y (5841Å, 8830Å) con resolución  $\Delta\lambda$  de 0.12Å y 0.18Å respectivamente. En otras palabras, se contó con 15,657 y 16,192 longitudes de ondas distintas en los filtros azul y rojo.

Las observaciones se realizaron entre el 23 de enero y el 01 de marzo del año 2014 con un tiempo de exposición de tres horas diarias para ambos filtros. No se consideraron los días en los cuales las condiciones climáticas no permitieron una observación clara, pues representaría ruido únicamente. Esto significa que se observó a la supernova durante 38 días, considerando buenos únicamente 30 de éstos. En lo que resta del artículo, por *Día 0* representa el 22 de enero, *Día 1* el 23 de enero y así sucesivamente hasta *Día 38*, 01 de marzo.

Los datos fueron reducidos de manera automática y la mayor parte del ruido fue eliminada previo al análisis algorítmico. Cabe aclarar que el ruido no fue eliminado por completo. El canal azul en longitudes cortas en los días posteriores al máximo todavía es ruidoso, así como todavía hay una presencia ligera de líneas telúricas en el canal rojo. Para ello se desarrollaron varios pasos. Se trabajó por separado ambos filtros.

Los mínimos locales fueron calculados a partir de un parámetro de finura  $N$  dado por el usuario. Para cada longitud  $\lambda_0$  en el rango del filtro, se observó su valor de flujo relativo  $F(\lambda_0)$  en el espectro y se comprobó si los demás valores de flujo relativo  $F(\lambda)$  para  $\lambda_0 - N\Delta\lambda \leq \lambda \leq \lambda_0 + N\Delta\lambda$ . Por ejemplo, para el filtro azul, esto equivale a verificar que  $\lambda_0$  sea un mínimo local de la función de flujo relativo en su vecindad centrada de radio  $0.12N\Delta\lambda$ . A lo largo del estudio se trabajó con  $N = 200$ .

Para cada día  $d$  se generó un archivo conteniendo las longitudes de onda de los mínimos locales  $\lambda_1, \dots, \lambda_{n_d}$ . Con ellos, se realizó la gráfica con los puntos  $(d, \lambda_1), \dots, (d, \lambda_{n_d})$  para todos los días  $d$  entre enero 23 y marzo 01, el rango de fechas que abarcan las observaciones. Esta gráfica permite observar la persistencia de ciertos mínimos locales. Si un mínimo local representa una línea de absorción, los días posteriores deberán mostrar un mínimo local con una longitud de onda similar. De hecho, se espera que las longitudes de onda aumenten a lo largo de los días, pues ello puede indicar que el material eyectado pierde velocidad gradualmente. Por otro lado, si los mínimos no presentan un orden particular, éstos pueden descartarse como ruido. Esta gráfica permite distinguir fácilmente cuales líneas vale la pena considerar más a fondo.

Hay que tener en cuenta que al momento de la

explosión, el objeto eyecta material a muy altas velocidades en todas las direcciones. Dichas velocidades iniciales se hallan entre 10,000 y 24,000 km/s, lo cual depende de la composición química del material y de la capa de la supernova en la cual se halle. En particular, el material que se observa desde la Tierra es aquel que viaja en dirección hacia la Tierra misma. Por el efecto Doppler, las longitudes de onda observadas sean más cortas comparadas con las longitudes de onda obtenidas por laboratorios. En otras palabras, se debe considerar la corrección de longitud de onda por corrimiento al azul. Para ello se emplea la fórmula derivada del corrimiento al rojo,

$$z = \left( \frac{\lambda_o - \lambda_r}{\lambda_r} \right), \quad (1)$$

donde  $\lambda_o, \lambda_r$  corresponden a las longitudes de onda observadas por el telescopio y las reportadas en condición de reposo respectivamente. Ello se combina con la fórmula de velocidad relativa  $v_r = cz$ , siendo  $c$  la velocidad de la luz. Nótese que la fórmula anterior es válida únicamente cuando la velocidad de la materia eyectada es considerablemente menor que  $c$ .

Se procedió a considerar las longitudes de onda correspondientes a los elementos esperados de una supernova tipo Ia acorde a la lista en [3]. A cada longitud de onda de dicha lista se le aplicó varias correcciones de corrimiento al azul, suponiendo que el material viajaba a velocidades entre 6,000 km/s y 24,000 km/s. Se compararon las longitudes corregidas con las correspondientes a líneas persistentes. Esto dio varios candidatos de elementos que podían corresponder con ciertos mínimos reportados.

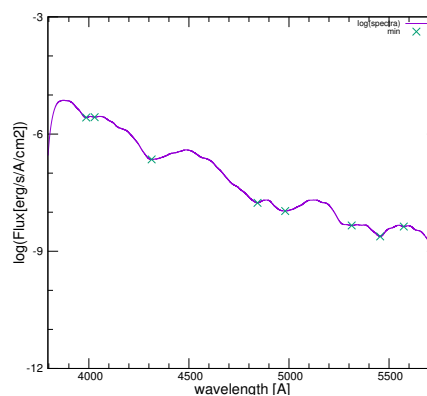
Para reforzar la evidencia, se procedió a ver el cambio de velocidad del material a lo largo de los días. Supongamos que las observaciones en días consecutivos  $d_1, \dots, d_n$  de mínimos locales  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  conforman un mínimo persistente en la gráfica anterior. Si estas observaciones correspondieran a la longitud  $\hat{\lambda}$  reportada en laboratorio, se grafican los puntos  $(d_1, v_{r1}), \dots, (d_n, v_{rn})$ , donde empleando (1),  $v_{ri} = cz_i = (\lambda_i - \hat{\lambda})/\hat{\lambda}$  para  $1 \leq i \leq n$ . Si la suposición de  $\hat{\lambda}$  es correcta, se espera observar un decaimiento rápido de la velocidad relativa del material a lo largo de los días.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las gráficas presentes en esta sección fueron generadas (con excepción de las anotaciones en la imagen 2) fueron generadas automáticamente a partir de los datos de cada espectro observado empleando el código desarrollado durante el verano.

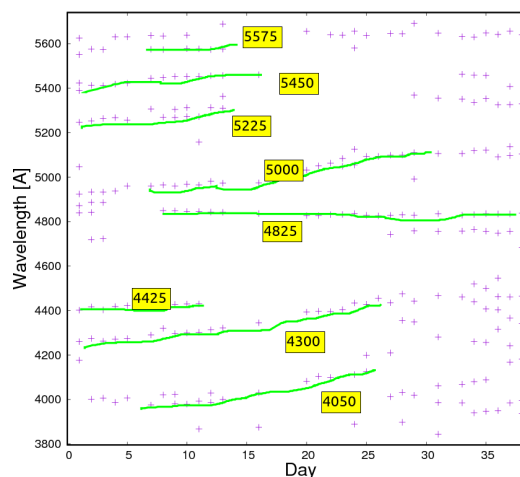
### Filtro azul

A partir de las observaciones del filtro azul, se graficaron los espectros y se localizaron los mínimos como indica la imagen 1.



**IMAGEN 1:** Espectro y marca de mínimos en el canal azul del 03 de febrero (escala logarítmica.)

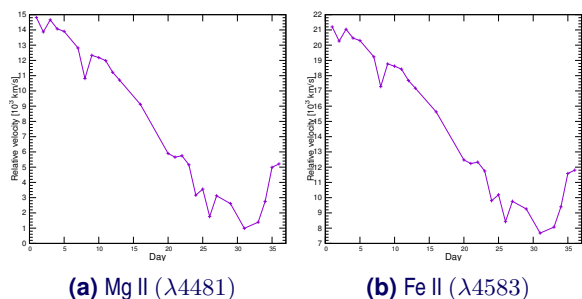
Se graficaron todos los mínimos detectados para observar patrones de persistencia.



**IMAGEN 2:** Se marcan las líneas persistentes en el filtro azul.

Acorde a [3], los elementos esperados en estas longitudes de onda son Si II, S II, Fe II, Mg II y Na I. Se analizó si alguno de estos elementos corresponde a una de las líneas de la imagen 2.

Se observa una línea persistente al inicio aproximadamente de  $\lambda 4300$  que puede corresponder a Mg II ( $\lambda 4481$ ). Al observar la línea de cambio de velocidad se aprecia un decaimiento rápido de  $15,000\text{km/s}$  a  $9,000\text{km/s}$  en 10 días. Este rango es congruente con el rango usual del magnesio. A pesar de que entra en el rango considerado y también presenta un decaimiento similar, se descarta la posibilidad de que la línea corresponda a Fe II ( $\lambda 4583$ ), pues ello implica una velocidad inicial de  $21,000\text{km/s}$ . Dicha velocidad es demasiado alta para una línea de hierro. Las observaciones del lado derecho en las imágenes 3a y 3b pueden ser ignorados, pues representan ruido únicamente ya que la observación de líneas cortas es pobre en las etapas finales de la supernova.

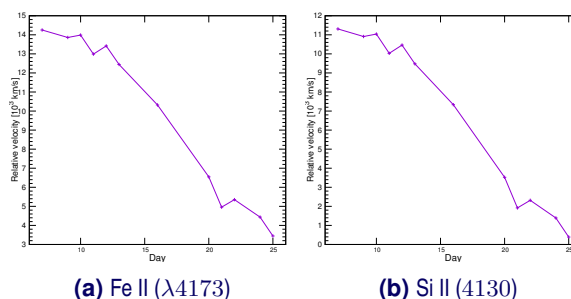


**IMAGEN 3:** Decaimiento de velocidad de  $\lambda 4300$ .

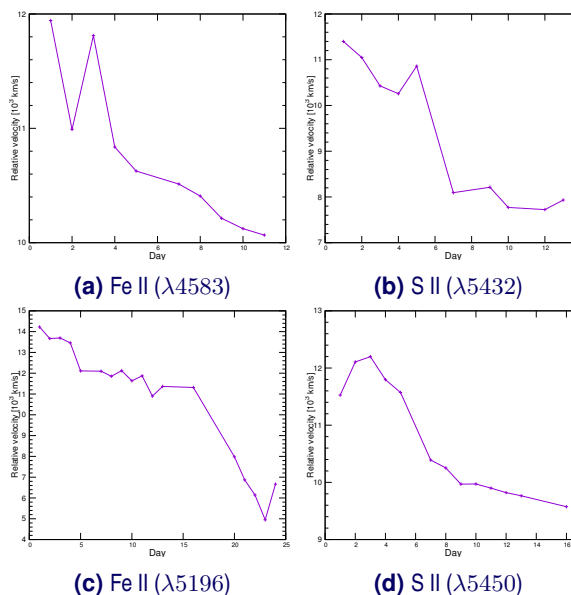
De manera similar se puede argumentar que la línea observada  $\lambda 4000$  puede corresponder a Si II ( $\lambda 4130$ ) con velocidades iniciales de  $11,000\text{km/s}$ . Con menor probabilidad, pues su velocidad registrada sería demasiado alta para el elemento, esta línea puede tratarse de Fe II ( $\lambda 4173$ ) con velocidades iniciales de  $14,000\text{km/s}$  después de que la supernova alcanzó su máximo. Observe la imagen 4.

También estas gráficas aportan evidencia de que la línea observada  $\lambda 4420$  corresponde a Fe II ( $\lambda 4583$ ) con velocidad máxima de  $12,000\text{km/s}$  cuyo decaimiento se muestra en la gráfica 5a. La observada en  $\lambda 525$  es posiblemente S II ( $\lambda 5453$ ) con velocidad máxima  $11,00\text{km/s}$ , como muestra 5b. Se tiene evidencia fuerte de que las líneas observadas alrededor de  $\lambda 4960$  y  $\lambda 5100$  conforman en

realidad una única línea, correspondiente a Fe II ( $\lambda 5196$ ) con velocidad inicial de  $14,000\text{km/s}$ , 5c. Finalmente, se sospecha que la recta  $\lambda 5450$  puede ser S II ( $\lambda 5640$ ) con velocidad de  $12,000\text{km/s}$ , 5d. Las demás líneas observadas en la imagen 2 son parte de una de las líneas ya mencionadas, o bien, ningún elemento esperado presenta decaimiento en su velocidad. No se profundizó en la explicación de aparición de estas líneas.



**IMAGEN 4:** Decaimiento de velocidad de  $\lambda 4000$ .

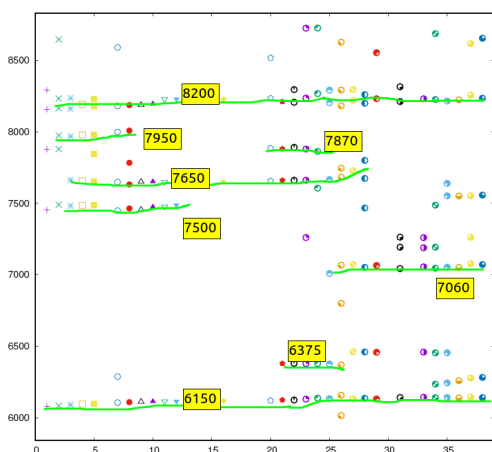


**IMAGEN 5:** Decaimiento de varias velocidades en filtro azul.

### Filtro rojo

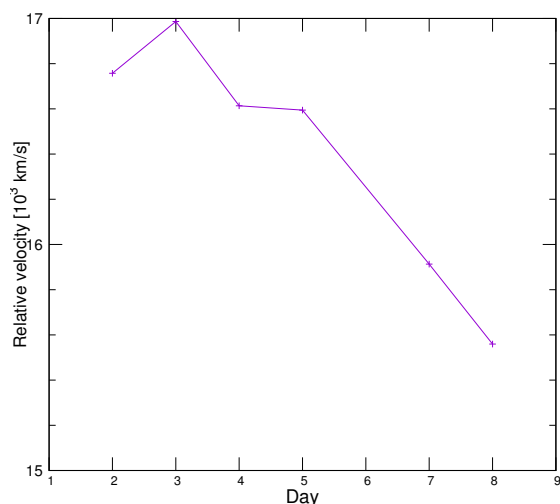
La misma metodología se siguió para las longitudes de onda en el filtro rojo. Después de haber hallado los mínimos locales de cada día, se graficaron como en la imagen 2. Se sabe que los posibles elementos en este rango de longitudes son

Si II, Ca II, O I y Mg II, y se supuso que alguno de ellos corresponde a una línea persistente. Resaltan las líneas persistentes bien definidas en  $\lambda 6150$  y  $\lambda 8100$ , las cuales corresponden a las líneas de Si II( $\lambda 6355$ ) y Ca II( $\lambda 8500$ ). El estudio de estas líneas es abordado en [2], por lo que no se consideraron para análisis.



**IMAGEN 6:** Se marcan las líneas persistentes en el filtro rojo

Acorde a la gráfica de decaimiento de velocidad, la línea corta  $\lambda 7950$  puede corresponder a O I( $\lambda 8446$ ) con velocidad inicial de  $17,000\text{km/s}$  con mínimos registrados únicamente durante los primeros días de observación. Esto es coherente con el elemento, lo cual refuerza la hipótesis de correspondencia.



**IMAGEN 7:** Decaimiento de velocidad de O I( $\lambda 8446$ )

Por otro lado, para el resto de las líneas marcadas en la imagen 6 no se halló correspondencia con ninguno de los elementos conocidos. Ello se concluye a partir de las gráficas de velocidad que no muestran un decaimiento. Es muy probable que, debido a ser el filtro rojo, estas líneas observadas correspondan a líneas teluricas que no lograron ser eliminadas del todo en el procesamiento inicial de datos.

## CONCLUSIONES

Este trabajo ahonda un poco más en el estudio de la supernova SN2014 J basado en las observaciones realizadas con el telescopio TIGRE. Se confirma la presencia de magnesio, hierro y azufre en los espectros del filtro azul como se menciona en [2]. Además hay evidencia para agregar que hay varias líneas de hierro presentes así como se presenta silicio. También se descarta la posibilidad de presencia de sodio en la supernova. Por otro lado, en el filtro rojo se a porta evidencia de la posible presencia de oxígeno a altas velocidades durante los primeros días de la explosión. Se descarta la posibilidad de presencia de magnesio. Se espera que el código desarrollado facilite el procesamiento y visualización de espectros de otros objetos celestes en el futuro.

## REFERENCIAS

- [1] J. Fossey, et. al., "Supernova 2014J in M82 = PSN J09554214+6940260". *Central Bureau for Astronomical Telegrams* No. 3792 (2014).
- [2] D. Jack, et. al., "Time series of high resolution spectra of SN 2014J observed with the TIGRE telescope". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* Vol.451 (2015) pp.4104-4113.
- [3] D. Kasen "Strong Lines in type Ia supernova near maximum light". [http://supernova.lbl.gov/~dnkasen/tutorial/SNIa\\_max\\_linelist.txt](http://supernova.lbl.gov/~dnkasen/tutorial/SNIa_max_linelist.txt). Visto el 30 de junio de 2017.
- [4] B. Leibundgut "Type Ia Supernovae". *The Astronomy and Astrophysics Review* Vol. 10, 3 (2000), pp.179-209.