



---

# Monitoreo espectral de la Nova V5668 Sgr

por

**Lic. en Ing. Física José de Jesús Robles Pérez**

---

## Tesis

sometida a la Universidad de Guanajuato  
para obtener el grado de  
**Maestro en Ciencias (Astrofísica)**

*Supervisor:* Dr. Dennis Jack, *Co-Supervisor:* Dr. Klaus Peter Schröder

---

División de Ciencias Naturales y Exactas

Departamento de Astronomía

Agosto 2016

Universidad  
de Guanajuato



## Resumen

Cuando se detectó una nova clásica muy brillante en la constelación de Sagitario el 15 de Marzo de 2015 se comenzaron a hacer muchas observaciones en diferentes longitudes de onda como en el cercano infrarrojo, en rayos gamma, en ultravioleta por el telescopio Hubble y con resoluciones muy altas de 270,000 y de 60,000 aunque con un solo espectro. Solo un telescopio óptico en el mundo, el TIGRE, pudo sostener observaciones casi diariamente hasta Octubre 10 del 2015. Las campañas de observaciones fueron diseñadas para obtener un denso número de observaciones con el objeto de entender con más detalle la física de la explosiva eyección de gas en una Nova ya que lo que cause rápidos cambios en la curva de luz de una nova debe tener también efectos directos en sus espectros en cortas escalas de tiempo. También se pueden observar detalles en las características de absorción y emisión de las líneas espectrales.

En 72 días se tomaron espectros iniciando el 19 de Marzo y terminando el 15 de Octubre del 2015. En total se identificaron 73 diferentes líneas espectrales la mayoría de las cuales se obtuvieron en el primer máximo el 20 de Marzo. Las líneas de Hidrógeno están presentes en todos los espectros así como varios elementos tales como: Mg II, Cr, Ti II, Na I, N II, y He I entre otros. Aparecieron líneas prohibidas de Oxígeno [OI] y [OII]. Primero se muestran las líneas espectrales identificadas el 20 de Marzo en sus rangos correspondientes, luego las líneas espectrales diferentes del 10 de Mayo, luego las líneas espectrales diferentes del 12 de Junio y finalmente las líneas diferentes que aparecen el 20 de Septiembre. Posteriormente se hace una descripción de las características generales de las líneas espectrales para las 4 fechas en que se identificaron las líneas espectrales.

La curva de luz de la Nova V5668 Sgr fue dividida en 5 máximos que corresponden a las partes más variantes de la Nova en los primeros 90 días y los días para identificar líneas espectrales se dividieron en 4: 20 de Marzo, 10 de Mayo, 12 de Junio y 20 de Septiembre. Para cada caída de la curva de luz partiendo de su máximo se observó que cuando hay disminución de brillo los rasgos de absorción de los perfiles de línea se mueven a velocidades de expansión cada vez mayores hacia nosotros. Para el tercer mínimo los rasgos de absorción de Fe II 4233.2 Å entre otros desaparecen. Finalmente la línea que resultó más fácil de analizar comparado por ejemplo con las líneas de Hidrógeno que tienen varios subrasgos en sus perfiles de línea y muchos mínimos fue la correspondiente a la línea de Oxígeno O I 7773.0 Å que tiene rasgos más simples y definidos. Se obtuvieron las velocidades mínimas de expansión para cada perfil de línea de observación comenzando con el 19 de Marzo y finalizando con el 12 de Junio que comprenden los primeros 90 días donde ocurren las oscilaciones, 46 perfiles de línea diferentes en total. Para describir el comportamiento de todos los mínimos de los rasgos de absorción se graficaron todas las posiciones de todos los puntos donde se puede observar que la velocidad del rasgo de absorción que es un mínimo también en la gráfica ha saltado a velocidades de expansión más negativas y que cuando se incrementa el brillo de la curva de luz de la nova V5668 Sgr el rasgo de absorción regresa a velocidades menos

negativas. De lo que se puede deducir que lo que se ve durante las fases mínimas son capas de la envoltura que yacen mucho más lejos y por lo tanto muestran velocidades de expansión más elevadas ocultando las capas y cualquier otra contribución de línea menos corrida de las capas inferiores. Cuando la curva se dirige hacia su profundo mínimo las velocidades de expansión se siguen haciendo más negativas. En general este comportamiento para cada fase es semejante. Al compararse la curva de luz de la Nova V5668 Sgr con los puntos de los mínimos de absorción de OI 7773.0 Å se ve que concuerdan con el comportamiento particular para cada caída.



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Historia	1
1.1.1. ¿Qué es una Nova?	1
1.2. Definición de novas clásicas	3
1.3. Las fases espectroscópicas	3
1.3.1. Fase 1: La bola de fuego	4
1.3.2. Fase 2: La cortina de hierro	4
1.3.3. Fase 3: El levantamiento de la cortina de hierro	7
1.3.4. Fase 4: El estado de transición	7
1.3.5. Fase 4a: Formación de polvo	7
1.3.6. Fase 5: Los espectros nebulares y coronales	8
1.4. Clasificación de las novas	8
1.4.1. Comportamiento típico de las Novas	9
1.4.2. Comportamiento típico de la curva de luz de una Nova	10
1.4.3. El espectro de las Novas	12
1.5. Motivación	14
<b>2. Observaciones de la Nova V5668 Sgr</b>	<b>15</b>
2.1. Instrumentos	15
2.2. Tiempos de exposición y espectros	16
2.3. Curva de luz y definición de fases	20
2.4. Perfiles de línea	23
2.4.1. Medida de la velocidad de expansión	23
<b>3. Identificación de líneas espectrales de la Nova V5668 Sgr</b>	<b>27</b>
3.1. ¿Porqué identificar líneas espectrales?	27
3.2. Características generales de las líneas espectrales	37
3.3. Fase de emisión	42

<b>4. Estudio de rasgos característicos en las fases de declinación</b>	<b>45</b>
4.1. Segunda caída de la curva de luz HI 4101.7 Å . . . . .	45
4.2. Tercera caída de la curva de luz HI 4861.3 Å . . . . .	46
4.3. Cuarta caída de la curva de luz OI 7773.0 Å . . . . .	47
4.4. Quinta caída de la curva de luz HI 4101.7 Å . . . . .	49
4.5. Rasgos del FeII . . . . .	50
4.6. Evolución del OI 7773.0 Å . . . . .	51
<b>5. Conclusiones</b>	<b>59</b>

# Índice de figuras

1.1.	Imagen artística de Helena Uthas. . . . .	2
1.2.	Esquema tomado de Steven N. Shore. Spectroscopy of novae-a user's manual. Aparición de la bola de fuego (2012). . . . .	5
1.3.	Evolución de las componentes estrechas mientras que la masa expulsada se recombina primero y luego se adelgaza en la expansión. En el eje $X$ la velocidad radial esta en $km/s$ del Fe II 4923.9 Å primera columna, Fe II 5018.4 Å segunda columna y Fe II 5169.0 Å tercera columna. El tiempo se incrementa de arriba hacia abajo. Durante la explosión de T Pyx 2011. El tiempo entre la recombinación y el adelgazamiento se da en los próximos 5 días. .	6
1.4.	Oscilaciones 50 días después de su máximo durante 120 días en la curva de luz de la Nova Persei, 1901. . . . .	11
1.5.	Oscilaciones en la curva de luz de la Nova Delphini, 1967. Tuvo su máximo por 8 meses y duró 7 años en llegar a la luminosidad de su estrella progenitora. . . . .	11
1.6.	Curva de luz de la Nova DQ Herculis descubierta en 1934. En 94 días decae 3 magnitudes desde su máximo en 1.5 mag, seguida de una estrepitosa caída de 8 mag. . . . .	12
1.7.	Envolturas gaseosas en expansión. Nova Cygni, 1992. Se utilizó la cámara de objeto tenue de la agencia espacial europea (ESA) usando la óptica correctiva COSTAR (Corrective Optics Space Telescope Action Replacement) de la NASA. . . . .	12
1.8.	Espectro Óptico de la Nova V5588 Sgr con líneas espectrales identificadas tomado con el telescopio para estrellas variables KANATA en Japón. . . . .	13
2.1.	Fotografía del TIGRE y su espectrógrafo HEROS. . . . .	16
2.2.	Canal azul del espectro del 20 de Marzo del 2015. Donde se pueden apreciar varias líneas espectrales en el rango de 3800 Å a 5600 Å. Se pueden apreciar las líneas de Balmer H-Beta 4861 Å, H-Gamma 4101.7 Å y varias líneas de Fe en el rango de 4900 a 5200 Å. . . . .	18
2.3.	Canal rojo del espectro del 20 de Marzo del 2015. Donde se pueden apreciar menos líneas espectrales que en canal azul y la aparición de muchas líneas telúricas como en el rango de 6800 Å a 7400 Å, y otras líneas telúricas que son muy delgadas. Se puede apreciar notablemente la línea H-Alfa 6562.7 Å, la línea de O I 7773.0 Å y algunas líneas de Paschen en el rango de 8400 a 8700 Å. . . . .	19
2.4.	Curva de luz para la Nova V5668 Sgr obtenida de la AAVSO. Las bandas usadas fueron: Visual, B, V y R. . . . .	20



2.5.	La línea continua representa la curva de luz tomada de la AAVSO y los triángulos las observaciones tomadas con el TIGRE. Las líneas punteadas representan los días en los que se realizó una exhaustiva identificación de líneas espectrales. Cuadro tomado de [Jack et al 2016]. . . . .	21
2.6.	Se definen 5 máximos con sus respectivas 5 fases de decaimiento. La curva de luz fue obtenida de la AAVSO y el cuadro de [Jack et. al. 2016]. . . . .	22
2.7.	Esta figura muestra la capa en expansión tomada con el telescopio Hubble. Cubierta en el centro está la estrella variable supergigante B2 Ia P Cygni. El diagrama muestra la formación del perfil P Cygni que se muestran en la región violeta del espectro de 2800 Å a 4100 Å con el espectrógrafo DADOS 900 L/mm. . . . .	23
2.8.	Aquí se muestra la diferencia medida pico a pico para la línea H alfa donde $\Delta\lambda = \lambda_{azul} - \lambda_{rojo} = 6557,7 \text{ \AA} - 6562,2 \text{ \AA} = -4,5 \text{ \AA}$ con $\lambda_o = 6562,8 \text{ \AA}$ y $c = 3 \times 10^5 \text{ km/s}$ , $V_r = -2066 \text{ Km/s}$ . El mismo concepto se puede aplicar para medir la velocidad radial de la línea He I, [5]. . . . .	24
2.9.	Geometría de los perfiles de línea para H-Beta H-Gamma. El perfil P cygni está bien definido. La velocidad mínima para H I 4861.3 Å es de aproximadamente $-700 \text{ Km/s}$ y la velocidad de expansión mínima para H I 4340.5 Å es de $-580 \text{ Km/s}$ . . . . .	25
2.10.	Geometría de los perfiles de línea para el Fe II 4923.9 Å y particularmente el perfil de línea para el Na I 5889.9 Å que muestra un par de líneas de absorción interestelar. La velocidad mínima de expansión del Fe II 4923.9 Å es de $-530 \text{ Km/s}$ . El perfil de línea del Na I viene de la combinación de dos líneas de Na I. . . . .	25
3.1.	Líneas espectrales identificadas entre 3800 Å y 3968 Å de la Nova V5668 Sgr. Las líneas de Ca II muestran rasgos de absorción interestelar. . . . .	30
3.2.	Líneas espectrales identificadas entre 3968 Å y 4360 Å del 20 de Marzo. Entre ellas 3 líneas de Balmer, Si y cinco líneas de Fe II. . . . .	31
3.3.	Líneas espectrales identificadas entre 4360 Å y 4800 Å. Principalmente líneas de Fe II, y particularmente Mg II y Ti II. . . . .	31
3.4.	Líneas espectrales identificadas entre 4800 Å y 5400 Å. H-Beta, Cr II, N II y 8 líneas de Fe II. . . . .	32
3.5.	Líneas espectrales identificadas entre 5500 Å y 9000 Å. El doblete de Na I, 2 líneas de Fe II, 2 líneas de Si II, H-Alfa, una línea de Paschen, dos de NI, dos de O I y dos de Ca II del 20 de Marzo. . . . .	32
3.6.	Líneas espectrales identificadas mas específicamente en el rango de 8400 Å a 8900 Å, cuatro líneas de Paschen, una de O I y dos de Ca II. Las líneas muy delgadas entre 8100 Å y 8360 Å son líneas telúricas. . . . .	33
3.7.	Aquí se muestran las mismas líneas que en la figura 3.3 pero se resalta la línea de Fe II 4416.8 Å del 10 de Mayo que no aparece el 20 de Marzo. . . . .	33
3.8.	Líneas espectrales diferentes detectadas el 10 de Mayo en el rango de 7000 Å a 7500 Å, C I y N I. . . . .	34
3.9.	Líneas espectrales diferentes identificadas el 12 de Junio en el rango de 3950 Å a 5100 Å. Aparecen N II, Sr, C II, He I, N III y O III como se muestra. . . . .	34

3.10. Única línea espectral diferente identificada el 12 de Junio entre 5500 Å y 6000 Å He I 5875.6 Å.	35
3.11. Línea espectral diferente identificada unicamente el 20 de Septiembre entre 4500 Å y 5000 Å: He II 4865.8 Å. La línea de O II fue identificada también el 12 de Junio y mas claramente el 20 de Septiembre. . . . .	36
3.12. Líneas espectrales diferentes identificadas el 20 de Septiembre entre 6000 Å y 8500 Å. Aparecen por primera vez tres líneas de O I, una línea de O II y el He I 7065 Å, H-Alfa 6562.7 Å es común a todas las fechas. . . . .	37
3.13. En el primer máximo de la curva de luz del 20 de Marzo los perfiles de las líneas de Balmer están muy bien definidos como P Cygni igual que para las líneas de Fe II. . . . .	38
3.14. Perfil de la línea correspondiente a H I 4340.5 Å. El perfil P Cygni está bien definido. . .	39
3.15. Los rasgos de emisión son mas anchos, por ejemplo las líneas 4861.3 Å H I y 4340.5 Å H I son mas anchas que sus respectivas en la figura 3.13. . . . .	40
3.16. Líneas espectrales 12 de Junio 2015. . . . .	40
3.17. A los 189 días d.d. solamente hay rasgos de emmisión, en las líneas espectrales ya no hay rasgos de absorción en absoluto. . . . .	41
3.18. Hay muy poco razgo de absorción como para H-Alfa. Las líneas muy delgadas y estrechas son líneas telúricas. . . . .	42
3.19. Evolución a línea de emisión solamente para H-alfa. La línea de emisión para el 1 de Octubre es practicamente la misma que la del 20 de Septiembre pero a escala y la línea del 20 de septiembre tiene solo pico de emisión comparada con la del 12 de Junio que todavía tiene rasgos de absorción entre $-600\text{ km/s}$ y $-1000\text{ km/s}$ . . . . .	43
4.1. Perfiles de línea de HI 4107.7 Å. A medida que va cayendo el brillo las velocidades de expansión aumentan como lo resume la figura 4). . . . .	46
4.2. Perfil de línea de HI 4861.3 Å. Después del tercer máximo las velocidades de expansión aumentan como lo muestra la figura 4). . . . .	47
4.3. Para el 10 y 11 de Mayo se muestran los cambios de velocidad de expansión de los mínimos de absorción de $-1200\text{ km/s}$ a $-1300\text{ km/s}$ con una diferencia de solo $100\text{ km/s}$ y mas espaciados los días se puede ver que para el 15 de mayo las velocidades de expansión crecen considerablemente a menos de $-2000\text{ km/s}$ . . . . .	48
4.4. Perfiles de línea para HI 4101.7 Å. Nuevamente las velocidades de expansión aumentan conforme disminuye el brillo como lo demuestra la figura 4). . . . .	49
4.5. Perfiles de línea para FeII 4233.2Å. El razgo de absorción en el máximo, figura 1) se nota y conforme cae el brillo de la curva se va borrando el razgo de absorción hasta desaparecer y quedar como una línea en la figura 4). . . . .	50
4.6. Perfiles de línea de OI 7773.0 Å en la parte mas variante de la curva de luz hasta los 90 días después del descubrimiento. Como se puede ver algunos rasgos tienen uno, dos, tres o cuatro velocidades de expansión diferentes. . . . .	54

- 4.7. Posiciones de los mínimos de los rasgos de absorción de la línea espectral O I 7773.0 Å para todas las observaciones hechas con el TIGRE hasta el día 89 d.d.. En el eje X aparecen los días después del descubrimiento (d.d.) y en el eje Y la velocidad de expansión en  $km/s$ . Se distinguen dos grupos: el rojo que presentaba poca variación (alrededor de  $-500 Km/s$ ) y el azul que tiene el mismo comportamiento de todas las caídas. . . . . 56
- 4.8. Gráfica de curva de luz en las etapas mas variantes. Tomada de [Jack et. al. (2016)]. Si se traslapa esta gráfica con la anterior (4.7) se ve que coinciden los puntos con el comportamiento discutido. . . . . 57

# Índice de cuadros

2.1. Fechas y tiempos de exposición de los espectros reducidos. . . . .	17
3.1. Espectros y fechas de captura. . . . .	29
4.1. En este cuadro se muestra la primera parte de los mínimos de las velocidades de expansión para cada día de observación del Tigre. La columna 1 indica el día d.d. y las columnas 2, 3 y 4 los mínimos respectivos. . . . .	52
4.2. En este cuadro se muestra la segunda parte de los mínimos de las velocidades de expansión para cada día de observación del Tigre. La columna 1 indica el día d.d. y las columnas 2, 3 y 4 los mínimos respectivos. . . . .	53