



# Análisis espectrofotométrico preliminar de la estrella binaria eclipsante masiva MTT58 en NGC 3603

M. Jaque Arancibia<sup>1</sup>, R.H. Barbá<sup>2</sup> & N.I. Morrell<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (ICATE-CONICET), San Juan, Argentina

<sup>2</sup> Universidad de La Serena, La Serena Chile

<sup>3</sup> Observatorio Las Campanas, Carnegie Observatories, La Serena, Chile

Contacto/ MJA: [mjaque@dfuls.cl](mailto:mjaque@dfuls.cl) and [mjaque@icate-conicet.gob.ar](mailto:mjaque@icate-conicet.gob.ar)

**Resumen** / El cúmulo estelar masivo NGC 3603 es uno de los sitios privilegiados en la Vía Láctea para llevar a cabo estudios sobre la formación y evolución de las estrellas masivas. En dicho cúmulo se hallan decenas de estrellas masivas de tipo O y WN, algunas de las cuales pueden tener masas iniciales del orden de 100 a 150 masas solares. Ubicada en la periferia de este conglomerado se encuentra la estrella binaria masiva eclipsante MTT58, clasificada espectralmente como O2 If\*/WN6. Con un período orbital de 1,93552 días, este sistema posee el período orbital más corto para estrellas binarias con tipos espectrales O2-3.5 If\*/WN5-6. A través del análisis en conjunto de las curvas de luz y de velocidad radial, hemos determinado masas absolutas de 84.5  $M_{\odot}$  y 31  $M_{\odot}$  para las componentes estelares del sistema. La dimensión física de la componente O2 If\*/WN6 indica un radio más pequeño que el esperado para estrellas de dicho tipo espectral, lo cual puede aportar evidencia sobre la juventud del sistema.

**Abstract** / The massive star cluster NGC 3603 is one of the privileged places in the Milky Way to conduct studies on the formation and evolution of massive stars. In this cluster, dozens of massive stars of type O and WN have been found, some of which may have initial masses of the order of 100-150 solar masses. The massive eclipsing binary MTT58 is located on the periphery of this conglomerate and has been classified as O2 If\*/WN6. The system has the shortest orbital period ( $P=1.93552$  days) for binary systems with of O2-3.5 If\*/WN6 spectral types. Through the combined analysis of the light- and radial velocity curves we have determined absolute masses of 84 and 31  $M_{\odot}$  for the components of the system. The physical dimension of the primary star indicates a smaller radius than expected for stars of such spectral type which can provide evidence about the youth of system.

**Keywords** / stars: massive — binaries: eclipsing — stars: fundamental parameters — stars: Wolf-Rayet

## 1. Estrellas masivas

Las estrellas con masas mayores a 8  $M_{\odot}$  son consideradas como estrellas masivas. En la secuencia principal poseen tipos espectrales que abarcan de B tempranas a O, y también las más masivas y raras O 2-3.5 If\*/WN5-6 y WN5-6ha. Son estrellas de gran luminosidad y con tiempos evolutivos cortos, en comparación a estrellas de menor masa lo que no impide que jueguen un rol fundamental en la evolución de la galaxia y en el medio que las rodean. Los estudios de las estrellas masivas sin duda son de vital importancia, siendo fundamentales para el entendimiento de distintos tópicos astrofísicos, como por ejemplo, la evolución química de las galaxias, la dinámica del medio interestelar (MIE), el origen de las explosiones de rayos gama (GRBs) o la reionización del Universo. Sin embargo, a pesar de los avances producidos en las últimas décadas en el campo de las estrellas masivas, nuestro conocimiento de estos objetos y de su evolución sigue siendo aún parcial.

## 2. El cúmulo estelar masivo de NGC 3603

NGC 3603 es uno de los cúmulos estelares más importantes de la Vía Láctea, ideal para estudios sobre la formación y evolución de las estrellas masivas en el

universo local. Éste comparte muchas características con el famoso cúmulo supermasivo de R136, ubicado en el centro de la región HII gigante de 30 Doradus, en la Nube Mayor de Magallanes. Es el brote estelar ("starburst") más cercano al Sol (Goss & Radhakrishnan, 1969; Melnick et al., 1989; Nürnberger, 2004; Stolte et al., 2004). Con una edad estimada de menos de un millón de años (Sung & Bessell, 2004), NGC 3603 es un cúmulo poco evolucionado, con gran extinción ( $E(B-V)=1.25-1.8$ ), localizado a una distancia heliocéntrica de 6.9 a 7.6 kpc (Sung & Bessell, 2004; Crowther et al., 2010). En él se encuentran varias decenas de estrellas con tipos espectrales O y WN, algunas de ellas se estima que nacieron con masas superiores a las 100 – 150  $M_{\odot}$  (Schnurr et al., 2008; Crowther et al., 2010).

## 3. MTT58

En la periferia de NGC 3603, cerca de estructuras tipo pilares de polvo, se encuentra la masiva MTT58, catalogada por Melnick, Tapia & Terlevich (Melnick et al., 1989). Morrell et al. (Morrell et al., 2013) descubren el carácter de binaria eclipsante y le asignan un tipo espectral de O2 If\*/WN6 al espectro óptico compuesto (Figura 1). Esta clasificación espectral es confirmada mediante

espectroscopía en el infrarrojo cercano por Roman-Lopes (2013).

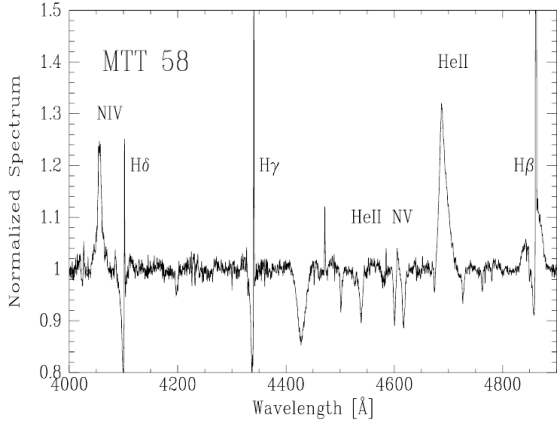


Fig. 1: Espectro óptico de MTT58

Ambos autores proponen la posibilidad de que esta estrella sea muy joven, con una edad menor a un millón de años. Por lo tanto, tenemos entre manos un caso único de un sistema binario muy joven y masivo lo suficientemente brillante como para analizarlo combinando la información fotométrica y espectroscópica para hallar parámetros absolutos de las componentes estelares del sistema.

#### 4. Análisis de las curvas de luz y de velocidad radial

Para el análisis fotométrico se utilizaron más de 500 observaciones en filtro *V* entre los años 2006-2007 y 45 observaciones en la banda *Hc* entre los años 2010-2011, obtenidas en el telescopio Swope. Las observaciones en banda *Hc* corresponden al programa "NIP of Stars" (Barbá et al., 2011). Para el análisis espectroscópico disponemos de 7 espectros ópticos obtenidos en el telescopio Clay con el espectrógrafo echelle MagE, 5 espectros obtenidos en el telescopio Baade con el instrumento IMACS y 2 espectros obtenidos en el telescopio Clay con el espectrógrafo doble echelle Mike. Todas las observaciones fueron realizadas en telescopios del Observatorio de Las Campanas en Chile.

Mediante el análisis combinado de las series de tiempo fotométricas en el óptico e infrarrojo se determinó un período orbital de 1.935517 días. Para la búsqueda del período se utilizó la tarea "pdm" en IRAF y además el programa de búsquedas de períodos mediante la entropía de la información (Cincotta et al., 1995). Las velocidades radiales para las componentes estelares del sistema se determinaron a partir del ajuste simultáneo de Gausianas a la línea de absorción de HeII 5411 Å mediante la tarea "ngaussfit" de IRAF. La solución orbital con las velocidades radiales se obtuvo mediante el programa "gbart" (versión modernizada del programa desarrollado por (Bertiau & Grobber, 1969), para hallar órbitas espectroscópicas). La Tabla 1 lista los parámetros orbitales

hallados. Cabe señalar que la componente secundaria del sistema aparenta ser una estrella de tipo espectral O2-4 (no se detecta presencia de líneas de HeI en el espectro) y que más allá de su detección en HeII 5411Å no se la ha encontrado claramente presente en otro rasgo espectral, fundamentalmente debido a que dicha estrella presenta líneas muy ensanchadas por rotación (estaría rotando muy rápido, próxima a los 600 km s<sup>-1</sup>, ver solución orbital), y la moderada calidad de señal de los espectros.

Tabla 1: Parámetros orbitales hallados a partir de las velocidades radiales de MTT58.

Parámetro	Primaria	Secundaria
Período (días)	1.935517 ± 0.000001	
Excentricidad	0 (adoptada)	
$a \sin i$ (R <sub>⊙</sub> )	7.4±0.5	20.0±0.5
$K$ (km s <sup>-1</sup> )	194±14	524±17
$M \sin^3 i$ (M <sub>⊙</sub> )	54±8	20±7

Se utilizó el programa PHOEBE (Prša & Zwitter, 2005) para un realizar un análisis simultáneo de las curvas de velocidad radial y de luz mediante el método de Wilson & Devinney (1971) y así obtener los parámetros absolutos del sistema (ver Tabla 2).

Se adoptó una configuración geométrica inicial sin restricciones, con albedos bolométricos de valor unidad ( $Alb_1 = Alb_2 = 1$ ) acordes a estrellas con envolturas radiativas (ver por ejemplo Niemela et al., 2006). Se dejaron invariantes al período hallado de 1.935517 días y la razón de masas de  $M_2/M_1 = 0,37$  determinada del ajuste de la órbita de velocidad radial. Además, se adoptó una temperatura de 48000 K para la estrella primaria, que es lo esperado para una estrella con clasificación espectral de tipo O2 If\*/WN6. En todo el análisis se supuso una órbita circular ( $e = 0$ ).

Tabla 2: Parámetros estelares y orbitales absolutos de MTT 58 obtenidos con PHOEBE.

Parámetro	Primaria	Secundaria
Período(días)	1.935517	
Excentricidad	0(adoptada)	
$T_0$ (HJD)	2 454 170.6343	
Inclinación orbital(grados)	58,8	
Masa(M <sub>⊙</sub> )	84.5	31.0
Radios(R <sub>⊙</sub> )	15.5	11.7
Temperatura(K)	48 000(adoptada)	38 000

#### 5. Conclusiones

Sin duda MTT58 constituye un objeto único en su tipo con cualidades que lo hacen destacarse por sobre las binarias eclipsantes masivas en general. Este sistema es el más masivo que se conoce con un período menor a dos días. La configuración geométrica de Roche derivada para el sistema indicarían que sus estrellas están en sobre contacto con algo de desacople térmico. De este

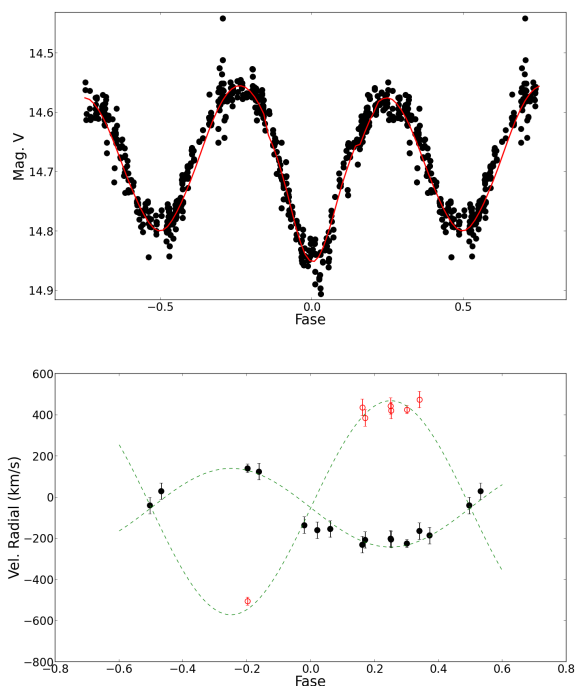


Fig. 2: Arriba: Curva de luz en filtro V de MTT58. La línea continua roja corresponde al ajuste encontrado mediante el método de Wilson-Devinney con PHOEBE. Abajo: Curva de velocidad radial. Los puntos negros corresponden a la estrella primaria y los puntos rojos a la estrella secundaria. Las líneas verdes corresponden a las soluciones orbitales halladas con PHOEBE.

modo MTT58 es uno de los sistemas más masivos con configuración de sobre contacto (sólo se conocen al momento cinco sistemas masivos en configuración de sobre contacto).

La masa absoluta de  $84.5 M_{\odot}$  derivada para la primaria podría ser la esperada para una estrella masiva de tipo espectral O2 If\*/WN6, en similar rango a las masas de las componentes del sistema WR20a ( $P=3,68$  d, WN6+WN6,  $83M_{\odot}+82M_{\odot}$ , Bonanos et al. 2004), aunque el radio absoluto es algo menor que en las componentes de WR20a ( $19.3 R_{\odot}$ , Rauw et al., 2005). Este hecho puede indicar que el estado evolutivo de la componente primaria de MTT58 es más primitivo que las componentes de WR20a, para las cuales Rauw et al. (2005) proponen una edad de 1.5 millones de años. Por lo tanto este resultado daría soporte a la conclusión de Roman-Lopes (2013) de que el sistema tiene una edad en torno a los 600 000 años y por lo tanto no ha evolucionado mucho desde la secuencia principal de edad cero.

En el caso de la componente secundaria de MTT58, la masa absoluta de  $31 M_{\odot}$  correspondería a una estrella de tipo espectral O6 V, pero este hecho no concuerda con el radio de  $12 R_{\odot}$  hallado en nuestro modelamiento con PHOEBE. Aquí caben dos posibilidades: a) que la componente secundaria esté afectada por transferencia de materia desde la primaria, b) que la secundaria tenga su radio expandido hasta sobrepasar su lóbulo de Roche

porque está rotando a velocidad de ruptura centrífuga. Esta segunda hipótesis es muy plausible dado que la componente secundaria podría estar rotando a una velocidad sincrónica de  $620 \text{ km s}^{-1}$ , lo cual la convertiría en una de las estrellas que más rápido rotan, similar a las halladas por Ramírez-Agudelo et al. (2013) para las estrellas de 30 Doradus VFTS 102 (O9: Vnnne+) y VFTS 285 (O7.5 Vnnn).

Sana et al. (2012) proponen que todos los sistemas con períodos menores a 2 días se fusionarán, estimando que el 24% de las estrellas que nacieron con clasificación de tipo espectral O o WN se verán afectadas por este fenómeno. Dadas las peculiaridades observacionales de MTT58, podemos afirmar que este sistema binario se convertirá en un hito para la calibración de los modelos evolutivos de estrellas muy masivas.

*Agradecimientos:* Agradecemos a CONICET por la Beca Latinoamericana otorgada a Marcelo Jaque para desarrollar su tesis doctoral en la Universidad Nacional de San Juan. También agradecemos a FONDECYT (Chile) por el patrocinio mediante el proyecto FONDECYT Regular Nro. 1140076. Especial agradecimiento a Phil Massey y Kathy DeGioia-Eastwood por facilitarnos las observaciones espectroscópicas y fotométricas en el visual. Por último, muchas gracias al personal del Observatorio de Las Campanas que nos ha ayudado en los diferentes turnos de observación.

## Referencias

- Barbá R., et al., 2011, Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía La Plata Argentina, 54, 85  
 Bertiau F. C., Grobben J., 1969, Ricerche Astronomiche, 8, 1  
 Bonanos A. Z., et al., 2004, ApJL, 611, L33  
 Cincotta P. M., Mendez M., Nunez J. A., 1995, ApJ, 449, 231  
 Crowther P. A., et al., 2010, MNRAS, 408, 731  
 Goss W. M., Radhakrishnan V., 1969, Astrophys. Lett., 4, 199  
 Melnick J., Tapia M., Terlevich R., 1989, A&A, 213, 89  
 Morrell N., et al., 2013, in Massive Stars: From alpha to Omega New spectroscopic study of NGC 3603 stars. p. 18  
 Niemela V. S., et al., 2006, MNRAS, 367, 1450  
 Nürnberger D. E. A., 2004, in Lamers H. J. G. L. M., Smith L. J., Nota A., eds, The Formation and Evolution of Massive Young Star Clusters Vol. 322 of Astronomical Society of the Pacific Conference Series, NGC 3603 – the Galaxy’s most prominent starburst region. p. 75  
 Prša A., Zwitter T., 2005, ApJ, 628, 426  
 Ramírez-Agudelo O. H., et al., 2013, A&A, 560, A29  
 Rauw G., et al., 2005, A&A, 432, 985  
 Roman-Lopes A., 2013, MNRAS, 433, 712  
 Sana H., et al., 2012, Science, 337, 444  
 Schnurr O., et al., 2008, MNRAS, 389, L38  
 Stolte A., et al., 2004, AJ, 128, 765  
 Sung H., Bessell M. S., 2004, AJ, 127, 1014  
 Wilson R. E., Devinney E. J., 1971, ApJ, 166, 605