

ANALISIS SIMULTANEO DE CURVAS DE LUZ Y DE VELOCIDADES  
RADIALES DE V508 OPHIUCHI

SIMULTANEOUS ANALYSIS OF LIGHT AND RADIAL VELOCITY CURVES  
OF V508 OPHIUCHI

E. Lapasset y M. Gómez

OAC y CONICET

**RESUMEN:** Mediante las últimas versiones del método de análisis sintético de Wilson y Devinney, se realiza un estudio simultáneo de la fotometría BV y de las curvas de velocidades radiales de ambas componentes del sistema V508 Ophiuchi. Los resultados obtenidos muestran que se trata de un típico miembro del grupo de binarias W UMa de tipo A con una relación de masas de 0.53 y un relativamente bajo porcentaje de sobrecontacto del 10%. El estudio se completa con la determinación de valores absolutos para la dimensiones, masas y luminosidades del sistema. El comportamiento anómalo de anteriores curvas de luz obtenidas por otros autores podría interpretarse por medio de una emisión selectiva localizada en la zona de contacto.

**ABSTRACT:** The new version of the Wilson and Devinney synthetic method is employed to study the BV photometry and the radial velocity curves for both components of V508 Ophiuchi. The results show that this binary is a normal A-type W UMa star with a mass ratio of 0.53 and with a relatively low degree of over-contact (about 10%). The study is completed with the determination of absolute values for the dimensions, masses, and luminosities of the system. The unusual behaviour of previous light curves obtained by other authors might roughly be explained by means of selective emission located in the contact zone.

### INTRODUCCION

V508 Ophiuchi es un sistema muy peculiar entre las binarias de tipo W UMa. Sus curvas de luz han presentado grandes variaciones en los últimos años (Lapasset y Funes 1985 y Lapasset 1985). Sin embargo el estado actual parece ser normal para una binaria del tipo mencionado.

Nuevas observaciones fotométricas de V508 Oph fueron obtenidas entre 1984-87 en Bosque Alegre (telescopio de 1.54m) y en la Estación de Altura El Leoncito (telescopio de 76cm). Estos datos permitieron derivar la siguiente efemérides lineal:

$$\text{Min I} = \text{Hel.J.D. } 2437677.09693 + 0.344792151 E \quad (1) \\ \pm 0.00038 \pm 0.000000027$$

El período del sistema resulta ligeramente diferente al determinado con las observaciones desde 1943 a 1981. Un análisis de la probable variación del período orbital puede verse en Lapasset y Gómez (1988).

## ANÁLISIS DE CURVAS DE LUZ Y DE VELOCIDADES RADIALES

Un total de 488 observaciones en cada banda BV fueron reducidas a 61 puntos normales. Las fases de todas las observaciones fueron calculadas de la ecuación (1). Esta efemérides fue también utilizada para calcular las fases de las observaciones espectroscópicas de Lu (1986). Un total de 31 y 26 velocidades radiales para las componentes primaria y secundaria fueron agregadas a los datos fotométricos para un análisis conjunto.

En este análisis se empleó el método de Wilson y Devinney en su nueva versión desarrollada por Wilson (1979) y Van Hamme y Wilson (1985). A todos los puntos normales se les dió igual peso ya que cada uno de ellos constan de igual número de observaciones. También se le dió el mismo peso a todos los puntos espectroscópicos, excepto a aquellos indicados como puntos de peso 1/2 por Lu (1986).

El tipo espectral de la componente primaria obtenido por Lu coincide con el derivado del color UBV standard (Lapasset y Funes, 1985) y corresponden a una estrella no enrojecida de secuencia principal de tipo espectral G0. En consecuencia, una temperatura de 6000 °K fue asignada a la componente primaria de acuerdo a la calibración temperatura - tipo espectral de Morton y Adams (1968). Los coeficientes de oscurecimiento hacia el limbo fueron derivados del modelo de atmósfera de Carbon y Gingerich (1969). Para los albedos bolométricos ( $A^1$ ,  $A^2$ ) se adoptó el valor 0.50 dado por Rucinski (1969) y para los coeficientes de oscurecimiento hacia el limbo ( $g^1$ ,  $g^2$ ) se tomó el valor de 0.32 para envolventes convectivas (Lucy 1967). Estos parámetros no fueron ajustados.

Los parámetros ajustables mediante el proceso de correcciones diferenciales fueron:  $a$  (separación entre las componentes),  $V_r$  (velocidad orbital sistemática),  $i$  (inclinación orbital),  $g$  (razón de masas),  $\Omega$  (potencial gravitacional modificado),  $T^2$  (temperatura superficial de la componente secundaria) y  $L^1$  (luminosidad de la componente primaria). El proceso iterativo de análisis simultáneo de curvas de luz y de velocidades radiales fue iniciado con el valor "espectroscópico" del cociente de masas ( $q = 0.50$ ) dado por Lu (1986). Mediante la generación de curvas de luz teóricas (programa LC) se obtuvieron correcciones empíricas al valor de  $T^2$  hasta obtener una buena aproximación entre las curvas teóricas y los datos observados. Los parámetros de estas curvas teóricas fueron tomados como solución inicial del proceso de correcciones diferenciales sucesivas (programa DC). Los resultados de este análisis son listados en la Tabla I como solución A. El valor de  $q$  fue escasamente modificado a través de los cálculos. El valor final de la inclinación resultó alto. Esto implica un corto eclipse total en el mínimo secundario. A pesar de que este resultado no puede ser descartado, de nuestras observaciones no se deduce fehacientemente de las curvas de luz observadas. La Fig. 1 muestra las curvas de luz BV teóricas y los puntos observados. La Fig. 2 es la análoga para las curvas de velocidades radiales. La proximidad y el sincronismo de las componentes produce la diferencia entre nuestras curvas sintéticas y aquellas obtenidas por Lu (1986) para el modelo de masas puntuales.

La solución A fue obtenida dando a todos los datos pesos de orden similar:  $\sigma_{vr1} = 0.0040$ ,  $\sigma_{vr2} = 0.0050$ ,  $\sigma_B = \sigma_V = 0.0037$  ( $\sigma$  representa desviaciones medias de cada punto observado). Otro conjunto de iteraciones sucesivas (programa DC) fue realizado dándole un peso a las curvas de

velocidades radiales de alrededor de un décimo del peso de las curvas de luz. Los resultados son listados en la Tabla I como solución B y son muy similares a la solución A excepto por el valor de  $q = 0.567$  ligeramente superior. Este valor es consistente con la solución exclusivamente fotométrica (solución C), la cual fue iniciada con el valor espectroscópico de la relación de masas.

TABLA I			
Solución Simultánea (curvas de luz y velocidades radiales) de V508 Ophiuchi			
	SOLUCION A	SOLUCION B	SOLUCION C
$\sigma_{vr1}$	0.0040	0.0315	
$\sigma_{vr2}$	0.0050	0.0400	
$\sigma_V = \sigma_B$	0.0037	0.0037	0.0037
$a$	2.400 $R_o$	2.389 $R_o$	
$V_r$	-39.54 Km/seg	-39.84 Km/seg	
$i$	86.13°	84.82°	89.09°
$T^1$	6000° K	6000° K	6000° K
$T^2$	5830° K	5800° K	5810° K
$A^1 = A^2$	0.50	0.50	0.50
$q$	0.530	0.567	0.561
$\xi =$	0.104	0.161	0.164
$\Delta T/T^1$	0.029	0.033	0.032
$X^1 = X^2(V)$	0.82	0.82	0.82
$X^1 = X^2(B)$	0.65	0.65	0.65
$L^1/(L^1+L^2) (V)$	0.675	0.664	0.665
$L^1/(L^1+L^2) (B)$	0.668	0.656	0.657
$r^1$ pole	0.415	0.412	0.413
side	0.441	0.439	0.440
back	0.472	0.471	0.472
$r^2$ pole	0.310	0.319	0.318
side	0.324	0.334	0.335
back	0.360	0.372	0.372
$\Sigma (O-C)^2$	0.189	0.213	0.023

Nota:

$$\xi = (Q_1 - Q)/(Q_1 - Q_0)$$

Como fue sugerido por Van Hamme y Wilson (1985), puede ser útil obtener familias de soluciones variando el peso relativo  $W$  (razón del peso espectroscópico y de la suma de los pesos espectroscópicos y fotométricos). Esto fue hecho para V508 Ophiuchi y los principales resultados han sido resumidos en la Tabla II. Las principales diferencias entre estas seis soluciones está en los valores de  $q$ ,  $i$  y  $\Sigma (O-C)^2$ . Nótese que consideramos  $\Sigma (O-C)^2$  y no  $\Sigma w (O-C)^2$  la cual incluye los pesos de cada

observación y es proporcionada por el programa DC pero carece de significado para la comparación de datos pesados de distinta forma. El valor mas pequeño de la suma de los residuos corresponde a la solución puramente fotométrica. Sin embargo, si consideramos separadamente los residuos fotométricos y espectroscópicos un adecuado balance se obtiene para nuestra solución A.

TABLA II					
Principales parámetros de una familia de soluciones para V508 Ophiuchi con diferentes valores de W.					
W	q	i	$\Sigma (O-C)^2$ ph	$\Sigma (O-C)^2$ sp	$\Sigma (O-C)^2$ total
0.37	0.520	87.71°	0.0340	0.1535	0.1874
0.55	0.530	86.13°	0.0243	0.1645	0.1889
0.77	0.552	85.79°	0.0223	0.1782	0.2005
0.84	0.564	84.65°	0.0227	0.1895	0.2122
0.88	0.550	84.82°	0.0234	0.1792	0.2027
0.91	0.567	84.83°	0.0223	0.1909	0.2132

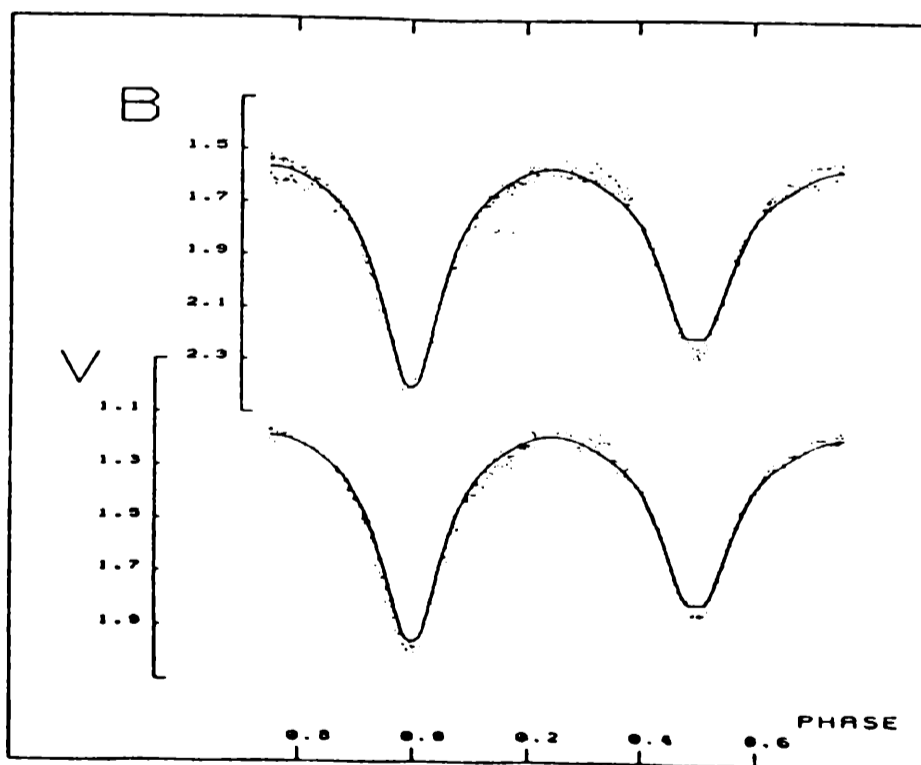


Fig. 1 : Curvas de luz observadas y curvas de luz teóricas correspondiente a la Solución A de V508 Ophiuchi

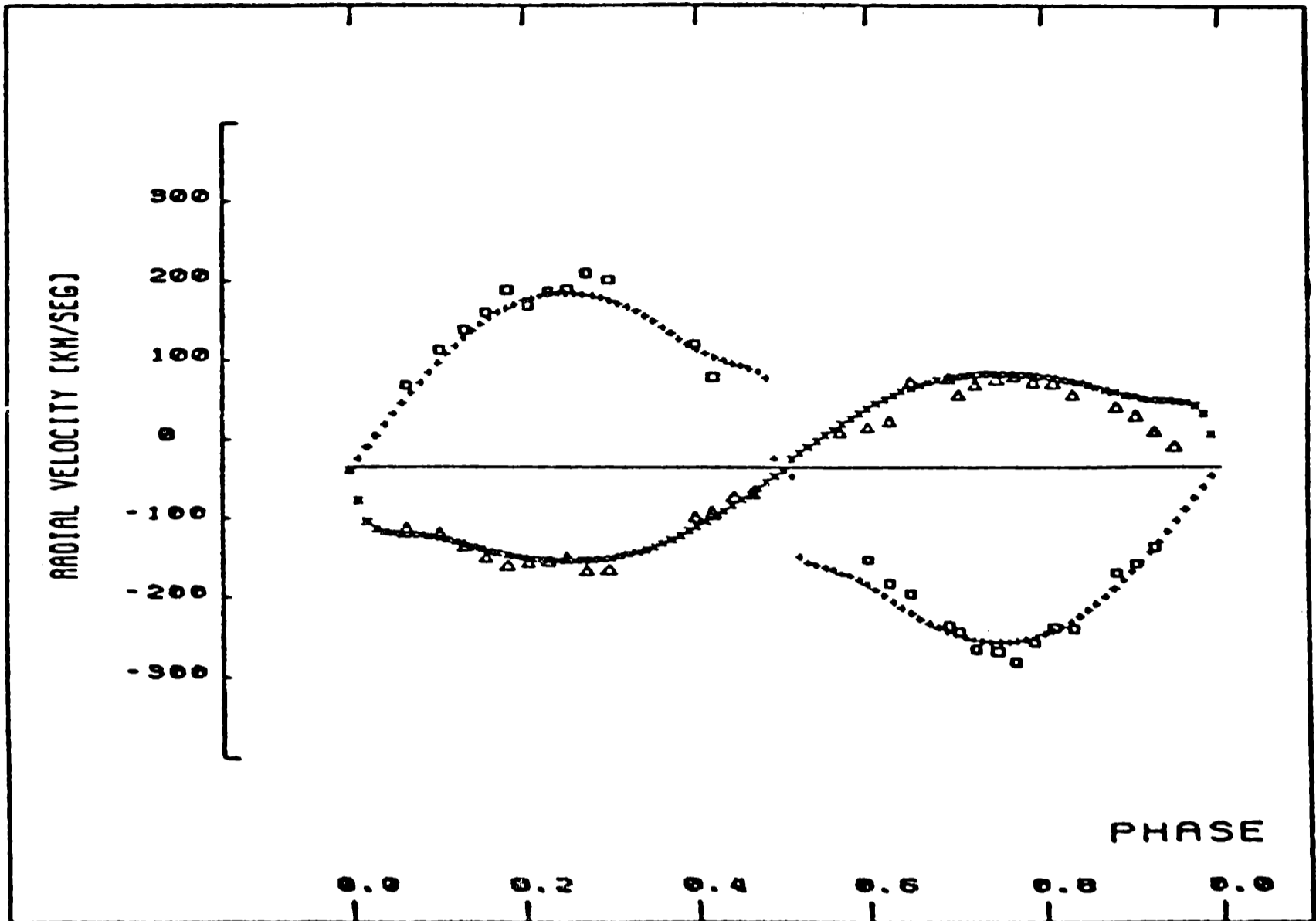


Fig. 2 : Curvas de velocidades radiales observadas ( Lu 1986 ) y curvas teóricas correspondientes a la Solución A de V508 Ophiuchi

Además la convergencia de las dos soluciones fue investigada: dos configuraciones iniciales con  $q = 1.0$  y  $q = 2.0$  para diferentes valores de  $W$  fueron procesadas por el programa DC. No fue posible obtener una convergencia de estas soluciones para pesos de las observaciones espectroscópicas relativamente pequeños ( $W = 0.91$ ). Sólo para  $W = 0.55$  o  $W = 0.37$  la convergencia fue rápida y condujo a los mismos resultados que la solución A. La solución fotométrica no converge seguramente debido a la falta de evidencia de eclipses totales (Lapasset y Sisteró 1984). Además la mejor solución fotométrica corresponde a una configuración de tipo  $W$  ( $q = 2.0$ ). Este resultado no puede ser enfatizado en virtud de la configuración espectroscópica observada. Como una conclusión de los experimentos realizados consideramos a la solución A como la mejor en lo que a los datos analizados concierne. De acuerdo con esta solución valores absolutos para las dimensiones, masas y luminosidades de las componentes fueron calculados y listados en la Tabla II.

TABLA III	
Parámetros absolutos de V508 Ophiuchi	
R <sup>1</sup>	= 1.06 R <sub>⊙</sub>
R <sup>2</sup>	= 0.80 R <sub>⊙</sub>
M <sup>1</sup>	= 1.01 M <sub>⊙</sub>
M <sup>2</sup>	= 0.52 M <sub>⊙</sub>
log L <sup>1</sup> / L <sub>⊙</sub>	= 0.087
log L <sup>2</sup> / L <sub>⊙</sub>	= -0.286

### CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

El análisis anterior es consistente con el de un sistema W UMa de tipo A. El grado de sobrecontacto pequeño (alrededor de 10%) podría ser la única anomalía ya que el valor medio para las binarias de tipo A es bastante mayor (Van Hamme 1982a,b). Sin embargo hay algunas excepciones como V1073 Cyg, S Ant, V535 Ara, AK Her y TY Men (Mochmacki 1983) los cuales presentan porcentajes de sobrecontacto similares al de V508 Ophiuchi.

Como se dijo en la introducción este sistema ha presentado en los últimos años grandes variaciones fotométricas. El comportamiento de las curvas de luz de otros autores puede ser reproducido en forma global mediante una emisión selectiva en la zona de contacto para la curva de luz en la banda azul y mediante una tercera componente en la banda visual (ver Lappasset y Gómez 1988).

De todas formas, dado que las peculiaridades presentadas por este sistema podrían eventualmente volver a observarse, sería conveniente continuar el seguimiento observacional de V508 Ophiuchi.

### REFERENCIAS

- Carbon, D.F. y Gingerich, O. 1969, en *Theory and Observations of Normal Stellar Atmospheres*, ed. O. Gingerich, Cambridge, MA MIT Press, p. 401
- Lapasset, E. y Sisteró, R.F. 1984. *Astron. Astrophys.* **130**,97
- Lapasset, E. y Funes, J.G. 1985. *Astrophys. Space. Sci.* **113**,83
- Lapasset, E. 1985. *Inf. Bull. Var. Stars* N° 2828
- Lu, W. 1986, *Publ. Astron. Soc. Pacific.*, **98**, 577
- Mochmacki, S.W. 1983 en *Interacting Binaries*, editado por P.P. Eggleton y J.E. Pringle D. Reidel Publ. Company, pag. 51
- Morton, D.C. y Adams, T.F. 1968. *Astrophys. J.* **151**, 611
- Rucinski, S.M. 1969. *Acta Astron.* **19**,245
- Van Hamme, W. 1982a, *Astron. Astrophys.* **105**, 389
- Van Hamme, W. 1982b, *Astron. Astrophys.* **116**, 27
- Van Hamme, W. y Wilson, R.F. 1985. *Astron. Astrophys.*, **152**,25
- Wilson, R.F. y Devinney, E.J. 1971. *Astrophys. J.* **166**, 605
- Wilson, R.F. 1979. *Astrophys. J.* **234**,105