

## Nueva versión del método de Docobo para el cálculo de órbitas de estrellas dobles visuales.

J. A. Docobo, M. Andrade y P. P. Campo

Observatorio Astronómico Ramón María Aller

Universidade de Santiago

### **Abstract**

Docobo's method of calculating elliptic orbits of visual double stars was prepared at the beginning of the eighties. It is based on a mapping from the interval  $(0, 2\pi)$  into the family of keplerian orbits whose apparent orbits pass through three base points. If these three base points do not belong to the same revolution, then the said interval must be  $(0, +\infty)$ . One of the main advantages of this analytical method is that it does not require the areal constant computation. In this communication we present a new version of the method, which includes contributions like the selection of the solutions through the r.m.s. calculations in  $\theta$  and  $\rho$ , the possibility of calculating the orbit with the previous knowledge of the mass of the system, the orbits determination with mixed astrometric and radial velocity data, the inclusion of an improving orbits algorithm and the standard errors evaluation of the orbital elements. Finally a program for drawing the apparent orbits and radial velocity curves is included.

The new version of the Docobo's method is applied to the visual spectroscopic binary WDS 01409+1117 (ADS 1321).

### **1 Introducción**

Dos tipos de métodos se han utilizado históricamente para efectuar el cálculo de la órbita de una estrella doble visual: los que a partir de las observaciones se obtiene previamente la órbita aparente y aquellos otros que determinan directamente la órbita relativa.

En estos últimos, de índole fundamentalmente analítica, destaca el clásico de Thiele-Innes-Van den Bos (Dommanget, 1981 [1]), que emplea tres observaciones completas  $(\theta, \rho; t)$  junto con la constante de las áreas, la cual debe ser calculada a partir de la totalidad de las observaciones disponibles.

Con el fin de evitar el cálculo de la constante de las áreas, R. Cid se propuso diseñar un método en el que sólo interviniesen como datos ángulos de posición y distancias angulares.

En 1958 (Cid, 1958 [2]) el autor consigue por vez primera resolver el llamado “problema fundamental”, es decir, establecer un proceso de cálculo en el cual, a partir de siete datos, tres observaciones completas  $(\theta, \rho; t)$  y una incompleta  $(\theta; t)$ , obtener las siete incógnitas:  $P, T, e, a, i, \Omega, \omega$ , es decir, los elementos orbitales de la órbita relativa.

La aportación de Cid representó un gran avance en el desarrollo de los métodos analíticos de cálculo, pero presentaba limitaciones desde el punto de vista práctico. El sistema de ecuaciones trascendentes de su método proporciona 0, 1 ó 2 soluciones bien diferenciadas, lo cual representa un inconveniente porque o bien obliga a elegir los cuatro puntos con gran precisión o en el caso de dos soluciones a comprobar cual es la correcta, bien con el resto de las observaciones o en el futuro a través de las efemérides.

J. A. Docobo (Docobo, 1985 [3]) trabajando con este método advirtió que el “problema fundamental” podía ser resuelto no sólo de una forma más sencilla, sino también que el algoritmo correspondiente daba lugar a un procedimiento de cálculo en el que el resultado final era un número no limitado de órbitas, permitiendo elegir la órbita final como aquella que mejor se ajusta al resto de las observaciones.

Se trata en definitiva de establecer una aplicación:

$$V \longrightarrow (P, T, e, a'', i, \Omega, \omega) \quad (1)$$

del intervalo  $(0, 2\pi)$  en el conjunto E de órbitas keplerianas elípticas cuyas correspondientes órbitas aparentes pasan por tres puntos base  $(\theta, \rho; t)$  previamente fijados.

En la primera versión del método eran elegidas también algunas épocas de control en las que con cada órbita se calculaban efemérides que se contrastaban con las observaciones a fin de seleccionar finalmente la que mejor ajuste a ellas presentase. Está claro que tanto los tres puntos base como los correspondientes a las épocas de control, se trata o bien de observaciones de gran peso o bien de zonas con una alta probabilidad de que la órbita pase por ellos.

El proceso no sólo introduce un salto de eficiencia en lo que estrictamente se refiere al ajuste de la órbita a puntos de calidad, sino que al mismo tiempo, como subproductos de la mencionada aplicación, para cada órbita puede calcularse la constante de las áreas y por supuesto, el ángulo de posición en una cuarta época. Por ello podemos decir que este método engloba simultáneamente a los de Thiele-Innes-Van den Bos y el de Cid.

Con este método se han calculado, por diferentes autores, más de 200 órbitas, las cuales han sido publicadas en revistas internacionales y/o en la Circular de Información de la Comisión 26 (estrellas dobles y múltiples) de la Unión Astronómica Internacional.

## 2 Mejoras introducidas en el programa de cálculo de órbitas

Como primera incorporación, además de tomar cuatro puntos de control para la selección de la órbita, calculamos para cada valor de la variable V las r.m.s. y medias

aritméticas en  $\theta$ ,  $\rho$  y  $v_r$  (velocidades radiales) con todas las observaciones disponibles, acompañando a cada uno de ellos de su peso correspondiente. Dicho peso puede asignarse en cada caso a criterio del calculador de la órbita, si bien nosotros recomendamos para las observaciones astrométricas el criterio comentado en Docobo & Ling (2003 [4]).

Al mismo tiempo, para cada órbita es posible obtener su paralaje dinámica y las masas de cada componente deducidas de ella, introduciendo en el programa el procedimiento de cálculo diseñado por Baize y Romaní (Heintz, 1978 [5]). De esta manera disponemos también de otra forma de elección de la órbita solución, que complementa a la estrictamente astrométrica. Se trata de comparar el dato previo de la paralaje del sistema (paralaje trigonométrica o paralaje de Hipparcos) con el de la paralaje dinámica asociada a cada órbita generada en el método. Obviamente esto no es aplicable a la minoría de estrellas que no pertenecen a la secuencia principal.

Existen también casos en los cuales es posible conocer previamente, de acuerdo con modelos astrofísicos, una estimación realista de las masas del sistema antes del cálculo de la órbita. Este hecho puede también ser aprovechado introduciendo en el programa el valor de la paralaje, entonces para cada órbita se puede obtener también la masa global de la estrella doble (masa dinámica), la cual se compara con el dato de partida.

En ocasiones la órbita que consideramos es la de una estrella con respecto al centro de masas de un par cerrado. En estos casos, algunas observaciones pueden estar referidas al centro de luz del par mientras que otras lo estarán a la estrella principal. El programa puede corregir esta situación si se dispone de los elementos orbitales de la órbita cerrada, de las masas de ese par y su diferencia de magnitudes. El programa “mueve” las observaciones hacia el centro de masas para hacer los cálculos, aunque para escribir los resultados, se hace la transformación inversa de modo que los obtengamos en su forma original.

Otra de las novedades que incorpora la nueva versión del método de Docobo es la posibilidad de utilizar a la vez datos astrométricos ( $\theta, \rho$ ) y de velocidades radiales ( $v_r$ ), lo cual es de gran importancia en los sistemas espectro-interferométricos. Lo que ahora se añade está basado en la idea original de Docobo, Elipe y Abad (1988), que por vez primera propusieron calcular una órbita con datos mixtos:  $\theta, \rho$  y  $v_r$ .

El dibujo de la órbita aparente con todas las medidas disponibles, distinguiendo entre visuales, fotográficas, CCD, speckle y otras interferométricas es una nueva opción que también se ha contemplado, así como la obtención de la gráfica en la que aparezcan representadas la curvas de velocidad radial, en el caso de estrellas con observaciones espectroscópicas.

Una cuestión fundamental en el cálculo de órbitas es dotar a la solución elegida de la incertidumbre correspondiente en los valores de sus elementos orbitales, lo que suele denominarse errores standard. Se trata, sin duda, de una cuestión subjetiva pero que es necesario tender a objetivarla en base a un cierto rango asumible en las r.m.s., de

la paralaje dinámica o incluso en las masas calculadas de las componentes teniendo en cuenta los tipos espectrales.

Todo ello puede hacerse sin más que estudiar la salida del programa y una vez seleccionado el valor de  $V$  para la órbita elegida, basta con examinar para valores de  $V$  precedentes y posteriores. Aquellas órbitas que satisfacen los requisitos impuestos, tal como se acaba de comentar, son las que permiten establecer la incertidumbre de los elementos orbitales de la órbita seleccionada.

Finalmente, la órbita elegida es sometida a un proceso de mejora de los residuos en  $\theta$ ,  $\rho$  y  $v_r$  si fuese el caso.

### 3 Aplicación a la estrella binaria ADS 1321

Como aplicación del programa, que denominamos “Doco2” consideraremos el caso de la binaria ADS 1321, la cual constituye un sistema visual-espectroscópico. Se ha elegido esta estrella porque al disponer de datos de posiciones y velocidades radiales nos permite evaluar las diferentes utilidades del programa. Las observaciones visuales y de velocidades radiales disponibles, junto con sus correspondientes pesos, están incluidas en la Tabla 1<sup>1</sup>.

Una vez representadas las observaciones, elegimos como puntos base los siguientes:

t	$\theta$	$\rho$
1968.900	270°0	0"19
1986.657	314°0	0"133
1995.918	55°0	0"065

En una primera aproximación aplicamos el método con un paso de 5°, para acotar la región donde vamos a buscar la órbita. Encontramos que los valores mínimos en las r.m.s. están entre 195° y 200°. Volvemos a ejecutar el programa entre 195° y 202° con un paso de 0°5 y observamos que la r.m.s. de  $\rho$  varía muy poco, mientras que los mínimos de las r.m.s. de  $\theta$  y de la diferencia de velocidades radiales  $v_r = v_B - v_A$  se sitúan respectivamente en 196° y 199°5, como se puede ver en la Tabla 2. La variación en las r.m.s. de  $\theta$  es mayor que la variación en  $\rho$  y  $v_r$ , por lo que tomamos el valor en el que se alcanza el mínimo de las r.m.s. de  $\theta$  como órbita preliminar. Como el tiempo de computación en esta etapa es muy pequeño, hacemos una última aproximación entre 195° y 197° con un paso de 0°2, (puesto que el proceso de mejora es más costoso numéricamente), y obtenemos un valor mínimo para la r.m.s. de  $\theta$  en 196°2, que será la órbita que elegiremos para realizar el

---

<sup>1</sup>Todas las observaciones  $(\theta, \rho; t)$  son visuales salvo las tres últimas que son speckle. La tabla incluye los valores de la velocidad radial en km/s para cada una de las componentes de la binaria A y B. Los pesos de las velocidades radiales han sido adoptados de acuerdo con R. Griffin y S. Udry (2001 [6])

Tabla 1.— Datos de observación (con sus pesos) disponibles

Posiciones ( $\theta, \rho$ )				Velocidades radiales			
Época	Ángulo ( $^\circ$ )	Separación ( $''$ )	Pesos	Época	Vel A	Vel B	Pesos
1911.20	317.1	0.17	2	1991.08	-40.1	-32.7	0.2
1919.84	31.0	0.14	3	1991.96	-40.6	-32.0	0.2
1932.73	93.1	0.21	1	1992.97	-41.2	-32.1	0.5
1934.20	278.7	0.22	3	1993.12	-42.1	-32.1	0.2
1937.665	277.9	0.19	1	1994.59	-42.6	-30.2	0.2
1938.950	292.6	0.23	1	1995.02	-43.6	-28.9	1
1943.744	287.9	0.20	1	1996.00	-44.9	-27.1	1
1945.907	290.0	0.20	1	1996.89	-46.4	-26.0	1
1945.910	285.1	0.18	1	1996.96	-46.2	-27.1	1
1948.777	307.6	0.15	1	1997.07	-45.8	-27.6	1
1948.786	311.2	0.16	1	1997.55	-43.3	-30.4	1
1963.027	259.0	0.13	3	1997.69	-41.9	-31.3	1
1968.90	270.1	0.19	2	1997.97	-40.1	-33.7	0.5
1972.88	281.3	0.19	3	2000.74	-33.6	-40.4	0.5
1976.88	101.7	0.18	3				
1981.82	127.6	0.15	3				
1983.88	128.8	0.14	2				
1986.657	134.7	0.133	20				
1994.7085	215.6	0.073	15				
1995.9181	230.4	0.060	15				

proceso de mejora. En la Tabla 3 se representan los datos que se obtienen para este valor, con el formato de salida del programa para cada paso.

El proceso de mejora consiste en minimizar la función:

$$f(P, T, e, a, i, \Omega, \omega) = c_1 \frac{\sum_{i=1}^n p_i (\theta_i^o - \theta_i)^2}{\sum_{i=1}^n p_i} + c_2 \frac{\sum_{i=1}^n p_i (\rho_i^o - \rho_i)^2}{\sum_{i=1}^n p_i} + c_3 \frac{\sum_{i=1}^m q_i (v_i^o - v_i)^2}{\sum_{i=1}^m q_i} \quad (2)$$

donde  $p_i$  y  $q_i$  son los pesos de las medidas, y  $c_i$  son constantes que permiten asignar mayor o menor peso a cada una de las variables, en función de la calidad de las observaciones disponibles y de la magnitud de los errores de éstas. Es una función fuertemente no lineal, por lo que su minimización es complicada, por lo que se utiliza un algoritmo de gradiente conjugado. Esto garantiza la convergencia a un mínimo local, siempre que se elija correctamente el punto inicial. En ocasiones, sobre todo si las variaciones de las r.m.s. son pequeñas, la convergencia puede ser lenta.

Los valores que hemos obtenido después de aplicar la mejora se pueden ver en la Tabla

Tabla 2.— Datos representativos de salida

V (°)	P (años)	T (años)	e	a (")	i (°)	$\Omega$ (°)	$\omega$ (°)	rms $\theta$	rms $\rho$	rms v
195.00	37.80	1959.93	0.689	0.149	57.9	78.3	49.4	5.612	0.020	2.479
195.50	37.64	1960.07	0.693	0.150	58.2	78.0	50.0	5.129	0.019	2.329
196.00	37.47	1960.21	0.697	0.151	58.6	77.8	50.6	4.890	0.019	2.170
196.50	37.31	1960.35	0.702	0.152	58.9	77.6	51.2	4.899	0.019	2.002
197.00	37.15	1960.49	0.706	0.153	59.2	77.4	51.8	5.126	0.019	1.827
197.50	36.99	1960.63	0.711	0.154	59.5	77.3	52.4	5.520	0.019	1.647
198.00	36.83	1960.76	0.715	0.155	59.9	77.1	53.0	6.026	0.019	1.470
198.50	36.68	1960.89	0.720	0.156	60.2	76.9	53.6	6.599	0.018	1.307
199.00	36.53	1961.03	0.724	0.157	60.5	76.7	54.2	7.209	0.018	1.178
199.50	36.37	1961.15	0.729	0.158	60.9	76.5	54.7	7.834	0.018	1.112
200.00	36.22	1961.28	0.733	0.159	61.2	76.4	55.3	8.460	0.019	1.139
200.50	36.07	1961.41	0.738	0.160	61.6	76.2	55.8	9.079	0.019	1.273
201.00	35.93	1961.53	0.742	0.162	61.9	76.0	56.4	9.688	0.019	1.504
201.50	35.78	1961.65	0.747	0.163	62.2	75.9	56.9	10.285	0.019	1.810
202.00	35.64	1961.78	0.751	0.164	62.6	75.7	57.5	10.872	0.019	2.174

4. En la Tabla 5 se dan las diferencias observación-cálculo de las posiciones relativas para esta órbita y en la Tabla 6 las correspondientes a las medidas de velocidad radial.

El programa permite además el cálculo de las efemérides tanto de posiciones como de velocidades independientemente del proceso de mejora o de cálculo de órbitas, pues en numerosas ocasiones será necesario. Además se incluye un apartado de representación gráfica. Las gráficas para esta órbita, para posiciones relativas se representan en la Figura 1 y las velocidades radiales en la Figura 2.

Los errores standard han sido deducidos a partir de la Tabla 2, teniendo en cuenta que, como criterio, se admiten como probables todas las órbitas generadas cuya r.m.s. en  $\theta$  difiere como mucho en  $1^\circ$  de la mínima r.m.s, obteniendo los valores que se pueden ver en la Tabla 7.

Finalmente, la Tabla 8 recoge las efemérides en  $\theta$ ,  $\rho$  y velocidades radiales para cada componente para los próximos años.

## Bibliografía

- [1] Dommanget, J.; Astronomy & Astrophysics, 94, 95; 1981.
- [2] Cid, R.; Astronomical Journal, 63, 9; 1958.
- [3] Docobo, J. A.; Celestial Mechanics, 36, 143; 1985.

Tabla 3.— Salida completa del programa

V	P	T	e	a	I	Nodo	Arg.
196.20	37.41	1960.27	0.699	0.151	58.7	77.8	50.9
n	a(1-e)	c					
9.624	0.045	0.082					
Par H	Mas din	Par D	Masa	Masa A	Masa B		
0.0125	1.25	0.0105	2.12	1.09	1.03		
Control1	theta	rho	Control2	theta	rho		
1911.200	311.2	0.139	1943.744	295.5	0.179		
Control3	theta	rho	Control4	theta	rho		
1972.880	278.1	0.206	1995.920	55.0	0.065		
Ctrl v 1	v B-A	Ctrl v 2	v B-A	Ctrl v 3	v B-A	Ctrl v 4	v B-A
1991.079	5.59	1994.595	12.11	1997.068	19.57	2000.739	-7.18
Ctrl v 1	vel A	vel B	Ctrl v 2	vel A	vel B		
1991.079	-39.65	-34.06	1994.595	-42.83	-30.72		
Ctrl v 3	vel A	vel B	Ctrl v 4	vel A	vel B		
1997.068	-46.47	-26.90	2000.739	-33.42	-40.60		
rms $\theta$	med $\theta$	rms $\rho$	med $\rho$				
4.865	0.454	0.019	0.004				
rms v	med v	rms v A	med v A	rms v B	med v B		
2.104	-0.730	1.010	0.578	1.205	-0.151		

[4] Docobo, J. A., Ling, J. F.; *Astronomy & Astrophysics*, 409, 989; 2003.

[5] Heintz, W. D.; *Double stars*. D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holland.

[6] Griffin, R. F., Udry, S.; *The Observatory*, 121, 171; 2001.

Tabla 4.— Elementos orbitales mejorados

P	T	e	a	I	Nodo	Arg.	n	a(1-e)
37.29	1960.20	0.711	0.156	59.2	74.4	54.2	9.654	0.045
Par H	Mas din	Par D	Masa A	Masa B				
0.0125	1.38	0.0110	1.06	1.01				

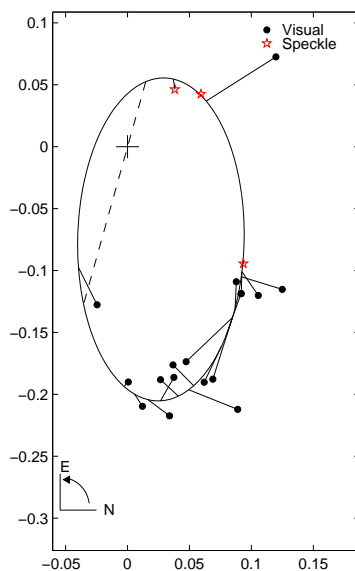


Figura 1.— Órbita aparente correspondiente a la órbita relativa definitiva con las posiciones observadas y calculadas.

## A Apéndice-Formatos

Como ya se ha explicado, en esta nueva versión del método de Docobo se han implementado nuevas utilidades, por lo que al arrancar el programa, que se ha preparado en MATLAB, aparecerán cuatro opciones diferentes:

- 1) Cálculo de órbitas
- 2) Mejora de la órbita
- 3) Cálculo de efemérides
- 4) Representación de la órbita

Al ejecutar el programa se elige la opción que deseamos. En el cálculo de efemérides y en la representación de la órbita debe especificarse si se va a trabajar sobre posiciones relativas o velocidades (en el caso de las efemérides es posible trabajar con ambas a la vez). Después debe establecerse un archivo de entrada de datos y uno de salida. El formato de entrada es .txt o similar y el de salida .txt o .doc (la mejor visualización de los resultados se tiene con letra de 8 pt), salvo en el caso de representación gráfica, donde se ofrecen cuatro posibles formatos de salida: eps, jpeg, bmp y tiff (aquí no es necesario especificar la extensión del archivo, ya lo asigna automáticamente el programa al elegir la opción correspondiente). Los archivos de entrada deben incluir los datos recogidos en las



Tabla 5.— Diferencias observación-cálculo de las posiciones relativas para la órbita definitiva

Epoca	$\theta$			$\rho$		
	Obs	Calc	O-C	Obs	Calc	O-C
1911.200	317.3	311.1	6.2	0.170	0.140	0.030
1919.840	31.2	30.1	1.1	0.140	0.073	0.067
1932.730	273.3	271.6	1.7	0.210	0.200	0.010
1934.200	278.9	274.6	4.2	0.220	0.205	0.015
1937.665	278.1	281.5	-3.5	0.190	0.206	-0.016
1938.950	292.7	284.1	8.6	0.230	0.202	0.028
1943.744	288.0	295.2	-7.1	0.200	0.178	0.022
1945.907	290.1	301.5	-11.4	0.200	0.162	0.038
1945.910	285.2	301.5	-16.3	0.180	0.162	0.018
1948.777	307.7	312.4	-4.7	0.150	0.137	0.013
1948.786	311.3	312.5	-1.1	0.160	0.137	0.023
1963.027	259.1	247.9	11.2	0.130	0.105	0.025
1968.900	270.2	269.2	1.0	0.190	0.194	-0.004
1972.880	281.4	277.4	4.0	0.190	0.207	-0.017
1976.880	281.8	285.5	-3.7	0.180	0.200	-0.020
1981.820	307.6	297.3	10.3	0.150	0.173	-0.023
1983.880	308.8	303.8	5.1	0.140	0.156	-0.016
1986.660	314.7	315.2	-0.5	0.133	0.131	0.002
1994.710	35.6	34.7	0.9	0.073	0.072	0.001
1995.920	50.4	55.9	-5.5	0.060	0.066	-0.006
rms $\theta$	med $\theta$	rms $\rho$	med $\rho$			
4.932	-0.078	0.018	0.003			

tablas 9 y 10.

En el caso de que no se disponga de algún dato como magnitudes, tipos espectrales o la paralaje, basta con asignarles valor cero y el programa no los tiene en cuenta, permitiéndonos aún así trabajar solamente con las posiciones relativas. Si disponemos de observaciones de velocidades radiales para la estrella principal y la secundaria, no es necesario dar el valor de la diferencia, puesto que ya lo calcula el programa y de nuevo le asignamos valor cero (este dato es necesario si tenemos observaciones de esa diferencia pero no de las velocidades radiales individuales).

Tabla 6.— Diferencias observación-cálculo de las velocidades radiales para la órbita definitiva

Epoca	vel B-A			vel A			vel B		
	Obs	Calc	O-C	Obs	Calc	O-C	Obs	Calc	O-C
1991.079	7.40	6.06	1.34	-40.10	-39.80	-0.30	-32.70	-33.74	1.04
1991.961	8.60	7.26	1.34	-40.60	-40.38	-0.22	-32.00	-33.12	1.12
1992.972	9.10	8.94	0.16	-41.20	-41.20	0.00	-32.10	-32.26	0.16
1993.123	10.00	9.23	0.77	-42.10	-41.34	-0.76	-32.10	-32.12	0.02
1994.595	12.40	12.73	-0.33	-42.60	-43.05	0.45	-30.20	-30.32	0.12
1995.019	14.70	14.06	0.64	-43.60	-43.70	0.10	-28.90	-29.64	0.74
1996.000	17.80	17.71	0.09	-44.90	-45.48	0.58	-27.10	-27.77	0.67
1996.890	20.40	19.48	0.92	-46.40	-46.34	-0.06	-26.00	-26.87	0.87
1996.956	19.10	19.27	-0.17	-46.20	-46.24	0.04	-27.10	-26.97	-0.13
1997.068	18.20	18.71	-0.51	-45.80	-45.97	0.17	-27.60	-27.26	-0.34
1997.551	12.90	12.90	-0.00	-43.30	-43.13	-0.17	-30.40	-30.23	-0.17
1997.688	10.60	10.50	0.10	-41.90	-41.96	0.06	-31.30	-31.46	0.16
1997.969	6.40	5.55	0.85	-40.10	-39.55	-0.55	-33.70	-34.00	0.30
2000.739	-6.80	-8.01	1.21	-33.60	-32.93	-0.67	-40.40	-40.94	0.54
rms v	med v	rms v A	med v A	rms v B	med v B				
0.617	0.302	0.323	-0.005	0.529	0.297				

Tabla 7.— Órbita definitiva con sus errores standard

P=37 <sup>a</sup> 29	±0 <sup>a</sup> 5
T=1960.20	±0.5
e=0.711	±0.015
a=0 <sup>''</sup> 156	±0 <sup>''</sup> 004
I=59°2	±1°
Ω=74°4	±1°
ω=54°2	±2°

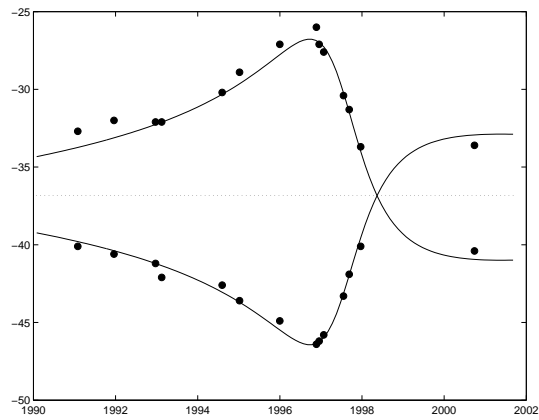


Figura 2.— Curvas de velocidad radial con las observaciones correspondientes.

Tabla 8.— Efemérides en  $\theta$ ,  $\rho$  y velocidades radiales para la órbita definitiva

Época	theta	rho	vel A	vel B
2007.000	270.9	0.198	-33.80	-40.04
2008.000	273.0	0.203	-34.00	-39.82
2009.000	275.1	0.205	-34.20	-39.61
2010.000	277.1	0.207	-34.41	-39.39
2011.000	279.0	0.207	-34.61	-39.18
2012.000	281.0	0.206	-34.82	-38.97
2013.000	283.0	0.204	-35.02	-38.75
2014.000	285.1	0.201	-35.23	-38.53
2015.000	287.2	0.197	-35.45	-38.30
2016.000	289.5	0.192	-35.66	-38.07

Tabla 9.— Datos necesarios para el archivo de entrada en las opciones de cálculo de órbitas y mejora de la órbita

Cálculo de órbitas	Mejora de la órbita
Nombre de la estrella	Nombre de la estrella
Número de observaciones de posiciones	Número de observaciones de posiciones
Número de observaciones de velocidades	Número de observaciones de velocidades
Ascensión recta	Elementos orbitales
Declinación	Ascensión recta
Magnitudes	Declinación
Espectro de la estrella principal	Magnitudes
Espectro de la estrella secundaria	Espectro de la estrella principal
Paralaje de Hipparcos	Espectro de la estrella secundaria
Punto base 1 ( $t \theta \rho$ )	Paralaje de Hipparcos
Punto base 2 ( $t \theta \rho$ )	Observaciones:
Punto base 3 ( $t \theta \rho$ )	Época $\theta \rho$ peso
Observaciones:	Velocidades:
Época $\theta \rho$ peso	Época $v0A v0B v0B-v0A$ peso
Velocidades:	$v0$
Época $v0A v0B v0B-v0A$ peso	Peso de $\theta$ (para la minimización)
$v0$	Peso de $\rho$ (para la minimización)
Valor inicial de V	Peso de la velocidad (para la minimización)
Valor final de V	Nº de iteraciones para la minimización
Paso de V	Paso de la minimización
Épocas de control de posiciones	Indicador de centro de luz (si hay posiciones
Épocas de control de velocidades	con respecto al centro de luz o principal cl
Indicador de centro de luz (si hay posiciones	si no otra cadena de caracteres)
con respecto al centro de luz o principal cl	Si cl
si no otra cadena de caracteres)	masa de la principal
Si cl	masa de la secundaria
masa de la principal	diferencia de magnitudes
masa de la secundaria	elementos orbitales de la órbita interior
diferencia de magnitudes	indicador de principal(2), centro de luz(1)
elementos orbitales de la órbita interior	o centro de masa(0) para cada observación
indicador de principal(2), centro de luz(1)	Si no
o centro de masa(0) para cada observación	en blanco
Si no	
en blanco	

Tabla 10.— Datos necesarios para el archivo de entrada en las opciones de cálculo de efemérides y representación de la órbita

Cálculo de efemérides	Representación de la órbita
Nombre de la estrella	Nombre de la estrella
Elementos orbitales	Número de observaciones de posiciones/velocidades
Ascensión recta	Elementos orbitales
Declinación	Si se representan posiciones
Magnitudes	Ascensión recta
Espectro de la principal	Declinación
Espectro de la secundaria	Observaciones:
Paralaje de Hipparcos	Época $\theta$ $\rho$ tipo(*)
Si se calculan posiciones	Indicador de centro de luz (si hay posiciones con respecto al centro de luz o estrella principal cl si no otra cadena de caracteres)
Número de observaciones	Si cl
Observaciones:	masa de la principal
Época $\theta$ $\rho$ peso	masa de la secundaria
Indicador de centro de luz (si hay posiciones con respecto al centro de luz o estrella principal cl si no otra cadena de caracteres)	diferencia de magnitudes
Si cl	elementos orbitales de la orbita cercana
masa de la principal	indicador de Principal(2), centro de luz(1) o centro de masa(0) para cada observación
masa de la secundaria	Si no
diferencia de magnitudes	en blanco
elementos orbitales de la orbita interior	(*)tipo: v→visual, s→speckle, i→interferométrica, f→fotográfica, c→CCD
indicador de Principal(2), centro de luz(1) o centro de masa(0) para cada observación	Si se representan velocidades
Si no	Magnitudes
en blanco	Espectro de la principal
Si se calculan velocidades	Espectro de la secundaria
Número de observaciones de velocidades	Paralaje de Hipparcos
Velocidades:	v0
Época v0A v0B v0B-v0A peso	Velocidades:
v0	Época v0A v0B v0B-v0A