

# Determinación del periodo de la orbita de una estrella binaria espectroscópica.

Nicolas Garavito-Camargo,<sup>1</sup> Benjamin Oostra<sup>1</sup>

## INTRODUCCIÓN

En astronomía a diferencia de la física no se pueden realizar experimentos ya que solo hay un universo observable. Por lo tanto de este se tiene que obtener toda la información posible por medio de observaciones y con estas poder entender los fenómenos físicos presentes en el universo.

A partir de estas observaciones en particular de la espectroscopía se obtiene información, sobre la abundancia de elementos químicos, las velocidades radiales, tasas de formación estelar, masas de estrellas etc.

Estas observaciones son de la radiación proveniente del universo y se hacen en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético. Estas longitudes de onda se dividen en: Microondas, Rayos X, Infrarojo, Visible, Radio, UV. La observación en estas frecuencias depende en gran medida de las ventanas presentes en la atmósfera terrestre. Las principales ventanas se encuentran en el rango visible y en ondas de radio por lo que muchos telescopios terrestres son de este tipo.

El objetivo de este trabajo es familiarizarse con las técnicas observacionales en astronomía en particular con el uso de espectros astronómicos, para esto se pretende observar una estrella binaria  $\varepsilon$  CRA y encontrar su periodo orbital a partir de la medición de su espectro. Este estudio por medio de espectros es muy utilizado en astronomía y estudiar estrellas binarias es de gran importancia ya que se estima que el 50% de estrellas en la vía láctea son binarias.

Por otro lado conociendo la órbita de estrellas es posible reconstruir el potencial gravitacional del sistema, lo cual es de bastante utilidad ya que muchas veces el potencial gravitacional no es conocido para sistemas complejos (Vía láctea). Reconstruir el potencial gravitacional del sistema binario se deja como complemento de este trabajo.

---

<sup>1</sup>Dept. de Física., Universidad de los Andes, Cra 1 N 18A- 12 Bogotá, Colombia. E-mail: jn.garavito57@uniandes.edu.co

## MARCO TEÓRICO

### Espectrografía

La espectrografía es una técnica en la cual la luz se descompone en las diferentes longitudes de onda. A partir de la intensidad de las diferentes líneas de emisión/absorción se pueden encontrar cantidades físicas, tales como la composición química, temperatura superficial, la masa, tasas de formación estelar y si hay presencia de medio interestelar se puede hallar la cinemática del gas. [2]

Conociendo los espectros estelares es posible reconstruir sintéticamente espectros de galaxias y así saber las poblaciones estelares presentes en cada galaxia y si se hace esto para galaxias con diferentes edades es posible ver como evolucionan las poblaciones estelares en las galaxias con el tiempo.

La espectrografía es la técnica mediante la cual se puede obtener más información de la radiación proveniente de los diferentes objetos celestes.

### Clasificación espectral de las estrellas

Esta clasificación se denomina clasificación espectral de Harvard en esta las estrellas se clasifican según su temperatura así:[2]

O-B-A-F-G-K-M-L-T

- O son estrellas de azules (calientes) de temperatura superficial entre 20000K y 35000K.
- B son estrellas azules-blancas de temperatura superficial de 15000K.
- A son estrellas blancas de temperatura superficial de 9000K.
- F son estrellas blancas-amarillas con temperatura superficial de 7000K.
- G son estrellas amarillas como nuestro sol con temperatura superficial de 5500K.
- K son estrellas naranjas-amarillas con una temperatura superficial de 4000K.
- M son estrellas rojas de temperatura superficial de 3000K.
- L son estrellas marronas con temperatura superficial de 2000K.
- T son enanas marrones con temperatura superficial de 1000K.

## Binarias espectroscópicas

Las estrellas binarias espectroscópicas solo se pueden detectar mediante sus espectros, sealan estos espectros muestran dos veces las líneas de absorción o emisión una con corrimiento hacia el rojo y la otra al azul debido al movimiento [poner referencia a nuestro espectro] orbital de las estrellas, donde la maxima separacion sera cuando una estrella se aleja de la linea de vision y la otra se acerca, el periodo de estas separaciones correspondera al periodo orbital de la binaria.

Para encontrar la velocidad relativa tenemos que:

$$\frac{v}{c} \simeq z = \frac{\lambda_o - \lambda_e}{\lambda_e} \quad (1)$$

## SELECCIÓN DE LA BINARIA A OBSERVAR

Para la selección de la estrella binaria a observar se tuvieron en cuenta diferentes características tales como:

- Visibilidad en nuestra ubicación, ( $AR > 16h$ , Declinación  $(-40^\circ, 80^\circ)$ )
- Magnitud aparente menor a 5, ( $M < 5$ ).
- La duración del periodo menor a 2 meses.
- Estrellas calientes para obtener mas líneas de emisión y así poder encontrar la órbita con mayor exactitud.

Después de tener en cuenta los parámetros en el catálogo de estrellas binarias [3] encontramos los siguientes candidatos:

Nombre	RA	DEC	Periodo (Días)	Tipo espectral	Magnitud
$\epsilon$ CRA	18h59m39s	$-37^\circ 05' 17''$	0.59	F0V	4.8
$\mu 1$ Sco	16h52m48s	$-38^\circ 04' 11''$	1.44	B1.5V	3.00

Entre estas dos estrellas se selecciono Epsilon de la Coronae Australis ( $\epsilon$  CRA) ubicada en la constelación de la Coronae Australis Fig. 2, ya que su período es el mas corto, pero tambien se tomaron espectros de  $\mu 1$  del escorpion.

## OBSERVACIONES

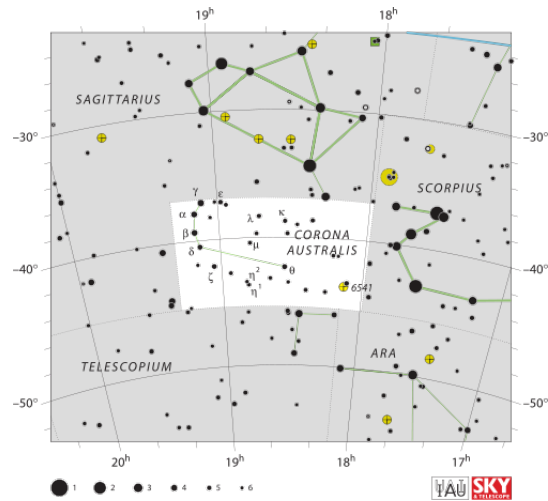
Todas las observaciones se han llevado a cabo en el observatorio astronomico de la Universidad de los Andes. A continuación se describen la instrumentación utilizada así como los protocolos de observación utilizados.

El montaje experimental que se utilizo se muestra en la Fig. ?? en el cual se ve el acople de las fibras ópticas al telescopio, por medio de estas fibras la luz es llevada hasta el espectrógrafo.

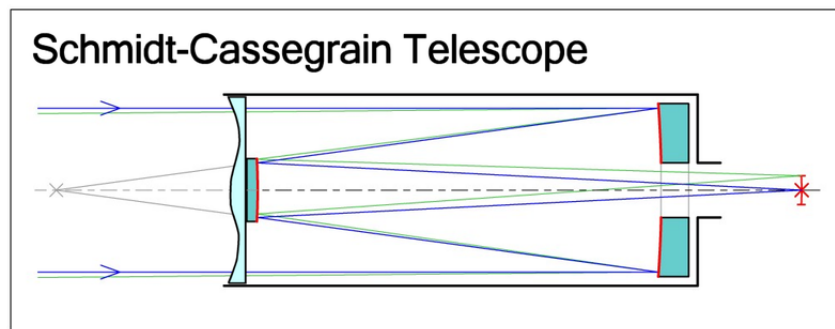
### Instrumentación

#### Telescopio

Se utilizó un telescopio marca Meade LX200 Schmidt-Cassegrain Fig.2 de 40cm de apertura y una distancia focal de 4m.



**FIG. 1. Corona Australis [5]**



**FIG. 2. Camino de luz en un telescopio Schmidt-Cassegrain [6]**

### *Espectrografo*

El espectrógrafo que se utilizó (Espartaco) Fig.?? es un espectrografo de alta resolución en el cual la luz del telescopio llega por medio de una fibra óptica, luego esta luz es descompuesta por una rendija de difracción y finalmente la radiación es recolectada en una CCD.

### *Software*

La reducción de datos se llevó a cabo con el software ISIS [4] el cual usa como referencia los espectros de las lámparas de calibración (de torio y tungsteno) para obtener los perfiles de los espectros tomados de las estrellas.

### **Protocolo de Observación**

Todas las observaciones se han llevado a cabo en el observatorio de astronómico de la universidad de los andes. Los datos acá presentados se tomaron las noches del 10, 13 y 16 de septiembre de 2013. En un intervalo de tiempo aproximadamente desde las 5pm hasta las 10 pm.

El protocolo de observación que se siguió fue el siguiente:

Nombre	Fecha	Hora
<i>Sept10EpscrA</i>	Septiembre 10	14.254
<i>Sept10EpscrB</i>	Septiembre 10	14.254
<i>Sept10EpscrC</i>	Septiembre 10	14.254
<i>Sept13EpscrA</i>	Septiembre 13	13.996
<i>Sept13EpscrB</i>	Septiembre 13	14.039
<i>Sept13EpscrC</i>	Septiembre 13	14.062
<i>Oct15A</i>	octubre 15	16.007
<i>Oct15B</i>	octubre 15	16.016
<i>Oct15C</i>	octubre 15	16.032
<i>Oct15D</i>	octubre 15	16.045
<i>Oct15E</i>	octubre 15	16.057
<i>Oct15F</i>	octubre 15	16.070

**TABLE 1. Espectros utilizados**

- Preparar el montaje, conectar el espectroscopio al telescopio haciendo de las fibras opticas.
- Tomar espectros de las lamparas de calibración
- Posicionar la fibra optica en el foco del telescopio
- Encontrar la estrella binaria  $\epsilon CRA$  y enfocarla en la fibra optica
- Tomar los espectros, entre 5 y 15 min cada uno.

## DISCUSION Y RESULTADOS

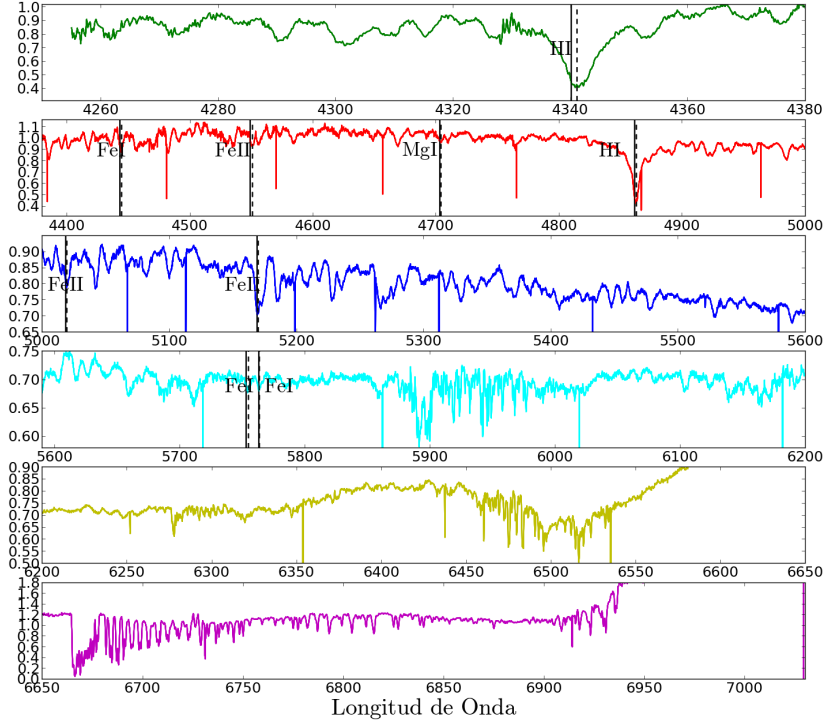
De los espectros observados para  $\epsilon CRA$  ninguno presenta lineas dobles [poner referencia de github con las imagenes], sin estas lineas dibles no es posible obtener informacion relevante sobre la orbita de la binaria. Por lo tanto con estos espectros calcularemos la velocidad radial del sistema, y se usaran los espectros de Spica (otra binaria) previamnete tomados en el mismo telescopio con el fin de hacer el analisis de la orbita de Spica.

### Velocidad radial de $\epsilon CRA$

En la tabla1 se encuentra un resumen de los espectros tenidos en cuenta para encontrar la velocidad radial.

Para hallar la velocidad radial primero identificamos las lineas que tengan mejor perfil (en su mayoria son las de FeI y FeII) es decir que no sean tan anchas y sobresalgan del continuo. En la Fig.3 se muestra las lineas que se escogieron para el *Oct15F*. Para hallar las longitud de onda observada se escogia respecto el centro de la linea i.e el punto en el cual la intensidad corresponde al FWHM.

Las barras de error corresponden al error a la hora de encontrar la longitud observada, así el error en logntiud de onda aparentemente no sea tan significativo



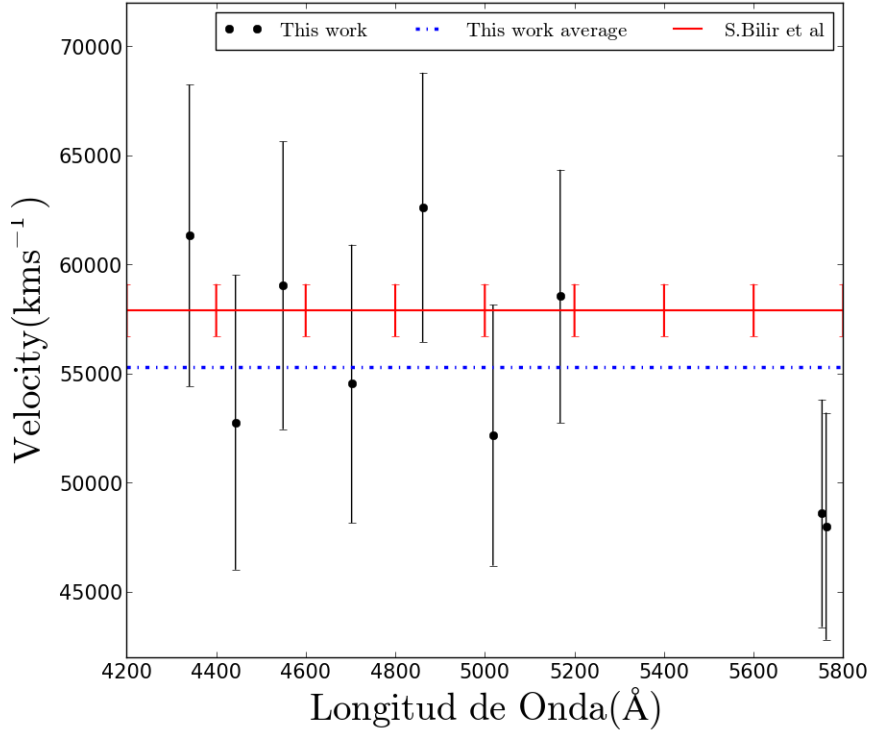
**FIG. 3. Espectros de  $\varepsilon CRA$  tomados el 15/oct/2013 las líneas punteadas corresponden a la longitud de onda observada, las líneas solidas corresponden a la longitud de onda emitida esta ultitma se tomo de [XXX]**

$\sim 0.1\text{\AA}$  este error en velocidad si es considerable  $\sim 7\text{km s}^{-1}$ .

Tambien hay presencia de líneas mezcladas, es decir en una aparante línea pueden haber dos o más líneas de distintos elementos. Esto hace que el centro de la línea se vea modificado lo cual cambiaria la longitud de onda observada, un método para evitar esto es ajustar funciones Gaussianas a cada una de las líneas y así separarlas y saber con exactitud el centro de la línea.

Haciendo uso de (1) se encontro la velocidad para cada línea Fig4 cuyo valor promedio fue de  $55.285 \pm 6.59\text{Kms}^{-1}$  el error porcentual respecto al valor reportado por ??  $57.9 \pm 1.2\text{Kms}^{-1}$  fue de 4.51%.

Con el fin de buscar algún indicio del la órbita en el espectro de  $\varepsilon CRA$  buscamos efectos tales como el ensanchamiento de la línea o alguna relación velocidad radial/fase. Donde la fase representa el moemnto en el cual el sistema binario esta.



**FIG. 4. Velocidad Radial de cada una de las líneas en función de la longitud de onda. La linea roja representa el valor reportado por S.Bilir et al (2005), la azul punteada el valor promedio encontrado con [nombre dle espectro] de  $v = 55.285 \pm 6.59 \text{ Kms}^{-1}$**

Para esto se utilizaron todos los espectros tomados en Octubre 15. En la Fig.5 se muestra como el centro de la linea se ve ligeremante afectado por la diferencia de tiempo en la que son tomados los espectros.

Todos los datos tomados estan disponible en:

<https://github.com/jngaravitoc/EpsCra/tree/master/data>.

El desarrollo para encontrar las velocidades radiales esta disponible en:

[http://nbviewer.ipython.org/urls/raw.githubusercontent.com/jngaravitoc/EpsCra/master/Spectra\\_analysis.py](http://nbviewer.ipython.org/urls/raw.githubusercontent.com/jngaravitoc/EpsCra/master/Spectra_analysis.py)

**Periodo Orbital de Spica**

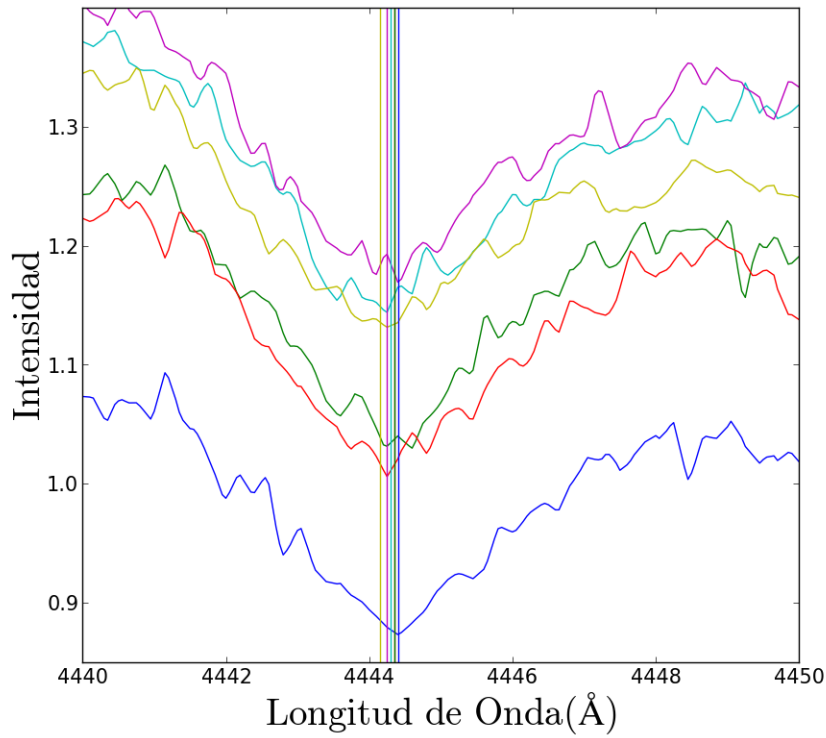
## CONCLUSIONES

## AGRADECIMIENTOS

JNGC agradece a BO por su infatible y tiempo asi como tambien a Juan Camilo Buitrago Astrónomo encargo del observatorio

## REFERENCIAS

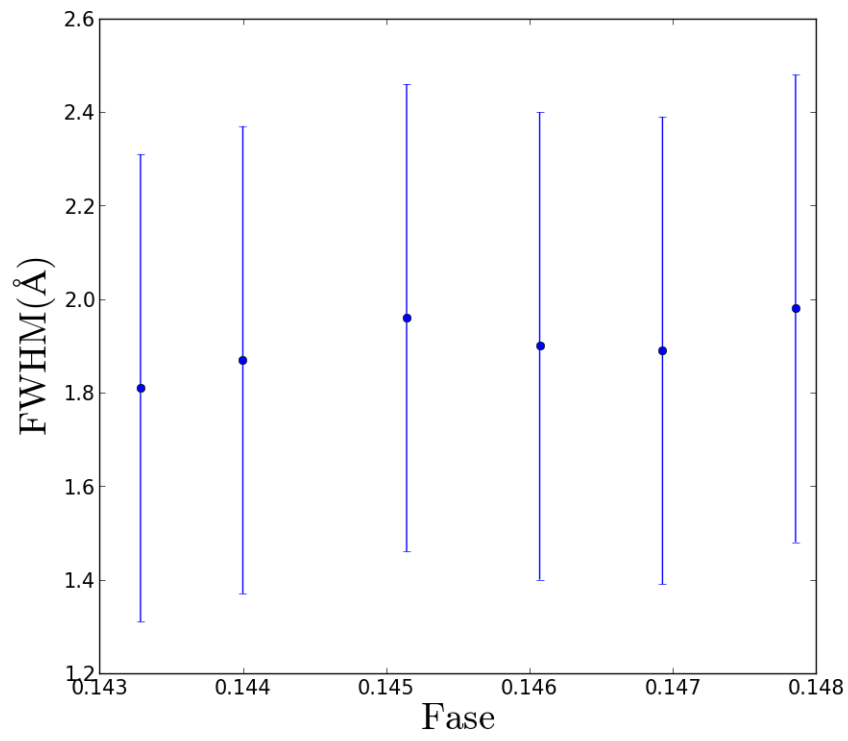
1. <http://ned.ipac.caltech.edu>



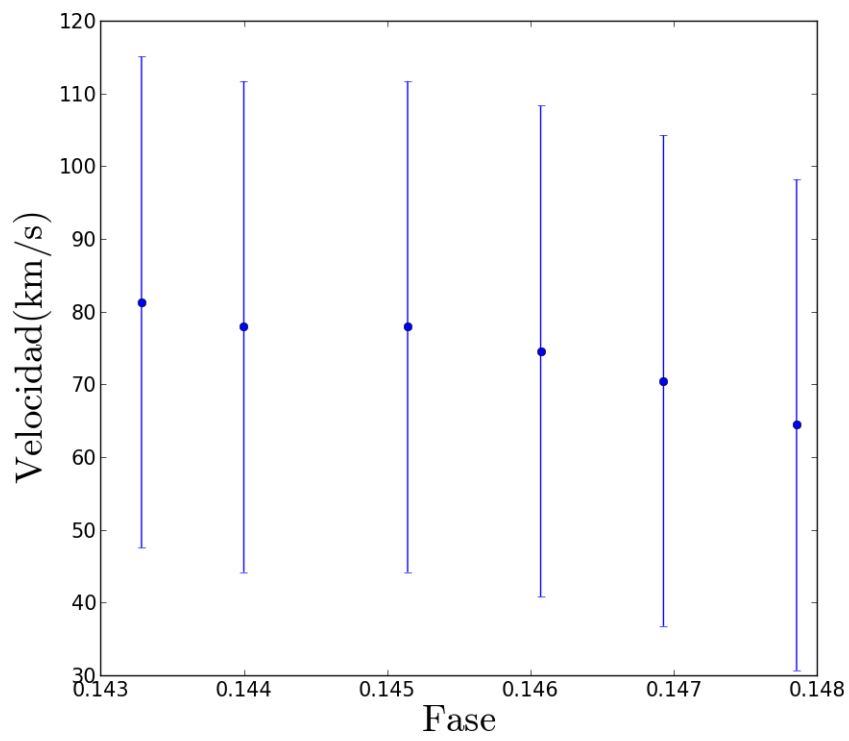
**FIG. 5. Velocidad radial para todos los espectros de Octubre 15.**

2. Karttunen, Fundamental astronomy 5th edition.
3. Alan H. Batten, J. Murray Fletcher and D. G. MacCarthy, <http://ad.usno.navy.mil/wds/dsl/SB8/>
4. [http : //www.astrosurf.com/buil/isis/isis\\_en.htm](http://www.astrosurf.com/buil/isis/isis_en.htm)
5. <http://www.iau.org/static/public/constellations/gif/CRA.gif>
6. <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Schmidt-Cassegrain-Telescope.png>
7. <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?Ident=>





**FIG. 6. Velocidad radial para todos los espectros de Octubre 15.**



**FIG. 7. Velocidad radial para todos los espectros de Octubre 15.**