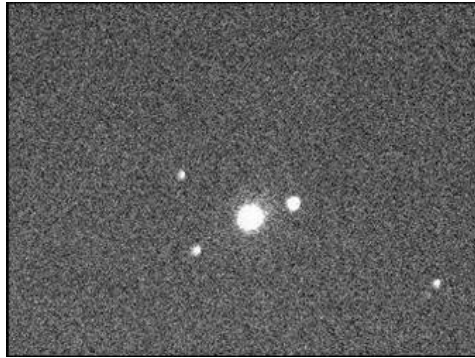


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE FÍSICA

XXVII JORNADA FACULTATIVA DE DESARROLLO CIENTÍFICO



Tema: Determinación de Distancias Angulares en Estrellas Dobles

Integrantes:

Br. Marcel Chow Martínez

Br. Carlos Alberto Aguirre Rodas

Tutor:

M.Sc. Javier Pichardo

18 de octubre de 2007

Índice

Introducción.....	3
Importancia.....	4
Objetivos.....	5
Instrumentos.....	6
Marco Teórico.....	7
Técnicas de Trabajo.....	8
Principios de Trabajo con IRAF.....	8
Desarrollo.....	9
Calibración de las Imágenes.....	9
Medición de la Separación Angular.....	10
Resultados.....	12
Beta Lyrae.....	12
Teta¹ (θ^1) de Orión.....	13
Teta² (θ^2) de Orión.....	14
Conclusiones.....	15
Recomendaciones.....	16
Anexos.....	17
Bibliografía.....	18

Introducción

Desde que el hombre empezó a plantearse interrogantes acerca de los cielos, tales como que pasara fuera de la Tierra? , por que brillan las estrellas? etc , hasta elaborar teorías que aportan ideas sobre el origen y evolución del universo decimos que surgió la apasionante y rigurosa ciencia de la astronomía, la cual a través del tiempo ha sufrido modificaciones colosales debido al avance de la tecnología y la aplicación de la misma en asuntos espaciales.

El presente trabajo llamado Determinación de Distancias Angulares para estrellas dobles ha sido realizado con el enfoque científico de mostrar y comprobar metodologías aplicadas en la astronomía para determinar distancias angulares de cuerpos celestes. En el aspecto técnico del asunto nos referimos a llevar a cabo las mediciones con el equipo con que cuenta el observatorio de la UNAN-Managua, para tomar imágenes de sistemas múltiples famosos y estudiados. Hemos elegido tres sistemas de fácil localización; Beta Lyrae y dos sistemas hermanos en la constelación de Orión, las fotos de estos tres sistemas las podemos encontrar en los anexos.

En pocas palabras una estrella doble es la denominación con la cual se le conoce a sistemas múltiples sin importar que esta tenga más de dos estrellas. Estos sistemas son dinámicos que se encuentran en rotación alrededor de un centro de masa común y cuyas estrellas nacieron simultáneamente. Esto significa que sus posiciones deberían de variar debido al giro, pero los sistemas elegidos presentan una variación mucho mayor que la vida humana por lo tanto se les considera prácticamente invariantes. Determinar la distancia angular, o sea la distancia aparente en el cielo, es entonces una practica astrometrica que obtiene valor a la hora de inferir detalles técnicos al analizar fotografías astronómicas.

Este trabajo muestra la posibilidad de construir ciencia en Nicaragua especialmente astronomía, ya que fue realizado en este país y con los equipos del observatorio de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. La determinación de distancias angulares en estrellas dobles es un trabajo astronómico muy interesante ya que debe usarse el programa IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) el cual es utilizado a nivel internacional para el análisis de imágenes astronómicas, otro aspecto importante es el uso y dominio del telescopio y sus accesorios.

Importancia

La importancia de nuestro trabajo radica en poder establecer una línea de investigación científica sobre todo en la rama de la astronomía, una ciencia poco común en Nicaragua pero tratamos de incentivar el estudio de la misma para poder llevar a cabo futuras investigaciones astronómicas, dado que en la UNAN-Managua está instalado el observatorio, pretendemos seguir realizando investigaciones para desarrollar esta disciplina. Inmediatamente el trabajo tiene la importancia de permitirnos evaluar los datos de fábrica del telescopio y la cámara con que dispone el observatorio lo que nos ayuda a consolidar nuestra seguridad de que los instrumentos funcionan correctamente lo cual es para el observatorio de gran interés ya que se trata de las herramientas con que trabajamos.

Objetivos

Objetivo general

- **Determinar distancias angulares de estrellas dobles pertenecientes a los sistemas de Beta Lyrae, Teta¹ (θ^1) de Orión y Teta² (θ^2) de Orión.**

Objetivos específicos

- **Tomar imágenes de las estrellas dobles previamente seleccionadas.**
- **Determinar las distancias angulares en los sistemas de estrellas dobles.**
- **Comparar las distancias angulares obtenidas con las de los catálogos astronómicos.**

Instrumentos

Para realizar este trabajo utilizamos los siguientes instrumentos:

- Telescopio Meade LX 90 Smith-Cassegrain de 8 pulgadas de apertura y foco 2000 mm.
- Cámara CCD (Charge – Couple Device) ST-237A.
- Paquete Astronómico IRAF (Image Reduction and Analysis Facility).

Marco Teórico

Ya que nuestro principal interés es el de obtener las distancias angulares de sistemas dobles, será bueno comenzar por explicar la parte astrométrica del problema. Veamos al cielo como una esfera que envuelve a la Tierra en el centro, lo que reducirá nuestro problema a un caso más de astrometría (la localización de objetos celestes en el cielo). Existen varios sistemas de coordenadas celestes que nos sirven para la localización de objetos en el cielo, pero el más sencillo de utilizar (y útil para nuestro caso) es el de las coordenadas locales que consisten en suponer a nuestro observatorio como en el centro de un disco, por encima del cual se encuentra el cielo y debajo el suelo, y al horizonte como los bordes de este disco. De esta manera podemos tomar al norte celeste como el punto cero y una vuelta completa alrededor del horizonte (azimut) será dividida en veinticuatro horas; mientras que de un punto del horizonte hacia el punto exacto sobre nuestras cabezas, el cenit, serán divididos en 90 grados, por lo que del norte al cenit al sur nos encontraremos con 180 °. De esta manera podemos hablar claramente de distancias y tamaños angulares, por ejemplo, el Sol y la Luna ocupan aproximadamente cada uno en el cielo 0.5 ° de diámetro. Este sistema es útil localmente hablando para dar con la orientación de nuestro telescopio para con dos objetos en nuestro campo.

No obstante las coordenadas de objetos en los catálogos están dadas en el sistema ecuatorial, que es una proyección directa de la latitud y longitud terrestre sobre el cielo (ascensión recta y declinación). Este segundo sistema de coordenadas es el que nos permite ubicar los objetos en la esfera celeste, contando con la ventaja de que estas coordenadas son las mismas sin importar en que observatorio sean tomadas las medidas.

Esto nos deja con la tarea de encontrar cuál es nuestro campo visual con el equipo y el telescopio, para lo cual primeramente examinaremos un poco más en detalle acerca de la naturaleza de las estrellas dobles observadas. Entonces, estrella doble es el nombre con el cual se les designa generalmente a sistemas múltiples de estrellas que a pesar del nombre no excluye a sistemas con más de dos componentes. No obstante si hablamos claramente nos referiremos a sistemas compuestos solo por dos estrellas. Esto es, estrellas que a primera vista parecen ser un solo objeto pero al observar con más detalle (utilizando un telescopio) nos damos cuenta que corresponden verdaderamente a dos objetos. El motivo por el cual estos sistemas se vean tan próximos al ser observados puede tener naturaleza variada; puede que las estrellas sean hermanas y representen verdaderos sistemas físicos que estén en rotación alrededor de un centro de masa común. Sin embargo también puede ser el caso que ambas estrellas simplemente se encuentren en la misma línea visual, o próximas a ellas siendo solo una coincidencia el hecho de observarlas tan cerca una de la otra aunque en realidad se encuentren bien lejanas. No es difícil saber si una estrella doble pertenece a este tipo, ya que no presentarían movimiento; una respecto a la otra, pero si puede ser posible que el sistema tarde mucho en presentar algún movimiento debido a que presentan un largo periodo.

Las estrellas binarias que nos resultaran de importancia son las conocidas binarias visuales, llamadas así debido a que estos representan verdaderos sistemas múltiples que son observados visualmente con ayuda de un telescopio. Generalmente conforman sistemas abiertos de periodos muy largos que pueden ser tomados como estrellas inmóviles debido a que su movimiento solo es observado después de tiempos mucho mayores a las vidas de los hombres. Vale decir que casi todas las estrellas del cielo conforman sistemas dobles o múltiples, y que nuestro Sol es una clara excepción a esta regla. Este último hecho es importante para la existencia de la vida, ya que las turbulencias gravitacionales en un sistema binario habrían imposibilitado la aparición de planetas como la Tierra.

Las estrellas binarias han sido estudiadas ya durante bastante tiempo siendo Herschel, en 1779, el que iniciase las observaciones de modo serio respecto a ellas. Se han efectuado numerosos estudios acerca de ellas, debido a que existe una gran importancia desde el punto de vista de la mecánica celeste porque permiten determinar de manera bastante precisa las masas estelares.

Técnicas de trabajo

Si lo que nos interesa es ver la separación de dos objetos, podemos recurrir a la óptica para saber el poder resolutivo del telescopio. Esto es, la capacidad de ver separado dos objetos muy próximos, que esta dado por la formula empírica:

$$PR = 120 : D$$

Donde PR es el poder resolutivo y D es la apertura del objetivo. Para nuestro telescopio con un objetivo de 200 mm esta cantidad es 0.6". Esta es una resolución teórica que se ve afectado por el efecto difractorio de la atmósfera sobre la luz que entra a la Tierra desde el espacio. Verdaderamente es muy raro poder bajar de 1" incluso con los mejores telescopios del mundo, exceptuando claro esta por el telescopio espacial Hubble.

De todas maneras esta resolución teórica necesita de un buen aumento con tal que no se fatigue la vista, lo cual puede ser obtenido mediante:

$$Aumento = 240'' : PR$$

Con lo cual para observar el mas mínimo poder resolutivo que tenemos necesitaremos de un aumento de 400.

Podemos discutir el campo aparente del chip, tomando en cuenta que este es rectangular de 4.7×3.6 mm, por lo cual mediante

$$C = (T : F) \times 57,2958$$

Donde T es el tamaño del chip y F es la longitud focal del instrumento. El valor de 57,2958 no es mas que el valor angular del radian. Esto nos da un campo de 8.1×6.2 min., que es nuestro campo de visión. Es importante darse cuenta que no podrán observarse objetos mas separados que la hipotenusa de esta distancia, ósea, uno en cada vértice opuesto de la foto, que es igual a 10,2 min., lo que es 612,0 ''.

Principios de trabajo con IRAF

IRAF (Image Reduction and Analisis Facility) es el sistema de reducción y análisis de datos astronómicos mas famoso e importante de la actualidad, que fue diseñado por un grupo de programadores de la National Optical Astronomy Observatories (NOAO) en Tucson, Arizona. Este sistema de paquetes astronómicos es utilizado a nivel profesional en los grandes observatorios del mundo, incluido el telescopio espacial HUBBLE para el que fue originalmente diseñado. IRAF trabaja en la plataforma de Linux (o UNIX), por lo cual se trata de un sistema bien versátil que permite una gran fluidez a la hora de manipular imágenes, teniendo el único inconveniente de que se trata de un sistema algo raro para los usuarios solo acostumbrados a los sistemas de ventanas de WINDOW. Además, IRAF cuenta con sistemas de visualización de imágenes, sistemas de limpieza y paquetes de cálculo de magnitudes de imágenes.

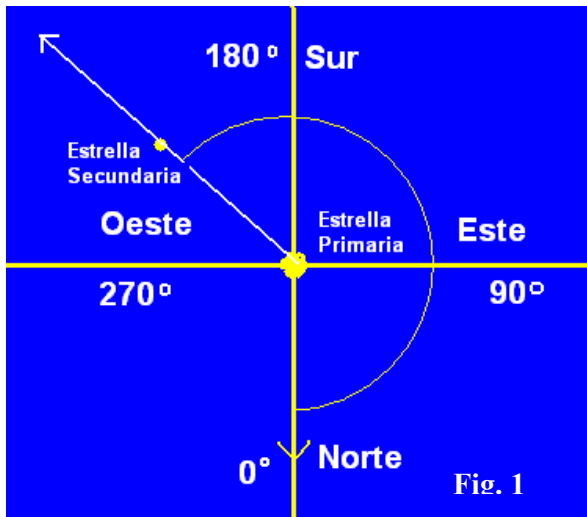
Desarrollo

Para este trabajo se han seleccionado tres sistemas múltiples de gran fama y que son objetos de estudio por su sencillez de captura (toma de fotografía) tanto para astrónomos aficionados como para profesionales; se trata del más famoso sistema múltiple Teta¹ (θ^1) de Orion mejor conocido como el Trapecio. Además, contaremos con el sistema hermano de este, Teta² (θ^2) de Orion, ambos sistemas pueden aparecer en una misma foto por lo cual no se necesita mucho esfuerzo para hallar cada uno (basta encontrar a uno para tener el otro al lado). Finalmente hemos elegido el sistema Beta de Lyrae, que también es un sistema múltiple de estrellas. Las fotos fueron tomadas desde el Observatorio Astronómico Centroamericano de la UNAN-Managua, y los datos aceptados para los sistemas aparecen a continuación*:

Nombre	R.A.	Dec.	Magnitud	Separación	Posición Angular
Teta ¹ (θ^1) de Orion	5 ^h 35.3 ^m	-05 °23'	6.78	8.8'',12.8'',21.5''	31 °,132 °,96 °
Teta ² (θ^2) de Orion	5 ^h 35.4 ^m	-05 °25'	5.2	52.5'',128.7''	92 °,97 °
Beta de Lyrae	18 ^h 50.1 ^m	33 °22'	7.8	46'',67'',85''	149 °,318 °,19 °

(*Datos obtenidos de SKY & TELESCOPE y Astronomy)

Las magnitudes presentadas aquí corresponden a la estrella más brillante del sistema, que llamaremos estrella primaria, y ella será la que representara nuestra referencia a la hora de medir la posición angular. La posición angular no es más que el ángulo barrido entre una línea imaginaria que une a la estrella primaria con el norte celeste y la línea que une las dos estrellas a determinar, siguiendo el sentido azimutal (con el norte en 0 °, el este en 90 °, etc.). la figura 1



muestra claramente el caso para dos estrellas. En los sistemas múltiples la estrella primaria será siempre la más brillante, y todas las posiciones de las demás estrellas tienen que medirse con respecto a esta. Estos son los datos que aparecen en la tabla antes vista. También es importante que, si las dos estrellas están muy cerca, la magnitud de la estrella principal con respecto a la estrella secundaria no se exceda en brillo más de 3 magnitudes. Esto es que las dos estrellas tengan aproximadamente el mismo brillo, o por lo menos no muy debajo. En el caso del sistema de Orion 2, la magnitud de las otras dos estrellas está alrededor de 6 y 9; sin embargo las distancias entre estas estrellas son relativamente grandes hablando angularmente,

por lo cual las estrellas son observables. Si las estrellas están más cerca, el brillo de la estrella principal provocaría que la estrella secundaria quede “tapada” prácticamente, lo cual no ayudaría a verla. De utilizar un menor tiempo de exposición, no conseguiremos tomarla en la foto. Así, lo conveniente es utilizar para nuestro propósito estrellas que aproximadamente tengan la misma magnitud (recordemos que las magnitudes son medidas exponenciales y que representan una diferencia de 10 entre una y otra).

Calibración de las Imágenes

Como se mencionó anteriormente, a pesar del poder resolutivo del telescopio, muy difícilmente se logra conseguir la resolución teórica, debido a efectos difractorios de la atmósfera, el calor térmico generado por la cámara y la suciedad y humedad del ambiente. Esto es, tomado las fotos se necesita hacer una “limpieza” de calibración para intentar obtener las

imágenes lo mas libre posible de las suciedades producidas por los inconvenientes antes mencionados. Recordemos primero que la cámara CCD trabaja bajo el principio del efecto fotoeléctrico, a partir de una matriz de cuentas, cada una destinada a ser un píxel en la computadora, y que debe de trabajar de manera aproximadamente independiente (para reflejar un valor independiente de los otros píxeles). El cálculo del número de fotones que llegan a la cuenta y sueltan electrones es lo que construye la imagen. Pero los electrones no solo son arrancados por los fotones en la práctica, sino también por el denominado ruido de fondo. Este ruido es generado en primer lugar por las corrientes eléctricas del aparato (la propia cámara CCD) y para eliminarle aprovechamos la ventaja de que es de naturaleza aleatoria; no es muy probable que el ruido se distribuya en los mismos píxeles en cada imagen. Este ruido no depende del tiempo así que tomamos una serie de imágenes de tiempo “cero”, a las que llamamos **BIAS**. Esta claro que no es posible en la práctica realizar imágenes de tiempo cero, la cámara entonces utiliza su menor tiempo de exposición para realizarlas y deja el obturador cerrado con tal de no recibir luz del exterior.

El ruido térmico, por su lado produce corrientes “oscuras” que deben ser eliminadas con fotos que tengan la duración de tiempo de las imágenes tomadas; a estas se les conoce como **DARK** y deben ser tomadas justo después de tomar las imágenes, con el obturador de la cámara cerrada (y el telescopio tapado para disminuir el riesgo de que entre luz a la cámara).

La suciedad del telescopio es un parámetro a tomar en cuenta y para esto tomamos los **FLAT** o imágenes planas. Se necesitan hacer con suficiente luz para ver el polvo de la cámara, pero que no lleguen a saturar el chip de la CCD, por esto es recomendable tomarlas al atardecer cuando el sol esta bajo el horizonte pero su luz todavía nos alumbra. El tiempo del flat dependerá del tiempo de saturación de la imagen.

Tanto para los bias, dark y los flat es recomendable tomar series de 5 o 10 tomas de cada uno (si utilizáramos filtros necesitaríamos además tomar los flat de cada filtro y de los dark). En cada caso la técnica de reducción de las imágenes es hacer promedios de cada uno (bias, dark y flat) y después pasar estas a las imágenes tomadas. Esto se realiza mediante la paquetería de IRAF, y debe de hacerse antes de realizar los cálculos numéricos con tal de darle mayor precisión a las imágenes. Esta limpieza, valga decir, no eliminara los efectos de la turbulencia atmosférica y del **seeing**, con los que tendremos que aprender a vivir, a menos que contemos con un telescopio espacial.

Medición de la Separación Angular

La medición de la separación angular puede hacerse con el programa de visualización de IRAF directamente. También podemos imprimir las imágenes y hacerlo manualmente con lápiz y regla en mano, pero hemos confiado en IRAF, que además nos permite hacerlo de manera mas barata y precisa. La técnica será la misma; encima de la imagen crearemos un sistema de coordenadas XY y pondremos el punto (0,0) en alguna parte de la foto. Nosotros lo supusimos en la esquina inferior izquierda (este es el sistema que IRAF crea automáticamente encima de la foto al visualizarla), de esta manera todos los valores de medida nos darán positivos. A cada imagen, entonces, se le asigna una coordenada (X,Y); sea la coordenada de la estrella 1 (X_0, Y_0) y la de la estrella 2 (X_1, Y_1), tal como indica la figura 2. Entonces la distancia entre las dos estrellas en la foto no es más que:

$$d_{\text{coo}} = \sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2} \quad , (1)$$

, que nos dará el valor lineal de la escala con la que estamos trabajando la foto.

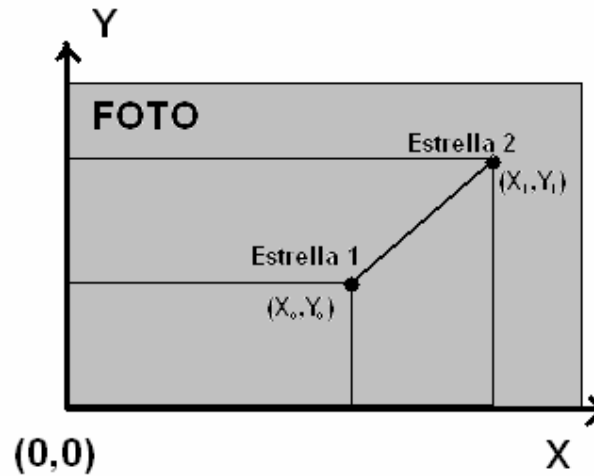


Fig. 2

En el caso de que esto se haga manualmente con lápiz y regla, las unidades de d_{coo} dependerán de las de la regla, y la transformación tendrá que hacerse tomando las consideraciones descritas en las Técnicas de Trabajo. Como no existe el más mínimo motivo para pensar que este valor sea diferente utilizando IRAF, nosotros trabajamos con el programa. IRAF al desplegar una imagen inmediatamente se hace con un sistema de coordenadas; las unidades de estas coordenadas son los píxeles de la foto, y por lo tanto nos detendremos aquí a hablar un poco de este aspecto. Nuestras fotos fueron tomadas con una resolución 2×2 , lo que significa que la foto fue tomada con el campo antes descrito pero con la mitad de los píxeles utilizados. Es fácil entender esto si suponemos una red de cuadrículas donde cada cuenta es un píxel. Podemos reducir la resolución a la mitad si tomamos cada 4 cuentas como una sola (figura 3); por lo

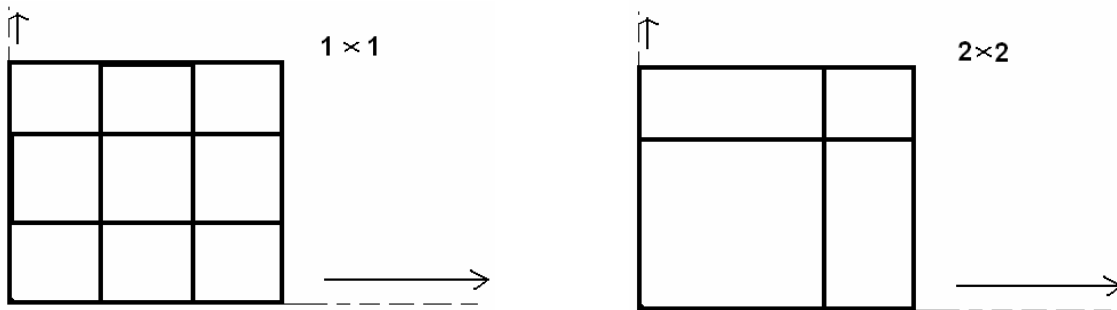


Fig. 3

tanto cualquier distancia encontrada debe multiplicarse por 2 para conseguir la distancia real del chip. Así digamos, el chip de la cámara trabaja a su máxima resolución con un arreglo de 657×495 píxeles (el cual es un dato de fabrica), con la resolución 2×2 trabajara a razón de 327×247 aproximadamente. Nosotros lo hicimos de esta manera ya que las fotos con las que contamos habían sido sacadas en este formato que permite la cámara sin percatarnos de este detalle al iniciar la práctica. La cámara también permite trabajar en formato de 3×3 . El factor de dos es tomado en cuenta en los resultados hasta el final.

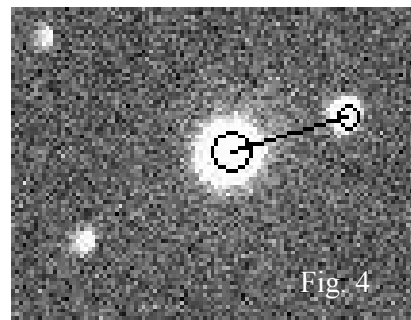
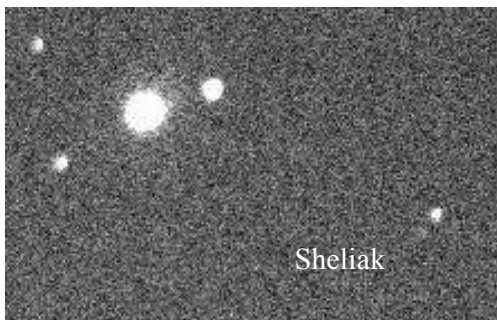
Si no lo tomamos en cuenta (en el caso de 1×1) el factor de conversión es

$$d_{\min} = \frac{8.1}{657} d_{\text{coo}} \approx \frac{6.2}{495} d_{\text{coo}} \approx (0.0124) d_{\text{coo}}, \quad (2) \quad \text{en minutos de arco.}$$

Si queremos la respuesta en segundos de arco basta multiplicar por 60 para conseguirlo. En IRAF, el programa visual da directamente las coordenadas con solo pinchar un punto de la imagen.

Resultados

No son necesarias muchas fotos para realizar la práctica. De hecho basta con una imagen bastante clara. Pero podemos tener problemas al tratar las estrellas y a la hora de decidir desde donde medir. Fijémonos en el sistema de Sheliak abajo. Aquí es obvio cual es la estrella primaria, pero es difícil decidir cuales van a ser las coordenadas que se tomaran. En la figura 4 damos un acercamiento al sistema principal y vemos que alrededor del centro de la estrella puede crearse un círculo y no es muy sencillo decidir en que parte de ese círculo se encuentra la

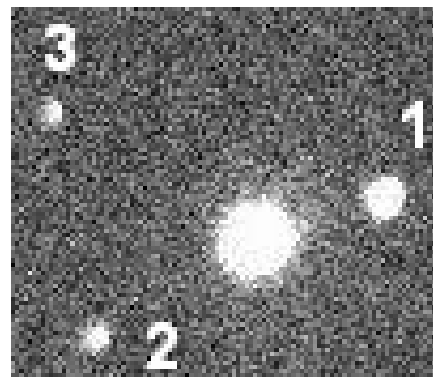


estrella. Las estrellas no son puntuales, pero el disco que vemos en la foto es debido a la aberración de la luz en el telescopio y en la cámara, además de los efectos de turbulencia antes mencionados. Las distancias de la Tierra hasta las estrellas son lo suficientemente largas como para tomarlas como objetos puntuales.

A cada sistema se le han tomado tres fotos con las que trabajamos. Estas fotos están debidamente calibradas, pero lo más importante es que están en el filtro b, donde es menos la luz que entra permitiendo distinguir mejor los objetos separados.

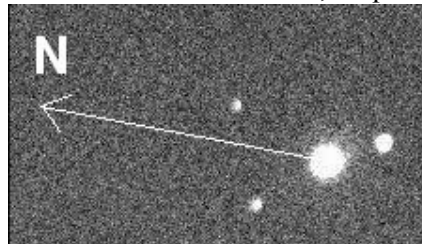
Beta – Lyrae

Ponemos adjunto una imagen del sistema de Beta-Lyrae que fue ocupado para realizar los cálculos. La figura también define la numeración que nosotros hemos dado a las estrellas. Esta numeración la hemos elegido por la distancia aparente en orden de alejamiento, pero es obvio que este número no importa mucho. Lo que sí es importante es no confundirse de una estrella a otra. Ponemos una tabla con los resultados:



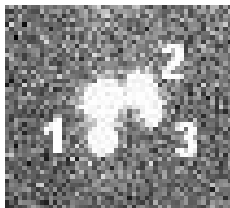
	X_B	Y_B	X	Y	d_{coo}	d_{arcseg}
1	169.0	94.0	198.0	105.0	31.0	45.9
	169.0	98.0	200.0	108.0	32.6	48.2
	169.0	93.0	198.5	103.0	31.1	46.1
					Promedio	46.7
2	169.0	94.0	131.5	72.0	43.5	64.3
	169.0	98.0	132.5	75.0	43.1	63.8
	169.0	93.0	131.5	70.5	43.7	64.7
					Promedio	64.3
3	169.0	94.0	121.0	124.0	56.6	83.7
	169.0	98.0	122.5	128.5	55.6	82.3
	169.0	93.0	121.5	123.0	56.2	83.1
					Promedio	83.0

Esto nos da un error de 1.5%, 4.0% y 2.4% respectivamente, atribuido a la incerteza antes mencionada de no poder definir con exactitud las coordenadas de las estrellas. Las coordenadas que hemos tomado están referidas con respecto al centro de los discos en las imágenes. La posición angular es más difícil de medir y tendremos que recurrir a imprimir la imagen y localizar el norte. Esto puede ser hecho durante la noche de observación, pero también pueden ser usados algunos paquetes astronómicos de observación. Como sea aquí el error crecerá mientras más indefinida quede la dirección hacia el norte, la que mostramos a continuación:



Si este es el norte entonces los ángulos obtenidos son 152 °, 316 ° y 18 °, lo cual está en muy buen acuerdo dentro del error, que esperaríamos fuera más alto, observando que tenemos un desfase de 1 o 2 °.

Teta¹ (θ^1) de Orión



Esta fue sin lugar a dudas el más difícil sistema de medir y el que más problemas nos dio, debido a que las estrellas están bien juntas y es sumamente difícil encontrar las coordenadas de medición de los discos. Especialmente difícil para la estrella 2 y 3 que están tan próximas a la estrella primaria que no se sabe cuando termina una y comienza la otra. Veamos los datos recogidos:

	X_0	Y_0	X	Y	d_{coo}	d_{arcseg}
1	248.00	191.00	248.50	200.50	9.51	14.07
	247.00	191.50	247.00	199.25	7.75	11.47
	243.25	173.75	244.50	182.50	8.84	13.08
				Promedio	12.87	

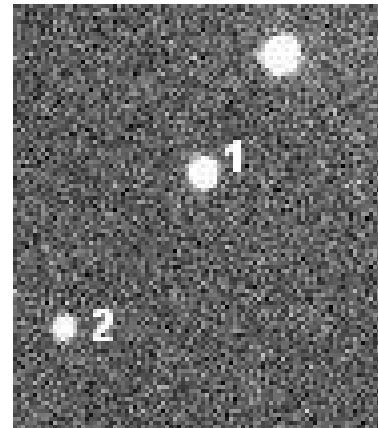
2	257.00	202.50	247.00	200.00	10.31	15.25
	256.00	201.50	247.50	199.00	8.86	13.11
	256.50	201.30	248.90	198.80	8.00	11.84
	Promedio					13.40
3	259.00	198.00	247.75	200.25	11.47	16.97
	258.50	196.25	247.00	199.75	12.02	17.78
	259.25	196.00	248.25	199.25	11.47	16.97
	Promedio					17.24

Con un error estafalario de 0.55%, 52.27% y 19.81%. Como mencionamos la posición de la estrella 2 y 3 esta bien indeterminada y es lo que causa el error tan grande en el trapecio. La estrella 1 que es la que tiene aproximadamente una magnitud comparable a la primaria se encuentra mejor en sus datos. En las posiciones angulares la situación se repite; aquí los datos son: 60 °, 305 ° y 347 ° en donde ni siquiera la estrella 1 nos da un valor aceptable.

Teta² (θ²) de Orión

Teta 2 de Orión es un sistema de 3 estrellas que quedan muy cerca del trapecio y es fácil capturar ambos sistemas en una sola foto. Adjunto tenemos una imagen que presenta al sistema y muestra a la estrella principal y a las dos estrellas hermanas con su respectiva numeración.

Este sistema es muy fácil de tomar y, además presenta estrellas que están en muy buena disposición por lo que esperábamos que no hubieran problemas en lo absoluto para calcular tanto las separaciones como las distancias angulares. Los datos se presentan en la tabla de abajo:



	X ₀	Y ₀	X	Y	d _{coo}	d _{arcseg}
1	159.0	176.0	140.0	146.5	35.1	51.9
	159.0	175.0	139.5	145.5	35.4	52.3
	160.0	175.0	139.5	146.0	35.5	52.5
	Promedio					52.3
2	159.0	176.0	105.5	108.0	86.5	128.0
	159.0	175.0	104.5	107.5	86.8	128.4
	160.0	175.0	105.5	107.0	87.1	128.9
	Promedio					128.4

Por lo tanto el error en este caso será de 0.3% y 0.2% con respecto a los datos aceptados. También en los ángulos este sistema se encuentra mejor con un 87 ° y 93 °, que presente un desfase de 5 ° aproximadamente.

Conclusiones

Tenemos tres sistemas de estrellas bastante famosos a los que se les conoce los datos previamente. El sistema Beta Lyrae nos dio un resultado favorable, obtuvimos errores del orden de 4 a 1%, y los ángulos obtenidos tuvieron un desfase de aproximadamente 1 o 2 grados; este es un sistema alejado en el que es fácil reconocer cuales son las estrellas a pesar que la diferencia de magnitudes es de mas de 5 en brillo.

Por su parte el sistema de Teta¹ (θ^1) de Orión fue un sistema muy difícil de manejar, por el gran acercamiento entre sus componentes fue difícil diferenciar entre una estrella y otra; estas son estrellas que tienen una diferencia de magnitud de 2 y 3, recordando que eso es una diferencia de luminosidad de mas de 100, vemos que las estrellas componentes son muy poco brillante con respecto a la estrella principal, tanto que el brillo de esta tapa al de las otras y de aquí es que surgen los terribles errores que se obtuvieron. Además en este sistema todas las estrellas secundarias estaban a una distancia de 20'' o menos, por lo que era muy difícil diferenciarlas dados los discos de luz que se traslapaban. Los ángulos observados tuvieron problemas mucho mayores.

El sistema de Teta² (θ^2) de Orión fue el que mejor resultado nos dio. En este caso las estrellas tienen una diferencia de magnitudes de 1.5, y se encuentran alejadas por más de 50'' y se obtienen muy buenos resultados inclusive con los ángulos con un desfase de 5 grados. Tomando en cuenta que fueron medidos con la precisión que corresponde a un simple transportador. El error en este caso es menor que el 0.5% para las dos estrellas medidas.

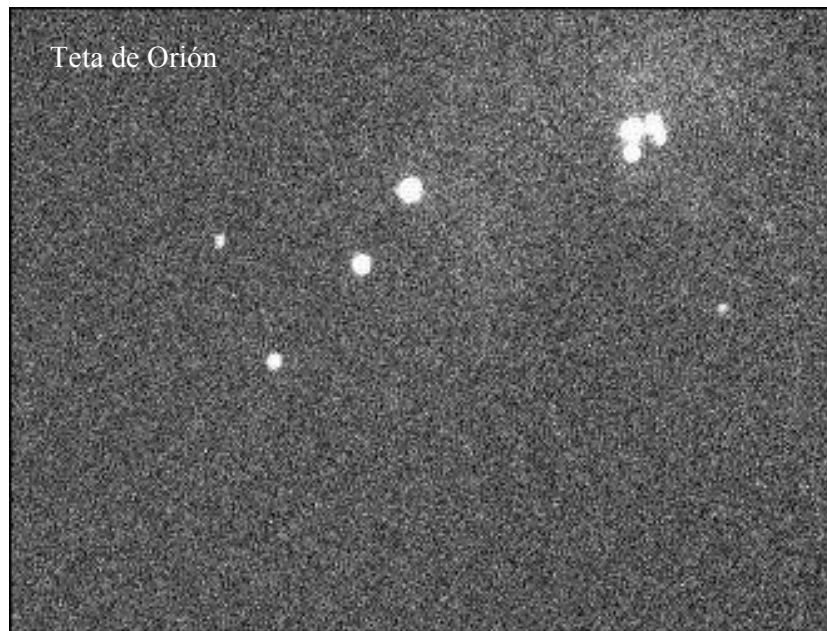
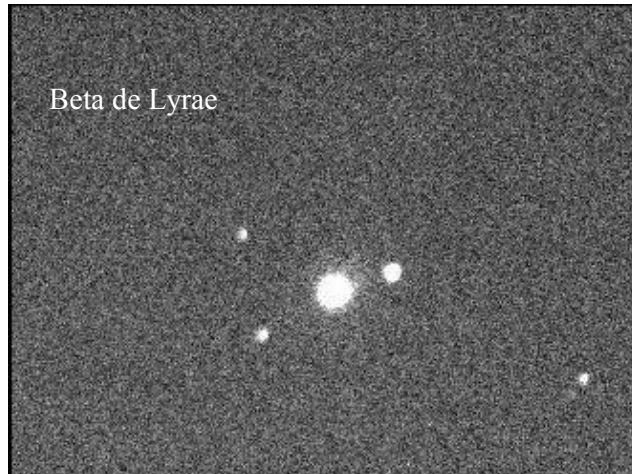
En conclusión, los valores son muy buenos para estrellas que se encuentran distanciadas sin importar mucho que su diferencia de magnitud sea muy grande; esto por lo menos en una distancia de 20'' como mínimo según lo encontrado en este trabajo. Por otro lado por debajo de esta distancia y mientras la diferencia de magnitudes sea mayor, será mas difícil diferenciar objetos separados. A pesar de que el poder de resolución "teórico" nos muestra que es posible, esto dependerá de los efectos atmosféricos y de la diferencia de magnitudes entre los componentes.

Recomendaciones

Podemos recomendar que se realice esta practica nuevamente con otras estrellas dobles para construir un catalogo del observatorio. Recomendamos que esta práctica sirva de guía de laboratorio para las futuras clases de astronomías que vayan a impartir en la UNAN-Managua, donde proponemos también que se imparta un curso de IRAF para calibración de imágenes y manejo de los programas visuales.

En base a los resultados, recomendamos que cuando se repita esta practica se realice con estrellas dobles de una separación de mas de $20''$ en donde las dos estrellas tengan una magnitud comparable, y con el filtro b donde la cantidad de luz que entra es menor y mas fácil distinguir objetos separados. Si se miden objetos más cercanos a los $20''$ recomendamos que estos no sean muy brillantes (no menos de magnitud 6 por lo menos) y que entre las dos no haya una gran diferencia de magnitud. También que se utilice una resolución 1×1 para que los cálculos no se complique demasiado.

Anexos



Cortesía del Observatorio Centroamericano de la UNAN-Managua. Fotos tomadas por Marcel Chow Martínez, Carlos Alberto Aguirre Rodas y el astrónomo asistente de turno.

Bibliografía

- Kizer Whitt, Nelly. “Double Trouble”. *Astronomy*, September 2000. Vol 28, No. 9. Pagina 56.
- Argüelles, Luis. “Double Star: The Spirit of 33”. *SKY & TELESCOPE*, February 2000. Vol. 99, No 2. Pagina 111.
- Teague, Thomas. Double-Star Measurement Made Easy. *SKY & TELESCOPE*, July 2000. Vol. 100, No 1. Pagina 112.
- Garcia Montano, Humberto. “Curso de Procesamiento de Imagenes Astronomicas con IRAF (Image Reduction and Analisis Facility)”.
- Sitio web: www.astrored.org