

Catalog of stationary bowshock arcs in the Orion Nebula

Alumno: Luis Angel Gutiérrez Soto
Tutor: Dr. William Henney

20 de mayo de 2014

1 Metodología

1.1 Formas de los arcos

Como primer paso para la caracterización de los objetos LL, determinamos la forma de los arcos de los choques estacionarios, esto lo hicimos usando ds9 SAO image y las respectivas imágenes de Bally es decir, las fotografías tomadas con la cámara WCS con el filtro F656N como ya había dicho anteriormente. En este orden de ideas una vez que ya habíamos identificados las estrellas en los correspondientes campos de Bally. Ubicamos las posiciones de las estrellas jóvenes y de la misma manera las posiciones de los arcos. En este orden de ideas en las imágenes FITS y usando las herramientas de ds9, establecimos las regiones que conforman los objetos LL con puntos es decir; para establecer las posiciones de las estrellas se usaron círculos, para delimitar el borde externo y desde luego determinar las coordenadas de la cáscara chocada se usaron “x” y para el borde interno “cruses (+)”, como se logra ver en la figura 1 y es así como trazamos y medimos las posiciones de las diferentes componentes de nuestros objetos LL.

1.2 Estimación de los parámetros. D , R_0 , R_c y h_0

El propósito de trazar los arcos hiperbólicos es que con esa información pudimos estimar varios parámetros observacionales, que nos permitieran extraer información acerca de los choques. En este orden de ideas, una vez que ya teníamos las posiciones tanto de las componentes de los choques como de la estrella misma se pudo establecer la distancia D , desde la fuente a θ^1 Ori C. De la misma manera se midió R_0 , este radio lo vamos a definir como la distancia a lo largo del eje de simetría de la estrella al borde externo o interno, dependiendo de cual sea el caso, que por lo general es la dirección a la que se encuentra θ^1 Ori C. Los resultados de tales mediciones las podemos ver en la figura 2, teniendo en cuenta que tal gráfica representa el cociente $R_0(\text{out})/R_0(\text{in})$ en función de la distancia a θ^1 Ori C, hay que aclarar que tenemos dos radios debido a que tenemos un

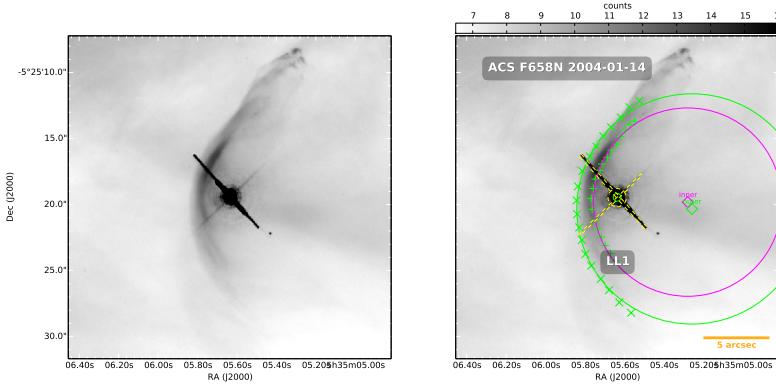


Figura 1: Formas de los arcos para LL1

borde externo e interno.

Por otro la lado, se han determinado los radios de curvaturas R_c , que en este sentido son los radios de los círculos que se han ajustado, utilizando los puntos con los cuales hemos trazado la forma de los choques (ver figura 3), en este sentido se han medido los radios de curvatura para el borde interno y el borde externo de la cáscara chocada, en este orden de ideas los llamaremos $R_c(\text{out})$ y $R_c(\text{in})$ respectivamente.

Es de notar que la posición de la estrella no corresponde con el centro de los dos círculos que hemos fijado, en otras palabras va a depender de la forma de los arcos que hemos trazado, además este radio va a ser un indicador de que tan simétricos son los choques, puesto que como podemos ver en la figura 3, el centro de los círculos no coincide con el eje, entonces estaríamos frente a un caso de un choque que no es rigurosamente simétrico.

Siguiendo con la metodología llevada a cabo, otro parámetro que hemos podido estimar que como veremos va a ser muy transcendental para determinar características físicas de los choques nos referimos aquí a la anchura h , la cual definiremos como la anchura de los choques de proa a lo largo del eje de simetría. Por tanto para determinar este parámetro hemos restado las distancia que se han estimado desde los bordes externos e internos a la estrella o Proplyd, es decir los radios $R_0(\text{out})$ y $R_0(\text{in})$ a lo largo del eje de simetría de los arcos de proa, en esta medida tendremos que la anchura es $h_0 = R_0(\text{out}) - R_0(\text{in})$, que es desde luego también a lo largo del eje de simetría.

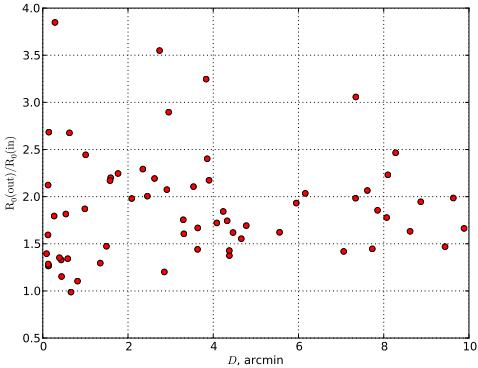


Figura 2: Cociente entre las distancias de la estrella o Proplyd del borde externo e interno de la cáscara chocada, en función de la distancia de θ^1 Ori C, para todos los objetos LL estudiados en este trabajo.

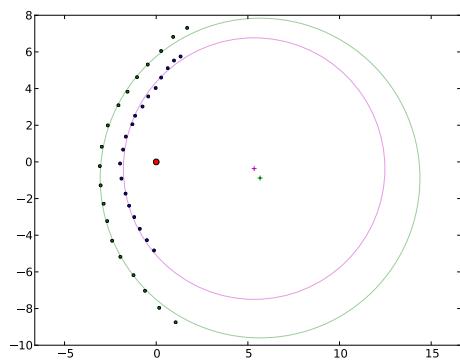
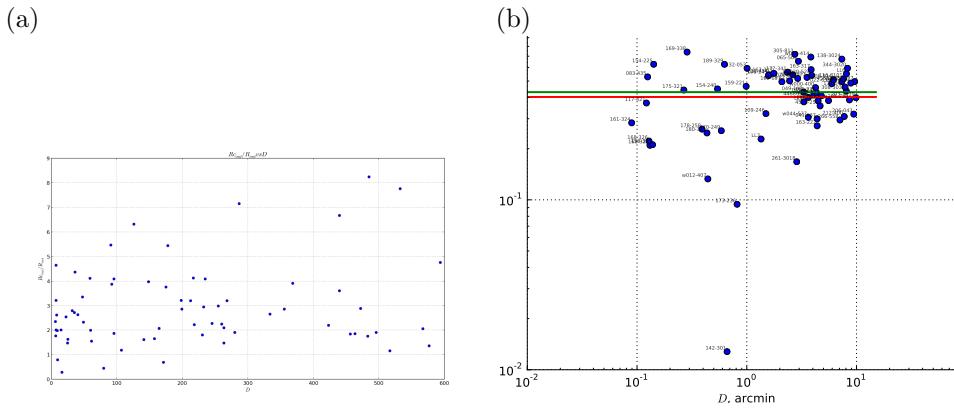


Figura 3: Ajuste de los círculos para LL1. Donde se ha hecho tanto para el borde externo y el borde interno de la zona chocada.

1.2.1 Resultados de medir $R_c(\text{out})$, $R_c(\text{in})$ y h_0

Como ya se mencionó anteriormente hemos obtenido los valores de los radios R_c de los bordes para todos objetos LL estudiados en este trabajo y de la misma forma la anchura h_0 de los mismos, no obstante hemos hecho la normalización, $R_c(\text{out})/R_0(\text{out})$, $R_c(\text{in})/R_0(\text{in})$ y $h_0/R_0(\text{out})$. Es así que la figura 4 nos muestra como queda especificado los diferentes valores de los parámetros que aquí hemos hablado



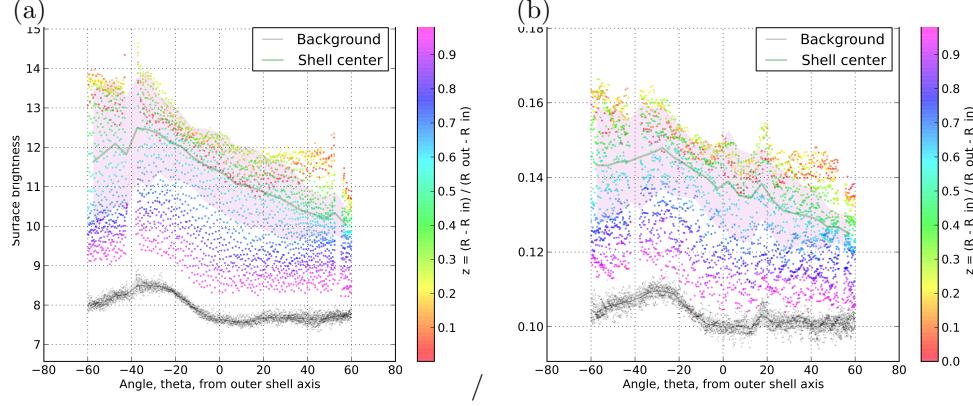


Figura 5: Valores del brillo superficial para LL1 en unidades de electrones/s, en función de los ángulos theta. Para (a) WCS F658N (b) WFPC2 F656N.

Por otro lado también se determinó los valores del brillo superficial en función de la posición con respecto a los arcos, dicha posición la hemos escrito de la siguiente forma; $z = (R - R_{\text{in}})/(R_{\text{out}} - R_{\text{in}})$, que serían los radios relativos a la cáscara, donde R es la separación radial, R_{in} es el radio desde la estrella al borde externo y R_{in} es el radio desde la estrella al borde interno, es así que la figura 6 ilustra cuales son los valores para las diferentes radios relativos z . Hay que resaltar que este tipo de gráficas las obtuvimos para cada uno de los choques estacionarios.

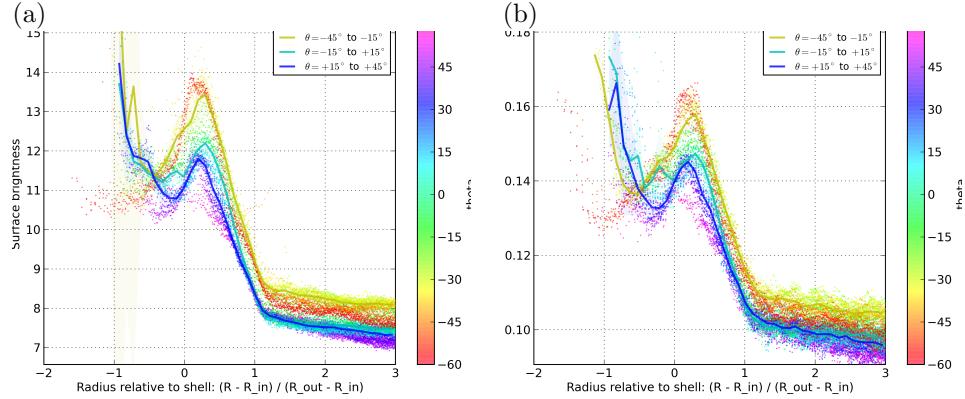


Figura 6: Valores del brillo superficial en función de la posición $z = (R - R_{\text{in}})/(R_{\text{out}} - R_{\text{in}})$. Para (a) WCS F658N (b) WFPC2 F656N.

Dado que teníamos los valores de los pixeles para las diferentes zonas de los choques hiperbólicos como se mencionó arriba, entonces como siguiente paso

se determinaron los valores promedios de los brillos superficiales en la cáscara chocada, en el fondo y en el centro de la cáscara. Hay que tener en cuenta que los voleres determinados arriba para las cáscaras incluyen los del fondo, entonces para tener unos valores coherentes le hemos restado las del fondo, es así que la figura 7 es un compendio de dichos resultados de las imágenes de a) ACS F658N y b) WFPC2 F656N .

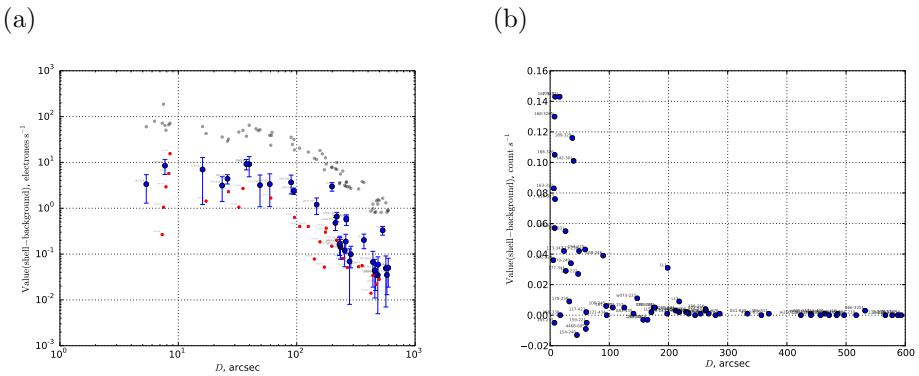


Figura 7: Valores de la cáscara chocada donde hemos restado los valores del fondo, los valores previamente obtenidos para la cáscara. Para a) ACS con unidades de “electrones s^{-1} ” y para b) WFPC2 con unidades de “count s^{-1} ”.

1.4 Brillo superficial de H α en unidades físicas

Hemos escrito de los valores del brillo medidos, en unidades físicas esto es $erg\ s^{-1}\ cm^{-2}\ sr^{-1}$, debido a que los valores medidos en las imágenes tomadas por la cámara ACS tienen unidades de electrones s^{-1} y las unidades de los valores en las imágenes de WFPC2 tienen unidades de COUNTS s^{-1} , entonces esta conversión la realizamos tanto para los valores de las imágenes de Bally como para las imágenes de Robberto, con el propósito como ya se dijo de tenerlas en unidades físicas y desde luego tener las mismas unidades entre los valores de ACS y WFPC2.

1.4.1 Imágenes de ACS

Para la calibración del flujo obtuvimos los conceptos claves de la fotometría del encabezado, que aparecen en las imágenes FITS del ACS. Entonces como se dijo anteriormente las imágenes están en unidades de “electrones s^{-1} ”, es así que multiplicamos por el PHOTFLAM (inverse sensitivity) que aparece en el encabezado y cuyas unidades son “ $erg\ cm^2\ \text{\AA}\ electrons$ ”, se obtuvieron unidades de “ $erg\ s^{-1}\ cm^2\ \text{\AA}\ pixel^{-1}$ ”. No obstante al multiplicar por la anchura rectangular del filtro nos libraremos del término \AA y al dividir por el área del pixel,

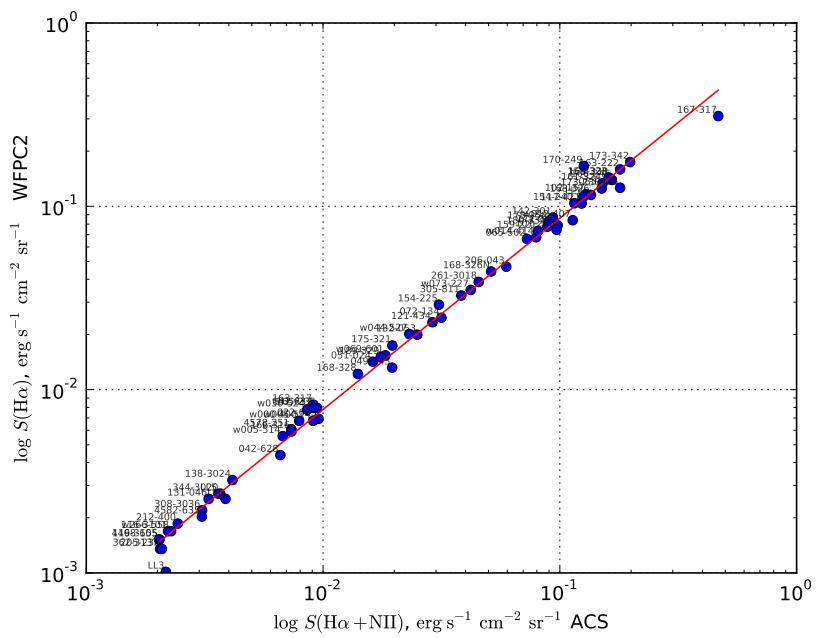


Figura 8: Valores del brillo superficial de los pixeles de los objetos LL detectados, de las imágenes de Roberto (WFPC2) en función de las imágenes de Bally (ACS) en unidades físicas $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{sr}^{-1}$.

información que también se obtuvo del encabezado se pudo escribir los valores de las imágenes en unidades de brillo superficial como ya se ha dicho arriba. Para determinar la anchura del filtro se usó una paquetería de python llamada “pysynphot”, el cual dió como resultado 74.9405 Å, esto se hizo a parte porque esta información no está incluida en el encabezado de las imágenes FITS

En este sentido determinamos un factor con las unidades adecuadas, que al multiplicar por los valores de los pixeles de las imágenes se obtuvo el brillo superficial en las unidades correctas erg s⁻¹ cm² sr⁻¹. Entonces el resultado final es el factor 0.0025 erg electrones⁻¹ cm⁻² sr⁻¹.

1.4.2 Imágenes de WFPC2

Se usó el mismo procedimiento para escribir en unidades del brillo superficial adecuadas los valores de los pixeles en las imágenes de WFPC2. Aunque hay que notar que se obtuvo para la anchura del filtro el valor de 28.34207 Å. Dando por consiguiente el factor 0.169 erg CUENTAS⁻¹ cm⁻² sr⁻¹, el cual multiplicamos por los valores de las imágenes como se hizo arriba para obtener las cantidades en las unidades deseadas.

1.4.3 Verificaciones de las calibraciones del brillo superficial

Ahora que habíamos hecho las calibraciones correspondientes del flujo, para verificar que dichos ajustes fueran correctos comparamos los resultados entre ACS y WFPC2, de donde la figura 8 nos muestra el tipo de relación que se da entre las valors de las dos imágenes de las respectivas cámaras, de donde podemos concluir que el brillo superficial de las imágenes de Bally para cada uno de los objetos es un tanto mayor, porque están contaminadas con líneas de [N II].

Otra forma que utilizamos para verificar que las calibraciones iban por buen camino, fue comparar nuestros resultados con resultados ya publicados. En este sentido Henney (2013) había determinado el brillo superficial para el frente de LL1, el cual obtuvo un valor de 0.02 erg s⁻¹ cm⁻² sr⁻¹ después de hacer la corrección por extinción, considerando un valor de $A(\text{H}\alpha) = 0.16 \pm 0.03$ mag para la extinción. No obstante para poder comparar con el brillo observado que hemos medido, necesitamos el flujo observado para el caso de LL1, “así que para determinarlo usamos la extinción logarítmica dada por $C = \log(F'/F)$ y como $C_\lambda = C_{\text{H}\beta}(1 + f_\lambda)$ por tanto obtendremos que el flujo es

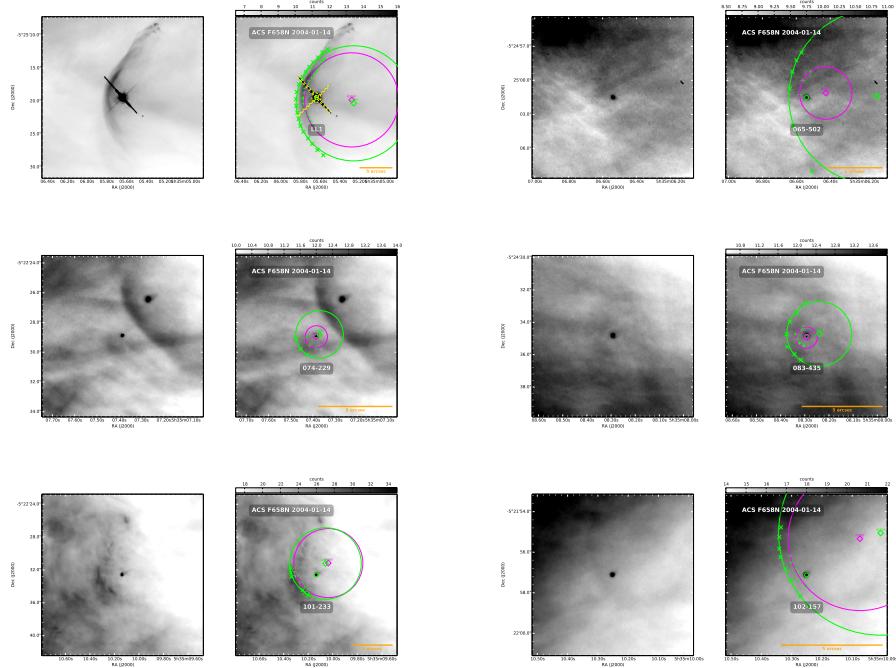
$$F_\lambda = F'_\lambda \times 10^{C_{\text{H}\beta}(1+f_\lambda)} \quad (1)$$

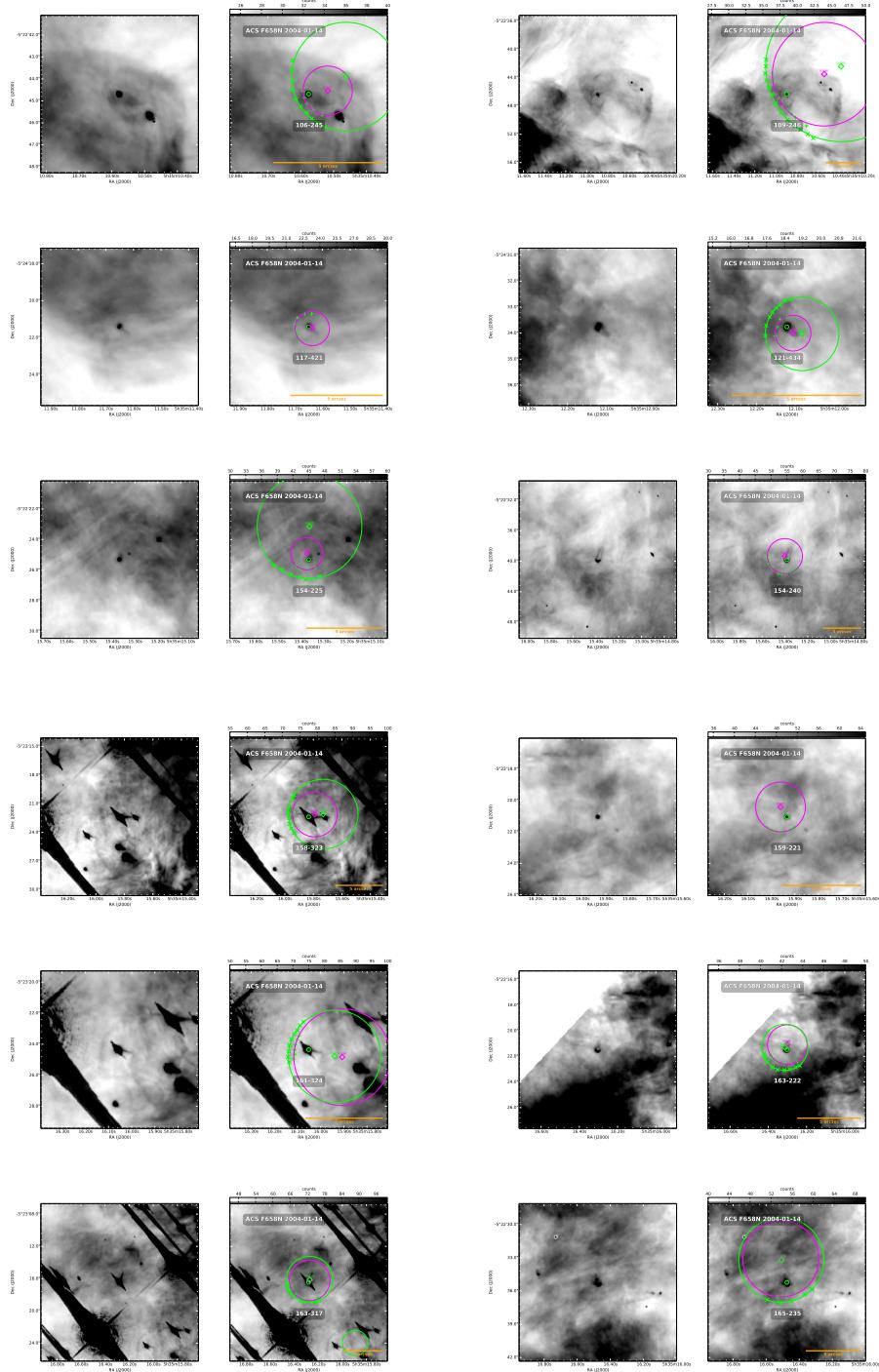
Donde F_λ es el flujo intrínseco, F'_λ es el flujo observado y f_λ está dada por $1 + f_\lambda = A_\lambda/A_{\text{H}\beta}$ y para H α 6563Å: $f_\lambda = -0.220$ (Blagrave 2006). En este sentido obtuvimos que el brillo superficial observado es 0.0173, de las imágenes de Roberto WFPC2 se tiene que para LL1 la cuont rate es 0.10 count, por tanto establecimos que la constate para la calibración del flujo en este contexto es

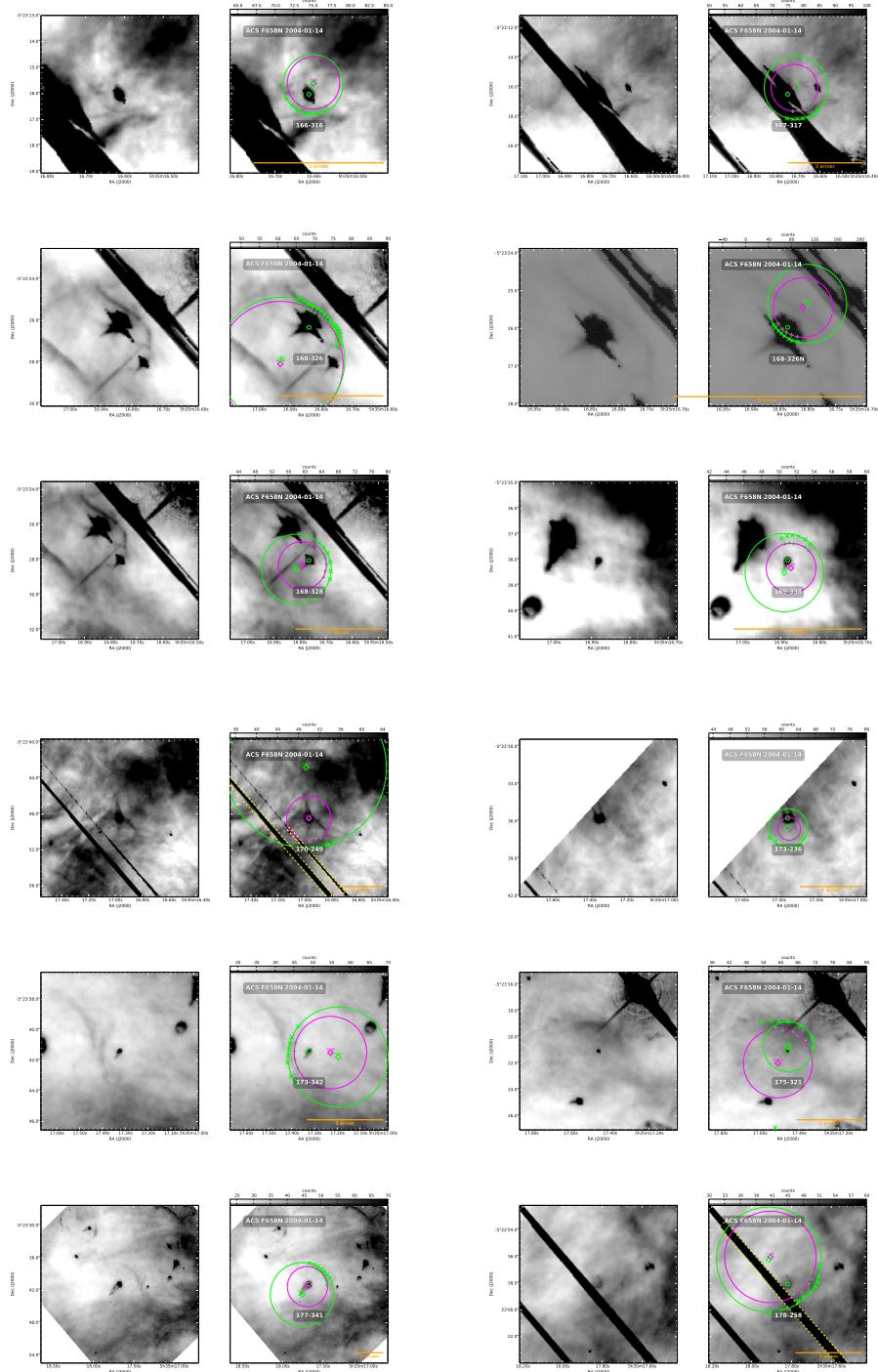
0.1726. Ahora si comparamos nuestros resultados de la calibración para WFPC2 con los realizados previamente para LL1 vemos que los factores encontrados para los ajustes son muy similares.

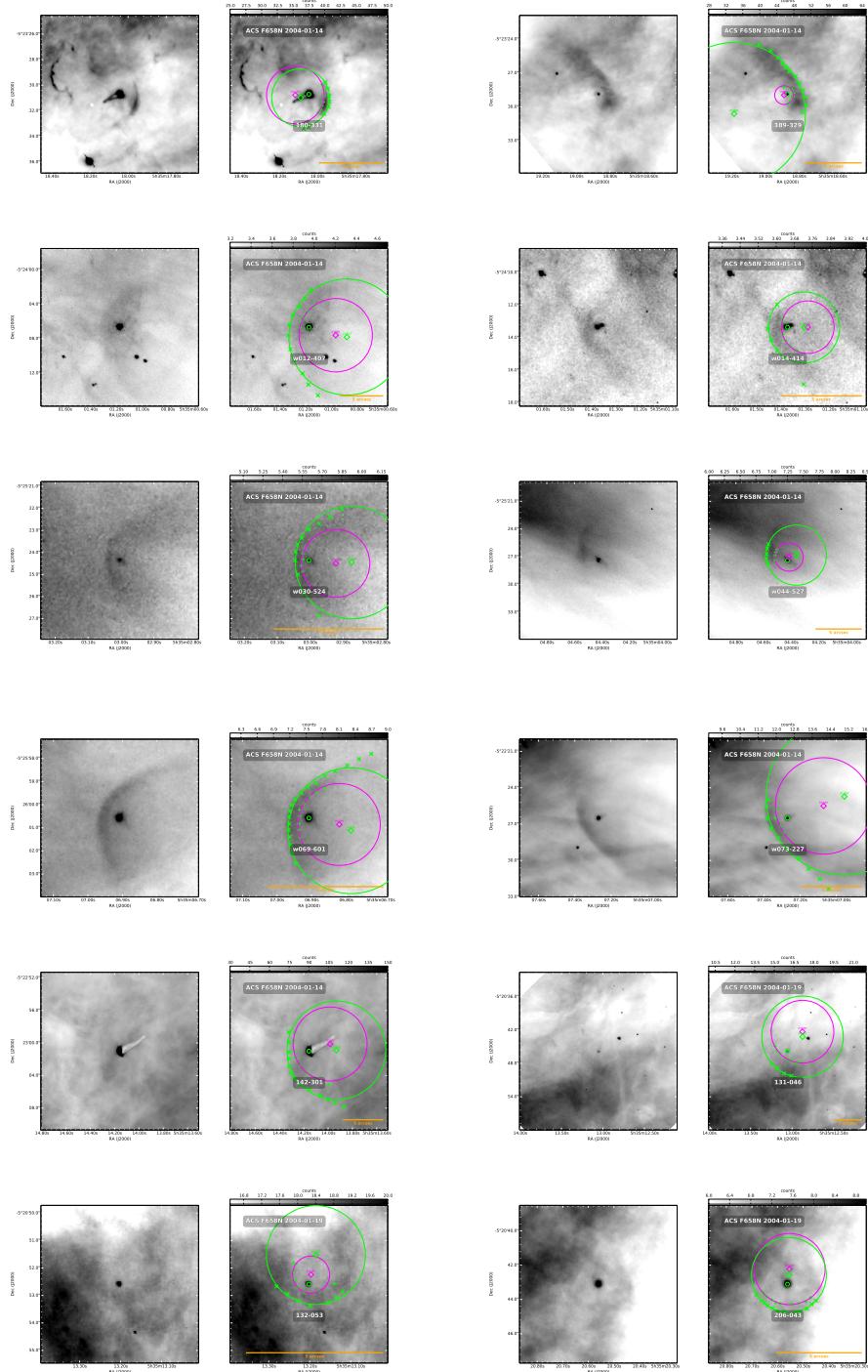
1.5 Resultados: imágenes

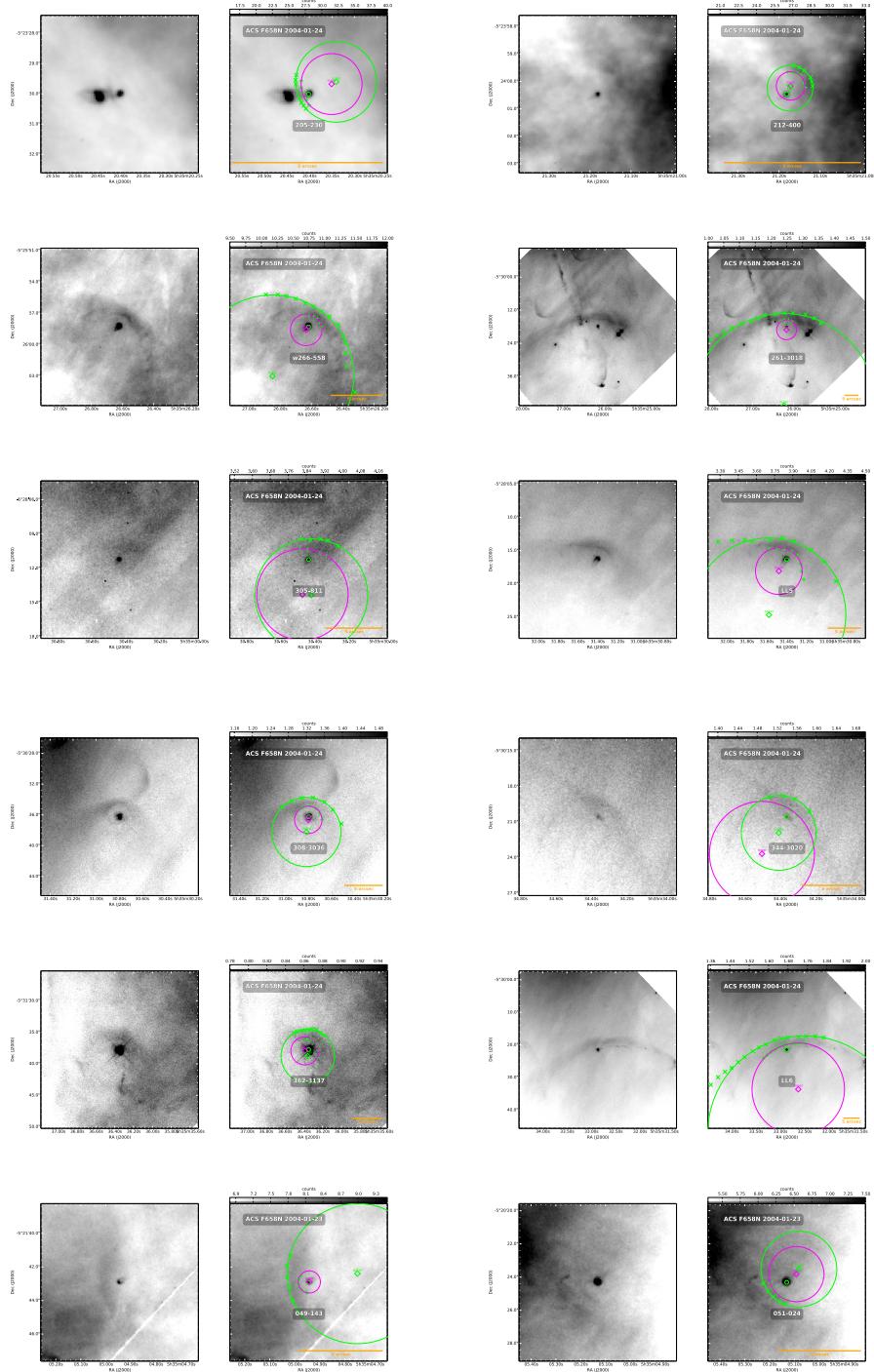
En este trabajo hemos detectado 73 objetos, los cuales son los que conforman nuestro catálogo. Hemos podido substraer la región donde se encuentran nuestros objetos de estudio (ver figura 9), como anteriormente hemos dicho esto nos ha permitido caracterizar las estrellas objetos de estudios, en la medida en que hemos podido determinar R_c y R_0 tanto de los bordes internos y externos, parámetros importante para especificar tópicos astrofísicos de los mismos. En las imágenes podemos observar que la forma de los arcos son un tanto diferentes, pues algunos no son tan simétricos

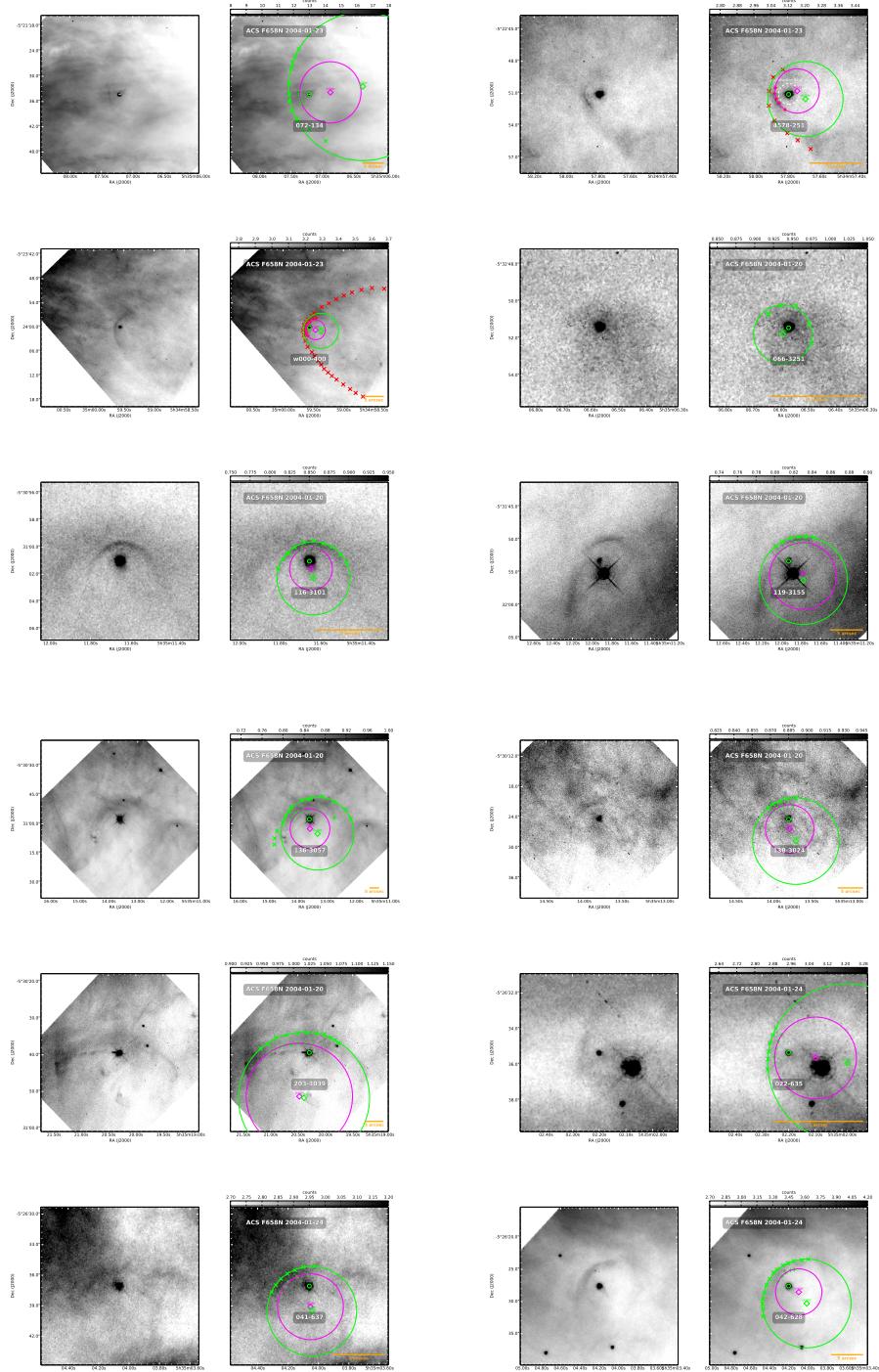












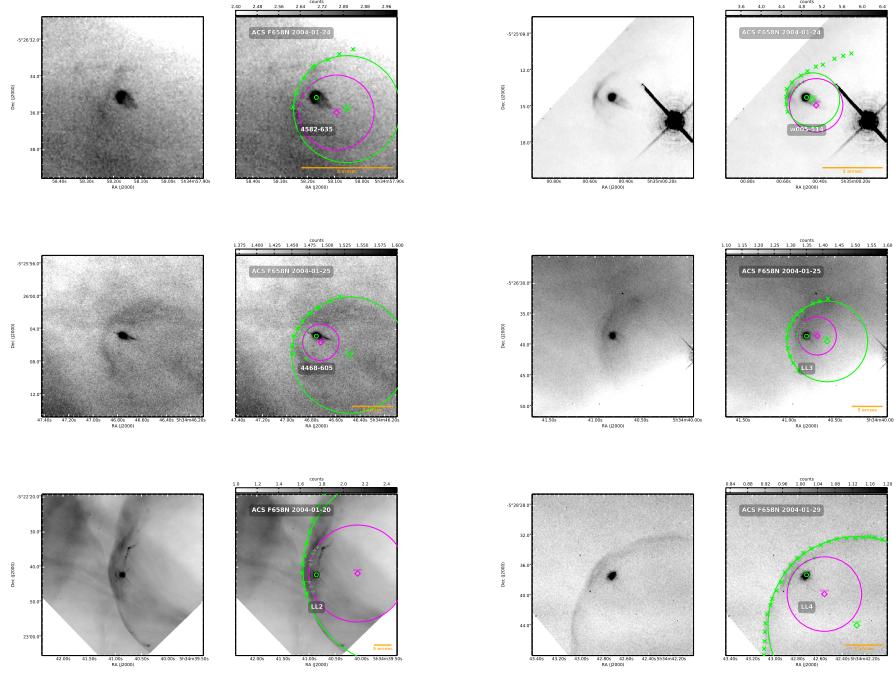


Figura 9: Imágenes de los 73 objetos LL detectados en la Nebulosa de Orión, en ellas se puede apreciar la forma de los arcos, la estrella joven, el ajuste de los círculos para los bordes internos y externos de la zona chocada. Imágenes tomadas con la cámara ACS F658N