

# Tesis de doctorado



Jorge Alejandro Tarango Yong

16 de mayo de 2017

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

INSTITUTO DE RADIOASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA

“Estudio de la Interacción de Flujos Múltiples de Fuentes Astrofísicas, Aplicada a los Proplyds Clásicos de la Nebulosa de Orión”

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS (ASTRONOMÍA)

P R E S E N T A

JORGE ALEJANDRO TARANGO YONG

Director de Tesis: Dr. William J. Henney

Morelia, Michoacán

2017

# Índice general

<b>1. Objetos Astrofísicos Relevantes</b>	<b>9</b>
1.1. La Nebulosa de Orión . . . . .	10
1.2. Estrellas “Errantes” . . . . .	10
1.3. Discos Protoplanetarios . . . . .	10
1.4. Proplyds . . . . .	10
1.5. Objetos LL . . . . .	10
1.5.1. Mapa de Objetos . . . . .	10
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>11</b>
2.1. Vientos Estelares . . . . .	12
2.2. Choques . . . . .	12
2.3. Frentes de Ionización . . . . .	12
2.4. Regiones HII . . . . .	12
2.5. Aproximación Hipersónica . . . . .	12
2.6. Modelo Genérico de los Choques de Proa . . . . .	12
2.6.1. Radios “Característicos” . . . . .	12
2.7. Proyección en el Plano del Cielo . . . . .	15
2.7.1. Vectores normal y tangente a la superficie . . . . .	15
2.7.2. Línea tangente . . . . .	17
2.8. Cuádricas de Revolución . . . . .	17
<b>3. Herramientas de Programación</b>	<b>19</b>
<b>4. The Work</b>	<b>21</b>
<b>5. Resultados obtenidos</b>	<b>23</b>

**6. Conclusiones**

**25**

## **Agradecimientos**

Esta tesis se realizó para obtener el título de doctorado en ciencias (Astronomía).

Deseo aprovechar esta sección para hacer agradecimientos a personas y/o instituciones que me ayudaron para que pueda completar este trabajo de manera exitosa.

## **Resumen**

Abstract en español

## **Abstract**

Abstract written in english





## **Capítulo 1**

# **Objetos Astrofísicos Relevantes**

**1.1. La Nebulosa de Orión**

**1.2. Estrellas “Errantes”**

**1.3. Discos Protoplanetarios**

**1.4. Proplyds**

**1.5. Objetos LL**

**1.5.1. Mapa de Objetos**

## **Capítulo 2**

# **Marco Teórico**

## **2.1. Vientos Estelares**

## **2.2. Choques**

## **2.3. Frentes de Ionización**

## **2.4. Regiones HII**

## **2.5. Aproximación Hipersónica**

## **2.6. Modelo Genérico de los Choques de Proa**

Para este trabajo consideramos en general dos modelos de interacción de vientos:

- Una fuente localizada en el origen que emite un viento esférico que puede ser isotrópico o anisotrópico (figura 2.6) no acelerado que interactúa con el viento esférico isotrópico de otra fuente que se encuentra a una distancia  $D$  de la primera (figura 2.6)
- Una fuente localizada en el origen que emite un viento esférico isotrópico no acelerado que interactúa con un viento plano paralelo no acelerado y densidad constante (figura )

El sistema en su conjunto tiene simetría cilíndrica.

### **2.6.1. Radios “Característicos”**

Las cantidades medibles que nos ayudan a caracterizar un choque de proa las llamamos “Radios característicos” (ilustrados en la figura 2.6.1):

- Radio del choque en la dirección del eje de simetría del sistema. Denotado como  $R_0$
- Radio en dirección perpendicular al eje de simetría del sistema. Denotado como  $R_{90}$
- Radio de curvatura en la “nariz” del choque de proa. Denotado como  $R_c$

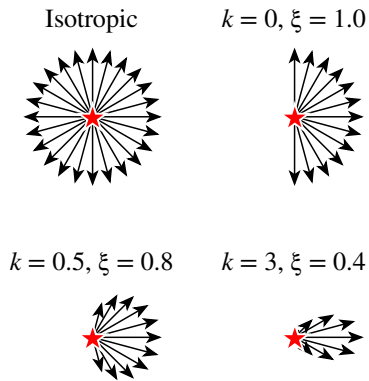
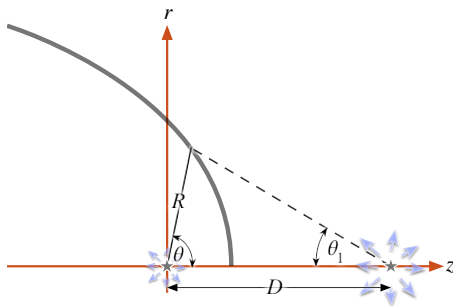


Figura 2.1: Representación esquemática de vientos con diferentes anisotropías: Arriba izquierda: Viento isotrópico esférico. Arriba derecha: viento isotrópico hemisférico. Abajo: Vientos anisotrópicos donde el parámetro  $k$  indica el grado de anisotropía (ver sección 2.5)



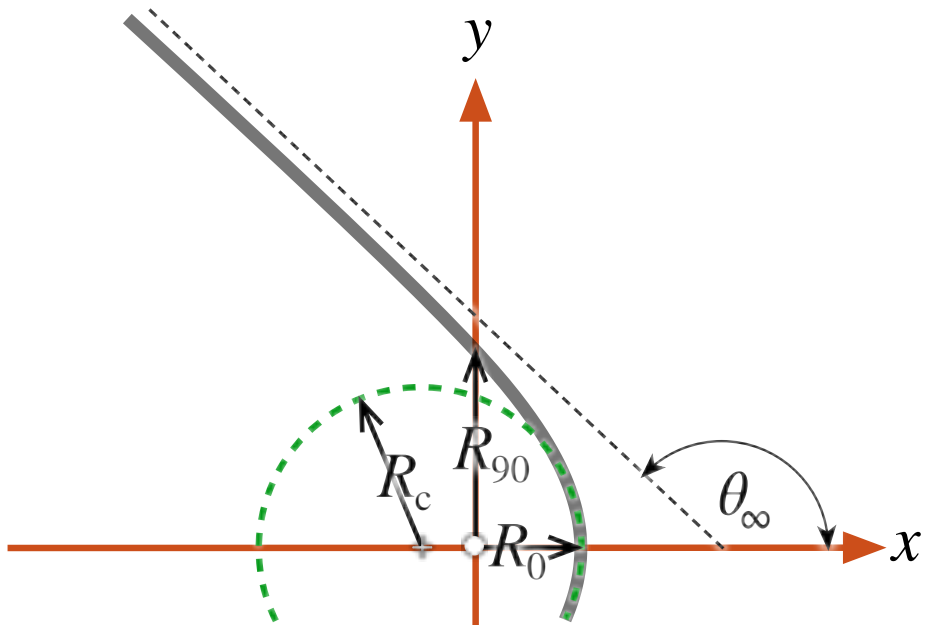


Figura 2.2: Representación esquemática de los radios característicos de un choque de proa

## 2.7. Proyección en el Plano del Cielo

Para un choque de proa que es la vez geoméricamente delgado y ópticamente delgado, únicamente se observa el borde de éste por abrillantamiento al limbo, por lo tanto, sua orientación respecto a la línea de visión modifica su forma respecto a la forma real del choque. Para ello, rotamos el sistema de referencia del choque de proa en coordenadas cartesianas, denotado por  $(x, y, z)$ , por un ángulo que llamamos *inclinación*, denotado por  $i$ , en el plano  $xz$ , de modo que la transformación entre el sistema de refencia del choque y el sistema de referencia del plano del cielo, denotado por  $(x', y', z')$  queda como sigue:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \cos i - z \sin i \\ y' \\ z \cos i + x \sin i \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Por otro lado, la forma tridimensional del choque de proa viene dado por:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = R(\theta) \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \cos \phi \\ \sin \theta \sin \phi \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

La relación entre ambos sistemas de referencia se ilustra en la figura 2.7.

### 2.7.1. Vectores normal y tangente a la superficie

Si definimos los vectores  $\hat{n}$  y  $\hat{t}$ , como los vectores normal y tangente a la superficie, respectivamente para  $\phi$  constante. En el caso  $\phi = 0$  (figura 2.7.1), ambos vectores se encuentran en el plano  $xy$  y es fácil mostrar que:

$$\hat{t}_0 = \begin{pmatrix} -\cos \alpha \\ \sin \alpha \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{y} \quad \hat{n}_0 = \begin{pmatrix} \sin \alpha \\ \cos \alpha \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

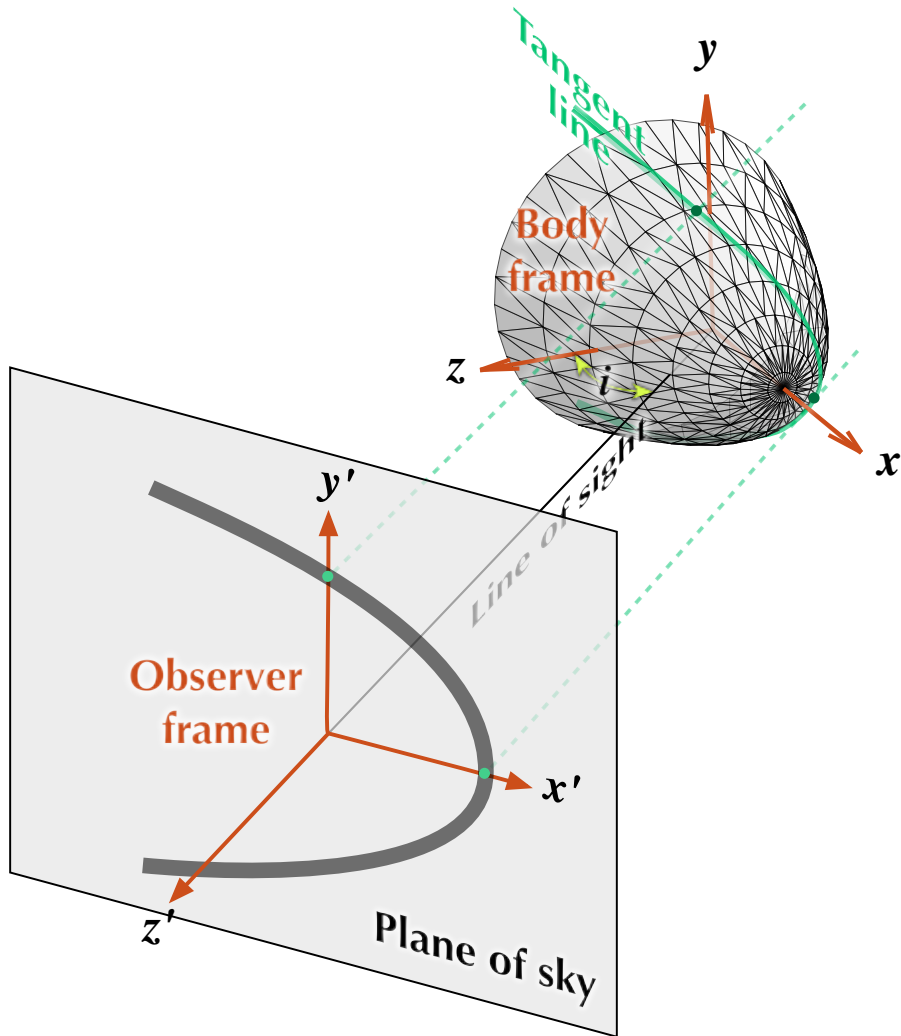


Figura 2.3: Sistema de referencia del choque vs sistema de referencia del plano del cielo. Los ejes  $x'$  y  $y'$  se encuentran en el plano del cielo, mientras el eje  $z'$  es paralelo a la línea de visión. Solo la región del choque cuya tangente sea paralela a la línea de visión será visible por abrilantamiento al limbo.



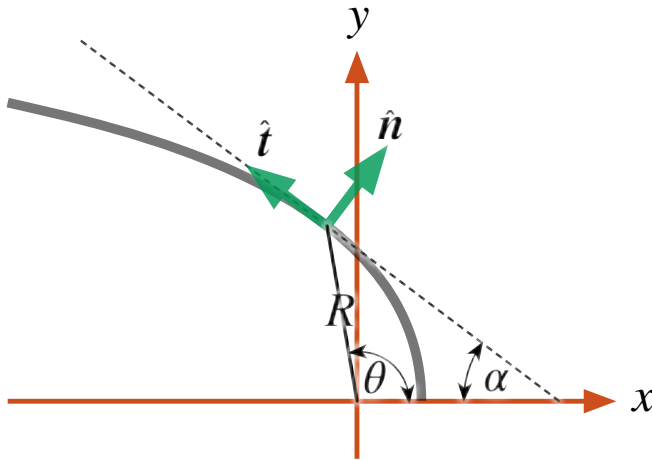


Figura 2.4: Vectores unitarios normal y tangente a la superficie  $R(\theta)$  en un plano de azimuth  $\phi$  constante.

### 2.7.2. Línea tangente

Debido a que el choque es ópticamente delgado y geoméricamente delgado, solo la región del choque cuya tangente sea paralela a la línea de visión será visible. Esto corresponde a una curva que denominamos *línea tangente*, que debe cumplir con la siguiente condición:

## 2.8. Cuádricas de Revolución

Buscamos adjuntar el paper “quadrics bowshock”



## **Capítulo 3**

# **Herramientas de Programación**

## CAPÍTULO 3. HERRAMIENTAS DE PROGRAMACIÓN

---

This is chapter 3

## **Capítulo 4**

# **The Work**

## CAPÍTULO 4. THE WORK

---

This is chapter 4

## **Capítulo 5**

# **Resultados obtenidos**

## CAPÍTULO 5. RESULTADOS OBTENIDOS

---

This is chapter 5



## **Capítulo 6**

# **Conclusiones**

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

---

This is chapter 6