

**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO**  
**Campus Guanajuato**



DIVISIÓN DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS  
DEPARTAMENTO DE ASTRONOMÍA

---

**Estudio de un conjunto homogéneo  
de espectros en Rayos-X de  $\zeta$  Pup**

---

**TESIS**

Que para obtener el grado de:

**Maestro en Ciencias (Astrofísica)**

presenta el:

**Lic. Carlos Arturo Flores Hernández**

Director de Tesis:

**Dr. Philippe R. J. Eenens**



*A mis niñas  
Fiat lux et lux facta est*



# Agradecimientos

Todo buen trabajo requiere de un buen equipo. El trabajo realizado durante esta Tesis ha tenido colaboraciones de un gran equipo que no esta por demás enlistar, aunque sea brevemente:

\* Mi Paty ha sido el pilar de mis emociones, permitiendo mantenerme estable durante todo el proceso del trabajo de Tesis. Su amor a suavizado los momentos difíciles de mi trabajo. Ella y mi pequeña que viene en camino, han sido mi motivación para trabajar con ahínco y lograr esta meta.

\* Sin lugar a dudas, el apoyo del Dr. Philippe Eenens ha sido invaluable, tanto en aspecto académico como personal. Me ha enseñado que la investigación es mejor cuando se hace por gusto, produciendo excelentes resultados.

\* La parte más importante de esta investigación fue el aprendizaje y aplicación de un tema totalmente nuevo para mi. Esto fue posible gracias al gran apoyo brindado por los investigadores Dr. Gregor Rauw y Dra. Yaël Nazé, quienes han tenido la paciencia de apoyarme académicamente para el buen inicio y desarrollo de esta investigación. Dentro del mismo grupo de trabajo, he de mencionar la ayuda brindada por el Mtro. Mahy Laurent quien, además de ser buen conductor de vocho en el OAN-SPM, ha colaborado en el buen desarrollo de mi trabajo. Estos son sólo tres de varios investigadores del *Groupe d'AstroPhysique des Hautes Energies de l'Institut d'Astrophysique et de Gophysique* de la universidad de Liège, Bélgica, a quienes les estoy agradecido por su hospitalidad y enseñanzas.

\* El gran apoyo que he tenido toda mi vida ha sido por parte de mis padres. A pesar de la gran distancia que nos separa, siempre me han dando ánimos y soporte de todo tipo. Sin ellos, esto no habría empezado.

\* Algunas veces son motivo de riñas sin sentido, muchas veces de alegrías, pero siempre se les guarda cariño. Los hermanos siepre estarán a un lado para lo que sea necesario. La mano que da un amigo es reconfortante, la que da un hermano es enriquecedora. En este renglón no sólo considero a mis muy queridos hermanos de sangre, sino también a aquellos que se han agregado a mi lista por ser más que compañeros de escuela y de vida.

Nombrarlos a todos me exharía escribir un libro. Sin embargo, en este trabajo, quiero agradecer particularmente a dos de ellos: Josué Trejo y Juan Islas, quienes han sido parte importante en mi desarrollo durante la maestría.

\* Los conocimientos que adquirí en la maestría no llegaron de la nada. Quiero manifestar mi completo agradecimiento a los investigadores del DA que están dispuestos a compartir lo que saben. La mejor manera de aprender es enseñar, yo espero tener la oportunidad de comunicar a otros lo que cada investigador me ha inculcado.

\* Doy un agradecimiento especial a Dr. Klaus-Peter, Dr. Roger y Dr. Migenes por sus comentarios a este trabajo de Tesis, en su labor como sinodales. Sus aportaciones han enriquecido en gran medida el trabajo final.

\* Tras bambalinas hay gente que es parte del engranaje de mi trabajo. El personal que labora en el DA ha sido de gran apoyo, tanto administrativo como personal. Sin ellos no sería posible sobrevivir ante tanto trabajo. Ya sea para administrar asuntos académicos o simplemente para poner una sonrisa en mi cara, su activa presencia ha sido de gran ayuda en mis actividades dentro del DA.

\* No solo de ciencia vive el hombre, también requiere de pan. Todo este trabajo ha sido posible gracias al apoyo económico otorgado por CONACyT, a través de la Beca de Maestría y del Proyecto Bilateral que se realizó con la FNRS de Bélgica. Mi casa de estudios no puede pasar por alto. La Universidad de Guanajuato ha facilitado el espacio y varios recursos para el buen desarrollo de las actividades académicas que conciernen a este trabajo y a mi maestría en general.

# Resumen

En este trabajo de investigación se ha realizado una reducción homogénea de dieciséis datos observacionales de  $\zeta$  Pup, tomados con el satélite XMM-Newton, en la banda de Rayos-X, a lo largo de 8 años. Esta estrella es la más brillante en nuestro cielo nocturno, del tipo espectral O4Ief, siendo una buena candidata para el acotamiento de los modelos de viento estelar y de los procesos de emisión de Rayos-X en atmósferas estelares.

Después de una selección de observaciones con alto S/N se analizan en conjunto en busca de variabilidad temporal. Ésto para tratar de comprobar la variabilidad encontrada por Berghöfer et al. (1996) en el espectro de  $\zeta$  Pup con periodo de 16.7h. Los resultados muestran una variabilidad nula y un análisis de posibles periodicidades permite descartar cualquier variación periódica por arriba de 16.7h en Rayos-X. Este resultado nulo tiene grandes implicaciones sobre la estructura del viento y el origen de los Rayos-X. En el presente trabajo se confrontan varios modelos que se logran acotar, llegando a la hipótesis de un viento estructurado en tres zonas; la tercera siendo fragmentada por causa de choques que son el origen de la emisión de Rayos-X.

Con los espectros reducidos se ha creado por vez primera un espectro combinado que, gracias a su buena S/N, ofrece la oportunidad de identificar nuevas líneas espectrales para el objeto  $\zeta$  Pup, con las cuales se pueden inferir algunas características de la estructura del viento estelar de  $\zeta$  Pup.

Los resultados en conjunto ofrecen una buena consistencia con inhomogeneidades en el viento de  $\zeta$  Pup detectadas en otras bandas. Estas inhomogeneidades están contempladas en la hipótesis de *clumps*, estructuras que presentan la posibilidad de amplios gradientes de temperatura, sugeridos por los rangos de ionización encontrados en las líneas de Fe de nueva identificación.

Finalmente, se propone un modelo de viento estelar dividido en tres partes, con emisiones de óptico en la base del viento, UV emitido en la base y un poco más arriba, y Rayos X emitidos desde arriba de la base, por todo el viento en conjunto, a través de aglomeraciones de alta densidad, de acuerdo con la hipótesis de *clumps*.

