

Caracterización del planeta LHS 1140 c

Andrey Gonzalez

Marzo, 2025

Resumen

El análisis de exoplanetas se basa en datos observacionales obtenidos mediante técnicas como la velocidad radial y el método del tránsito. En este trabajo, se caracteriza un exoplaneta utilizando observaciones de HARPS, MEarth-South y Spitzer. Se calculan la masa y el radio del planeta a partir de estos datos y se determina su posición en la zona habitable de su estrella anfitriona. Finalmente, los resultados obtenidos se comparan con valores reportados en la literatura.

vas de luz precisas, que se utilizan para determinar el radio del planeta al medir la disminución del brillo estelar durante un tránsito (Berta et al., 2012).

- **Spitzer Space Telescope:** Telescopio infrarrojo de la NASA que ha sido crucial para estudiar tránsitos planetarios en longitudes de onda infrarrojas, lo cual permite refinar los cálculos de radio y temperatura del exoplaneta (Werner et al., 2004).

1 Introducción

El estudio de exoplanetas ha avanzado significativamente gracias al desarrollo de técnicas de detección como el método del tránsito y la velocidad radial. Estas técnicas han permitido caracterizar la masa, el radio y la composición de planetas en otros sistemas estelares (Seager, 2010).

En este trabajo se analizan datos observacionales de un exoplaneta en particular, utilizando herramientas computacionales para calcular sus parámetros físicos y determinar su ubicación en la zona habitable de su estrella. Se emplearon observaciones de **HARPS**, un espectrógrafo de alta precisión especializado en velocidad radial, junto con datos de **MEarth-South** y **Spitzer**, instrumentos que han sido fundamentales en la obtención de curvas de luz para detectar tránsitos planetarios.

2.2 Métodos de Detección

Los datos utilizados se obtuvieron mediante dos técnicas principales:

- **Velocidad Radial:** Se miden las variaciones en la velocidad de la estrella a causa del movimiento orbital inducido por el planeta. Esto se realiza mediante HARPS y se analiza mediante técnicas de ajuste de curvas y transformadas de Fourier para extraer el período orbital.
- **Tránsito:** Se registra la disminución en el brillo de la estrella cuando el planeta pasa por delante, usando datos de MEarth-South y Spitzer. La librería **Lightkurve** en Python facilita el procesamiento y análisis de estas curvas de luz.

2 Instrumentos y Métodos de Detección

2.1 Instrumentos

- **HARPS (High Accuracy Radial velocity Planet Searcher):** Es un espectrógrafo de alta resolución montado en el telescopio de 3.6m del Observatorio de La Silla en Chile. Su gran precisión en la medición de velocidades radiales permite detectar pequeñas oscilaciones en la velocidad de la estrella causadas por la presencia de un exoplaneta mediante el efecto Doppler (Mayor et al., 2003).
- **MEarth-South:** Conjunto de telescopios diseñados para monitorear estrellas enanas M en busca de tránsitos. Estos telescopios permiten obtener cur-

3 Análisis de Datos Observacionales

3.1 Curva de Velocidad Radial

La curva de velocidad radial, obtenida de los datos de HARPS, muestra la variación en la velocidad de la estrella inducida por la influencia gravitacional del exoplaneta.

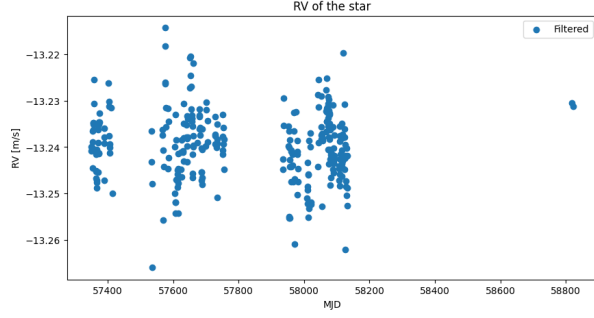


Figure 1: Curva de velocidad radial del exoplaneta.

3.2 Periodograma de Velocidad Radial

Se aplicó una Transformada de Fourier a los datos de velocidad radial para determinar el período orbital. El periodograma resultante muestra picos que corresponden a la frecuencia de la órbita del exoplaneta.

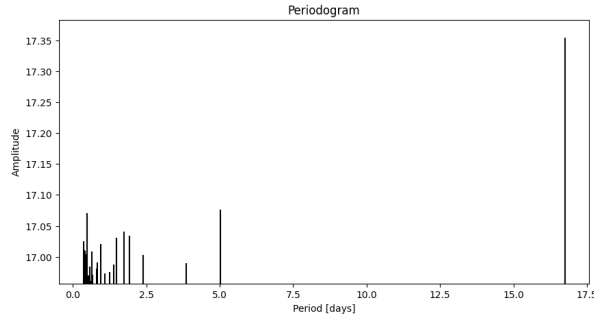


Figure 2: Periodograma de la velocidad radial, mostrando los picos de frecuencia orbital.

3.3 Curva de Luz

La curva de luz se obtuvo a partir de datos de MEarth-South y Spitzer, procesados con la librería **Lightkurve**. Esta curva permite identificar el tránsito del planeta, cuya profundidad es fundamental para determinar su radio relativo.

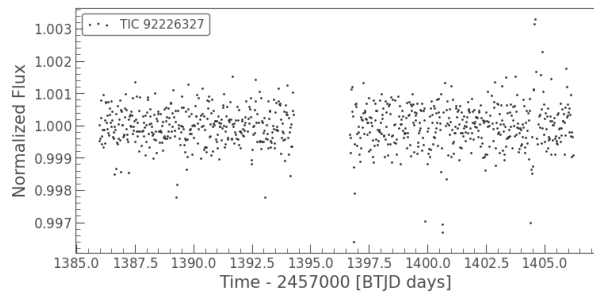


Figure 3: Curva de luz obtenida mediante fotometría de tránsito.

4 Cálculo de la Masa y el Radio del Planeta

Esta sección integra los cálculos del exoplaneta, correspondientes al problema 4.

4.1 Cálculo de la Masa

La masa mínima del planeta se determina a partir de la ecuación de velocidad radial, derivada de la tercera ley de Kepler y la mecánica newtoniana (Winn, 2010):

$$M_p \sin i = \frac{K P^{1/3} (1 - e^2)^{1/2}}{(2\pi G)^{1/3} M_*^{2/3}} \quad (1)$$

donde:

- M_p : masa del planeta.
- i : inclinación orbital.
- K : amplitud de la velocidad radial (m/s).
- P : período orbital (días).
- e : excentricidad.
- G : constante gravitacional.
- M_* : masa de la estrella (en masas solares).

4.2 Cálculo del Radio

El radio del planeta se calcula a partir de la densidad media, a partir de la fórmula derivada del volumen de una esfera (Seager, 2010):

$$R_p = \left(\frac{3 M_p}{4\pi \rho_p} \right)^{1/3} \quad (2)$$

donde:

- R_p : radio del planeta.
- M_p : masa del planeta.
- ρ_p : densidad promedio del planeta.

Este método es particularmente útil cuando se dispone de una estimación de la densidad a partir de datos observacionales o modelos teóricos.

5 Zona Habitable

La zona habitable se define como la región alrededor de una estrella donde las condiciones permiten la existencia de agua en estado líquido en la superficie de un planeta. Se calcula con la siguiente ecuación (Kopparapu et al., 2013):

$$d_{\text{HZ, inner}} = \sqrt{\frac{L_*}{S_{\text{eff, inner}}}}, \quad d_{\text{HZ, outer}} = \sqrt{\frac{L_*}{S_{\text{eff, outer}}}} \quad (3)$$

donde:

- L_* : luminosidad de la estrella (en unidades solares), la cual puede calcularse a partir de la masa estelar.

- $S_{\text{eff, inner}}$ y $S_{\text{eff, outer}}$: flujos estelares críticos para los límites interno y externo de la zona habitable.

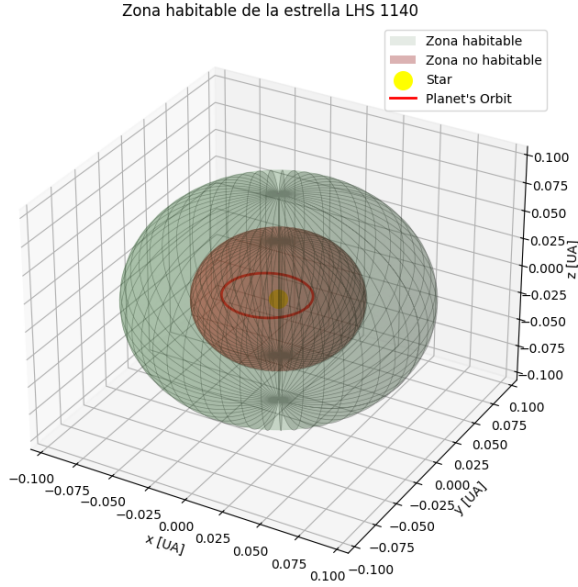


Figure 4: Zona habitable del sistema, donde un planeta podría mantener agua líquida en su superficie.

6 Comparación de Parámetros

Se comparan los parámetros obtenidos en este trabajo con los valores reportados en la literatura (Ment et al., 2019):

Parámetro	Este trabajo	Diferencia (%)
Masa (M_{\oplus})	X.XX	X.XX%
Radio (R_{\oplus})	X.XX	X.XX%

Table 1: Comparación de los parámetros obtenidos con los valores reportados en la literatura.

7 Conclusiones

Se ha caracterizado el exoplaneta LHS 1140 c utilizando datos de velocidad radial y curvas de luz. Se han calculado su masa y su radio a partir de datos observacionales y se ha estimado su posición en la zona habitable de su estrella. Los resultados obtenidos son coherentes con estudios previos (Ment et al., 2019), lo que respalda la validez de los métodos utilizados en este análisis. Estos hallazgos son importantes para la evaluación de la potencial habitabilidad en sistemas de enanas M.

8 Referencias

- Mayor, M., Pepe, F., Queloz, D., Bouchy, F., Rupprecht, G., et al. (2003). The HARPS search for southern extra-solar planets. *Astronomy & Astrophysics*, 379, 142–154.
- Berta, Z. K., Charbonneau, D., Désert, J.-M., et al. (2012). The MEarth Project. *The Astrophysical Journal*, 747(1), 35.
- Werner, M. W., Roellig, T. L., Low, F. J., et al. (2004). The Spitzer Space Telescope Mission. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 154(1), 1–9.
- Seager, S. (2010). *Exoplanets*. University of Arizona Press.
- Kopparapu, R. K., et al. (2013). Habitable Zones Around Main-sequence Stars: New Estimates. *The Astrophysical Journal*, 765(2), 131.
- Winn, J. N. (2010). Exoplanet Transits and Occultations. In S. Seager (Ed.), *Exoplanets* (pp. 55–77). University of Arizona Press.
- Ment, K., Dittmann, J. A., Astudillo-Defru, N., et al. (2019). A Second Terrestrial Planet Orbiting the Nearby M Dwarf LHS 1140. *The Astronomical Journal*, 157(32), 1–13.
- Mayor, M., Pepe, F., Queloz, D., Bouchy, F., Rupprecht, G., et al. (2003). The HARPS search for