

# Tabla de contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	2
1.2.1. Objetivo general . . . . .	2
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	2
1.3. Estructura de la memoria . . . . .	2
<b>2. Búsqueda de Exo-Planetas</b>	<b>4</b>
2.1. Exoplanetas . . . . .	4
2.2. Métodos de búsqueda . . . . .	5
2.2.1. Introducción . . . . .	5
2.2.2. Observación directa . . . . .	5
2.2.3. Tránsito . . . . .	6
2.2.4. Velocidad radial . . . . .	8
2.2.4.1. Introducción . . . . .	8
2.2.4.2. Descripción general . . . . .	8
2.2.4.3. Descripción física . . . . .	8
2.2.4.4. Adquisición de datos . . . . .	12
2.2.4.5. Instrumentos y bases de datos, HARPS y Keck . . . . .	13
2.2.4.6. Causas del muestreo no uniforme . . . . .	13

2.2.4.7. Consecuencias del muestreo no uniforme . . . . .	14
2.2.4.8. Manchas solares . . . . .	15
2.3. Métodos de análisis de señales . . . . .	15
2.3.1. Introducción . . . . .	15
2.3.2. Lomb Scargle . . . . .	15
2.3.3. Lomb Scargle generalizado . . . . .	17
2.3.4. Pre-Blanqueado . . . . .	18
2.3.5. Máxima verosimilitud . . . . .	18
2.3.6. Análisis Bayesiano . . . . .	18
2.4. Teorema de descomposición de Wold . . . . .	19
2.5. MMSE . . . . .	20
<b>3. Metodología</b>	<b>21</b>
3.1. MMSE sin restricciones . . . . .	21
3.1.1. Introducción . . . . .	21
3.1.2. Descripción del problema . . . . .	21
3.1.3. Complejidad computacional . . . . .	22
3.2. Método propuesto: periodograma MMSE . . . . .	23
3.2.1. Introducción . . . . .	23
3.2.2. Periodograma . . . . .	23
3.2.3. Selección de candidatos . . . . .	24
3.2.4. Vecindad . . . . .	24
3.2.5. Grilla . . . . .	25
3.2.6. Selección de componentes . . . . .	25
3.3. Complejidad computacional . . . . .	26
3.3.1. Introducción . . . . .	26

3.3.2. Algoritmo periodograma . . . . .	26
3.3.2.1. Introducción . . . . .	26
3.3.2.2. Análisis . . . . .	26
3.3.2.3. Optimización . . . . .	27
3.3.3. Método de la grilla . . . . .	27
3.3.3.1. Introducción . . . . .	27
3.3.3.2. Análisis . . . . .	27
3.3.3.3. Optimizaciones . . . . .	28
3.4. Usos adicionales método de la grilla . . . . .	29
3.4.1. Introducción . . . . .	29
3.4.2. Refinado de resultados . . . . .	29
3.4.3. Verificación de fase . . . . .	29
<b>4. Resultados</b>	<b>31</b>
4.1. Datos . . . . .	31
4.2. Periodogramas MMSE Vs Lomb Scargle . . . . .	32
4.3. Experimento de validación para el análisis de grilla . . . . .	35
4.4. Experimento con señales ruidosas . . . . .	36
4.5. Pruebas de velocidad . . . . .	37
4.5.1. Introducción . . . . .	37
4.5.2. Equipos disponibles . . . . .	38
4.5.3. Periodograma . . . . .	38
4.5.3.1. Descripción del experimento . . . . .	38
4.5.3.2. Resultados . . . . .	39
4.5.4. Grilla . . . . .	41
4.5.4.1. Descripción del experimento . . . . .	41

4.5.4.2. Resultados comparación de códigos . . . . .	43
4.5.4.3. Resultados procesos paralelos . . . . .	46
<b>5. Conclusiones</b>	<b>50</b>
5.1. Conclusiones . . . . .	50
5.2. Trabajo futuro . . . . .	50
<b>Bibliografía</b>	<b>52</b>

# Índice de figuras

2.1. Distribución de masa y distancia para planetas detectados por observación directa comparados con los del sistema solar. . . . .	6
2.2. Curva de flujo lumínico del tránsito de un exoplaneta en sus distintas etapas.	7
2.3. Diagrama de la relación entre la velocidad aparente $V_A$ , la velocidad de la estrella $V_E$ , la velocidad del planeta $V_P$ y el ángulo de inclinación $i$ . . . . .	9
2.4. Descripción gráfica del efecto Doppler en la medición de velocidad para la detección de exoplanetas. . . . .	12
3.1. Ejemplo del diagrama de grilla para selección de $N$ componentes con vecindades de largo $M$ . . . . .	25
3.2. Dependencia del número de errores a calcular $N_{ErrGr}$ con los parámetros del experimento. . . . .	28
4.1. Comparación diferentes sets de datos de velocidades radiales normalizadas. En (a) estrella GJ876, en (b) ruido blanco muestreado con el patrón de GJ876, en (c) ruido rojo muestreado con el patrón de GJ876, y en (d) datos sintéticos con muestreo aleatorio. . . . .	31
4.2. Periodogramas de la señal sintética, en (a) periodograma Lomb Scargle, y en (b) periodograma MMSE. . . . .	33
4.3. Periodogramas del ruido blanco, en (a) periodograma Lomb Scargle, y en (b) periodograma MMSE. . . . .	34
4.4. Periodogramas del ruido rojo, en (a) periodograma Lomb Scargle, y en (b) periodograma MMSE. . . . .	34

4.5. Periodogramas estrella GJ876, en (a) periodograma Lomb Scargle, y en (b) periodograma MMSE. . . . .	35
4.6. Detección de componentes señales con distinto nivel de ruido. Un mínimo error indica el número detectando, siendo tres componentes correctamente detectadas para la señal limpia y ruidos de 18dB, 12dB y 6dB. . . . .	37
4.7. Tiempo de cómputo de un periodograma versus el número de tareas realizadas por el computador. . . . .	39
4.8. Tiempo de cómputo de un periodograma separado en múltiples procesos dentro de un mismo computador. . . . .	40
4.9. Comparación de velocidad de los códigos, para la grilla con mínimo MMSE en la primera combinación (configuración 1). . . . .	43
4.10. Comparación de velocidad de los códigos, para la grilla con mínimo MMSE en la última combinación (configuración 2). . . . .	44
4.11. Comparación de velocidad de los códigos, para la grilla promedio sobre 4 experimentos. . . . .	45
4.12. Tiempo de cómputo de la grilla versus número de procesos al calcular 3 componentes de 4 usando la configuración 2 para 1, 2, 3, 4 y 5 partes. . .	46
4.13. Tiempo de cómputo de la grilla versus número de procesos al calcular 4 componentes de 4 usando la configuración 2 para 1, 2, 3, 4 y 5 partes. . .	47
4.14. Tiempo de cómputo de la grilla versus número de procesos al calcular 3 componentes de 4 usando la configuración 2 para 1, 2, 4, 8, 16 y 32 partes. .	48
4.15. Tiempo de cómputo de la grilla versus número de procesos al calcular 4 componentes de 4 usando la configuración 2 para 1, 2, 4, 8, 16 y 32 partes. .	48

# Índice de tablas

3.1. Tiempo teórico de cómputo MMSE sin restricciones. . . . .	23
4.1. Componentes de la señal sintética. . . . .	32
4.2. Componentes detectadas por el periodograma MMSE en la señal sintética.	33
4.3. Candidatos para validación del algoritmo de la grilla. . . . .	36
4.4. Componentes y fases detectadas por la grilla en la señal sintética. . . . .	36
4.5. Tiempo de cómputo MMSE periodograma y velocidades aparentes para múltiples equipos. . . . .	41
4.6. Orden de los candidatos para las diferentes configuraciones utilizadas en las pruebas de velocidad de la grilla. En negritas la componente no relacionada con la señal. . . . .	41
4.7. Orden de exploración de las combinaciones de componentes para el caso de 4 candidatos. . . . .	42