

# ÍNDICE

---

RESUMEN.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	ix

## CAPÍTULO 1. ACTIVIDAD SOLAR

1.1. Introducción .....	1
1.2. Estructura Solar.....	2
1.3. Campo Magnético .....	5
1.4. Viento Solar .....	6
1.5. Fulguraciones Solares.....	8
1.6. Rayos Cósmicos.....	9
1.6.1. Rayos Cósmicos Solares.....	10
1.7. Datos .....	10
1.8. Panorama Actual.....	12

## CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE FOURIER

2.1. Introducción.....	15
2.2. Señales.....	16
2.3. Series de Fourier .....	17
2.3.1. Señales Periódicas y Discontinuas.....	19
2.3.2. Condiciones de Dirichlet .....	19
2.3.3. Efecto de Gibbs.....	20
2.3.4. Señales Continuas y no Periódicas.....	20
2.4. Transformada de Fourier.....	21
2.4.1. Propiedades.....	21
2.4.2. Fórmula de Parseval.....	23
2.5. Señales Discretas y Periódicas.....	24
2.5.1. Teorema del Muestreo.....	24
2.5.2. Fenómeno de Aliasing.....	25
2.6. Series de Fourier Discreta.....	25
2.7. Transformada Discreta de Fourier.....	27
2.8. Transformada Rápida de Fourier.....	28
2.9. Transformada de Gabor.....	29
2.9.1. Principio de Incertidumbre de Heisenberg .....	29

**CAPÍTULO 3. ANÁLISIS WAVELET**

3.1.	Introducción.....	31
3.2.	Función de Escala.....	32
3.3.	Análisis Multiresolución .....	33
3.4.	Wavelet Madre .....	34
3.5.	Transformada Wavelet Continua.....	35
3.6.	Transformada Wavelet Discreta .....	37
3.7.	Descomposición Wavelet Piramidal.....	39
3.8.	Momentos de Desvanecimiento .....	41
3.9.	Wavelet Morlet .....	41
3.10.	Espectro de Potencia Wavelet .....	42
3.11.	Cono de Influencia y Niveles de Significancia.....	43

**CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES**

4.1	Introducción .....	44
4.2	Componentes Principales .....	45
4.3	Obtención Analítica del Primer Componente Principal.....	46
4.4	Reconocimiento de Imágenes utilizando ACP.....	52

**CAPÍTULO 5. APLICACIONES Y RESULTADOS**

5.1	Introducción .....	56
5.2	Clasificación de GLE en Función del Contenido Espectral.....	57
5.2.1	Características por Grupo.....	65
5.3	Análisis Wavelet por Ventanas Orientado a la Detección de Precursores GLE .....	67
5.3.1	Características.....	77
5.3.2	Comportamiento 1.....	79
5.3.3	Comportamiento 2.....	80
5.4	Análisis de Componentes Principales de la Matriz Generada por Wavelets.....	82
5.4.1	Resultados del Algoritmo ACP.....	91

CONCLUSIONES.....	94
-------------------	----

## ANEXOS

- A. Periodos de rayos cósmicos galácticos que anticipan el evento [días].....A-1
- B. Clasificación de GLE por sus periodos representativos
  - A.3-Grupo A
  - A.4-Grupo B
  - A.5-Grupo C

BIBLIOGRAFÍA.....96

# LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

---

## CAPÍTULO 1. ACTIVIDAD SOLAR

Figura 1.1 Representación de la atmosfera solar con sus diferentes regiones en función de la altura, densidad y temperatura.....	4
Figura 1.2 Estructura solar.....	4
Figura 1.3. Líneas de campo magnético abiertas y cerradas y su relación con la velocidad del viento solar...7	
Figura 1.4 Descripción de GLE en función del incremento registrado en la estación de Oulu (perfiles temporales de GLE durante los ciclos 22 y 23), tomado de Andriopoulou <i>et al.</i> , 2011.....	13
Figura 1.5 Modulación con pulsos de la serie de RSP (Pérez-Peraza <i>et al.</i> , 2009).....	14
Tabla 1.1 Estaciones de RCG con datos a partir de 1957 y su localización.....	11

## CAPÍTULO 3. ANÁLISIS WAVELET

Figura 3.1 Dominio tiempo-frecuencia efectuado por la transformada wavelet.....	37
Figura 3.2 Esquema de la descomposición en series wavelet.....	41

## CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Figura 4.1 Representación gráfica de un conjunto de tres variables.....	52
Figura 4.2 Descomposición de una imagen en un vector.....	53

## CAPÍTULO 5. APLICACIONES Y RESULTADOS

Figura 5.1 Espectro wavelet del evento 21 con un incremento reportado del 6%, el evento está señalado con la línea negra punteada.....	59
Figura 5.2 Espectro wavelet del evento 37 con un incremento reportado de 4%, el evento está señalado con la línea negra punteada.....	59
Figura 5.3 Evento 36 con un incremento reportado de 11%, el evento se encuentra resaltado por la línea negra punteada.....	61
Figura 5.4 Evento 55 con un incremento reportado del 11%, el evento se resalta con una línea negra punteada.....	61
Figura 5.5 Evento con un incremento reportado de 269%, el evento es señalado con una línea negra punteada aunque es evidente en ambos dominios.....	63
Figura 5.6 Evento con un 174% de incremento, el evento está señalado con una línea negra punteada aunque es evidente en ambos dominios .....	63
Figura 5.7 Señal temporal de los RCG, muestreo diario, estación Oulu.....	68
Figura 5.8 Superposición de los GLE sobre la señal de RCG, periodo característico promedio de 11 años...68	
Figura 5.9 Espectros con filtros de Daubechies orden 8, 6, 4 y 1.....	69
Figura 5.10 Espectro anual de series con presencia de GLE con una muestra por hora correspondientes al año 2003 y 1989 respectivamente.....	71
Figura 5.11 Espectro anual de series de tiempo sin presencia de GLE, correspondiente al año 1996 y 1987 respectivamente.....	72
Figura 5.12 Distribución de ventanas temporales para el análisis de cada evento.....	74
Figura 5.13 Ventanas de distintos tamaños con una distribución de frecuencias con distintas resoluciones; para eventos ocurridos después de 1969 el muestreo en la señal de RCG es de 5 minutos.....	75

## ÍNDICE

Figura 5.14 Espectros filtrados para resaltar periodos de menor potencia, las ventanas anticipan a un mismo evento en una hora.....	76
Figura 5.15 Perturbaciones registradas en la señal y reflejadas en los espectros wavelet.....	79
Figura 5.16 Comportamiento característico de los periodos antes de un GLE.....	80
Figura 5.17 Matriz generada por el proceso de ondículas: real, filtrada y con valor absoluto.....	83
Figura 5.18 Los aportes máximos están dados por los primeros eigenvectores, más de una cuarta parte de de la información representativa de todos los elementos se encuentra en el eigenvector #1.....	86
Figura 5.19 Pruebas con ventanas de distinto tamaño.....	92
Figura 5.20 Pruebas con números de elementos de entrenamiento distintos.....	93
Tabla 5.1 Periodos en días con sus respectivas equivalencias.....	57
Tabla 5.2 Límites asociados a los diferentes grupos.....	64
Tabla 5.3 Rango en porcentaje a los distintos grupos.....	64
Tabla 5.4 Periodos de acceso de los diferentes grupos.....	64
Tabla 5.5 Periodos de Mediano Plazo.....	70
Tabla 5.6 Periodos de corto plazo.....	70
Tabla 5.7 Distribución en porcentaje de los eigenvectores.....	85
Tabla 5.8 Resultados de la comparación de los conjuntos de matrices precursoras y matrices de ruido espacial.....	91