

CARACTERIZACIÓN DE SEÑALES SÍSMICAS TIPO LP Y VT EN EL DOMINIO  
WAVELET

JOHN JAIRO OVIEDO MEJÍA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2011

CARACTERIZACIÓN DE SEÑALES SÍSMICAS TIPO LP Y VT EN EL DOMINIO  
WAVELET

JOHN JAIRO OVIEDO MEJÍA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Físico

Director:  
OSCAR ERNESTO CADENA IBARRA.  
Físico

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2011

”Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado son responsabilidad exclusiva de su autor”

Artículo 1. del acuerdo No. 324 del 11 de Octubre de 1966, emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Director

---

Jurado

---

Jurado

San Juan de Pasto, 24 de enero de 2011

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres por creer en mí y brindarme todo su apoyo.

A María, la mujer de mi corazón por su amor, consejos y paciencia.

A mi hijo Santiago porque cada día tú eres y serás mi inspiración para seguir adelante.

A mis hermanos y familiares por la ayuda incondicional brindada continuamente.

A mi director de trabajo de grado, Oscar Cadena por sus valiosos aportes, su paciencia y su colaboración en el desarrollo de este trabajo.

A INGEOMINAS por haberme permitido llevar a cabo esta investigación.

A mis amigos por sus ideas y consejos.

A la Universidad de Nariño por haberme dado la oportunidad de estudiar y poder aprender muchas cosas.

A Dios que me ha dado la voluntad, la sabiduría y la perseverancia para lograr alcanzar esta nueva meta.

A mis padres, Luís Alberto Oviedo y Magola Mejía, porque con sus enseñanzas han guiado mi camino.

A los dos amores de mi vida, María y Santiago quienes son el motivo y la razón de mi existir.

A mis hermanos Eivar, Carlos y Cristian Oviedo Mejía y a mi sobrino Juanes, por todo el apoyo brindado.

John Jairo Oviedo Mejía

## RESUMEN

La sismicidad volcánica es una de las manifestaciones de los volcanes activos, la cual responde a procesos físicos al interior del sistema volcánico los que se analizan por medio de registros sísmicos. El presente trabajo se realizó con dos conjuntos de eventos sísmicos llamados Volcanotectónicos (VT) y sismos de Largo periodo (LP) correspondientes a las estaciones de Anganoy y Cufiño, las cuales forman parte de la red de vigilancia sísmica del volcán Galeras. El propósito de esta investigación fue la caracterización de dichos eventos utilizando una herramienta matemática denominada Transformada Wavelet Discreta (DWT). Para ello se programó una serie de rutinas que permitieron la extracción de datos, reducción de dimensionalidad de las trazas, la aplicación de la DWT, el tratamiento de coeficientes y la generación de gráficos. El software utilizado para tal fin fue MATLAB versión 7.9.0.529.

El proceso de análisis de resultados se llevó a cabo por medio de dos métodos, uno fue el estadístico el cual se apoyó en las medidas de tendencia central y dispersión y el otro fue mediante la utilización de porcentajes de energía, siendo este último el que mejores resultados arrojó. Ambos métodos fueron aplicados al conjunto de coeficientes obtenidos para los dos grupos de eventos y se realizó sus respectivas gráficas. También se utilizó la interfaz gráfica de Matlab para wavelets con el fin de reconstruir dichos coeficientes.

La manera de como fue aplicada en este trabajo esta técnica matemática a los eventos VT y LP podría ser generalizada a otras clases de registros sísmicos de los cuales con certeza se obtendría resultados favorables.

## ABSTRACT

The volcanic seismicity is one of the manifestations of active volcanoes, which responds to physical processes within the volcanic system which are analyzed using seismic records. This study was performed with two sets of seismic events called Volcano-tectonic (VT) and earthquakes long period (LP) corresponding to Anganoy and Cufino stations, which are part of the network of seismic monitoring of the Galeras volcano. The purpose of this study was to characterize of these events using a mathematical tool called Transform Discrete Wavelet (DWT). To do this, planned a series of routines that allowed the extraction of data , dimensionality reduction of the traces, the application of the DWT, treatment of the coefficients and graphics generation. The software used for this purpose was MATLAB version 7.9.0.529.

The process of analysis of results was carried out by two methods, one was the statistic which support the measures of central tendency and dispersion the other was using energy rates, the latter being the best results throw. Both methods were applied to the set of coefficients obtained for the two groups of events and performed their respective graphics. It also uses the Matlab GUI for wavelets to reconstruct such coefficients.

The way as applied in this work is mathematical technique to events VT and LP could be generalized to other types of seismic records from which certainly would be obtained favorable results.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág
RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
INTRODUCCIÓN .....	23
OBJETIVOS .....	25
ESTADO DEL ARTE .....	26
1. SISMICIDAD .....	27
1.1. TIPOS DE EVENTOS SÍSMICOS .....	27
1.1.1. Sismos Volcano-Tectónicos (VT) .....	28
1.1.1.1.VT <i>Profundos (VT-A)</i> .....	28
1.1.1.2.VT <i>Superficiales (VT-B)</i> .....	29
1.1.2. Sismos de Largo Periodo (LP) .....	30
1.1.3. Sismos Híbridos (HY) .....	31
1.1.4. Tremor .....	32
1.1.4.1. <i>Tremor Armónico</i> .....	32
1.1.4.2. <i>Tremor Espasmódico</i> .....	33
1.1.5. Sismos de Explosiones .....	34
1.2. GENERALIDADES VOLCAN GALERAS Y RED SISMOLÓGICA .....	34
2. TRANSFORMADA WAVELET .....	35
2.1. PRINCIPIOS DEL ANALISIS DE SEÑALES .....	35
2.1.1. Historia del análisis de señales .....	39
2.1.2. Transformada de Fourier .....	41

2.1.3. Transformada Corta de Fourier .....	42
2.1.4. Transformada Wavelet .....	45
2.1.4.1. <i>Transformada Wavelet Continua</i> .....	46
2.1.4.2. <i>Transformada Wavelet Discreta</i> .....	50
2.1.5. Ejemplo CWT y DWT .....	54
3. METODOLOGÍA .....	55
3.1. SELECCIÓN DE REGISTROS SÍSMICOS .....	56
3.1.1. Preprocesamiento de la información .....	57
3.1.2. Aplicación de la DWT .....	58
3.1.3. Tratamiento de coeficientes .....	65
3.1.3.1. <i>Técnicas utilizadas para la extracción de características</i> .....	67
3.1.4. Presentación de la información .....	71
3.1.4.1. <i>Reconstrucción de los cA y cD a través de la interfaz gráfica</i> .....	77
4. RESULTADOS .....	79
CONCLUSIONES .....	112
BIBLIOGRAFIA .....	113
ANEXOS .....	116

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
1.1. Evento tipo VT-A .....	29
1.2. Evento tipo VT-B .....	30
1.3. Sismo de largo periodo .....	31
1.4. Evento híbrido .....	32
1.5. Episodio de tremor armónico .....	33
1.6. Episodio de tremor espasmódico .....	33
2.1. Señal de 80Hz .....	36
2.2. Espectro de frecuencia de la señal de 80Hz .....	36
2.3. Señal estacionaria .....	37
2.4. Espectro de frecuencia de la señal estacionaria .....	37
2.5. Señal no estacionaria .....	38
2.6. Espectro de frecuencia de la señal no estacionaria .....	38
2.7. Esquema gráfico de la transformada de Fourier y su inversa .....	41

2.8. STFT aplicada a la señal no estacionaria .....	43
2.9. Ventanas utilizadas para la STFT de la señal no estacionaria .....	44
2.10.Plano Tiempo-Escala .....	45
2.11.Modelos de Señal sinusoidal y Wavelet .....	46
2.12.Modelos de Wavelet Madre .....	47
2.13.Esquema gráfico de la Transformada Ondícula y su inversa .....	48
2.14.Forma cualitativa de operación de la CWT .....	49
2.15.Mapa Wavelet .....	49
2.16.Esquema de descomposición de señales .....	51
2.17.Esquema de descomposición de la señal .....	52
2.18.Descomposición multinivel .....	53
2.19.a)Escalograma DWT, b)Escalograma CWT .....	54
3.1. Índice de la metodología .....	55
3.2. Red de Vigilancia Sísmica del Volcán Galeras .....	56
3.3. Estructura del archivo en formato ASCII .....	58

3.4. Algunas trazas recortadas obtenidas con la rutina exreg .....	58
3.5. Rutina macoef .....	60
3.6. Gráfica de los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet coiflet de orden uno .....	61
3.7. Gráfica de los coeficientes de detalle obtenidos con la wavelet coiflet de orden uno .....	62
3.8. Gráfica de los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet haar	63
3.9. Gráfica de los coeficientes de detalle obtenidos con la wavelet haar .....	64
3.10. Rutina hien .....	66
3.11. Rutina Histomed .....	68
3.12. Rutina med .....	69
3.13. Estructura de los vectores C y L .....	70
3.14. Gráfica de la distribución de frecuencias correspondiente a los cD de los sismos LP, obtenida con la rutina grahis .....	71
3.15. Gráfica de la distribución de frecuencias correspondiente a los cD de los sismos VT, obtenida con la rutina grahis .....	72
3.16. Superposición de las gráficas de las distribuciones de frecuencias para los cD de los sismos LP y VT, obtenidas con la rutina grahis .....	72
3.17. Gráfica de la media aplicada a las energías de los cD correspondientes a los sismos LP y VT, obtenida con la rutina graficar .....	73

3.18. Gráfica de la media aplicada a las filas de los histogramas correspondientes a los cA de los sismos LP y VT, obtenida con la rutina graficar .....	73
3.19. Gráfica de la desviación estándar aplicada a las matrices que contienen los valores de las energías de los cD correspondientes a los sismos LP y VT, obtenida con la rutina graficar .....	74
3.20. Gráfica de la varianza aplicada a las matrices que contienen los valores de las energías de los cA correspondientes a los sismos LP y VT, obtenida con la rutina graficar .....	74
3.21. Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, estación Anganoy .....	75
3.22. Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, estación Anganoy .....	76
3.23. Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, estación Cufiño .....	76
3.24. Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, estación Cufiño .....	77
3.25. Interfaz gráfica para Wavelets de Matlab .....	78
4.1. Gráfica de la distribución de frecuencias para los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet Daubechies 2, al nivel uno de descomposición, para los eventos LP correspondientes a la estación de Anganoy .....	79
4.2. Gráfica de la distribución de frecuencias para los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet Daubechies 2, al nivel uno de descomposición, para los eventos VT correspondientes a la estación de Anganoy .....	80
4.3. Superposición de las gráficas de las distribuciones de frecuencias para los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet Daubechies 2, al nivel uno de descomposición, para los eventos LP y VT correspondientes a la estación de Anganoy .....	80

4.4. Gráfica de dispersión de la media aplicada a las energías de los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet Daubechies 2, al nivel uno de descomposición, tanto para los eventos LP como VT correspondientes a la estación de Anganoy .....	81
4.5. Gráfica de dispersión de la media aplicada a las matrices que contienen los valores de energías de los coeficientes de detalle obtenidos con la wavelet Daubechies 2, al nivel tres de descomposición, tanto para los eventos LP como VT correspondientes a la estación de Anganoy .....	81
4.6. Gráfica de la media aplicada a las filas de las matrices de histogramas pertenecientes a los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet Daubechies 2, a nivel uno de descomposición, para eventos LP y VT correspondientes a la estación de Anganoy .....	82
4.7. Gráfica de la media aplicada a las filas de las matrices de histogramas pertenecientes a los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet Daubechies 2, a nivel dos de descomposición, para eventos LP y VT correspondientes a la estación de Anganoy .....	82
4.8. Gráfica de la media aplicada a las filas de las matrices de histogramas pertenecientes a los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet Daubechies 2, a nivel tres de descomposición, para eventos LP y VT correspondientes a la estación de Anganoy .....	83
4.9. Gráfica de la mediana aplicada a las energías de los coeficientes de detalle obtenidos con la wavelet Daubechies 2, a nivel tres de descomposición, para eventos LP y VT correspondientes a la estación de Anganoy .....	83
4.10. Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, ondícula Symlet de orden 2, estación Anganoy .....	85
4.11. Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, ondícula Coiflet de orden 1, estación Anganoy .....	85
4.12. Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, ondícula Daubechies de orden 2, estación Anganoy .....	86

4.13.Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, ondícula Symlet de orden 2, estación Anganoy .....	86
4.14.Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, ondícula Coiflet de orden 1, estación Anganoy .....	87
4.15.Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, ondícula Daubechies de orden 2, estación Anganoy .....	87
4.16.Porcentajes de energía de los cA a nivel 2, ondícula Symlet de orden 2, estación Anganoy .....	88
4.17.Porcentajes de energía de los cA a nivel 2, ondícula Coiflet de orden 1, estación Anganoy .....	89
4.18.Porcentajes de energía de los cA a nivel 2, ondícula Daubechies de orden 2, estación Anganoy .....	89
4.19.Porcentajes de energía de los cD a nivel 2, ondícula Symlet de orden 2, estación Anganoy .....	90
4.20.Porcentajes de energía de los cD a nivel 2, ondícula Coiflet de orden 1, estación Anganoy .....	90
4.21.Porcentajes de energía de los cD a nivel 2, ondícula Daubechies de orden 2, estación Anganoy .....	91
4.22.Porcentajes de energía de los cA a nivel 3, ondícula Symlet de orden 2, estación Anganoy .....	92
4.23.Porcentajes de energía de los cA a nivel 3, ondícula Coiflet de orden 1, estación Anganoy .....	92
4.24.Porcentajes de energía de los cA a nivel 3, ondícula Daubechies de orden 2,	

estación Anganoy .....	93
4.25.Porcentajes de energía de los cD a nivel 3, ondícula Symlet de orden 2, estación Anganoy .....	93
4.26.Porcentajes de energía de los cD a nivel 3, ondícula Coiflet de orden 1, estación Anganoy .....	94
4.27.Porcentajes de energía de los cD a nivel 3, ondícula Daubechies de orden 2, estación Anganoy .....	94
4.28.Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, ondícula Symlet de orden 2, estación Cufiño .....	95
4.29.Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, ondícula Coiflet de orden 1, estación Cufiño .....	96
4.30.Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, ondícula Daubechies de orden 2, estación Cufiño .....	96
4.31.Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, ondícula Symlet de orden 2, estación Cufiño .....	97
4.32.Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, ondícula Coiflet de orden 1, estación Cufiño .....	97
4.33.Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, ondícula Daubechies de orden 2, estación Cufiño .....	98
4.34.Porcentajes de energía de los cA a nivel 2, ondícula Symlet de orden 2, estación Cufiño .....	99
4.35.Porcentajes de energía de los cA a nivel 2, ondícula Coiflet de orden 1, estación Cufiño .....	99

4.36.Porcentajes de energía de los cA a nivel 2, ondícula Daubechies de orden 2, estación Cufiño .....	100
4.37.Porcentajes de energía de los cD a nivel 2, ondícula Symlet de orden 2, estación Cufiño .....	100
4.38.Porcentajes de energía de los cD a nivel 2, ondícula Coiflet de orden 1, estación Cufiño .....	101
4.39.Porcentajes de energía de los cD a nivel 2, ondícula Daubechies de orden 2, estación Cufiño .....	101
4.40.Porcentajes de energía de los cA a nivel 3, ondícula Symlet de orden 2, estación Cufiño .....	102
4.41.Porcentajes de energía de los cA a nivel 3, ondícula Coiflet de orden 1, estación Cufiño .....	103
4.42.Porcentajes de energía de los cA a nivel 3, ondícula Daubechies de orden 2, estación Cufiño .....	103
4.43.Porcentajes de energía de los cD a nivel 3, ondícula Symlet de orden 2, estación Cufiño .....	104
4.44.Porcentajes de energía de los cD a nivel 3, ondícula Coiflet de orden 1, estación Cufiño .....	104
4.45.Porcentajes de energía de los cD a nivel 3, ondícula Daubechies de orden 2, estación Cufiño .....	105
4.46.Señal LP, correspondiente a la estación de Anganoy, aproximaciones y detalles a niveles 1, 2 y 3, ondícula symlet de orden dos .....	106
4.47.Señal LP, correspondiente a la estación de Anganoy, aproximaciones y detalles	

a niveles 1, 2 y 3, ondícula coiflet de orden uno .....	106
4.48.Señal LP, correspondiente a la estación de Anganoy, aproximaciones y detalles a niveles 1, 2 y 3, ondícula daubechies de orden dos .....	107
4.49.Señal VT, correspondiente a la estación de Anganoy, aproximaciones y detalles a niveles 1, 2 y 3, ondícula symlet de orden dos .....	107
4.50.Señal VT, correspondiente a la estación de Anganoy, aproximaciones y detalles a niveles 1, 2 y 3, ondícula coiflet de orden uno .....	108
4.51.Señal VT, correspondiente a la estación de Anganoy, aproximaciones y detalles a niveles 1, 2 y 3, ondícula daubechies de orden dos .....	108
4.52.Señal LP, correspondiente a la estación de Cufiño, aproximaciones y detalles a niveles 1, 2 y 3, ondícula symlet de orden dos .....	109
4.53.Señal LP, correspondiente a la estación de Cufiño, aproximaciones y detalles a niveles 1, 2 y 3, ondícula coiflet de orden uno .....	109
4.54.Señal LP, correspondiente a la estación de Cufiño, aproximaciones y detalles a niveles 1, 2 y 3, ondícula daubechies de orden dos .....	110
4.55.Señal VT, correspondiente a la estación de Cufiño, aproximaciones y detalles a niveles 1, 2 y 3, ondícula symlet de orden dos .....	110
4.56.Señal VT, correspondiente a la estación de Cufiño, aproximaciones y detalles a niveles 1, 2 y 3, ondícula coiflet de orden uno .....	111
4.57.Señal VT, correspondiente a la estación de Cufiño, aproximaciones y detalles a niveles 1, 2 y 3, ondícula daubechies de orden dos .....	111

## LISTA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO A. Algunos Comandos de Matlab .....	116
ANEXO B. Código rutina exreg .....	119
ANEXO C. Código rutina macoef .....	134
ANEXO D. Código rutina hien .....	145
ANEXO E. Código rutina Histomed .....	161
ANEXO F. Código rutina med .....	166
ANEXO G. Código rutina poener .....	171
ANEXO H. Código rutina mtean .....	183
ANEXO I. Código rutina graficar .....	185
ANEXO J. Código rutina grahis .....	196
ANEXO K. Código rutina simplificar .....	200
ANEXO L. Código rutina gra .....	206

## GLOSARIO

ASCII: (Código Estadounidense estándar para el intercambio de información) es un código de caracteres basado en el alfabeto latino.

Coda: Parte del registro sísmico que inicia cuando la amplitud del sismo empieza a disminuir.

CWT: (Continuous Wavelet Transform o Transformada Wavelet Continua) Expresa una señal  $f(t)$  continua en el tiempo, a través de una expansión de términos o coeficientes proporcionales al producto entre la señal y diferentes versiones escaladas y trasladadas de una función modelo  $\psi(t)$  más conocida como wavelet madre.

DWT: (Discrete Wavelet Transform o Transformada Wavelet Discreta) Capaz de entregar suficiente información tanto para el análisis como para la reconstrucción de una señal, con una reducción del tiempo de procesamiento. En esta transformada los parámetros de escala y traslación se encuentran discretizados mediante una escala diádica.

Enjambre Sísmico: Serie de sismos pequeños que ocurren en la misma zona durante un tiempo breve, no siendo ninguno de ellos de magnitud relevante y no necesariamente se presentan al inicio de la secuencia.

Escalograma: Puede interpretarse como una descripción la distribución de la energía de la señal en el plano tiempo-escala.

Estratovolcán: Tipo de volcán cónico y de gran altura, compuesto por múltiples capas de lava endurecida, piroclastos y cenizas volcánicas.

Falla: Rompimiento de la roca, debido a que el esfuerzo que se aplica sobre la roca es muy grande.

Ondas P: Denominadas también ondas longitudinales o de compresión. Son mas rápidas que las ondas S y se registran mas rápido.

Ondas S: Son también conocidas como ondas transversales o de cizalla. Oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación.

Ondículas: Son pequeñas ondas localizadas, o sea señales que decaen rápidamente a cero después de unas pocas oscilaciones, y cuyo valor promedio es nulo.

Paso alto: Filtro cuya función es eliminar las frecuencias que se encuentran por debajo de la mitad de la máxima frecuencia de una señal.

Paso bajo: Filtro encargado de atenuar las frecuencias que están por encima de la mitad de la mayor frecuencia presente en una señal.

Sismo: Evento físico provocado por la liberación de energía, debido a una reorganización

brusca de materiales de la corteza terrestre

Sismómetro: Dispositivo para registrar el movimiento de la superficie de la tierra ocasionado por un sismo. Parte de la energía es propagada en todas las direcciones en forma de ondas sísmicas. Denominado temblor cuando no causa daños y terremoto cuando el evento es devastador y la sacudida es brusca.

Sismómetros de Banda Ancha: Reciben este nombre por la capacidad de registro en un ancho rango de frecuencias.

Sismómetros de Corto periodo: Registran las altas frecuencias superiores a 1 Hz, que se propagan sobre distancias mucho más cortas.

STFT: (Short-time Fourier transform o Transformada Corta de Fourier) Consiste en segmentar una señal utilizando una función ventana, donde se asume que el segmento encerrado por la ventana es una señal estacionaria a la cual se le aplica la transformada de Fourier. Posteriormente esta ventana se desplaza en el tiempo y se realiza el mismo procedimiento hasta que toda la señal sea recorrida.

SUDS: (Seismic Unified Data System o Sistema Unificado de Datos Sísmicos) Formato a partir del cual, es posible la conversión a otro tipo de formatos.

Wavelets: Ver ondículas.

## INTRODUCCIÓN

La sismicidad es una de las manifestaciones de la actividad volcánica, ella puede estar ligada con algunos ciclos de las erupciones, con periodos posteriores, revelando una serie de cambios físicos a nivel interno del sistema volcánico, por ello para la sismología volcánica es de vital importancia conocer la dinámica del sistema magmático activo, definir características físicas y acompañar su proceso tanto temporal como espacial. Es aquí donde el análisis de señales desempeña un papel muy importante porque debe tener en cuenta procesos de detección, registro, identificación, clasificación y análisis cuantitativo de las señales sísmicas. Este último se lleva a cabo mediante la utilización de un gran número de herramientas matemáticas entre las que se distingue la Transformada de Fourier debido a que ella es capaz de mostrar las frecuencias contenidas en una determinada señal.

A medida que se descubren nuevas herramientas de análisis de series de tiempo, se cuenta con métodos cada vez más sofisticados que permiten realizar un análisis de señales desde otro punto de vista, primordialmente ante la necesidad de analizar señales que presentan amplitudes variables de manera ligera y brusca o señales cuyo contenido de frecuencias varía de un momento a otro las cuales se conocen con el nombre de no estacionarias. Dichas señales se derivan de áreas de investigación como sismología, electrónica, medicina, etc. Entre estas nuevas técnicas se encuentra la Transformada Wavelet o Transformada Ondícula. La palabra wavelet da la idea de pequeña onda u ondícula, entonces desde la perspectiva del análisis de señales esta transformada divide la señal en una serie de pequeñas ondas permitiendo realizar un estudio localizado, analizarla a diferentes resoluciones o escalas y de esta manera mostrar detalles cada vez más finos de ella.

En este trabajo se utiliza la Transformada Wavelet Discreta para caracterizar dos tipos de eventos producidos en el volcán Galeras los cuales son los volcano-tectónicos (VT) vinculados con el fracturamiento de la roca en el edificio volcánico y los de largo periodo (LP) relacionados con procesos en los cuales intervienen fluidos al interior del volcán, además se pretende encontrar una clase de ondícula madre que permita buscar una mejor manera de extraer características generales para cada grupo de estos registros.

El desarrollo del contenido de este trabajo comienza con la exposición sobre conceptos de sismología referentes a clases de sismos y generalidades del volcán Galeras. Posteriormente se presentan herramientas matemáticas como la transformada de Fourier, la transformada corta de Fourier (STFT) que dieron paso a la transformada Ondícula además de hablar de ésta y de sus clases, luego se realiza una exposición de la metodología empleada en la investigación que va desde la forma en que el Observatorio Vulcanológico de la ciudad de Pasto (OVSP) obtiene los registros sísmicos hasta la manera de como se selecciona, escogió y aplicó el análisis Wavelet a estos. Aquí se presenta una breve descripción de las diferentes rutinas aplicadas, después se hace referencia al análisis de

resultados para enseguida dar a conocer las conclusiones. Al final se muestra en los anexos las diferentes rutinas, elaboradas y ejecutadas con el software MATLAB versión 7.9.0.529 (R2009b), que fueron utilizadas para realizar la extracción y análisis de los registros y también se habla de manera corta acerca de la función que desempeñan los comandos más importantes en cada rutina.

## OBJETIVOS

### Objetivos Generales

Caracterizar los registros sísmicos tipo VT y LP, originados en el volcán Galeras, utilizando la transformada Wavelet Discreta.

### Objetivos Específicos

- Determinar un tipo de wavelet madre que optimice la extracción de características para cada conjunto de registros sísmicos a estudiar.

## ESTADO DEL ARTE

Las Wavelets han tenido una historia científica excepcional, marcada por muchas revelaciones y redescubrimientos independientes. El avance más apresurado se ha realizado desde principios de la década de 1980, cuando nació por fin una teoría matemática coherente de las Wavelets. Hoy en día el campo de acción de la onditas ha sido implementado en trabajos de sismología donde se han obtenido muy buenos resultados. Trabajos como el de Peña Negueruela, Francisco Javier en el volcán Popocatepetl en México, hacen uso de la Transformada Wavelet Continua (CWT) para estudiar la evolución temporal del espectro de sismos de origen volcánico utilizando representaciones tiempo-frecuencia, con el propósito de hacer mas sencillo el análisis espectral de gran cantidad de registros, de manera ágil y detallada [17]. El Trabajo desarrollado por Peña, J. utiliza la transformada ondícula para realizar análisis y comparación de espectrogramas de registros sísmicos correspondientes a una pequeña explosión ocurrida el 10 de abril de 1999 y registrada en tres estaciones sísmicas denominadas Canario, Juncos y Cuervos, también del volcán Popocatepetl [16]. En Colombia en trabajos como el de Hurtado, J.E, Henao, R y Castellanos, G. la transformada Wavelet Discreta (DWT) es aplicada a ocho clases de sismos en que se clasifican las señales que llegan al observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales, Hielos (ice), Avalanchas(ava), Volcano tectónicos(vt), Largo Período (lp), Tremores (tre), Tectónicos locales (tl), regionales (re) y tele-sismos (ts), con el objetivo de extraer características de estos registros. En este trabajo se utiliza la ondícula Daubechies 2 (db2) [7].

## 1SISMICIDAD

Una de las manifestaciones de los volcanes activos es la sismicidad, la cual puede estar relacionada con determinadas fases de las erupciones, con etapas posteriores o futuras, reflejando un proceso físico en el interior del sistema volcánico como movimientos internos o de transporte de energía térmica y masa en cámaras magmáticas, explosiones y pulsaciones del magma durante su ascenso, etc [19]. Desde el punto de vista sísmico el análisis de una zona volcánica es fundamental porque por medio de este conoceremos variados aspectos del sistema volcánico como los anteriormente mencionados y sus efectos o consecuencias derivadas de estos como también el posible estado de esfuerzos locales y regionales. Para estudiar una región volcánica se debe aprovechar al máximo los datos e instrumentos de los que se dispongan. Estos análisis requieren de la aplicación de conceptos y técnicas que en muchos casos no son propios de la sismología volcánica, si no que son ideas y técnicas comunes de la sismología aplicadas a zonas volcánicas.

Los instrumentos que permiten en primera instancia evidenciar los procesos ocurridos en el interior del sistema volcánico se conocen como sismómetros, que constan básicamente de una masa inercial, una suspensión y un amortiguador, los cuales se basan en el principio de inercia de una masa suspendida, que tiende a permanecer en estado de reposo ante un movimiento externo. De acuerdo con este principio solo se podrá medir el movimiento si hay aceleración. Los registros de las señales sísmicas, también conocidos como firmas, obtenidos por estos sensores quedan registrados tanto análoga como digitalmente en las estaciones del Observatorio Vulcanológico.

Para la comprensión y análisis de una región volcánica utilizando datos sísmicos se precisa lo siguiente: detección, registro, identificación, clasificación de las señales y finalmente un análisis cuantitativo de las mismas.

En fin, debido a que la sismicidad es uno de los principales recursos de vigilancia volcánica, ha sido de primordial interés durante varios años lograr establecer clasificaciones que permitan interpretar correctamente los procesos al interior del sistema volcánico[19].

### 1.1. TIPOS DE EVENTOS SÍSMICOS

En un régimen volcánico existen sismos, ya sea como fracturas de extensión, debido a deformaciones inflacionarias del edificio volcánico o fracturas de cizalla a lo largo de fallas preexistentes como consecuencia de procesos de inyección o regresión de fluidos [19].

La familia de sismos de fractura que ocurren en una zona volcánica se denominan eventos volcano-tectónicos VT (Latter, 1979; Lahr et al, 1994 y Chouet, 1996) sin distinguir si su origen es puramente volcánico o como resultado de la acumulación de esfuerzos tectónicos. Los sismos volcánicos asociados con procesos de dinámica de fluidos en el sistema magma-gas o hidrotermal son tremor, TR y eventos de largo periodo, LP (Chouet, 1981, 1988, 1992 y 1996). Además, en el amplio entorno de la dinámica de toda la estructura del volcán, los eventos LP, TR y sismos VT están íntimamente ligados, así que los eventos que reflejan la transición entre los procesos originados directamente en el fluido y aquellos originados directamente en el sólido se denominan eventos híbridos, HY [19].

A continuación se hace una descripción breve de las principales características de estas clases de sismos:

#### 1.1.1. Sismos Volcano-Tectónicos (VT)

##### 1.1.1.1. *VT Profundos (VT-A) o Tipo A*

- Ocurren a profundidades mayores a dos kilómetros medidos desde la cima del volcán.
- Su rango de frecuencias está aproximadamente entre los 5 Hz y los 25 Hz.
- La firma está dominada por mostrar de manera distinguible las fases de ondas de cuerpo P y S y exhibir un decaimiento rápido de la coda con una caída exponencial [19] (figura 1.1).
- El comienzo de la señal suele ser más o menos impulsivo y es posible identificar la llegada de la onda S [9].
- Son señales de duración variable, desde los pocos segundos para los sismos más pequeños, hasta algunos minutos para los más grandes [9].
- Estos sismos se generan por el fracturamiento de la roca en respuesta a la intrusión y migración de magma o a la expansión de fluidos geotérmicos de alta presión.

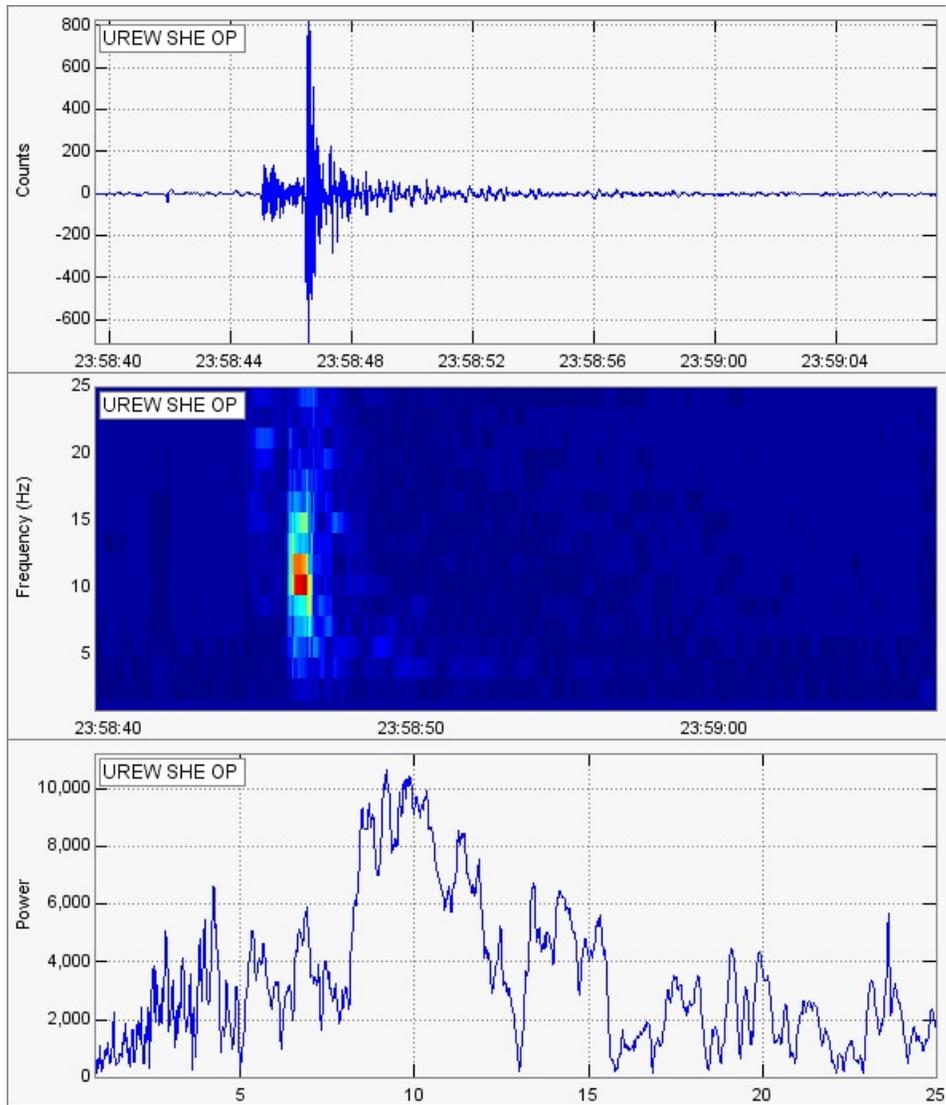


Figura 1.1: Evento tipo VT-A registrado por la red sísmica de Galeras. Sismograma digital (superior), espectrograma (centro) y espectro de Fourier (inferior). Figura suministrada por el Observatorio Vulcanológico de Pasto.

#### 1.1.1.2. *VT Superficiales (VT-B) o Tipo B*

- Ocurren a profundidades menores o iguales a dos kilómetros.
- Presentan un contenido de frecuencias mas bajo que el de los VT-A.
- Muestran una muy larga duración de coda (figura 1.2).

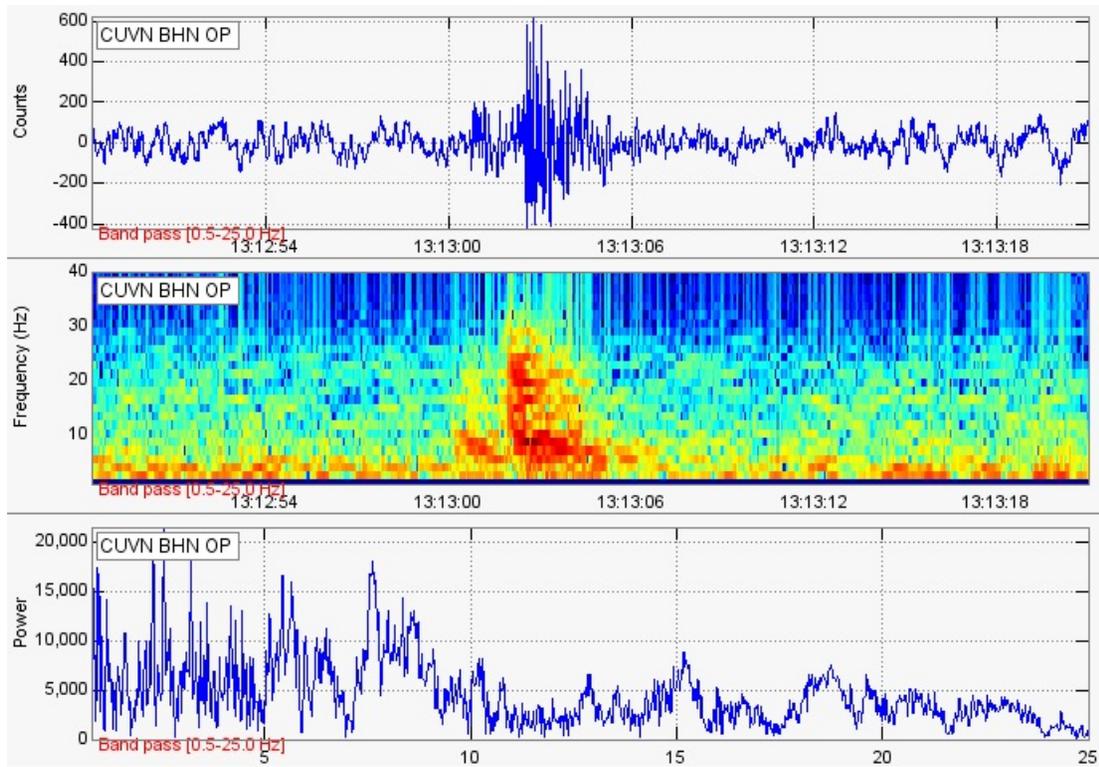


Figura 1.2: Evento tipo VT-B registrado por la red sísmica de Galeras. Sismograma digital (superior), espectrograma (centro) y espectro de Fourier (inferior). Figura suministrada por el Observatorio Vulcanológico de Pasto.

### 1.1.2. Sismos de Largo Periodo (LP)

- Tienen una duración entre los pocos segundos hasta algo más de un minuto.
- Presentan un rango de frecuencias que está aproximadamente entre los 0.5 Hz y los 5 Hz.
- Su comienzo suele ser emergente por lo que resulta difícil determinar el momento exacto del inicio de la señal [9].
- En zonas, como el volcán Galeras aparecen unos eventos que espectralmente se podrían clasificar como eventos de largo periodo, pero que por su forma de onda han recibido un nombre más descriptivo, eventos “tornillo”(e.g. Gomez y Torrez 1997; Narvaez et al.,1997) aludiendo a su forma de onda [9].
- Estos eventos tienden a tener una larga duración de la coda con relación a las amplitudes (figura 1.3).
- La ocurrencia de estos eventos suele ser en forma de enjambre sísmico.

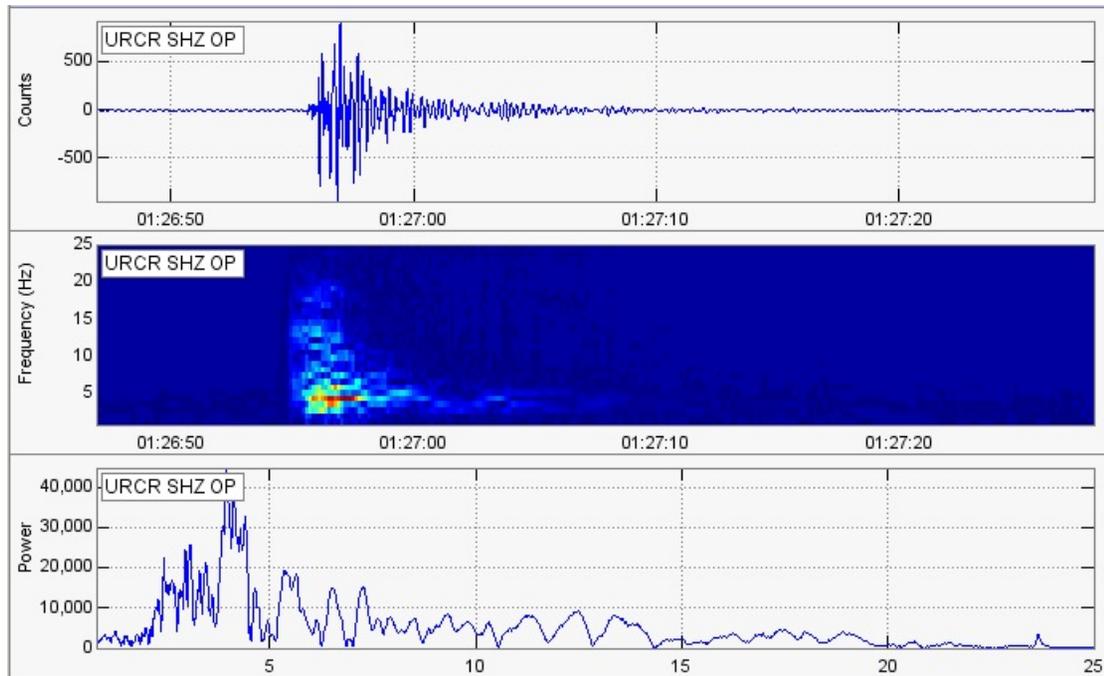


Figura 1.3: Sismo de largo periodo registrado por la red sísmica de Galeras. Sismograma digital (superior), espectrograma (centro) y espectro de Fourier (inferior). Figura suministrada por el Observatorio Vulcanológico de Pasto.

### 1.1.3. Sismos Híbridos (HY)

- Tienen un comienzo por señales caracterizadas a altas frecuencias, normalmente una amplia banda espectral (Hasta mas allá de 10 Hz), en donde se pueden identificar fases P y S[9] (figura 1.4).
- Aparecen asociados a episodios pre-eruptivos inminentes[9].
- Las altas frecuencias al inicio de los híbridos son mas pronunciadas que en las de los LP [9].

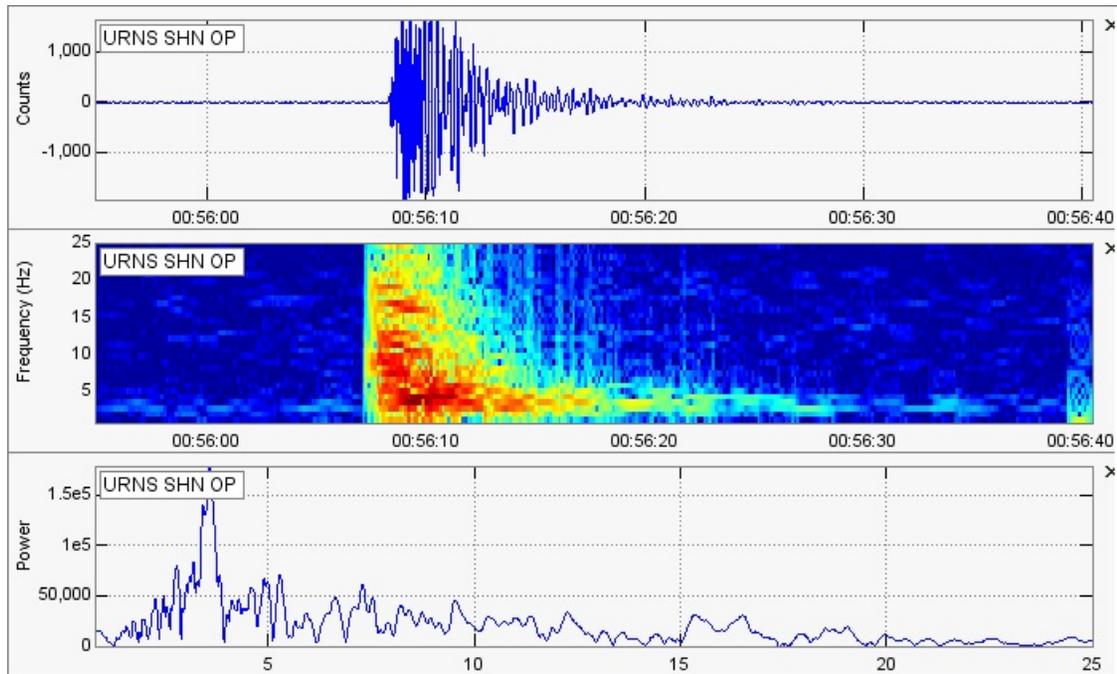


Figura 1.4: Evento híbrido registrado por la red sísmica de Galeras. Sismograma digital (superior), espectrograma (centro) y espectro de Fourier (inferior). Figura suministrada por el Observatorio Vulcanológico de Pasto.

#### 1.1.4. Tremor

Sismos asociados con el movimiento de fluidos, entre ellos están:

##### 1.1.4.1. *Tremor Armónico*

- Presenta sucesiones de onda monocromáticas (una sola frecuencia) o cuasimonocromáticas en una banda frecuencial muy angosta.
- Mantienen una amplitud casi uniforme o muestran modulaciones regulares de la envolvente (figura 1.5).

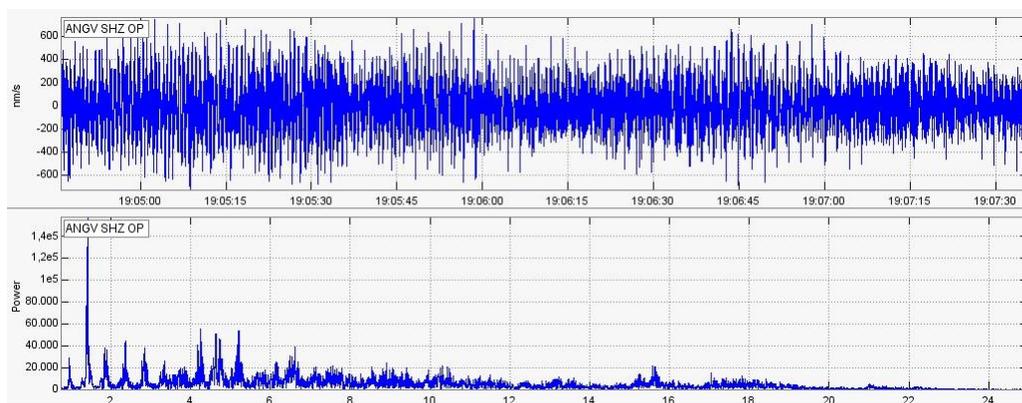


Figura 1.5: Episodio de tremor armónico registrado por la red sísmica de Galeras. Sismograma digital (superior) y espectro de Fourier (inferior). Figura suministrada por el Observatorio Vulcanológico de Pasto.

#### 1.1.4.2. *Tremor Espasmódico*

- No exhibe frecuencias dominantes distinguibles a primera vista y su banda de contenido espectral es más amplia que los tremores armónicos.
- La mayoría de estos tremores son de carácter espasmódico compuestos de amplitudes distribuidas aleatoriamente sin llegar a establecer envolventes bien determinadas (figura 1.6).

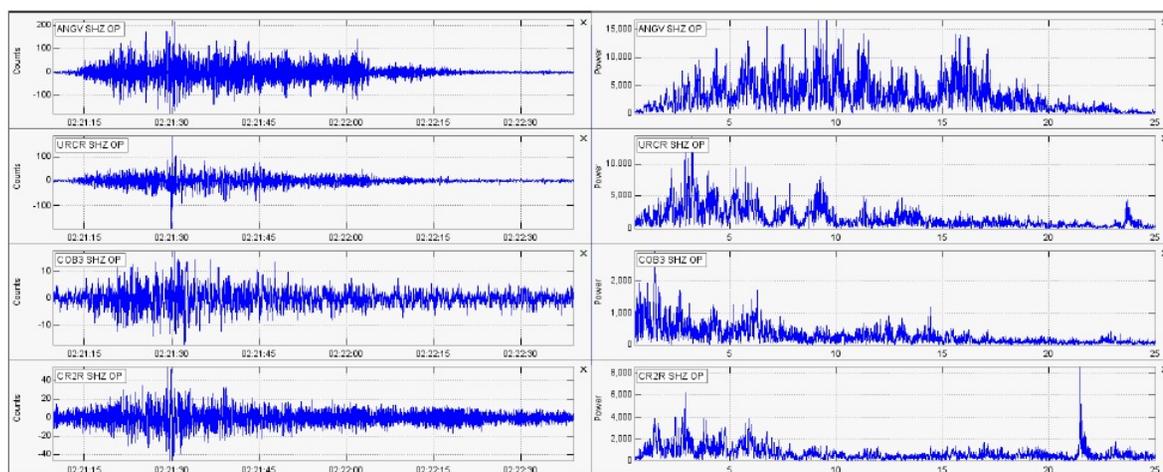


Figura 1.6: Episodio de tremor espasmódico registrado por la red sísmica de Galeras. Izquierda, sismograma digital, derecha, espectro de Fourier. Figura suministrada por el Observatorio Vulcanológico de Pasto.

### 1.1.5. Sismos de Explosiones

- Son resultado de explosiones volcánicas durante actividad eruptiva.
- Sus firmas pueden variar de manera relevante dependiendo de la fuerza, duración y frecuencia de repetición de las erupciones.

## 1.2. GENERALIDADES VOLCÁN GALERAS Y RED SISMOLÓGICA

El Galeras es un volcán del sur de Colombia, localizado en el Departamento de Nariño, aproximadamente a 9 Km al occidente de la ciudad de San Juan de Pasto, capital de este Departamento [10]. Su nombre fue dado por los conquistadores españoles que llegaron a la región a principios del siglo XVI. Esto se debió a que el contorno de la cima les pareció similar a la de las Galeras, barcos impulsados por la fuerza de los remos y en ocasiones por el viento (poseían una o más velas grandes) y que en esa época navegaban por el Mediterráneo.

El Volcán Galeras pertenece a los volcanes del tipo estratovolcán, el cual posee una forma cónica con su edificio destruido en la parte occidental, la elevación de la cima es de 4,276 msnm ; antigüedad mayor a 5.000 años; diámetro de la base 20 km.; profundidad de la caldera 80 m.; diámetro del cráter principal 320 m.; posee otros cráteres aledaños más pequeños; no presenta glaciares; volumen total del edificio volcánico aún sin calcular[10].

El Galeras es considerado en Colombia, como uno de los volcanes más activos, ya que presenta una alta tasa de períodos de actividad en comparación con los lapsos de tiempo en los que permanece en reposo.

El observatorio Vulcanológico y sismológico de Pasto cuenta hoy con una red de vigilancia sísmica conformada por diez estaciones equipadas tanto con sensores de corto periodo como de banda ancha, situadas en diferentes sectores en las proximidades del cono activo del volcán.

La información sísmica recepcionada por estas estaciones es transmitida teleméricamente vía radio en tiempo real a la sede del OVSP. Al ser recibidas por sistemas de adquisición, estas señales se direccionan a registradores analógicos y se registran digitalmente para su procesamiento empleando herramientas informáticas. Los datos se digitalizan con una tasa de 100 muestras por segundo; la información es almacenada en archivos en formato SUDS (Seismic Unified Data System) a partir del cual, es posible la conversión a otro tipo de formatos (ASCII, SEISAN, etc.)[19].

## 2TRANSFORMADA WAVELET

### 2.1. PRINCIPIOS DEL ANALISIS DE SEÑALES

Varios de los sucesos físicos pueden describirse por medio de una señal en el dominio del tiempo, al graficar esta resultara una función de tiempo-amplitud la cual no siempre podría aportar información necesaria para describir el fenómeno que la produjo. En muchos casos el dominio de la frecuencia resulta de mucha utilidad ya que muestra las frecuencias contenidas en la señal. Por consiguiente, para lograr una mejor apreciación de la señal es necesario representarla en el dominio tiempo-frecuencia.

Los propósitos de las herramientas matemáticas son dos:

- Reducir operaciones
- Permitir hacer visibles detalles que no han sido observados en la función como tal.

Son varias las transformaciones existentes utilizadas en el análisis de señales; pero definitivamente la mas conocida es la Transformada de Fourier, esta transformación hace posible representar una señal en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia evidenciándose así las componentes frecuenciales de la señal. A continuación se presenta una señal con una frecuencia de 80Hz Figura2.1 a la cual se lea ha aplicado la transformada de Fourier. En la Figura2.2 el espectro de frecuencias producto de esta transformada presenta una componente frecuencial de 80Hz. De esta manera es como se puede extraer información frecuencial importante que no se puede percibir en el dominio del tiempo. En muchos casos esta transformada resulta útil. En el caso de señales estacionarias, señales cuyo contenido frecuencial no varia en el tiempo, no se hace necesario saber en que instante de tiempo están presentes las componentes frecuenciales ya que estas obviamente se encuentran presentes a lo largo de toda la duración de la señal.

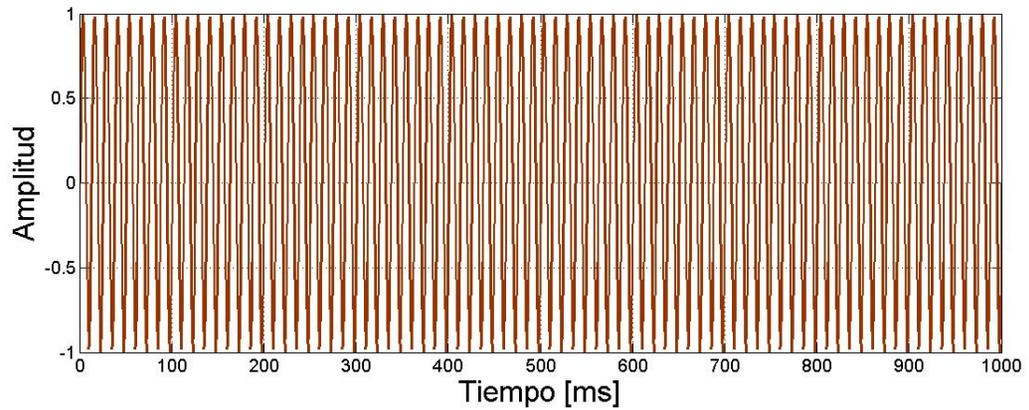


Figura 2.1: Señal de 80Hz. Gráfica de esta investigación.

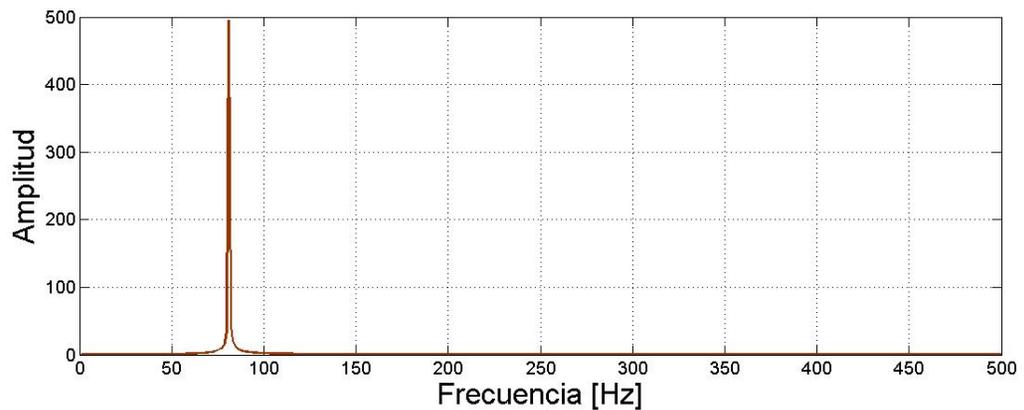


Figura 2.2: Espectro de frecuencia de la señal de 80Hz. Gráfica de esta investigación.

Para clarificar un poco más este concepto consideremos la siguiente señal:

$$x(t) = \text{sen}(2\pi*20t) + \text{sen}(2\pi*100t) + \text{sen}(2\pi*150t) + \text{sen}(2\pi*200t)$$

Esta es una señal estacionaria con frecuencias de 20, 100, 150 y 200Hz (figura2.3) las cuales se puede observar claramente cuando se obtiene su espectro de frecuencias (figura2.4).

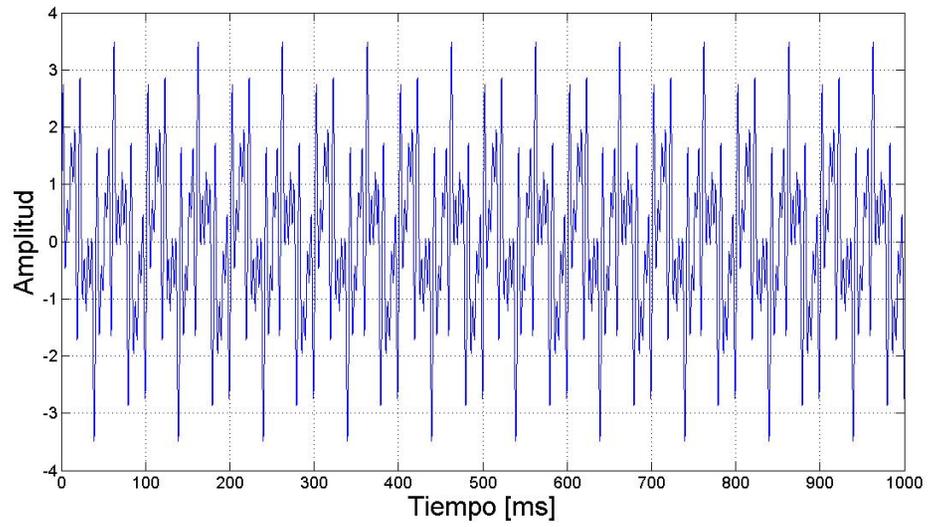


Figura 2.3: Señal estacionaria con frecuencias 20, 100, 150 y 200Hz. Gráfica de esta investigación.

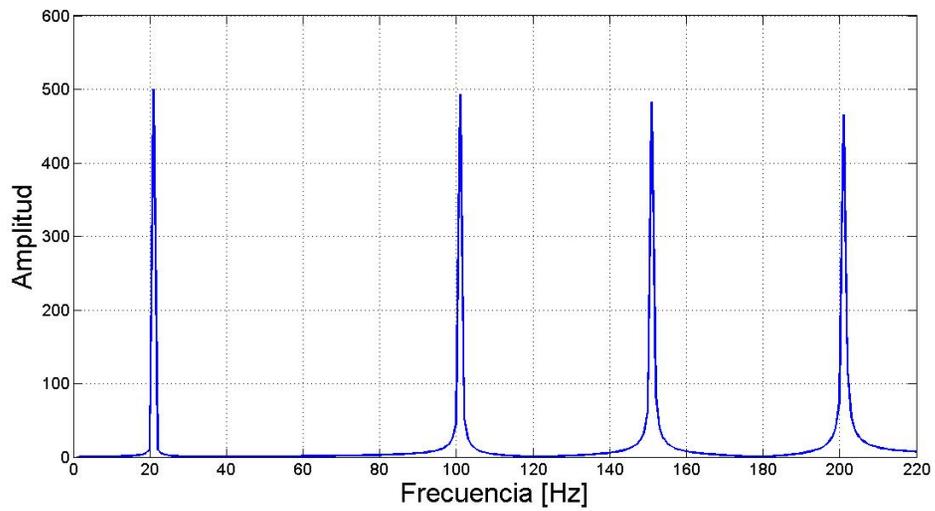


Figura 2.4: Espectro de frecuencia de la señal estacionaria. Gráfica de esta investigación.

De otro lado, algunas señales cuya amplitud cambia en forma ligera y abrupta en el tiempo o señales cuyas frecuencias contenidas varían de un instante de tiempo a otro, se conocen como señales no estacionarias, a continuación se presenta una señal de esta clase tomando las mismas frecuencias del ejemplo anterior pero estas frecuencias van a estar distribuidas en diferentes intervalos de tiempo(20 Hz entre 0 y 200 ms, 100 Hz entre 200 y 500 ms, 150 Hz entre 500 y 800 ms y 200 Hz entre 800 y 1000 ms) (figura2.5). Además a esta señal se le aplicó la transformada de Fourier (figura2.6).

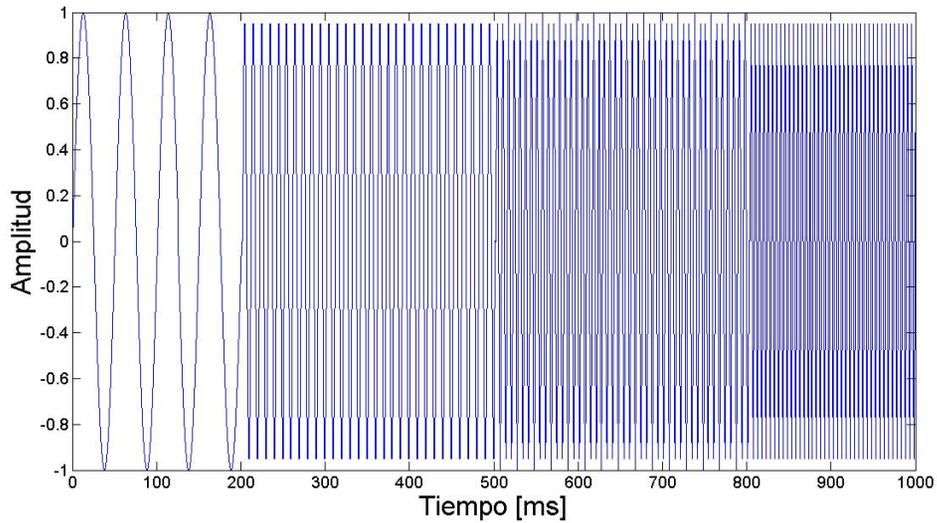


Figura 2.5: Señal no estacionaria con frecuencias 20, 100, 150 y 200 Hz. Gráfica de esta investigación.

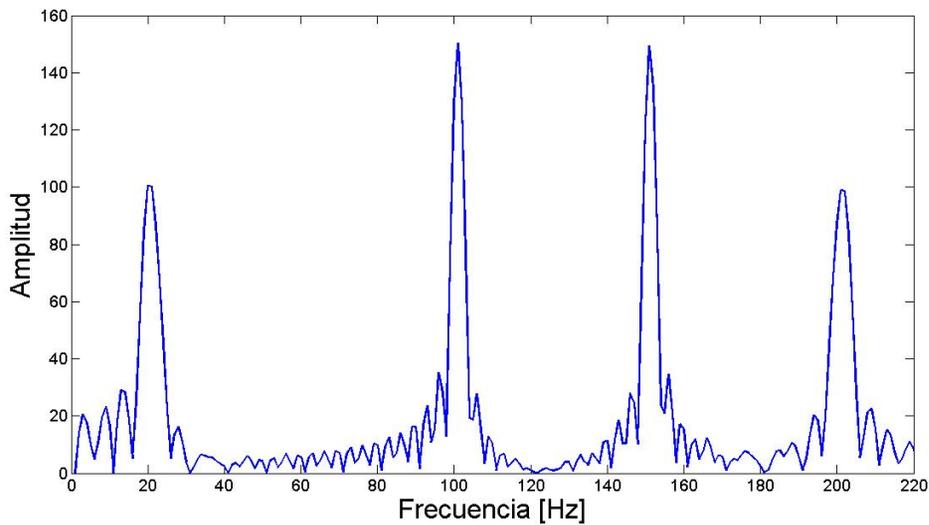


Figura 2.6: Espectro de frecuencia de la señal no estacionaria. Gráfica de esta investigación.

Comparando los espectros de las señales estacionarias y no estacionarias podemos darnos cuenta que cada uno muestra las cuatro componentes espectrales correspondientes a las frecuencias de 20, 100, 150 y 200 Hz; pero con la diferencia de que en el espectro de la señal estacionaria las frecuencias se encuentran distribuidas a lo largo de toda la señal mientras que en el espectro de la otra señal estas frecuencias corresponden a distintos intervalos de tiempo y todas no van a estar presentes en cada instante de duración de la señal. Esto es debido a que la Transformada de Fourier es capaz de mostrar solamente contenido frecuencial mas no localización temporal de estas frecuencias, razón por la cual esta herramienta no es la mas apropiada para el tratamiento de señales no estacionarias, debido a que ellas presentan características transitorias por lo cual se hace necesario obtener una correspondencia tiempo-frecuencia.

### 2.1.1. Historia del análisis de señales

La historia del análisis de señales comienza en 1807 con Joseph Fourier quien afirmo que toda función  $f(t)$  periódica de periodo  $T$ , puede ser representada como la suma infinita de funciones sinusoidales es decir:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sen(n\omega_0 t)) \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.1)$$

donde los coeficientes del desarrollo  $a_n$  y  $b_n$  se obtienen aplicando las siguientes fórmulas;

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt \quad (2.2)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega_0 t) dt \quad (2.3)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sen(n\omega_0 t) dt \quad (2.4)$$

La teoría de Fourier cumplió una labor importante en el desarrollo de los conceptos que los matemáticos tenían de las funciones y del análisis de señales y en el descubrimiento de novedosas herramientas de análisis que llevarían muchos años después al surgimiento de la Transformada Wavelet.

Posterior al aporte de Fourier los científicos con base en el estudio de las frecuencias enfocaron su investigación en la observación de las escalas. El procedimiento seguido para analizar señales se basaba en elaborar una función, trasladar esta en un intervalo temporal eligiéndose una escala. Esto se repetía varias veces realizando el mismo procedimiento pero modificando la escala. Desarrollada esta técnica, se obtenía cada vez una aproximación reciente de la señal analizada hasta lograr la aproximación requerida para el estudio.

En 1909 apareció por primera vez una Wavelet, esto sucedió en el trabajo de tesis de Haar. Una propiedad de la Wavelet de Haar es su soporte compacto y brinda el concepto de ondas base de corta duración. En 1946 Denis Gabor adecuó la transformada de Fourier para estudiar una reducida sección de una señal en un determinado tiempo (utilizando una especie de ventana). Esta adecuación es lo que se conoce como la STFT<sup>1</sup>, la cual permitió trasladar una señal del plano del tiempo al plano bidimensional de tiempo-frecuencia.

Entre 1960 y 1980 en trabajos realizados por Guido Weiss y Ronald R. Coifman, investigaron lo que llamaron “átomos”, componentes a partir de los cuales era posible restaurar una señal. Durante los 80, Grossman y Morlet, un ingeniero y un geofísico, emplearon las Wavelets para analizar temblores y modelar el proceso de las ondas del sonido desplazándose a través de la corteza terrestre. Además en esta década apareció la primer Wavelet no trivial la cual era continuamente diferenciable y fue construida por el matemático Yves Meyer. De otro lado Stephane Mallat, especialista en tratamiento de imágenes, realizó descubrimientos importantes en el área del análisis digital de señales al relacionar la teoría matemática de Meyer con las técnicas innovadoras en el tratamiento de imágenes. La idea principal de sus resultados recibe el nombre de análisis multiresolución (MRA). Ingrid Daubechies se afianzó en los trabajos de Mallat para elaborar una clase de Wavelets ortonormales elementales, las cuales resultan ser la más refinada versión y base de las actuales Wavelets y se han convertido en una de las primordiales referencias en las aplicaciones de las mismas.

---

<sup>1</sup>Short Time Fourier Transform o Transformada Corta de Fourier.

### 2.1.2. Transformada de Fourier

La Transformada de Fourier permite comparar la señal a analizar con funciones sinusoidales de duración infinita y mostradas en forma compleja, la función que define esta transformada es:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (2.5)$$

En esta ecuación podemos ver la señal en el tiempo es multiplicada por un término sinusoidal de frecuencia omega ( $\omega = 2\pi f$ ) expresado de manera compleja. Donde las exponenciales complejas son las “funciones de comparación”. Mientras mas afinidad exista entre la señal primaria y la de comparación mayor será el valor de la integral.

Los coeficientes de Fourier  $F(\omega)$  son el resultado de esta transformación y al graficar su valor absoluto en función de la frecuencia se obtiene lo que se conoce con el nombre de espectro de Fourier, este brinda importante información sobre el contenido de frecuencias de la señal analizada.

A partir de estos coeficientes es posible reconstruir la señal inicial utilizando la transformación inversa de Fourier cuya ecuación es la siguiente:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad (2.6)$$

En la figura 2.7 se muestra un esquema gráfico de la transformada de Fourier y su inversa.

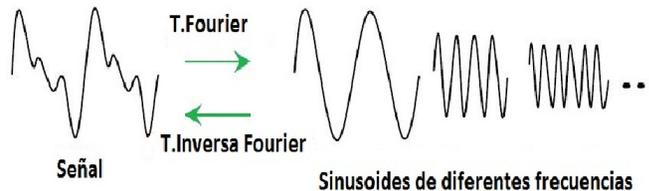


Figura 2.7: Esquema gráfico de la transformada de Fourier y su inversa. Gráfico tomado de [13].

Cabe recordar que esta transformación solo proporciona información de las componentes frecuenciales de una señal pero no suministra el tiempo en el que ocurren.

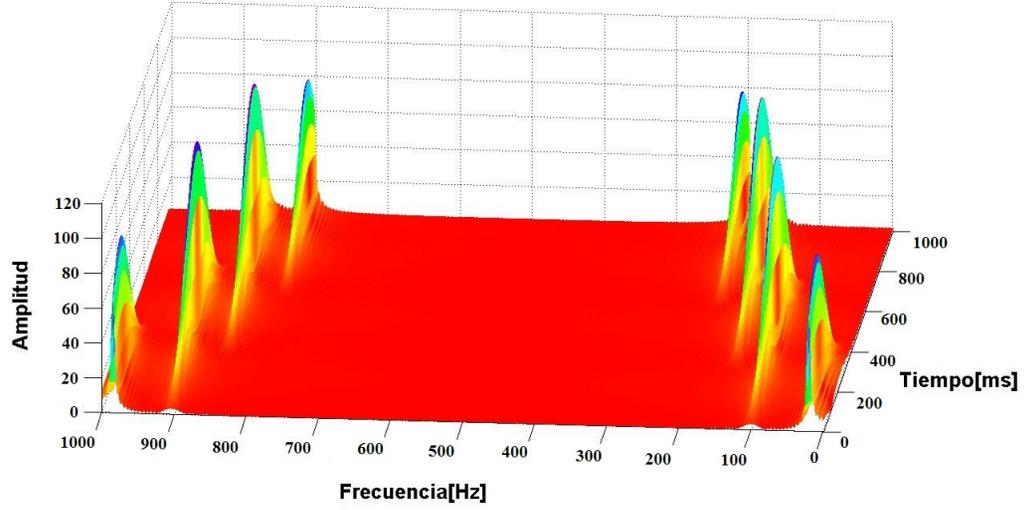
### 2.1.3. Transformada Corta de Fourier

En 1946 Denis Gabor acondicionó la Transformada de Fourier empleando un método llamado ventanamiento, el cual consiste en segmentar una señal  $f(t)$  en pequeños intervalos en el tiempo y así asumir que para cada intervalo la señal es estacionaria y poderle aplicar la transformada de Fourier a cada uno de estos segmentos.

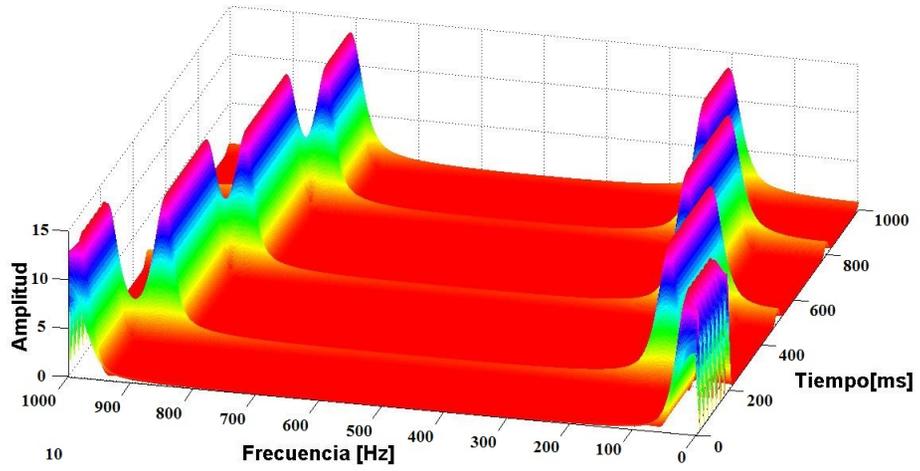
La segmentación se efectúa mediante lo que se denomina una función tiempo-ventana, donde el ancho de esta concuerda con la longitud de cada división de la señal. Con esta función se delimita la señal alrededor de un instante de tiempo y se calcula su transformada de Fourier, posteriormente se traslada la ventana hasta que no se solape con la anterior, abarcando un nuevo intervalo de la señal al que nuevamente se le aplica la TF. El procedimiento se repite hasta que la totalidad de la señal se haya cubierto. Matemáticamente lo anteriormente descrito se expresa como sigue:

$$STFT(t', \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)h^*(t - t')e^{-j\omega t} dt \quad (2.7)$$

Para tener una idea mas clara de esta teoría observemos unas gráficas en 3D (figura 2.8) correspondientes a la STFT de la señal no estacionaria anteriormente vista en el inicio del capítulo (figura 2.5). Cabe aclarar que estas gráficas son simétricas respecto a la mitad de sus correspondientes ejes de frecuencias, ya que la STFT es el modelo enventanado de la Transformada tradicional de Fourier, cuyo espectro de frecuencias es simétrico respecto al semiperíodo de la señal transformada.



(a)



(b)

Figura 2.8: Gráficas 3D de la STFT aplicada a la señal no estacionaria de 20, 100, 150 y 200 Hz. Gráficas de esta investigación.

En estas dos gráficas se muestran las cuatro frecuencias que contiene la señal y están localizadas en los distintos espacios de tiempo por lo que se tiene una representación del espacio tiempo frecuencia. Este modelo según lo observado en estas gráficas resuelve la dificultad anteriormente expuesta que la TF tenía con las señales no estacionarias. Pero esto no es del todo cierto ya que existe un inconveniente fundamentado en el principio de incertidumbre de Heisemberg, el cual en mecánica cuántica afirma que no es posible determinar simultáneamente la posición y la velocidad de una partícula atómica; y que aplicado al análisis de señales podría interpretarse en que no se puede conocer de manera simultanea la componente frecuencial y el tiempo en el que ella sucede, por consiguiente se presenta aquí una dificultad en resolución. Ya que en la STFT la ventana utilizada es de extensión finita, se alcanzará una mayor resolución en el tiempo si se escoge una ventana lo bastante angosta en la cual la señal este lo mas estacionaria posible, así la resolución frecuencial se vera disminuida. Por el contrario si la ventana es amplia se obtendrá buena resolución en el dominio frecuencial y empobrecerá la temporal. Básicamente esto es lo que se ha querido mostrar en estas dos gráficas, donde en la primera (Figura 2.8a) se puede evidenciar que existe una mayor resolución en frecuencia debido a que se ha utilizado en este caso una función ventana Gaussiana,  $h(t) = e^{-a*\frac{t^2}{2}}$ , de ancho  $a = 20$  y en la segunda figura se observa que hay una mayor resolución temporal puesto que se ha utilizado una ventana Gaussiana de ancho  $a = 2000$  (Figura 2.8b). Las funciones Gaussianas utilizadas se muestran en la figura 2.9.

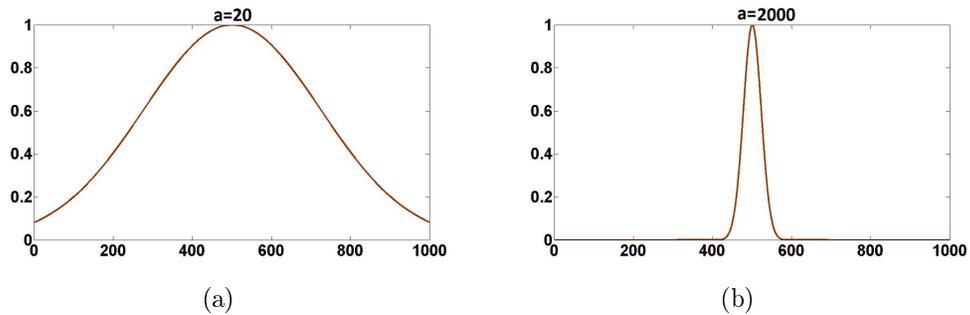


Figura 2.9: Soporte de las ventanas utilizadas en este ejemplo para la STFT de la señal no estacionaria. Gráficas de esta investigación.

Con este pequeño ejemplo se ha querido mostrar de manera muy general el inconveniente de resolución que presenta la STFT, por esto se hace necesaria una herramienta que brinde solución a este problema y esta es la Transformada Wavelet.

#### 2.1.4. Transformada Wavelet

La falencia que presenta la STFT en resolución es el punto de partida de la transformada wavelet ya que el análisis wavelet posibilita la utilización de grandes intervalos de tiempo en regiones donde se necesita gran exactitud en baja frecuencia (escala alta, ondícula dilatada) y segmentos reducidos donde se hace necesaria información en alta frecuencia (escala baja, ondícula comprimida). Esto es lo que se observa en la siguiente figura 2.10:

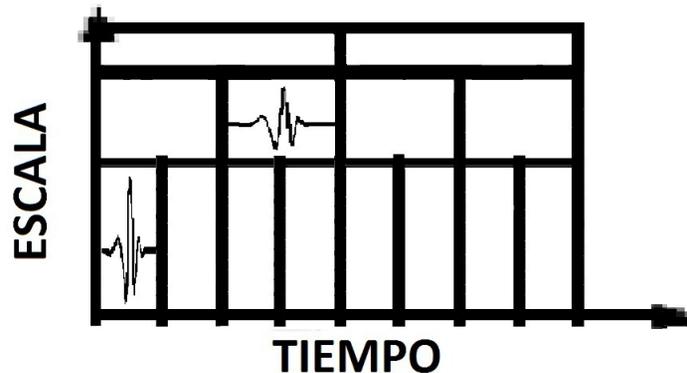


Figura 2.10: Plano Tiempo-Escala. Gráfica de esta investigación.

Una manera simple de entender la forma de actuar de esta herramienta es considerar que la señal en el dominio del tiempo es filtrada por medio de filtros pasa bajos y pasa altos los cuales suprimen algunas de las componentes de la señal de baja o alta frecuencia. Este procedimiento se vuelve a repetir para las señales derivadas del procedimiento anterior. Para ejemplificar lo anteriormente dicho supongamos que se tiene una señal que tiene frecuencias de hasta 1000Hz, en la primera fase la señal se fracciona en dos, esta pasa a través de un filtro pasa alto y uno pasa bajo, así se consigue una señal con frecuencias entre 0 y 500Hz y la otra en un rango de 500 a 1000Hz. Luego se escoge una o ambas partes y nuevamente se repite el proceso. Esta acción se denomina descomposición.

Considerando que se realiza este procedimiento con la porción de baja frecuencia de la señal entonces al aplicar nuevamente el procedimiento habrían tres grupos de datos que corresponden a la señal original pero a diferentes frecuencias las cuales son 0 a 250Hz, 250 a 500Hz y 500 a 1000Hz. Enseguida se toma de nuevo la parte de que corresponde al filtrado de pasa bajo y se la pasa por los filtros pasa bajo y pasa alto y de esta manera se tendrían cuatro grupos de señales de frecuencias de 0 a 125Hz, 125 a 250Hz, 250 a 500Hz y 500 a 1000Hz. El procedimiento se mantiene hasta descomponer la señal en un determinado número de niveles.

Finalizado este procedimiento se tiene un grupo de señales que representan la señal original, pero pertenecientes a distintas bandas de frecuencia. Ya que se conoce a que intervalo de frecuencias pertenece cada una de estas señales, es factible agruparlas y realizar un gráfico tridimensional, en donde el tiempo se ubicaría en un eje, la frecuencia en otro y la amplitud en el tercero.

Para entender el análisis wavelet es necesario definir que es una wavelet, que además se la conoce con los nombres de ondita, ondeleta, ondícula, esta es una onda localizada, es decir una señal que decrece ligeramente a cero después de unas pocas oscilaciones y cuyo valor promedio es nulo.

Contrastando las funciones sinusoidales con las wavelets, se puede destacar como la principal diferencia que las sinusoidales no poseen duración limitada puesto que ellas se extienden de  $-\infty$  a  $+\infty$ , igualmente son suaves y predecibles; mientras que las wavelets tienden a ser irregulares y asimétricas, lo que le permite mayor adaptabilidad con la señal a trabajar (figura 2.11).

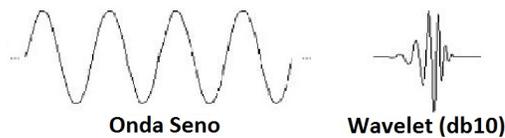


Figura 2.11: Modelos de Señal sinusoidal y Wavelet. Gráficas tomadas de [13].

Por otra parte lo que permite el análisis wavelet es realizar estudios localizados, es decir analizar el área localizada de una señal grande, facilitando la posibilidad de encontrar discontinuidades o picos de corta duración que de otra forma sería complicado descubrir. En fin este análisis es capaz de hacer visibles aspectos de los datos que con otras herramientas del análisis de señales no se pueden apreciar.

#### 2.1.4.1. Transformada Wavelet Continua

La expresión matemática para la Transformada Wavelet Continua (CWT) es:

$$C(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi_{a,b}(t) dt \quad (2.8)$$

Como se puede ver en esta ecuación la señal transformada esta en función de dos variables que son el parámetro de escala  $a$  y el de traslación  $b$ ,  $\psi_{a,b}$  es una función modelo que se denomina “Wavelet Madre”, En la figura 2.12 se muestran algunos modelos de Wavelet Madre:

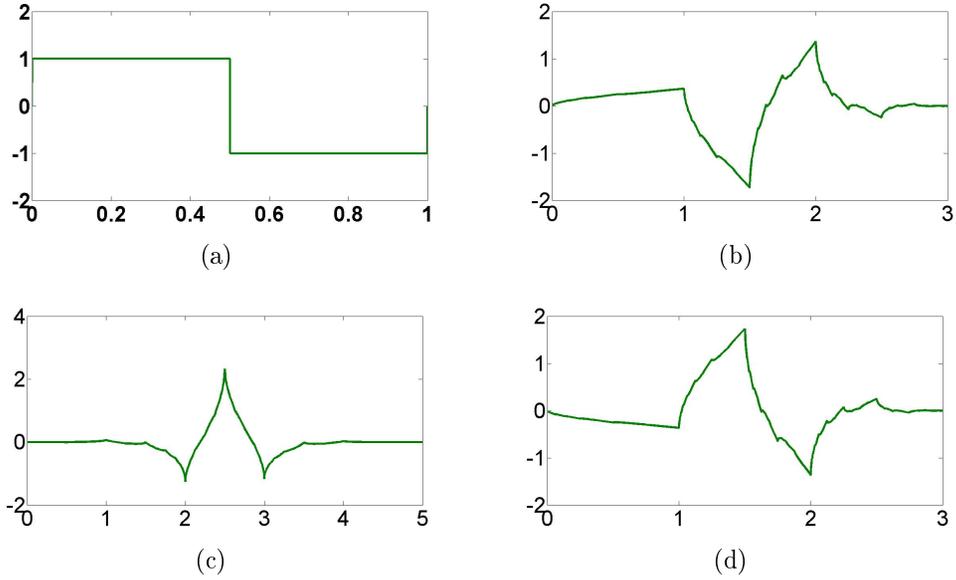


Figura 2.12: Modelos de Wavelet Madre a)Haar, b)Symlet 2, c)Coiflet 1, d)Daubechies 2. Gráficos de esta investigación.

La Wavelet Madre esta definida como:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \quad (2.9)$$

Lo que hace la CWT es expresar la señal  $f(t)$  continua en el tiempo, en una serie de términos o coeficientes proporcionales al producto interno entre la señal y diversos modelos escalados y trasladados de la función Wavelet Madre. Hablando del factor de escala  $a$  este indica el alargamiento o la compresión de la ondícula madre. Las escalas grandes corresponden a panoramas globales (no precisados) de la señal, en cambio las pequeñas escalas corresponden a vistas mas detalladas. Análogamente, en términos de frecuencia bajas frecuencias (escalas altas) brindan información general sobre la señal, por otro lado las altas frecuencias (escalas bajas) muestran información detallada de patrones ocultos de la señal. De otra parte el parámetro de traslación  $b$  es simplemente el adelanto o retraso de la wavelet.

En conclusión para escalas pequeñas la CWT proporciona buena resolución en el dominio del tiempo y para escalas grandes entrega una buena resolución en el dominio de la frecuencia.

La Transformada inversa de la CWT es:

$$f(t) = \frac{1}{K_\psi} \int_{a=0}^{\infty} \int_{b=-\infty}^{\infty} C(a,b)\psi_{a,b}db \frac{da}{a^2} \quad (2.10)$$

Donde la constante  $K_\psi$  se denomina constante de admisibilidad y depende de la Wavelet Madre escogida. En la figura 2.13 se muestra un esquema gráfico de la transformada wavelet y su inversa:

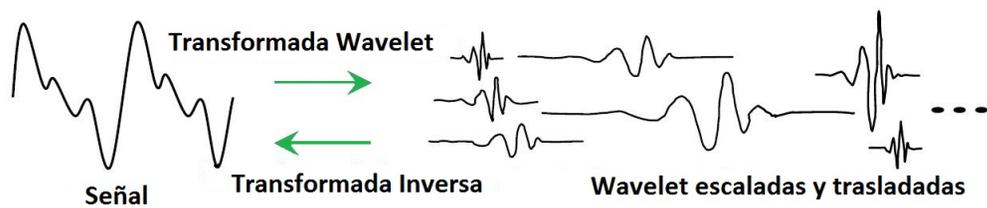


Figura 2.13: Esquema gráfico de la Transformada Ondícula y su inversa. Gráficas tomadas de [13].

A continuación se describe de manera cualitativa un método simple para conseguir la transformada ondícula de una señal. Antes de continuar con los pasos a seguir se debe elegir una Wavelet que será la Ondícula Madre la cual se utilizará como modelo para la totalidad de ventanas que se usaran en todo el procedimiento. Los pasos a desarrollar son:

1. En primera instancia se elige un valor de escala ( $a$ ) para la ondita, posteriormente se sitúa esta al inicio de la señal a ser analizada (en  $t = 0$ ). Después se multiplican las dos señales entre si y este resultado se integra sobre todo el intervalo de tiempo. El resultado de esta integral se multiplica por  $\frac{1}{\sqrt{a}}$  con el fin de normalizar la energía y así lograr una función transformada con la misma energía para cualquier escala. El resultado que se obtiene representa la cuanto esta correlacionada la wavelet con la señal.
2. La ondita se desplaza en el tiempo (hacia la derecha) en  $b$ , y se vuelve a efectuar el proceso descrito en el paso anterior, así sucesivamente se repite el procedimiento hasta llegar al final de la señal que se esta analizando.
3. Finalmente se cambia el valor de la escala y nuevamente se vuelven a realizar los dos pasos descritos anteriormente hasta haber barrido el rango de frecuencias que se quiere analizar.

La transformada wavelet se habrá obtenido cuando se ha terminado el cálculo para el total de valores de escala. En el gráfico 2.14 se encuentran sintetizados estos pasos:

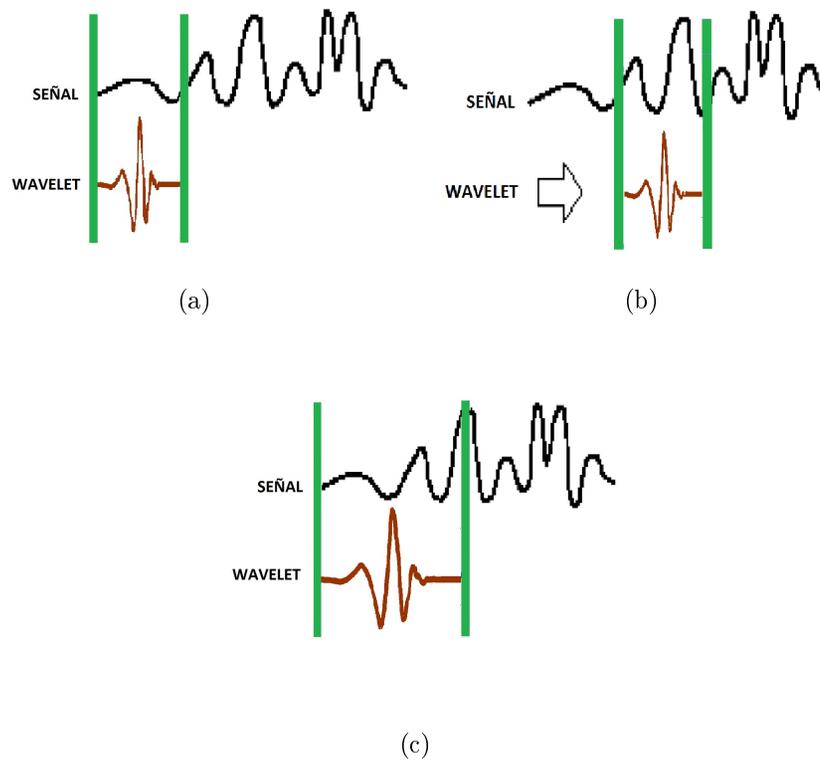


Figura 2.14: Forma cualitativa de operación de la CWT. Gráficas tomadas de [13].

En la gráfica 2.15 se muestra el mapa de ondículas que se generó al aplicar la CWT a la señal de la figura 2.5.

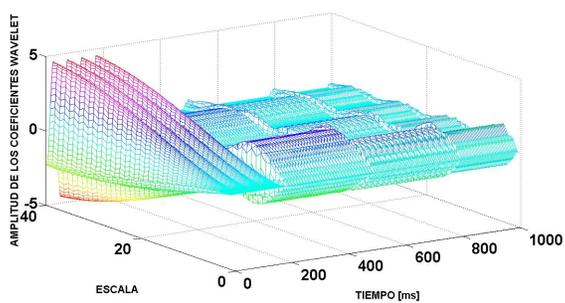


Figura 2.15: Mapa Wavelet de la señal de la figura 2.5 al aplicarle la CWT. Gráfico de esta investigación.

#### 2.1.4.2. Transformada Wavelet Discreta

Por la complejidad en el tratamiento numérico de la CWT, debido a que los parámetros de escala y traslación presentan variabilidad en forma continua se hace necesario buscar una herramienta que permita la discretización de ella. La discretización hace posible representar una señal en términos de funciones sencillas acompañadas de coeficientes.

En los sistemas Wavelet, las Ondículas Madre  $\psi(t)$  traen siempre asociada una función de escala  $\phi(t)$ , donde las wavelet madre se encargan de mostrar los detalles finos de la señal analizada, mientras que las funciones de escala realizan una aproximación. Se hace entonces posible representar una señal  $f(t)$  como la sumatoria de funciones escala y funciones wavelet.

$$f(t) = \sum_k \sum_j c_{j,k} \phi(t) + \sum_k \sum_j d_{j,k} \psi(t) \quad (2.11)$$

Una manera de discretizar los factores de escala y posición es por medio de un muestreo exponencial para asegurar una mejor aproximación, tomando escalas y posiciones basadas en potencias de dos que se denominan escalas y traslaciones diádicas, es así como se pueden volver a definir los parámetros a valores discretos de esta forma:

$$a = 2^j; \quad b = ka = k2^j \quad (2.12)$$

Luego la wavelet madre quedara definida de la siguiente manera:

$$\psi_{j,k} = 2^{-\frac{j}{2}} \psi(2^{-j}t - k) \quad j, k \in \mathbb{Z} \quad (2.13)$$

La función escala esta definida de similar forma:

$$\phi_{j,k} = 2^{-\frac{j}{2}} \phi(2^{-j}t - k) \quad j, k \in \mathbb{Z} \quad (2.14)$$

Recordando la ecuación 2.8, la transformada discreta wavelet (DWT) tiene la forma:

$$DWT(j, k) = 2^{-\frac{j}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi(2^{-j}t - k) dt \quad (2.15)$$

En muchas señales las componentes de baja frecuencia son las que conceden a la señal gran parte de su información, mientras que las de alta frecuencia se ocupan de integrar características mas propias, es por esto que en el análisis wavelet se habla de aproximaciones y detalles, las aproximaciones son las grandes escalas (componentes de baja frecuencia de la señal). Los detalles son las bajas escalas (componentes de alta frecuencia).

La idea de separar estas dos componentes a través de filtros esta ejemplarizada en el esquema refFigura 2.16:

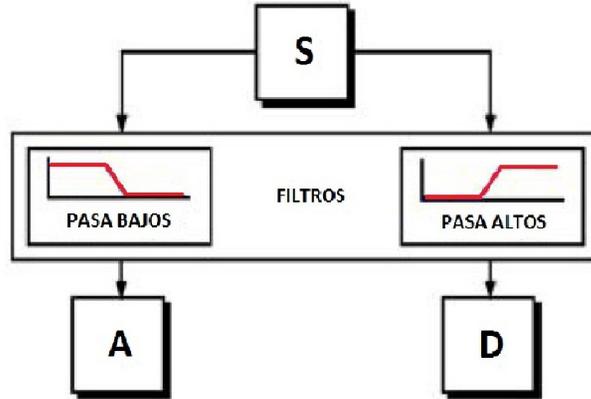


Figura 2.16: Esquema de descomposición de señales. Gráfico tomado de [11].

Donde la señal a analizar es  $S$ , la salida del pasabajos es  $A$  y  $D$  es la salida del pasa altos. Los filtros son diseñados de forma que sean complementarios, esto quiere decir que  $A$  y  $D$  sumados deben dar  $S^2$ . La desventaja de este proceso es que se incrementa al doble el número de datos inicial, así por cada muestra de  $S$  se produce una pareja de muestras  $(A,D)$ , esto aumenta el costo matemático y computacional. Para solucionar este inconveniente se plantea un procedimiento en el que la tasa de muestreo se reduce o se eliminan algunas muestras pero sin perder información de la señal  $S$ . Este método es conocido como submuestreo<sup>3</sup>. Este concepto se representa gráficamente en la figura 2.17:

<sup>2</sup>Este procedimiento se denomina codificación de subbandas en dos canales.

<sup>3</sup>Denominado también downsampling en inglés.

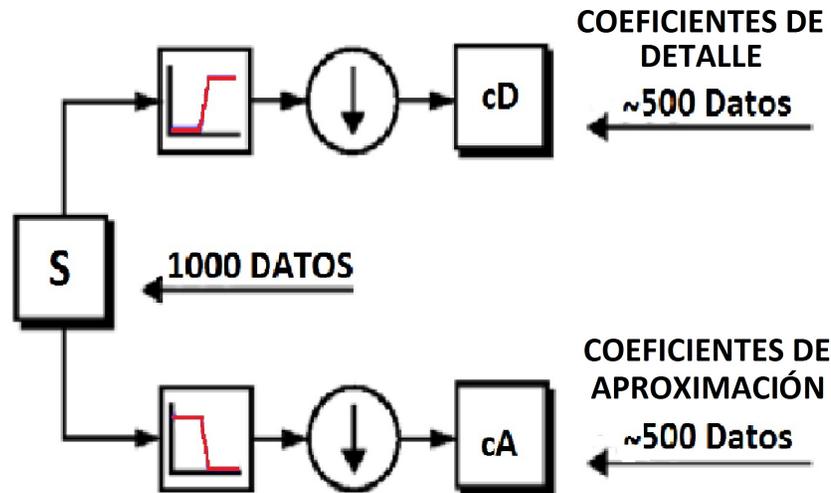


Figura 2.17: Esquema de descomposición de la señal. Gráfico tomado de [11].

Las flechas hacia abajo contenidas en círculos simbolizan el downsampling. Los coeficientes  $cA$  y  $cD$  son los coeficientes obtenidos de la fase de filtración y se conocen con los nombres de coeficientes de aproximación y detalle respectivamente. Los primeros contienen las componentes de baja frecuencia de la señal de entrada y los segundos almacenan las altas frecuencias de la misma. Instintivamente se puede deducir que si se tiene  $cA$  y  $cD$ , en conjunto, se tiene el mismo número de datos de la señal inicial  $S$  y se ha logrado conservar la información necesaria. En la figura anterior se muestra una señal de 1000 datos consiguiendo en la salida dos grupos de datos de aproximadamente 500 datos cada uno.

Si a las señales de la primera descomposición se les aplica nuevamente un proceso de filtrado y esto se vuelve a realizar varias veces a las señales que se van obteniendo hasta lograr un nivel de exactitud deseado, se originara una descomposición multinivel llamada árbol de descomposición wavelet cuyo esquema se representa gráficamente (figura 2.18):

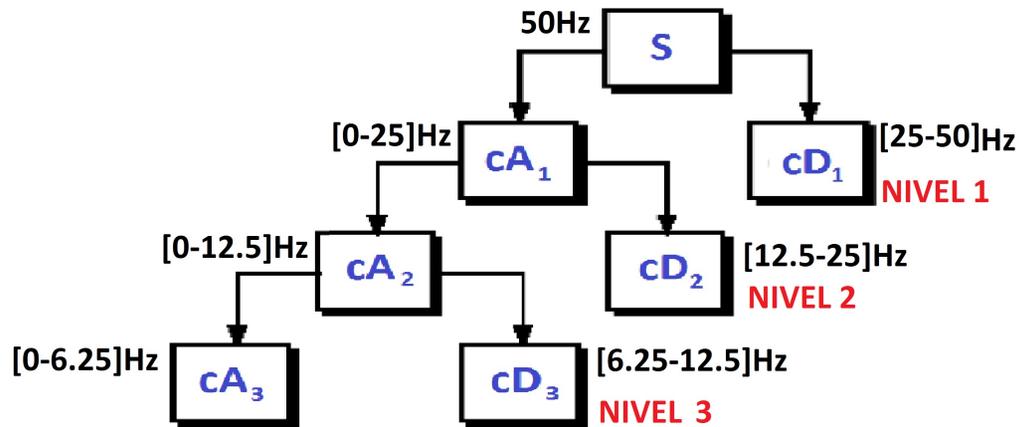


Figura 2.18: Descomposición multinivel. Gráfica de esta investigación.

En este gráfico se puede observar como la señal original, muestreada a 100Hz y cuya máxima frecuencia es 50Hz, es separada en diferentes bandas de frecuencia donde cada nueva descomposición tiene la mitad del número de muestras que la anterior. Aquí cD1 contiene las componentes de frecuencia más alta de la señal y la banda de más baja frecuencia estará almacenada en cA3. Al separar la señal en gran cantidad de bandas de frecuencia se obtiene una información más precisa de S, por lo que este procedimiento se conoce con el nombre de multiresolución.

Esta descomposición disminuye a la mitad la resolución<sup>4</sup> en el tiempo debido a la reducción a la mitad en el número de muestras que tenía la señal original. Esta operación también duplica la resolución en frecuencia ya que la nueva banda de frecuencias en la que es dividida la señal comprende la mitad de las bandas de las frecuencias anteriores.

El número máximo de niveles de descomposición está determinado por la cantidad de muestras de la señal, por ejemplo si la señal original posee 256 muestras entonces se obtendrá ocho niveles de descomposición debido a que  $2^8 = 256$ .

Instintivamente, se pensaría que se obtienen mejores resultados con una mayor cantidad de niveles, pero esto no es del todo cierto. Se recomienda escoger una ramificación acorde a la naturaleza de la señal.

La DWT de la señal se obtiene reuniendo todos los coeficientes empezando desde el nivel final de descomposición, entonces la DWT tendrá el mismo número de coeficientes que la señal original.

Finalmente, se puede afirmar que la DWT estudia la señal separándola en una aproxi-

<sup>4</sup>La cual está relacionada con la cantidad de información de la señal.

mación y en un detalle (nivel), examinando distintas bandas de frecuencia con diferentes resoluciones para cada nivel.

### 2.1.5. Ejemplo de Transformada Wavelet Continua y Discreta

La CWT puede entenderse como la medida de semejanza existente entre la wavelet con diferentes escalas y la señal analizada, la CWT se efectúa cambiando la escala de la ventana de análisis, trasladando esta en el tiempo, multiplicándola por la señal y realizando la integración en el tiempo. Para la DWT se utilizan filtros con distintas frecuencias de corte para estudiar la señal en diferentes escalas, de manera que la señal es pasada a través de una serie de filtros pasa altos para analizar altas frecuencias y pasa bajos para analizar bajas frecuencias. La diferencia entre estas dos clases de transformadas wavelet radica en que la CWT asigna un valor a cada punto en el plano de forma continua utilizando varios valores de escalas y posiciones, por lo que se presentara un infinito número de coeficientes de la CWT, aquí se habla de una representación redundante, mientras que en la DWT los parámetros de escala y traslación no son continuos sino enteros, es decir se discretizan los parámetros de escala y frecuencia, entonces se habla de representación no redundante.

En la figura 2.19 se presentan los escalogramas correspondientes a la DWT y a la CWT de la señal de la figura 2.5, los cuales representan la energía de cada uno de los coeficientes, en la figura a) se observa claramente los parámetros discretizados diádicamente tanto en escala (niveles 1, 2, 3, 4, 5) como en tiempo, donde cada color representa la magnitud de cada uno de los coeficientes y en la figura b) se observa estos parámetros de manera continua en escala(1 a 32) y tiempo.

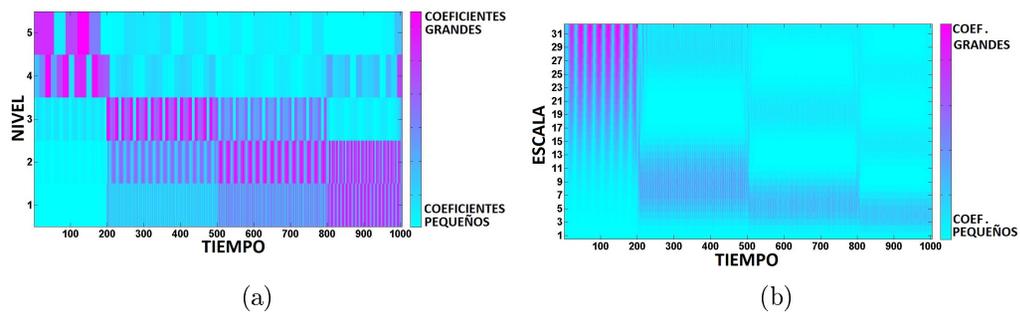


Figura 2.19: a)Escalograma DWT, b)Escalograma CWT. Gráficas de esta investigación.

### 3METODOLOGÍA

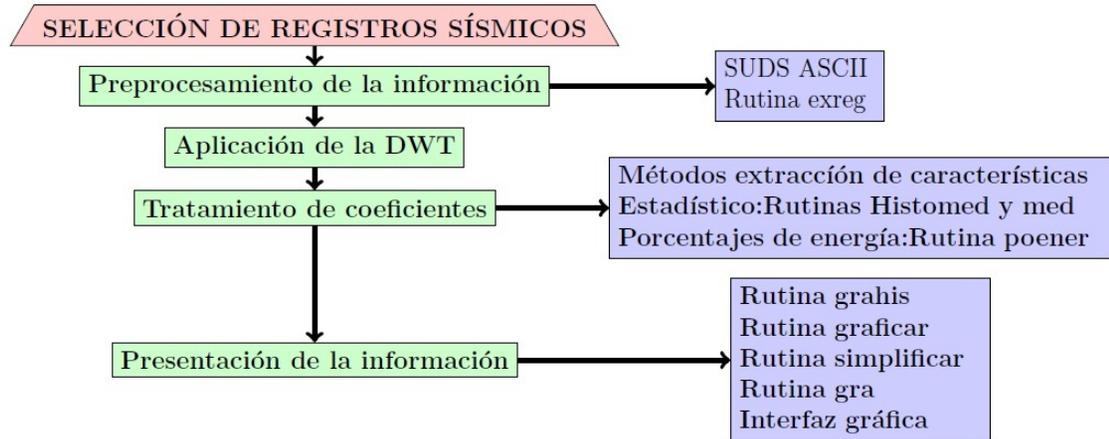


Figura 3.1: Índice de la metodología. Gráfica de esta investigación.

#### Introducción

Este trabajo se desarrollo en primera instancia investigando material bibliográfico correspondiente a artículos relacionados con sismicidad volcánica, análisis de señales, teoría de Wavelets y sus aplicaciones. Posteriormente la evolución de la investigación como tal se efectuó en tres fases, una primera en donde se realizo la selección de registros sísmicos de la base de datos del OVSP, los cuales están almacenadas en el banco de datos del Observatorio en formato SUDS<sup>1</sup> (Seismic Unified Data System), puesto que MATLAB<sup>2</sup> no reconoce este formato, los registros se han cambiado a formato ASCII<sup>3</sup> (American Standard Code for Information Interchange), el cual es compatible con este programa. Además se elaboro una secuencia que efectuó la disminución en el tamaño de cada una de las trazas. En la segunda fase se programo rutinas haciendo uso de la Wavelet Toolbox de MATLAB y sus diferentes comandos; se utilizo la transformada wavelet discreta aplicando diferentes tipos de ondículas sobre los registros extraídos para obtener los respectivos coeficientes. Finalmente, se realizó el análisis de los coeficientes obtenidos apoyado en herramientas estadísticas y gráficas.

<sup>1</sup>En español Sistema Unificado de Datos Sísmicos.

<sup>2</sup>Software utilizado en este trabajo para procesar y analizar los datos, cuya versión empleada fue la r2009b.

<sup>3</sup>En español Código Americano Estándar para el Intercambio de Información.

### 3.1. SELECCIÓN DE REGISTROS SÍSMICOS

El OVSP realiza un seguimiento continuo al volcán Galeras. Dentro de las actividades de monitoreo se encuentra la recolección de registros sísmicos los cuales son recepcionados mediante una red de estaciones ubicadas en diferentes zonas alrededor del cono activo del volcán. Algunas de estas estaciones están equipadas con sismómetros de banda ancha y otras con sismómetros de corto periodo.

Los registros utilizados en el desarrollo de este trabajo provienen de las estaciones de ANGANOY, la cual posee un sensor de corto periodo (componente vertical), esta situada aproximadamente a 1 Km del cráter y su altitud es de 4170 [msnm] y CUFIÑO, dotada con un sismómetro de banda ancha (componente triaxial), ubicada a 2 Km aproximadamente del cráter y cuya altitud es de 3800 [msnm], las cuales hacen parte de la red de vigilancia sísmica del volcán Galeras Figura 3.2. La información sísmica captada por las estaciones es transmitida teleméricamente a través de radio hasta el OVSP en donde se realiza su digitalización. La señal muestreada es almacenada en intervalos cuya duración es de 120s aproximadamente, con una frecuencia de muestreo de 100Hz, razón por la cual cada archivo contiene cerca de 12000 muestras.

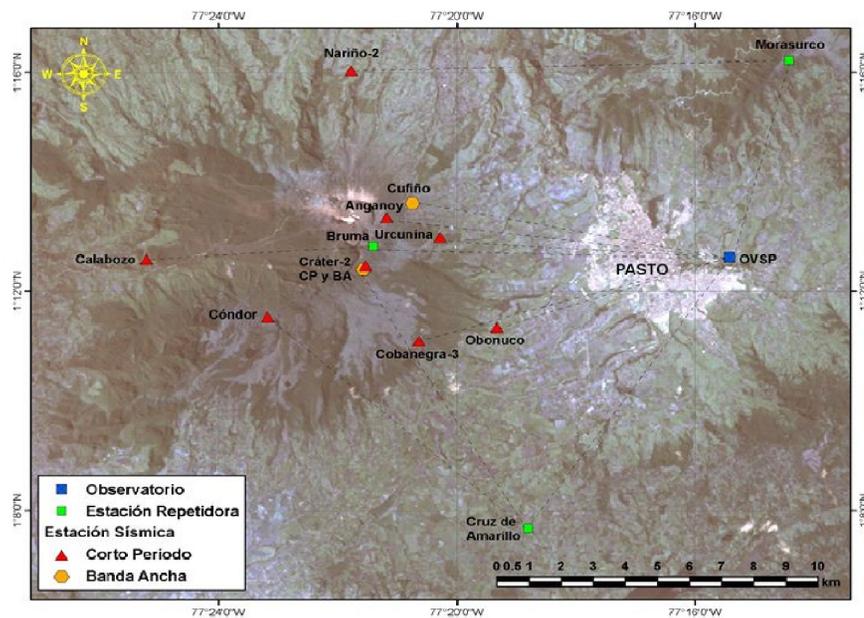


Figura 3.2: Red de Vigilancia Sísmica del Volcán Galeras. Imagen suministrada por el Observatorio Vulcanológico de Pasto.

### 3.1.1. Preprocesamiento de la información

En el presente trabajo los registros suministrados por el OVSP abarcaban el lapso temporal entre 01/01/2007 hasta 01/31/2009, que en total corresponden a 22.286 archivos de registros sísmicos LP y VT, y de los cuales se seleccionó un conjunto de 1063, pertenecientes a los periodos comprendidos entre el 01/01/2007 hasta 01/25/2009. La escogencia de las trazas se realizó teniendo en cuenta que estas no presentarían irregularidades como por ejemplo picos asociados a pulsos de voltaje no deseados y además que en cada uno de estos archivos estuviera presente una sola traza, de tipo VT o LP. En primera instancia esta escogencia se realizó con la ayuda del programa PSW, software proporcionado por INGEOMINAS.

Posteriormente los registros almacenados en los archivos de formato SUDS fueron transformados a formato ASCII con apoyo del programa Sudasc el cual INGEOMINAS emplea para este procedimiento. Luego se elaboró una rutina en MATLAB llamada *exreg*<sup>4</sup>, cuya función fue la de extraer, disminuir y normalizar la información perteneciente a las trazas de las estaciones de ANGANOY (ANGV<sup>5</sup>) y CUFIÑO (CUVZ<sup>6</sup>), la cual estaba contenida en los archivos en formato ASCII. En principio las matrices se rotularon con la letra *V* (según la rutina); pero luego se renombraron como LPAN, VTAN para los registros LP y VT de ANGANOY y LPCU y VTCU para los de CUFIÑO respectivamente. La dimensión de cada una de las trazas fue reducida escogiendo los primeros 3000 datos a partir del inicio del evento<sup>7</sup>. Para la matriz LPAN se obtuvieron 348 columnas correspondientes a las firmas que clasificaron en la selección, es decir fueron escogidos mediante esta rutina 348 registros para este caso, para VTAN se consiguió 308, a LPCU le correspondieron 345 y a VTCU 302. Todas estas matrices fueron guardadas en un archivo .mat de MATLAB con el nombre de *datfin*. La figura 3.3 muestra la estructura del archivo en formato ASCII y las gráficas de la figura 3.4 enseñan algunas de las trazas extraídas mediante esta rutina.

---

<sup>4</sup>ver anexo B.

<sup>5</sup>ANG=Anganoy, V=Velocidad.

<sup>6</sup>CU=Cufiño, V=Velocidad, Z=Componente Vertical.

<sup>7</sup>Lo que significa que se tiene una señal cuya duración es de 30 segundos.

```

Archivo Edición Formato Ver Ayuda
I1012302.GLP
100.000000 muestras/s
1009/01/01 23:02:44

```

IRIG	ANGV	COBS	LAVZ	LAVN	LAVE	OBVR	OBNR	OBER	URCR	URNS	UREW	NARZ	COND	CUVZ	CUVN
191	33	-73	3	-21	2	34	7	14	64	61	38	-208	-20	-8379	-113
192	30	-71	-3	-33	4	34	4	17	63	61	39	-206	-12	-8318	-113
-2	29	-72	0	-8	4	36	1	19	65	61	36	-207	-16	-8342	-112
-1	26	-73	2	5	3	29	3	17	64	63	34	-205	-12	-8365	-113
192	26	-71	3	-10	1	20	5	16	66	64	34	-204	-18	-8399	-114
192	28	-72	-1	7	4	18	7	26	65	64	32	-208	-22	-8344	-113
-2	25	-72	-1	16	4	32	5	22	68	62	32	-213	-15	-8407	-114
-2	24	-74	-2	7	4	25	12	22	67	61	30	-212	-11	-8448	-113
-2	20	-73	-1	-4	0	27	17	27	68	60	31	-208	-7	-8480	-113
-1	25	-74	-2	-20	0	41	5	20	66	58	33	-210	-11	-8413	-114
-2	22	-74	2	14	-1	26	14	30	66	58	33	-210	-12	-8378	-113
-2	21	-74	1	-16	4	31	19	23	69	53	32	-207	-14	-8387	-114
-2	18	-74	-2	-34	3	32	5	10	71	51	33	-199	-18	-8412	-112
-1	21	-74	-1	-17	4	15	14	26	74	48	35	-195	-17	-8409	-113
192	22	-73	-1	1	3	29	13	20	72	51	36	-198	-13	-8350	-112
192	26	-74	1	-3	2	31	-6	19	73	51	36	-200	-19	-8353	-113
-1	27	-75	-1	2	-1	34	5	19	72	50	38	-198	-25	-8350	-114
-2	24	-76	4	-32	-3	20	16	26	72	49	40	-195	-21	-8383	-113
-2	22	-75	2	10	-1	19	13	23	71	47	41	-199	-18	-8363	-114
-1	23	-74	0	-8	0	29	-14	10	70	46	40	-202	-11	-8355	-113
-2	24	-74	2	-31	-2	24	0	16	72	47	40	-203	-11	-8417	-113
-1	24	-75	0	-18	-2	24	30	28	72	50	41	-202	-23	-8429	-114
-2	23	-74	0	7	-1	32	14	13	74	53	43	-203	-20	-8438	-113
-2	23	-74	0	21	2	20	9	14	73	53	44	-205	-16	-8458	-113
-1	27	-75	3	-26	0	34	19	14	72	50	44	-203	-12	-8472	-112
192	30	-74	3	-4	-2	38	16	13	73	49	45	-202	-9	-8477	-114
-1	29	-75	4	-11	0	23	31	24	74	46	44	-207	-4	-8454	-114
-1	28	-74	1	-19	1	35	21	11	73	49	39	-217	-1	-8430	-112
-1	25	-75	4	-35	1	29	12	9	71	53	36	-221	-17	-8380	-113
-2	25	-75	-1	-9	0	34	7	8	70	59	38	-216	-19	-8419	-112
0	25	-75	0	19	4	39	-3	7	70	60	36	-207	-11	-8443	-112
-1	28	-76	2	-4	0	35	-5	11	71	63	36	-202	-6	-8360	-112
-1	29	-75	1	17	3	36	1	17	71	64	37	-200	-11	-8364	-112
-1	31	-75	3	22	4	27	7	17	71	62	37	-199	-19	-8430	-113
192	31	-75	2	25	2	22	9	23	70	58	34	-201	-21	-8485	-113
192	31	-77	1	18	5	30	8	19	68	58	35	-206	-20	-8487	-113
-1	30	-76	-1	-32	2	9	17	23	68	58	35	-210	-10	-8416	-112
-3	26	-76	2	-33	0	22	0	15	69	62	35	-211	-3	-8467	-113
-2	25	-76	-1	13	7	44	-23	3	70	64	31	-210	-11	-8504	-114
-2	26	-76	2	21	2	42	7	19	69	64	31	-212	-17	-8488	-113
-3	26	-76	-1	7	3	31	7	34	67	61	33	-217	-12	-8476	-113
-2	24	-74	1	6	3	31	0	28	69	59	33	-221	-8	-8458	-112
-2	22	-74	-1	23	3	36	8	21	69	56	35	-219	-12	-8503	-113
-1	21	-75	2	18	4	33	-3	18	69	58	35	-218	-23	-8492	-113
192	21	-75	-2	13	5	23	-6	19	67	56	37	-220	-25	-8489	-113
192	22	-75	1	-24	5	28	2	19	68	54	39	-223	-16	-8509	-113
-2	23	-75	-5	-34	3	43	5	16	69	51	38	-218	-1	-8444	-112

Figura 3.3: Estructura del archivo en formato ASCII del cual extrae la información la rutina exreg.

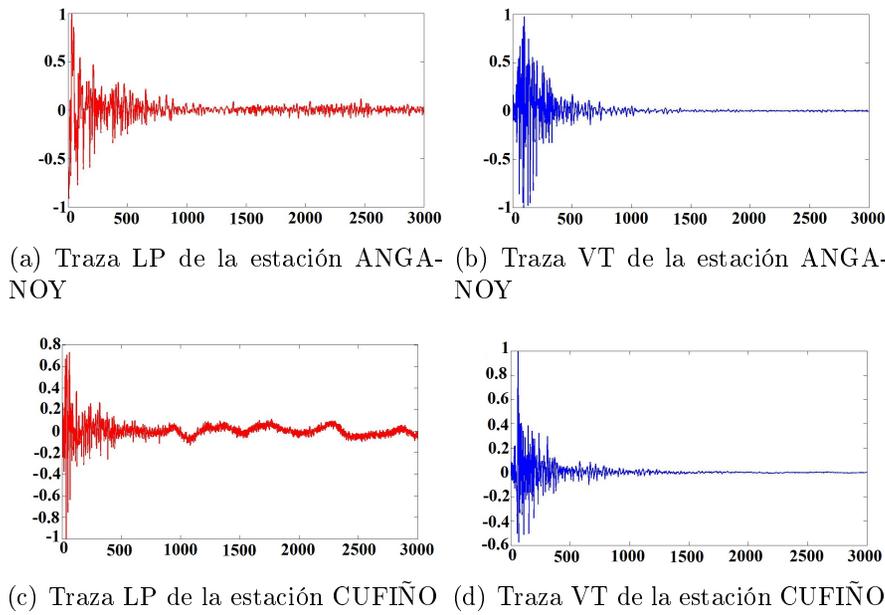


Figura 3.4: Esta gráfica presenta algunas de las trazas recortadas, obtenidas con la rutina exreg. El eje horizontal representa el número de muestras y el eje vertical amplitudes normalizadas. Gráficos de esta investigación.

### 3.1.2. Aplicación de la DWT

Una vez se logró extraer esta información se procedió a crear una rutina denominada `macoef`<sup>8</sup>, cuya función fue la de emplear la transformada discreta wavelet para lograr obtener los coeficientes de aproximación (cA) y detalle (cD) aplicando diversos tipos de ondículas, enseguida se describe con detalle el desempeño de esta rutina:

- La rutina carga en el espacio de trabajo de Matlab (workspace) el archivo `datfin` que contiene las matrices LPAN, LPCU, VTAN y VTCU, las cuales como se dijo previamente contienen los registros de las dos estaciones empleadas.
- Permite introducir el número de columnas de cada matriz, el nivel de descomposición al cual van a ser sometidas cada una de ellas y el tipo de wavelet a utilizar. La descomposición en un principio se realizó hasta nivel once para observar como se presentaban gráficamente los coeficientes obtenidos; pero para este caso se estableció a tres, puesto que en niveles superiores a este comenzaba a presentarse una disminución de datos que no era favorable para realizar el análisis. El número total de ondículas utilizadas para llevar a cabo este estudio fue de 22 entre las cuales se encuentran la `daubechies (db)` de orden 2 hasta 10, `symlet (sym)` de orden 2 hasta 8, `coiflets (coif)` de orden 1 hasta 5 y `haar`.
- La rutina entrega los coeficientes de aproximación y detalle obtenidos con cada wavelet introducida con su orden respectivo y nivel de descomposición deseado, esto lo hace con cada columna de las matrices ya mencionadas anteriormente. Las matrices obtenidas se presentan en el workspace de Matlab como se muestra en la figura 3.5. Estas matrices se almacenaron en archivos `.mat`, cuyo nombre comienza con CLPAN o CLPCU, seguido del nombre y grado de la wavelet aplicada y por último se colocó el nivel de descomposición, esto para el caso de los coeficientes LP, de similar manera se hizo con los archivos para los VT<sup>9</sup>. En total se almacenaron 88 archivos con este formato de rotulación.

---

<sup>8</sup>ver anexo C.

<sup>9</sup>CVTAN o CLPAN.

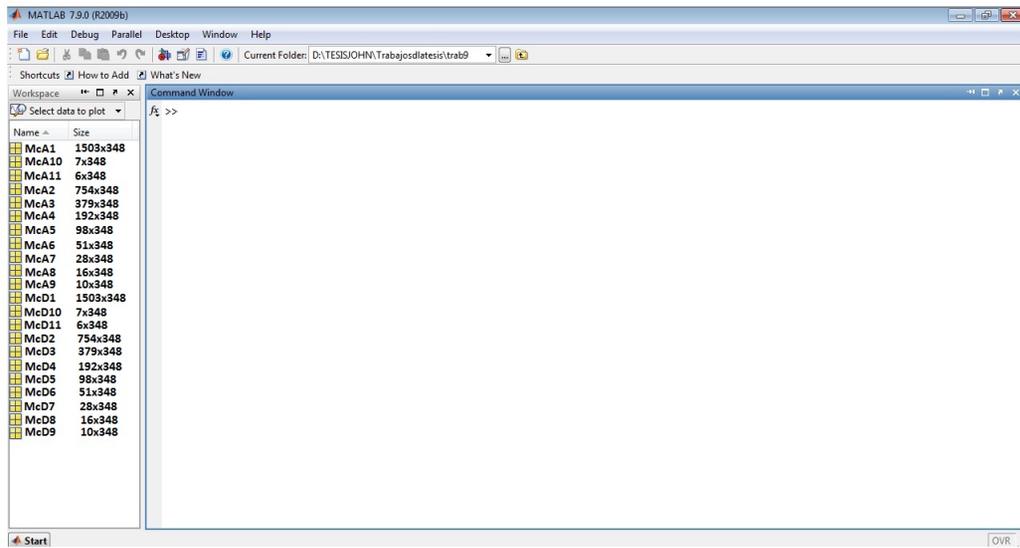


Figura 3.5: De esta forma se muestran las matrices generadas por la rutina macoef en el workspace de Matlab.

En las figuras 3.6 hasta la 3.9, se muestra como se observan los coeficientes de aproximación y detalle para el evento LP de la estación de ANGANOY (figura 3.4a), al aplicarle la transformada Discreta Wavelet con las ondículas coiflet de orden uno y haar a diferentes niveles de descomposición.

En estas gráficas se observa como el análisis de la DWT se encarga de separar las componentes de baja frecuencia (coeficientes de aproximación) de las de alta frecuencia (coeficientes de detalle), reduciendo cada vez más el número de muestras en las señales resultantes, por ejemplo a simple vista en todas las gráficas los tres primeros niveles presentan un número relativamente nutrido de coeficientes de los cuales sería posible extraer información pero en niveles superiores se alcanza a notar una exagerada reducción de los datos de los cuales casi no se percibe información, esto se puede apreciar de una manera mas marcada en todas las figuras correspondientes al nivel ocho en todos los gráficos. Además de esto, se distingue en los tres primeros niveles de las gráficas como las amplitudes tanto en los coeficientes de aproximación como de detalle van aumentando. Algo similar se observó con los demás coeficientes de las otras matrices.

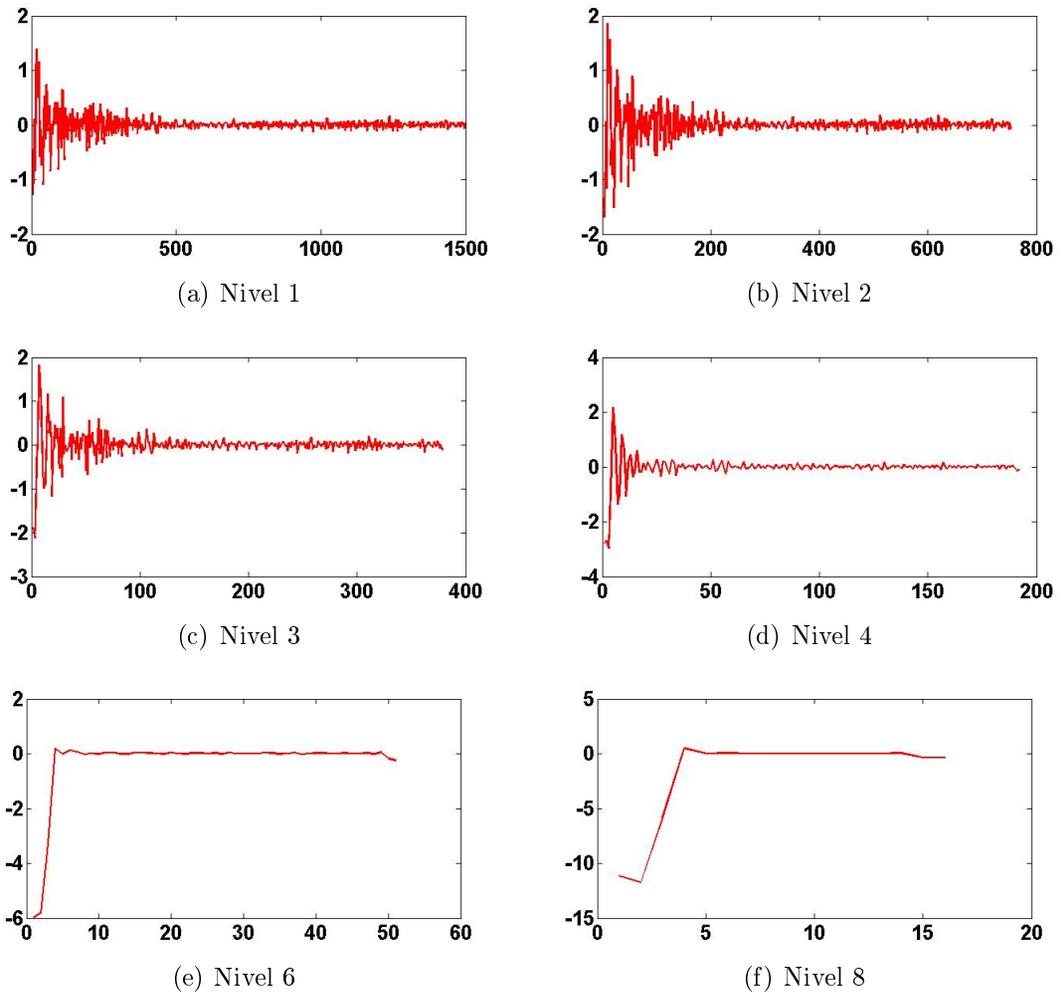
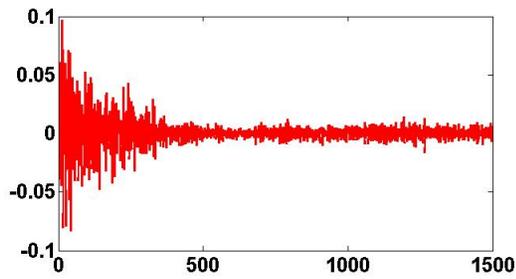
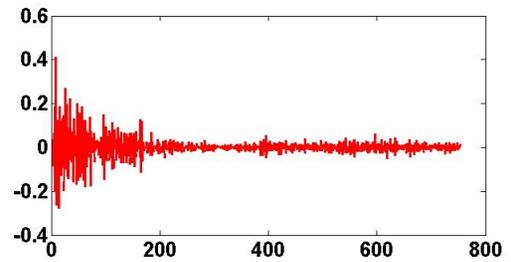


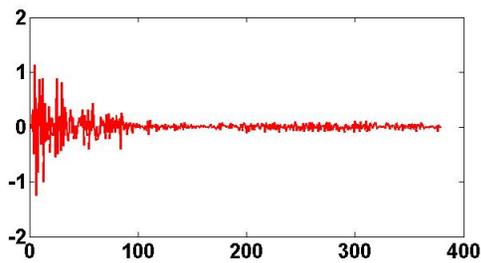
Figura 3.6: Gráfica de los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet coiflet de orden uno, a diferentes niveles de descomposición. El eje horizontal representa el número de muestras y el eje vertical amplitudes. Gráficos de esta investigación.



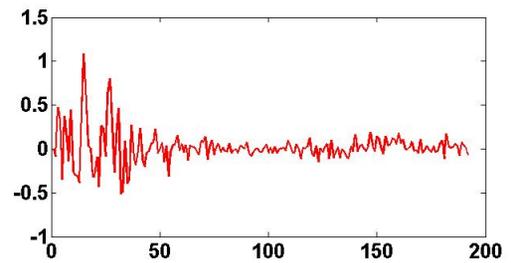
(a) Nivel 1



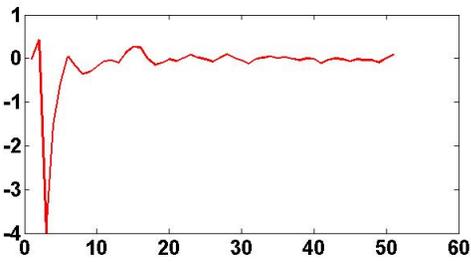
(b) Nivel 2



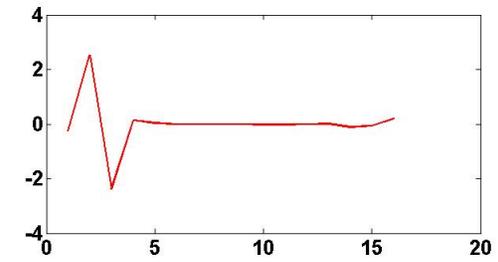
(c) Nivel 3



(d) Nivel 4



(e) Nivel 6



(f) Nivel 8

Figura 3.7: Gráfica de los coeficientes de detalle obtenidos con la wavelet coiflet de orden uno, a diferentes niveles de descomposición. El eje horizontal representa el número de muestras y el eje vertical amplitudes. Gráficos de esta investigación.

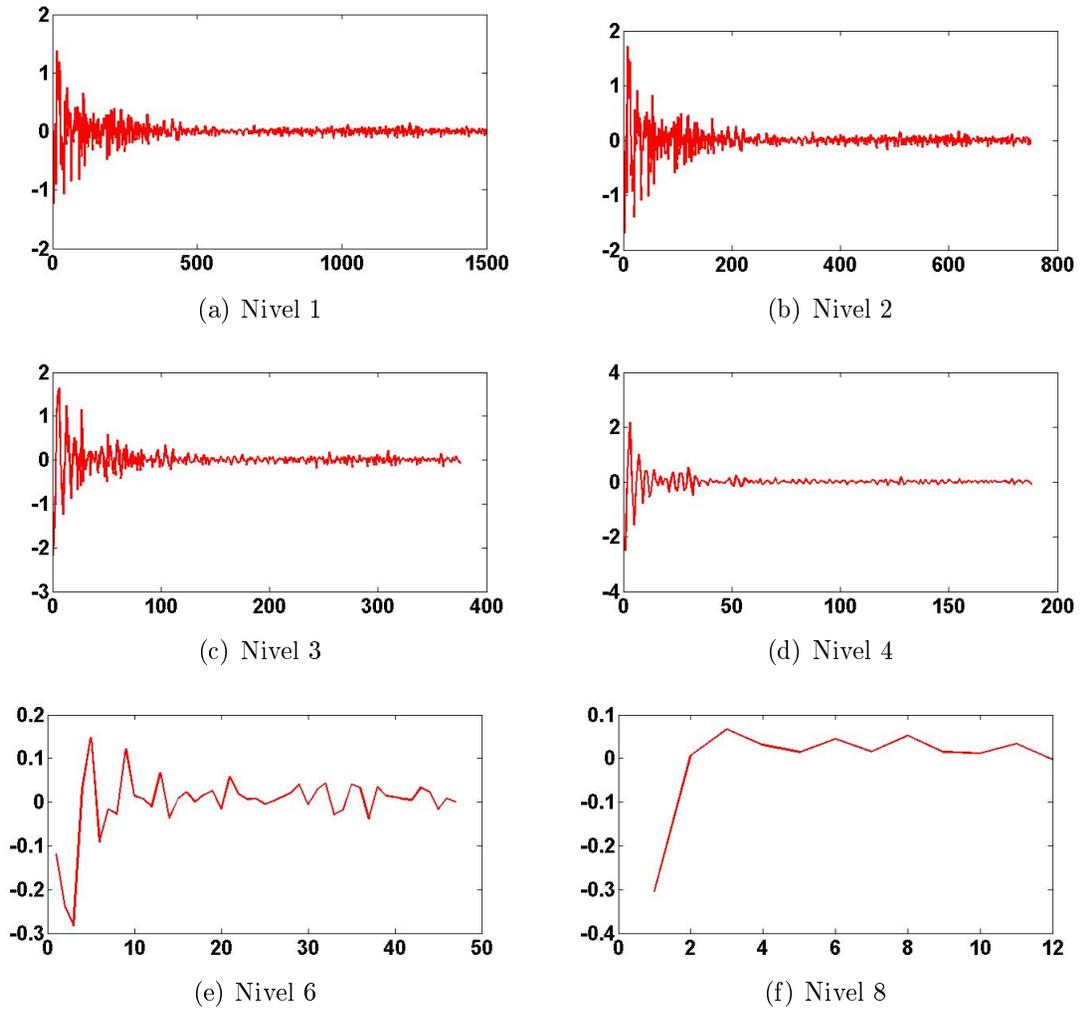
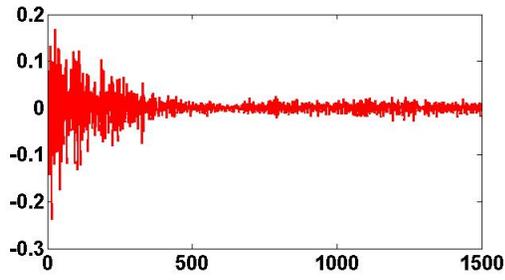
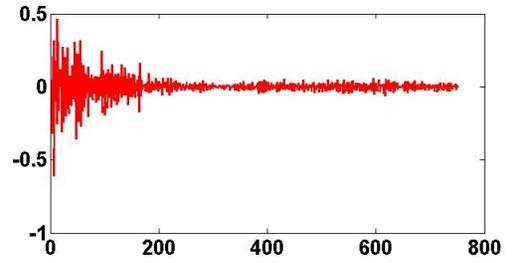


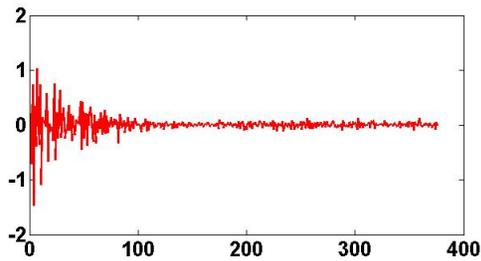
Figura 3.8: Gráfica de los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet haar, a diferentes niveles de descomposición. El eje horizontal representa el número de muestras y el eje vertical amplitudes. Gráficos de esta investigación.



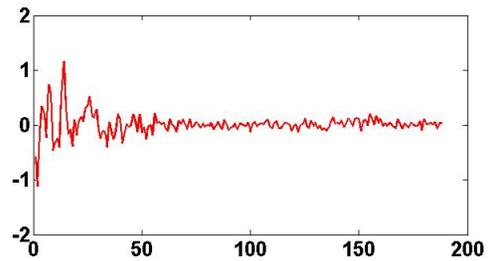
(a) Nivel 1



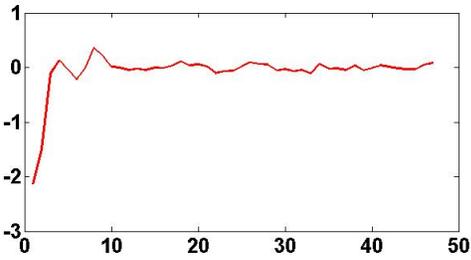
(b) Nivel 2



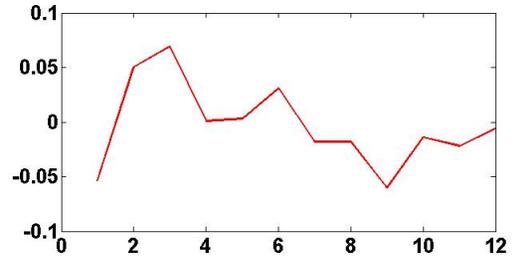
(c) Nivel 3



(d) Nivel 4



(e) Nivel 6



(f) Nivel 8

Figura 3.9: Gráfica de los coeficientes de detalle obtenidos con la wavelet haar, a diferentes niveles de descomposición. El eje horizontal representa el número de muestras y el eje vertical amplitudes. Gráficos de esta investigación.

### 3.1.3. Tratamiento de coeficientes

Luego de esta rutina se programo otra denominada hien<sup>10</sup>, la cual permitió obtener los histogramas de los coeficientes y calcular valores proporcionales a las energías de estos. Esto se hizo para cada uno de los tres niveles de descomposición de las matrices de coeficientes contenidas en los 88 archivos almacenados, esta serie de ordenes se explica a continuación

- La secuencia de instrucciones inicia pidiendo introducir el dígito correspondiente a la matrices a elegir<sup>11</sup>, a continuación se solicita el nombre de la wavelet que fue utilizada para obtener los coeficientes acompañada del número once<sup>12</sup>, esto permite cargar cada archivo elegido al workspace de MATLAB. Luego el nivel de descomposición es solicitado (1, 2 o 3) para que la rutina cargue las matrices de coeficientes con las cuales se va a trabajar.
- La rutina posibilita elevar al cuadrado cada uno de los coeficientes de las columnas de las matrices McA1, McA2, McA3, McD1, McD2, McD3 contenidas en cada uno de los 88 archivos mencionados anteriormente ya que de esta manera se logra valores proporcionales a la energía. Estas matrices se generaron con los nombres de Ecalp1, Ecalp2, Ecalp3, Ecavt1, Ecavt2 y Ecavt3b para los coeficientes de aproximación y para los coeficientes de detalle fueron señaladas como Ecdlp1, Ecdlp2, Ecdlp3, Ecdvt1, Ecdvt2 y Ecdvt3.
- Para calcular los histogramas de las matrices de coeficientes la rutina escoge el número de intervalos que debería tener la distribución de frecuencias<sup>13</sup>. Una vez obtenidos los histogramas se almacenaron en cuatro matrices MHalp, MHavt, MHdlp y MHdvt<sup>14</sup> (figura 3.10), las cuales en su primera columna tienen los valores en que se dividió de su respectivo intervalo y en las siguientes la distribución de frecuencia para los coeficientes de las trazas analizadas.

---

<sup>10</sup>ver anexo D.

<sup>11</sup>Las cuales son cargadas en parejas CLPAN, CVTAN y CLPCU, CVTCU de acuerdo con la opción elegida.

<sup>12</sup>Este número hace referencia a los once niveles de descomposición utilizados al inicio.

<sup>13</sup>Esto se también se conoce como bins.

<sup>14</sup>Cuatro matrices por cada nivel, lo cual da un total de 12 matrices porque se utilizo tres niveles.

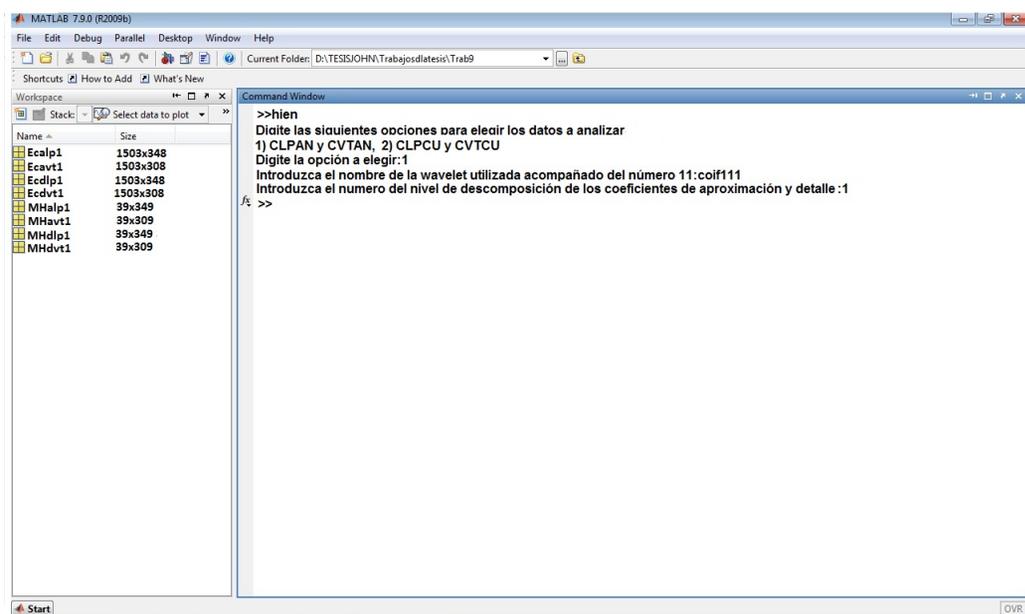


Figura 3.10: De esta manera aparecen las matrices generadas por la rutina hien en el workspace de Matlab.

- Finalmente, la secuencia se encarga de almacenar cada conjunto de matrices con su correspondiente nivel en dos archivos de extensión .mat bajo los nombres de `hienercAcD123lpvtan`<sup>15</sup> y `hienercAcD123lpvtcu`<sup>16</sup>, cada uno de los cuales se coloca en subcarpetas denominadas `lpvtan` para los archivos de la estación Anganoy y `lpvtcu` para los de Cufiño. Estas subcarpetas con estos archivos fueron guardadas en varias carpetas denominadas `coif1`, `coif2`, `coif3`, `coif4`, `coif5`, `db2`, `db3`, `db4`, `db5`, `db6`, `db7`, `db8`, `db9`, `db10`, `sym2`, `sym3`, `sym4`, `sym5`, `sym6`, `sym7` y `sym8`, las cuales hacen alusión a la wavelet con la cual se realizó el análisis.

<sup>15</sup>Este nombre quiere decir histogramas y energías de los cA y cD a nivel 1,2 o 3 para los sismos de LP y VT de la estación ANGANOY.

<sup>16</sup>Rotulados de similar manera que los anteriores pero para la estación de CUFIÑO.

### 3.1.3.1. *Técnicas utilizadas para la extracción de características*

Hablando del procedimiento para la extracción de características de las dos clases de sismos, se aplicó dos técnicas de análisis a los cA y cD obtenidos. La primera fue estadística basada en el empleo de las medidas de tendencia central<sup>17</sup> y las medidas de dispersión<sup>18</sup>. La segunda es la utilización de los porcentajes de energía, es decir la cantidad de energía que posee cada una de las trazas después de ser sometidas al análisis wavelet. De esta manera al graficar los resultados conseguidos por la aplicación de estos métodos y realizar las respectivas observaciones se pretende hacer más sencilla la manipulación de los datos para lograr distinguir características.

#### *Primera Técnica*

Para adaptar el primera técnica se programó dos secuencias, una llamada Histomed<sup>19</sup>, cuya función fue la de obtener las medidas de tendencia central y dispersión para las filas de las matrices de los archivos contenidos en cada una de las subcarpetas lpvtan y lpvtcu pertenecientes a las carpetas mencionadas anteriormente. Y la otra denominada med<sup>20</sup> que utiliza las mismas carpetas, subcarpetas y archivos anteriores pero calcula estas medidas a cada columna de las matrices que contienen valores proporcionales a la energía.

Las rutinas proceden de la siguiente manera:

- Para el caso de Histomed (ver figura 3.11), carga los archivos hienercAcD123lpvtan y hienercAcD123lpvtcu de las subcarpetas sea lpvtan o lpvtcu según se requiera, tomando solamente las matrices que contienen los datos de distribución de frecuencias, luego almacena en otra matriz todas las columnas de la matriz de histogramas excepto la primera debido a que esta corresponde a los bins del histograma y después procede a calcular a cada fila de esta nueva matriz las medidas de tendencia central y las de dispersión, y por último estos datos se almacenan en matrices finales que contienen la información clasificada en dos columnas de acuerdo a histogramas que proceden de cA de sismos LP y VT e histogramas provenientes de cD de sismos LP y VT. Todo esto lo realiza en tres secuencias para cada nivel. En total esta rutina genera 30 matrices por archivo y cada grupo se guarda con extensión .mat rotuladas con el nombre medtenhisto.
- En el caso de med (ver figura 3.12), esta rutina carga los mismos archivos que la anterior pero escogiendo las matrices que contienen los datos proporcionales a las energías y aplica los cálculos de las medidas de tendencia central y dispersión a

---

<sup>17</sup>Media, Moda y Mediana: Ellas posibilitan analizar los datos en torno a un valor central.

<sup>18</sup>Desviación Estándar y Varianza: Permiten identificar la concentración de datos en un cierto sector del recorrido de la variable.

<sup>19</sup>ver anexo E.

<sup>20</sup>ver anexo F.

todas las columnas de estas matrices. Al final estos datos se almacenan en matrices rotuladas de manera semejante a las utilizadas en la anterior rutina. Las matrices generadas por cada archivo son 30 y cada conjunto fue almacenado en .mat bajo el nombre de eneran para la procedencia de matrices de la estación Anganoy y enercu para las de Cufiño<sup>21</sup>.

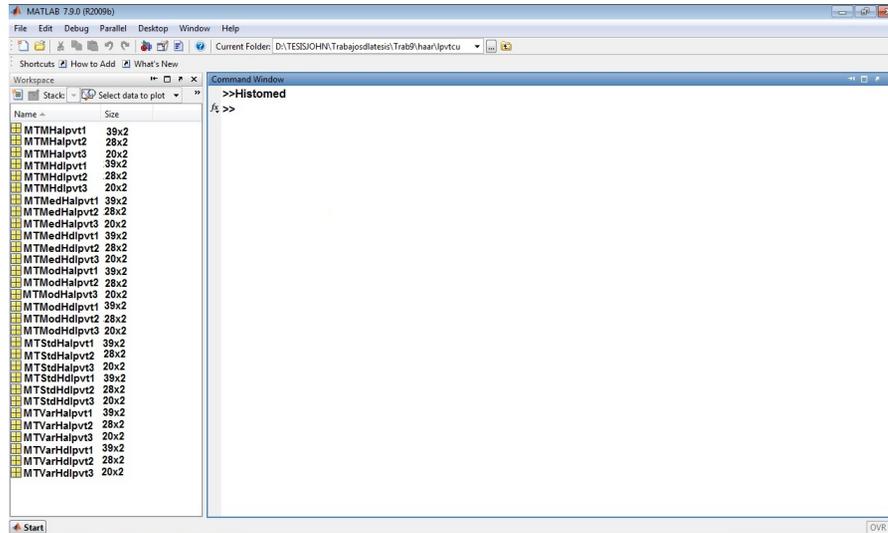


Figura 3.11: Así aparecen las matrices generadas por la rutina Histomed en el espacio de trabajo de Matlab.

<sup>21</sup>En esta rutina el número de columnas de las matrices que contienen las energías de los LP tanto de Anganoy como de Cufiño tuvieron que recortarse para ser igualadas al número de columnas de las matrices de energía VT de Anganoy y Cufiño las cuales tienen 308 columnas y 302 columnas respectivamente, esto con el fin de poder realizar las gráficas.

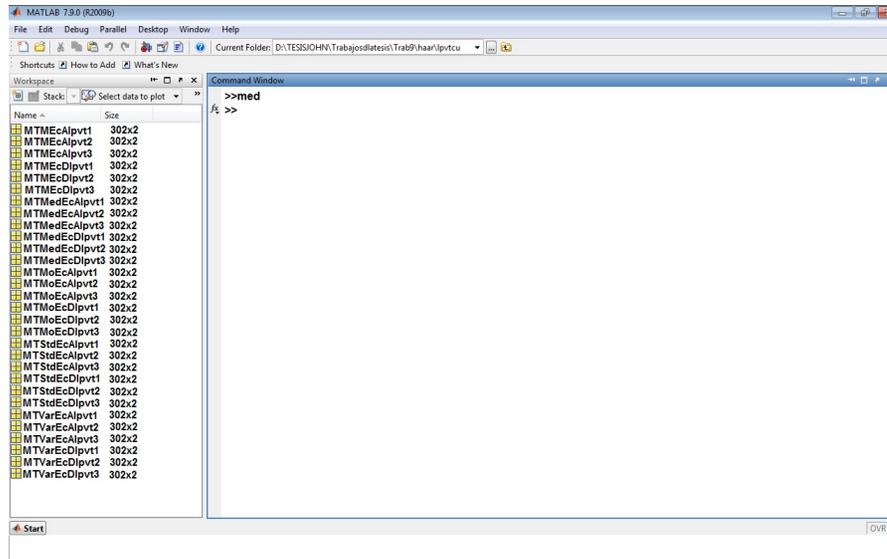


Figura 3.12: Así aparecen las matrices generadas por la rutina med en el espacio de trabajo de Matlab.

### *Segunda Técnica*

Posteriormente, para la segunda técnica se realizó una secuencia denominada poener<sup>22</sup> por medio de la cual se logró obtener los porcentajes de energía<sup>23</sup> de cada una de las trazas de las matrices LPAN, VTAN, LPCU y VTCU, almacenadas en el archivo datfin.mat.

Una descripción de esta rutina es presentada aquí:

- Luego de elegir la matriz a la cual se va a realizar el análisis la secuencia solicita el número de columnas de la matriz, el nivel de descomposición a ser aplicado y el nombre de la ondícula que se va a utilizar en el análisis, con estos datos suministrados esta rutina logra obtener dos matrices por cada nivel, una que contiene los porcentajes de energía de los cA y otra que almacena los porcentajes de los cD. Las matrices que se obtienen están rotuladas como EA1lp, EA2lp, EA3lp, EA1vt, EA2vt, EA3vt y ED1lp, ED2lp, ED3lp, ED1vt, ED2vt, ED3vt. Dos rutinas más mtean<sup>24</sup>, mtecu se encargan de clasificar los valores de estas matrices por procedencia de estación y de coeficientes (aproximación y detalle) y por nivel, presentando al final seis matrices por cada wavelet utilizada en el análisis. Cada grupo fue almacenado con extensión .mat bajo los nombres de

<sup>22</sup>ver anexo G.

<sup>23</sup>Tanto para aproximaciones como detalles en los niveles estudiados.

<sup>24</sup>ver anexo H

MPElpytan para la procedencia de la estación Anganoy y MPElpytcu para la de Cufiño<sup>25</sup>.

- El algoritmo utilizado por Matlab para calcular estos porcentajes es el siguiente:

```
Et = sum(C.^2);
level = length(L)-2;
Ca = C(1:L(1));
Cd = detcoef(C,L,'cells');
Ea = 100*sum(Ca.^2)/Et;
for k=1:level , Ed(k) = 100*sum(Cd{k}.^2)/Et; end
```

Donde C es el vector de descomposición wavelet que contiene los coeficientes de aproximación y detalle, L es un vector que almacena las longitudes de las componentes del vector C, Et representa la suma de las energías de todos los coeficientes de aproximación y detalle que contiene el vector C, Ca son los valores de los coeficientes de aproximación que incluye el vector C, Cd son los valores de todos los coeficientes de detalle también contenidos en C, Ea y Ed representan los cálculos de los porcentajes de energía para los coeficientes de aproximación y detalle, respectivamente. En la figura 3.13 se indica a manera de ejemplo un esquema acerca de como están conformados los vectores C y L en el proceso de descomposición .

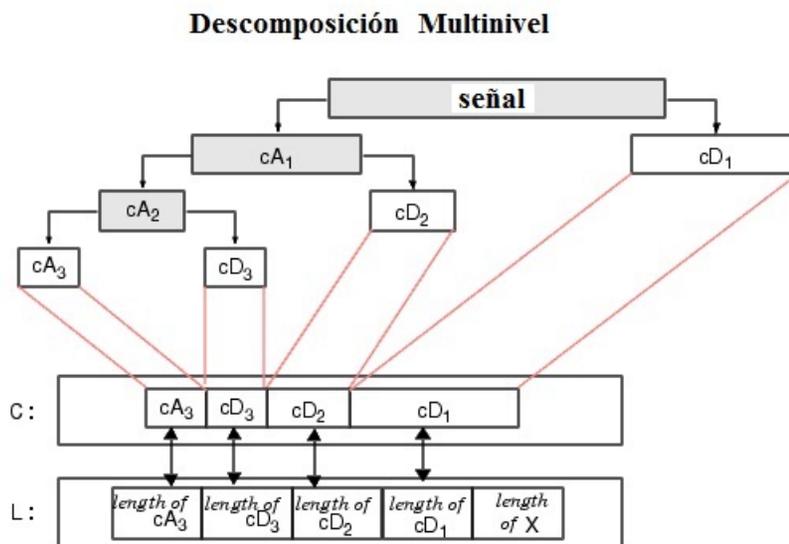


Figura 3.13: Estructura de los vectores C y L. Imagen tomada de [13]

<sup>25</sup>En esta rutina el número de columnas de las matrices que contienen los porcentajes de energía de los LP tanto de Anganoy como de Cufiño tuvieron que recortarse para ser igualadas al número de columnas de las matrices de porcentajes de energía VT de Anganoy y Cufiño las cuales tienen 308 columnas y 302 columnas respectivamente, esto con el fin de poder realizar las gráficas.

### 3.1.4. Presentación de la información

Para realizar las gráficas de cada uno de estos resultados también se elaboró dos rutinas con los nombres de `graficar`<sup>26</sup> y `grahis`<sup>27</sup> estas se copiaron en cada una de las subcarpetas `lpvtan` y `lpvtcu`. La primera de estas secuencias se encarga de obtener los gráficos de las medidas de tendencia central, dispersión y porcentajes de energía de las matrices generadas por la rutinas `Histomed`, `med` y `poener`, y la segunda realiza las gráficas para todas las columnas de las matrices producidas por la rutina `hien` que contienen las distribuciones de frecuencia de los coeficientes obtenidos del análisis wavelet tanto para datos provenientes de trazas LP como de VT. Obteniéndose de esta rutina gráficos que agrupan las distribuciones de frecuencias solo para coeficientes LP, otras que agrupan solo distribuciones de coeficientes VT y otras en donde se muestra la superposición de las dos, el intervalo dentro del cual se graficaron estos datos fue el que contenían las matrices en su primera columna, el cual es un intervalo común tanto para los coeficientes provenientes de las matrices LP como para coeficientes que se derivan de matrices VT. En total se obtuvieron de estas dos rutinas 3696 gráficas.

En las figuras 3.14 hasta la 3.20, se presentan algunas gráficas generadas por estas rutinas, correspondientes al análisis con diferentes wavelets para las trazas de las dos estaciones.

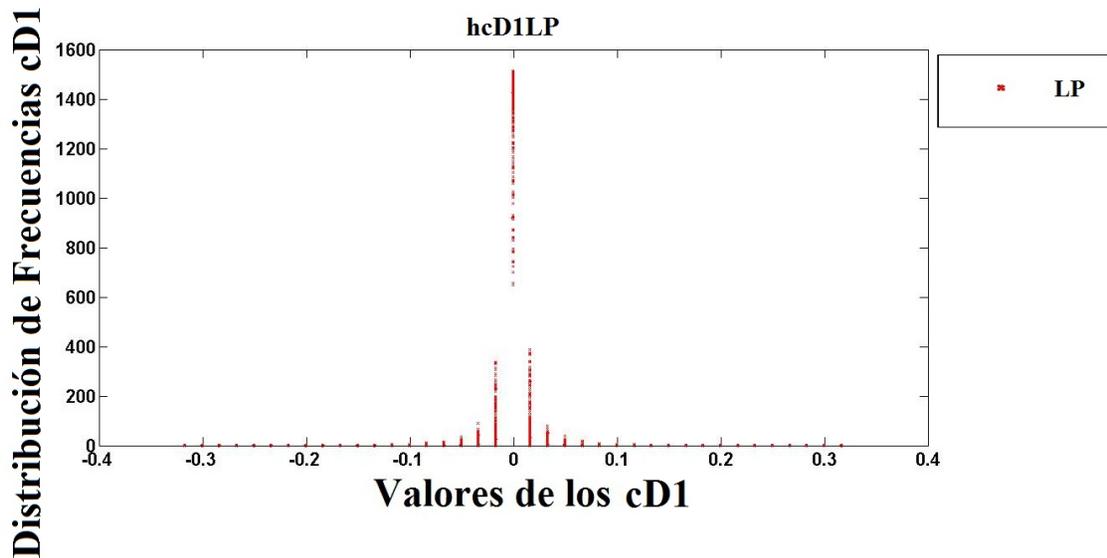


Figura 3.14: Gráfica de la distribución de frecuencias correspondiente a los cD de los sismos LP, obtenida con la rutina `grahis`. Gráfica de esta investigación.

---

<sup>26</sup>ver anexo I.

<sup>27</sup>ver anexo J

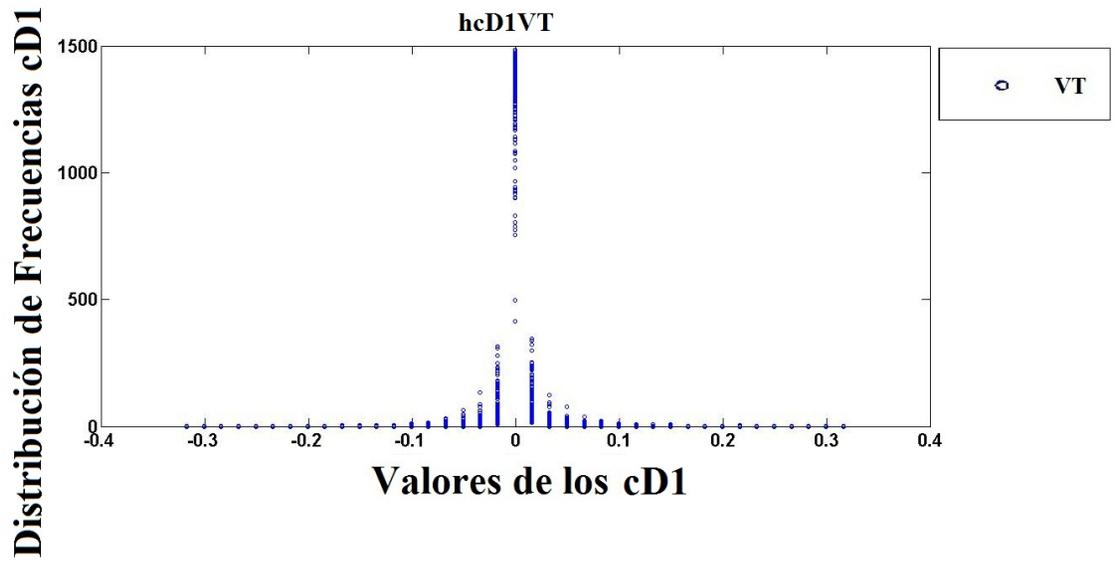


Figura 3.15: Gráfica de la distribución de frecuencias correspondiente a los cD de los sismos VT, obtenida con la rutina grahis. Gráfica de esta investigación.

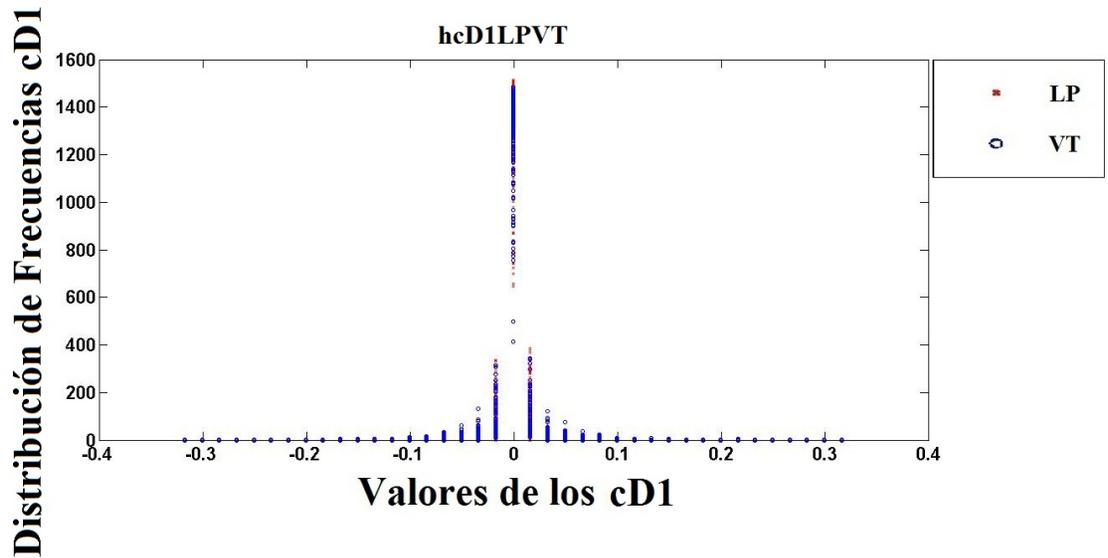


Figura 3.16: Superposición de las gráficas de las distribuciones de frecuencias para los cD de los sismos LP y VT, obtenidas con la rutina grahis. Gráfica de esta investigación.

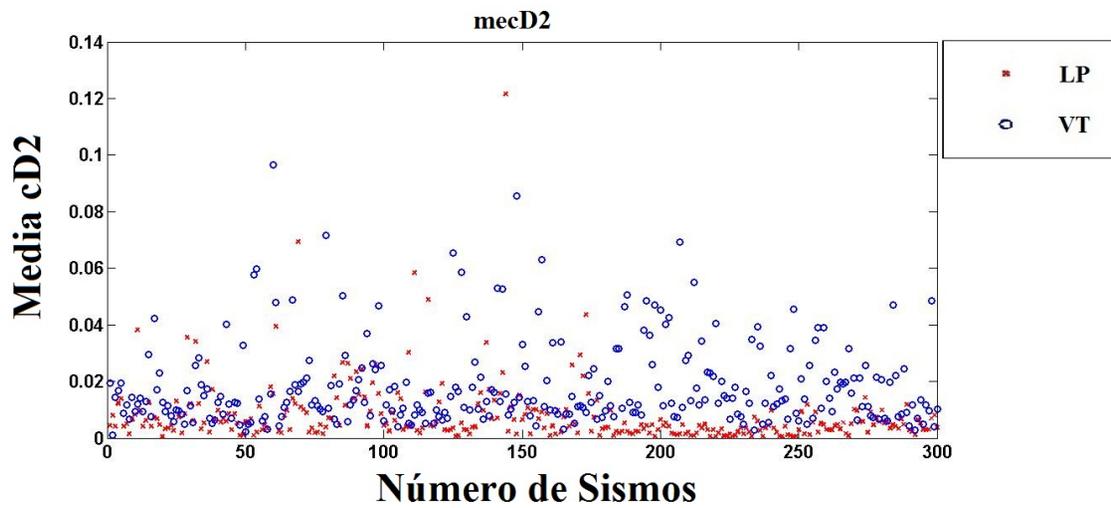


Figura 3.17: Gráfica de la media aplicada a las energías de los cD correspondientes a los sismos LP y VT, obtenida con la rutina graficar. Gráfica de esta investigación.

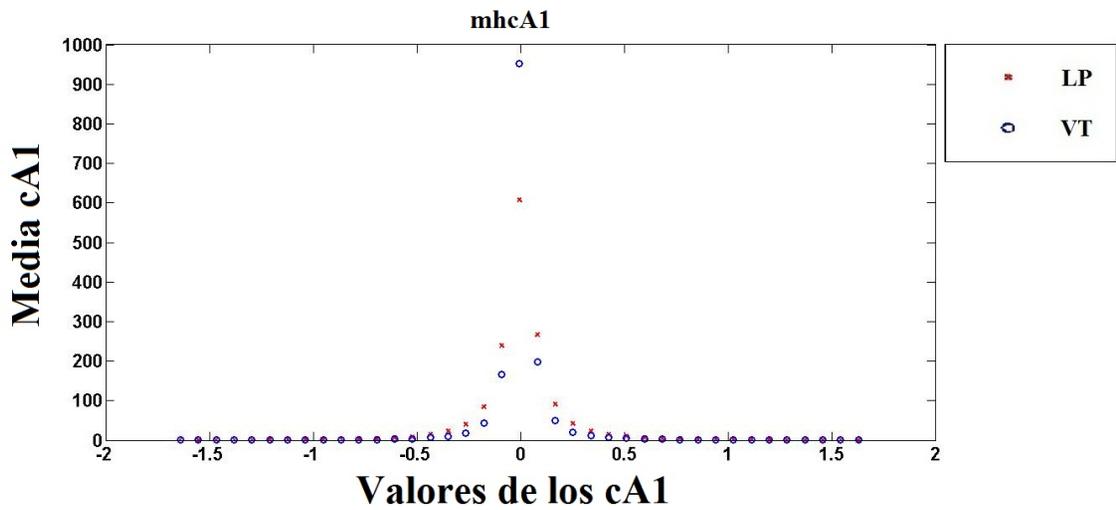


Figura 3.18: Gráfica de la media aplicada a las filas de los histogramas correspondientes a los cA de los sismos LP y VT, obtenida con la rutina graficar. Gráfica de esta investigación.

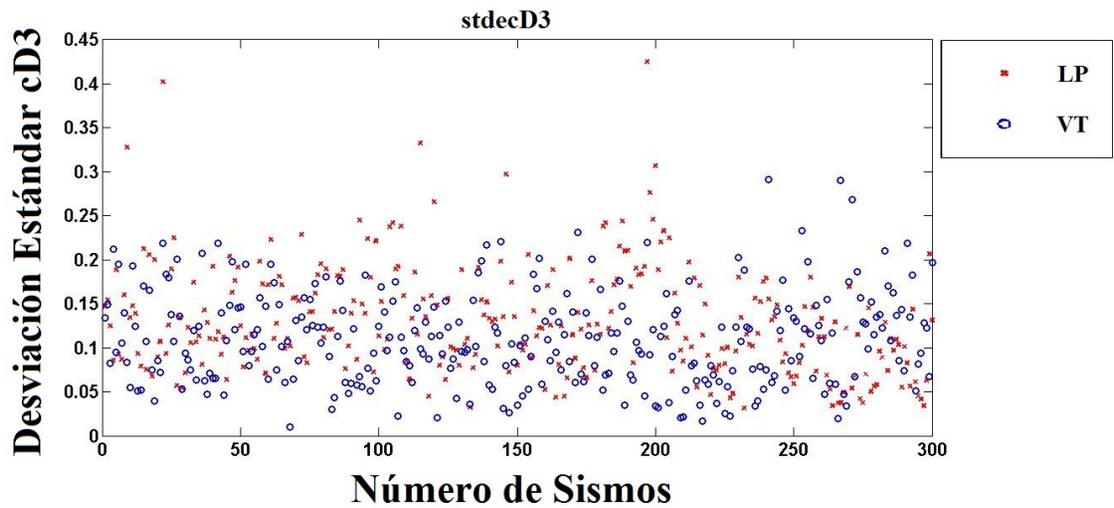


Figura 3.19: Gráfica de la desviación estándar aplicada a las matrices que contienen los valores de las energías de los cD correspondientes a los sismos LP y VT, obtenida con la rutina graficar. Gráfica de esta investigación

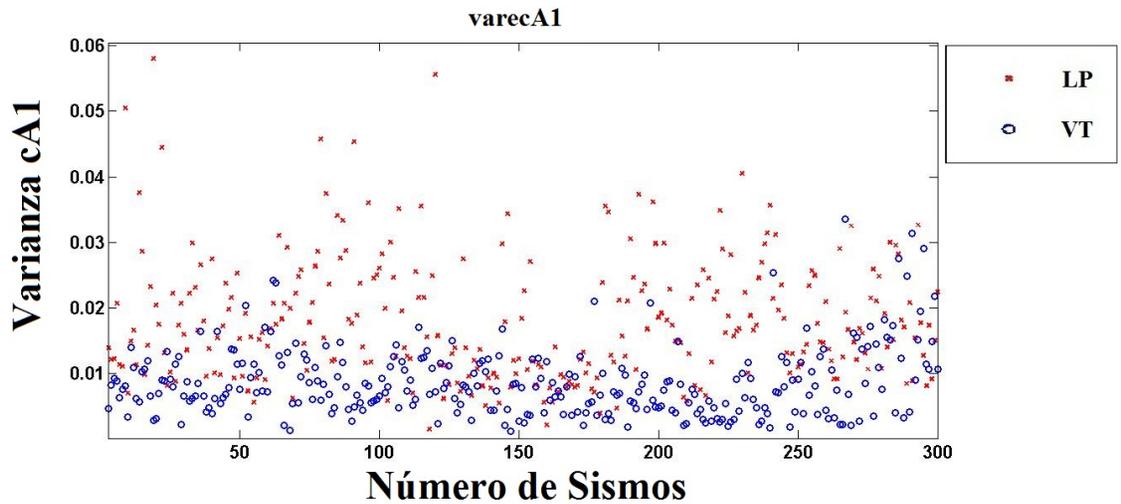


Figura 3.20: Gráfica de la varianza aplicada a las energías de los cA correspondientes a los sismos LP y VT, obtenida con la rutina graficar. Gráfica de esta investigación.

La rutina simplificar<sup>28</sup> carga los archivos MPElptan y MPElptcu para las estaciones de Anganoy o Cufiño, estos archivos contienen las matrices de los porcentajes de energía de los coeficientes de aproximación y detalle. Luego esta secuencia calcula la media y las desviación estándar de las matrices cargadas y a la desviación estándar que obtiene por cada matriz la multiplica por dos y este resultado se lo resta a los valores de la media obtenidos esto se hace con el fin de establecer un intervalo de datos que permita tomar valores que se encuentren dentro de este y descartar los que se encuentren fuera de él. De esta forma se obtienen vectores que poseen menos cantidad de datos que al ser graficados permitirán una mayor apreciación en el análisis de las gráficas. Las matrices resultantes por cada uno de los archivos cargados son 12 y cada grupo de ellas se guarda con el nombre de gsim.mat. La secuencia gra<sup>29</sup> permite generar las gráficas de los datos contenidos en los vectores almacenados en este archivo. Un total de 528 gráficas fueron obtenidas mediante esta rutina. Algunas de los gráficos generados por esta rutina para las estaciones de Anganoy y Cufiño con la ondícula db3 son (figuras 3.21 a 3.24):

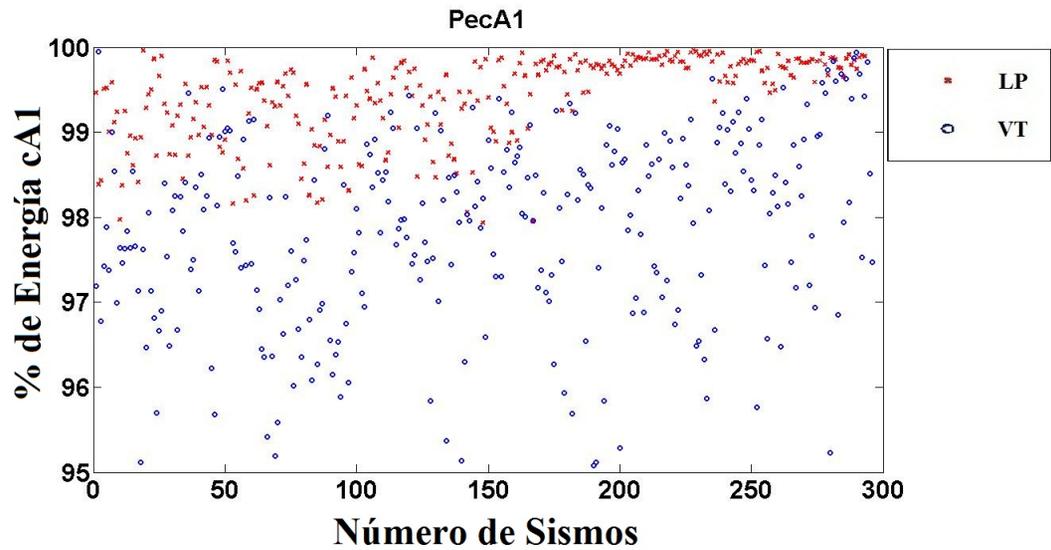


Figura 3.21: Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

<sup>28</sup>ver anexo K.

<sup>29</sup>ver anexo L.

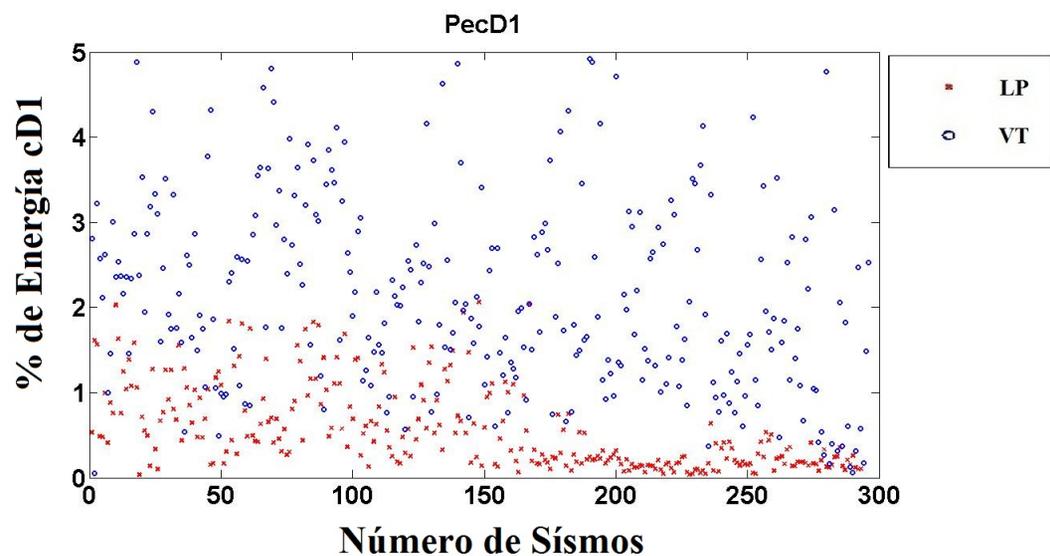


Figura 3.22: Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

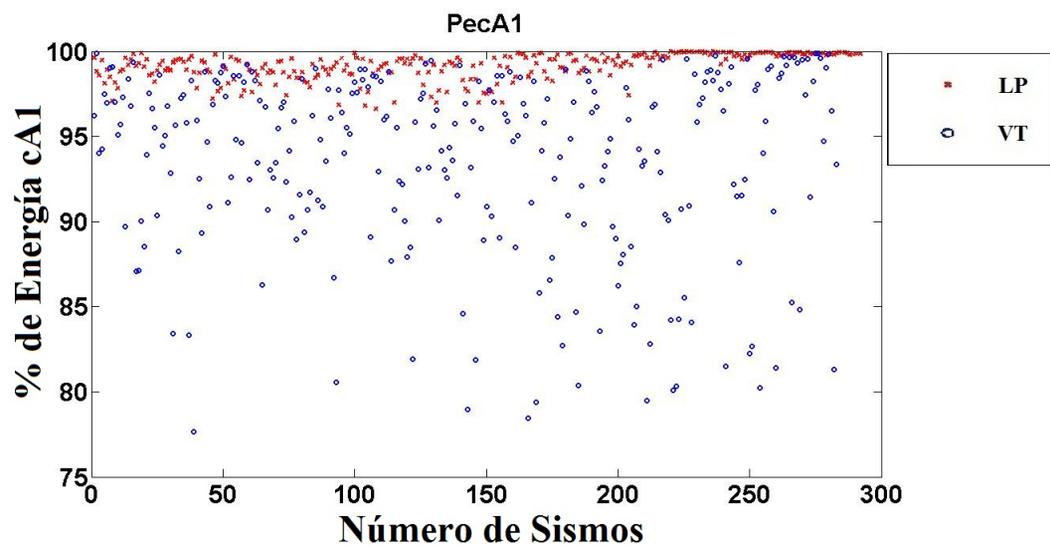


Figura 3.23: Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

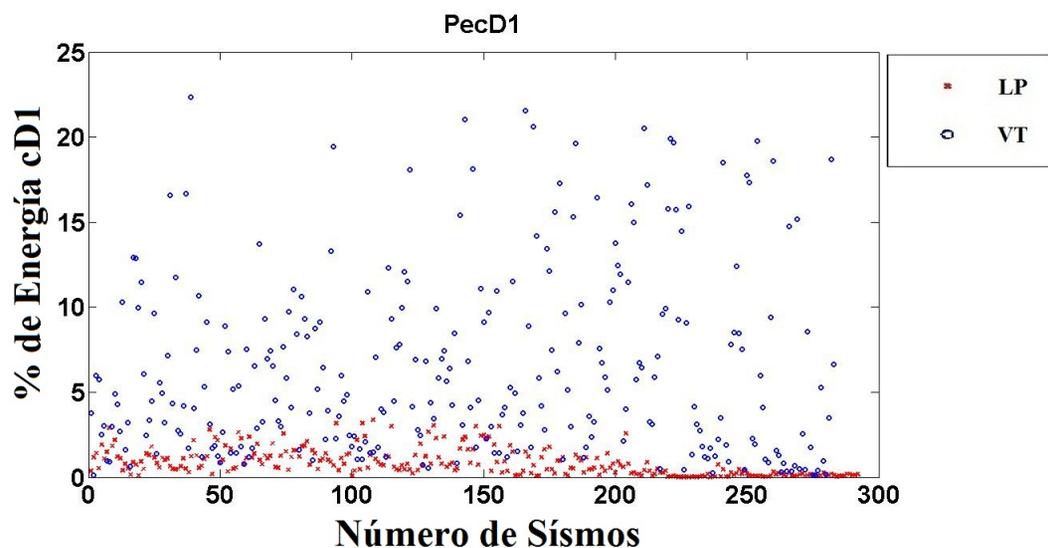


Figura 3.24: Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

Para todas las gráficas el eje horizontal representa el número de trazas analizadas, el eje vertical corresponde a los valores de porcentajes de energía. Los círculos representan a las trazas VT y las cruces a las trazas LP.

#### 3.1.4.1. *Reconstrucción de los cA y cD a través de la interfaz gráfica*

Por último se utilizó la interfaz gráfica para wavelets de Matlab<sup>30</sup> (figura 3.25), la cual despliega un menú que permite escoger la transformada wavelet a aplicar, en este caso se escoge la opción Wavelet 1D<sup>31</sup>, que es la que corresponde a la DWT. Al elegir esta opción se abre una ventana en la que se debe cargar la señal, escoger la wavelet a aplicar, su orden y el respectivo nivel de descomposición para finalmente presionar el botón Analyze y lograr obtener la señal acompañada de las aproximaciones y detalles reconstruidos a partir de los coeficientes de aproximación y detalle. Esta alternativa se empleó con el fin de observar si los resultados conseguidos con el análisis de porcentajes de energía aplicado al conjunto de sísmos, se mostraban coherentes con las aproximaciones y detalles obtenidos a nivel individual para cada clase de sísmos en el dominio del tiempo.

<sup>30</sup>El comando wavemenu permite acceder a esta ventana.

<sup>31</sup>Opción marcada con el rectángulo verde en la figura 3.25.



Figura 3.25: Interfaz gráfica para Wavelets de Matlab.

## 4 RESULTADOS

De las gráficas obtenidas se descartó las generadas por la rutina `grahis` debido a que en estas gráficas no se aprecia de manera clara información que pueda aportar características, lo mismo se realizó con las gráficas de las medidas de tendencia central y dispersión generadas por la rutina `graficar`, en donde tampoco se observa cosas interesantes. Solamente se utilizó las gráficas de porcentajes de energía también producidas por la rutina `graficar`. En las figuras 4.1 hasta 4.9 se muestran algunas de las gráficas no seleccionadas que corresponden al análisis wavelet realizado con la `db2`.

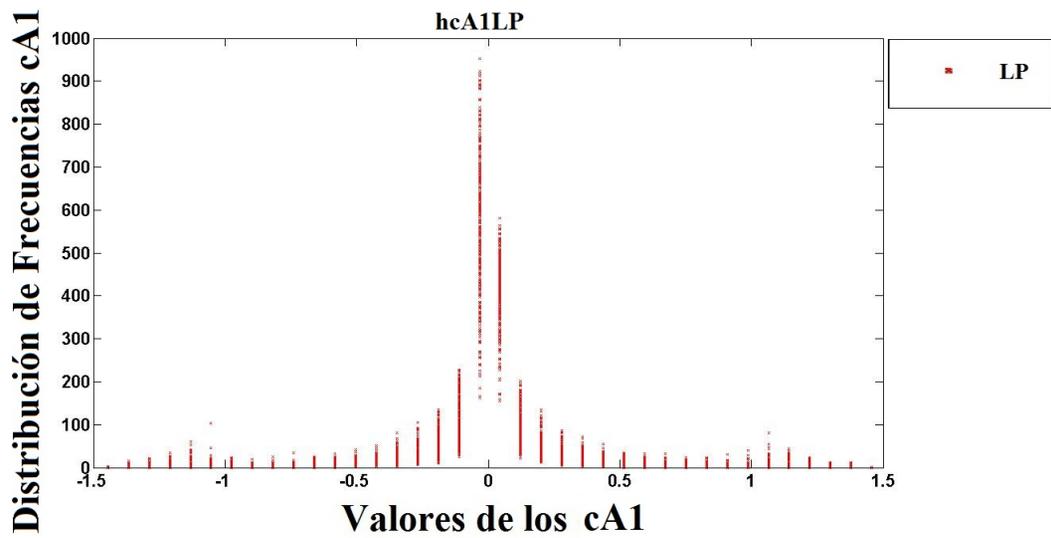


Figura 4.1: Gráfica de la distribución de frecuencias para los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet Daubechies 2, al nivel uno de descomposición, para los eventos LP correspondientes a la estación de Anganoy. Gráfica de esta investigación.

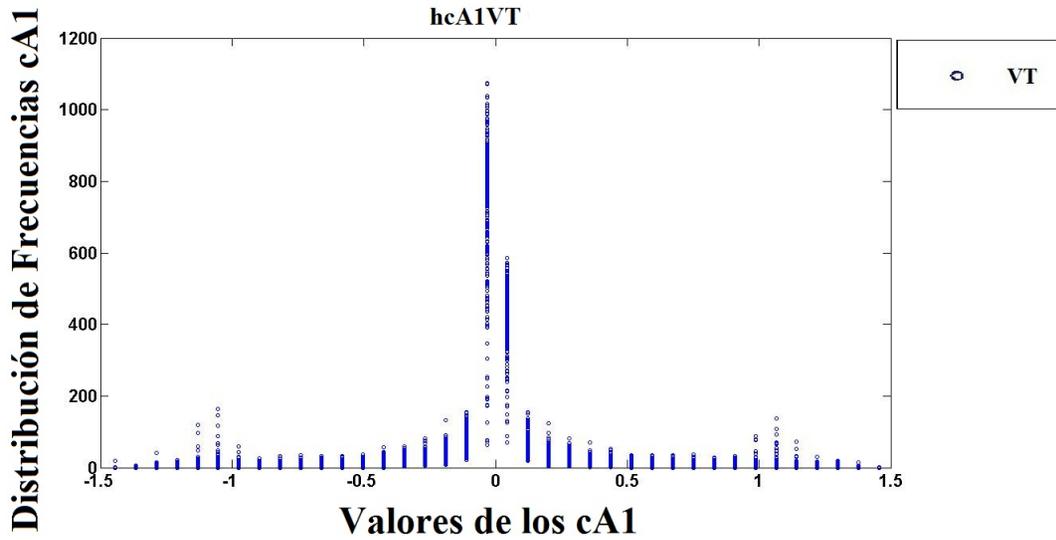


Figura 4.2: Gráfica de la distribución de frecuencias para los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet Daubechies 2, al nivel uno de descomposición, para los eventos VT correspondientes a la estación de Anganoy. Gráfica de esta investigación.

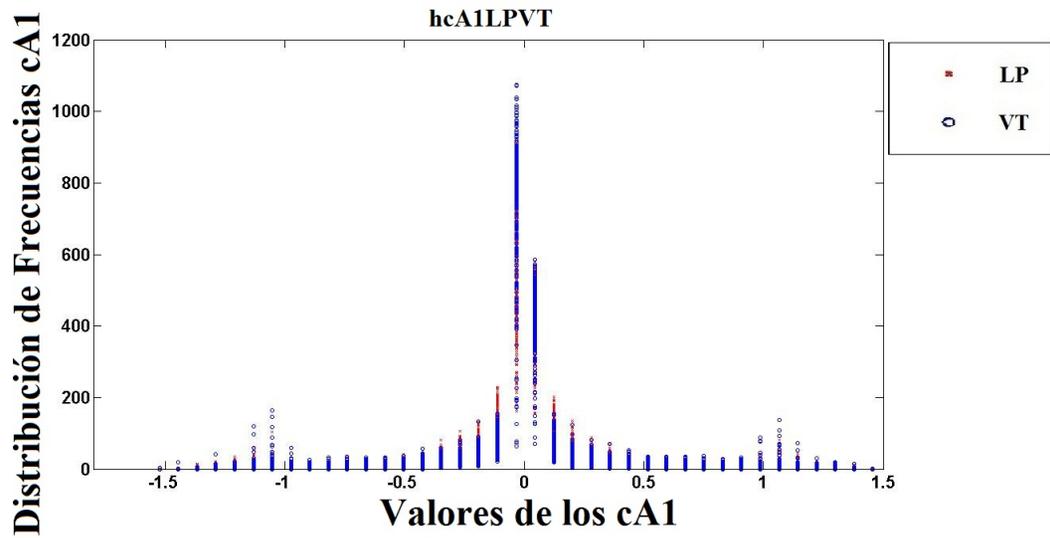


Figura 4.3: Superposición de las gráficas de las distribuciones de frecuencias para los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet Daubechies 2, al nivel uno de descomposición, para los eventos LP y VT correspondientes a la estación de Anganoy. Gráfica de esta investigación.

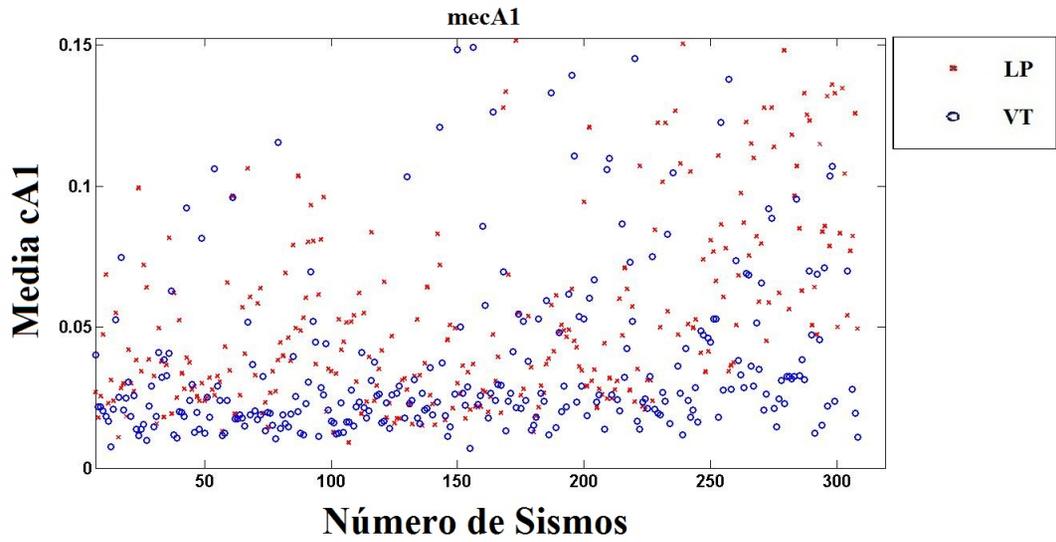


Figura 4.4: Gráfica de dispersión de la media aplicada a las energías de los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet Daubechies 2, al nivel uno de descomposición, tanto para los eventos LP como VT correspondientes a la estación de Anganoy. Gráfica de esta investigación.

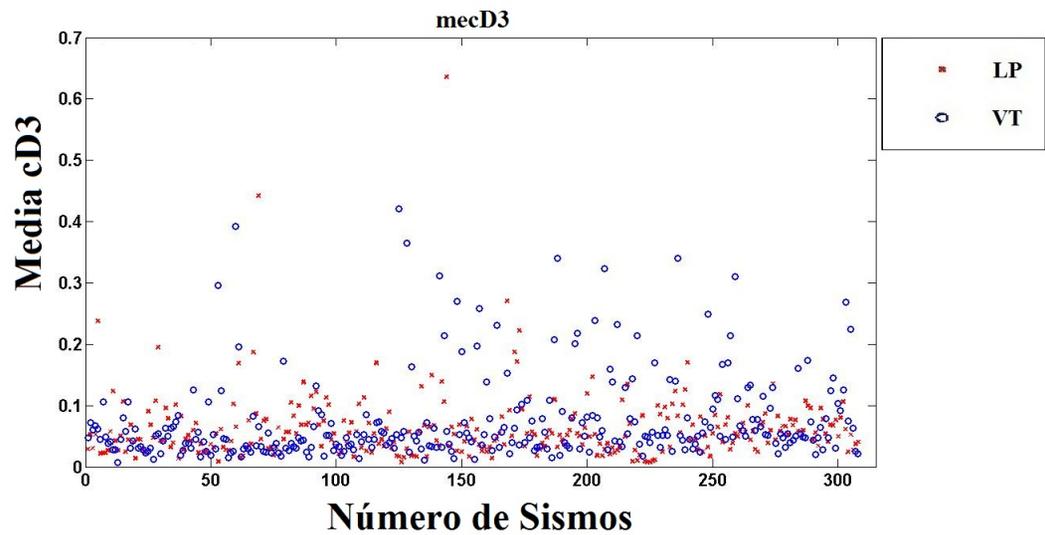


Figura 4.5: Gráfica de dispersión de la media aplicada a las matrices que contienen los valores de energías de los coeficientes de detalle obtenidos con la wavelet Daubechies 2, al nivel tres de descomposición, tanto para los eventos LP como VT correspondientes a la estación de Anganoy. Gráfica de esta investigación.

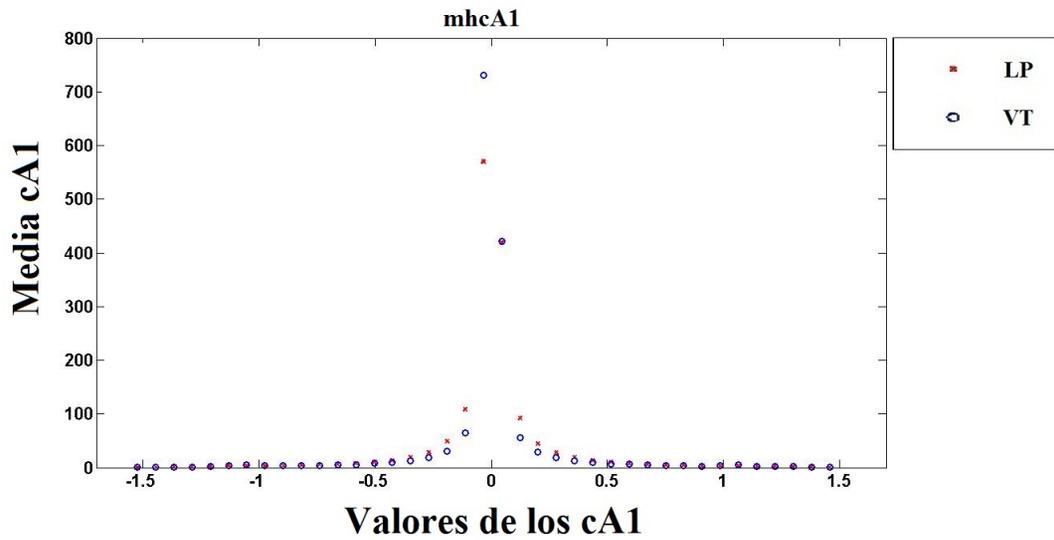


Figura 4.6: Gráfica de la media aplicada a las filas de las matrices de histogramas pertenecientes a los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet Daubechies 2, a nivel uno de descomposición, para eventos LP y VT correspondientes a la estación de Anganoy. Gráfica de esta investigación.

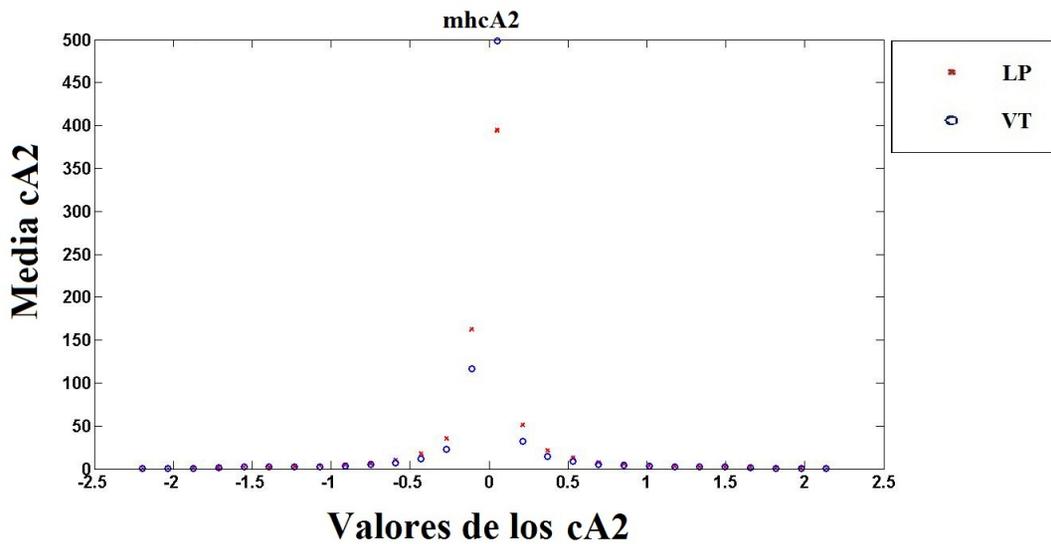


Figura 4.7: Gráfica de la media aplicada a las filas de las matrices de histogramas pertenecientes a los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet Daubechies 2, a nivel dos de descomposición, para eventos LP y VT correspondientes a la estación de Anganoy. Gráfica de esta investigación.

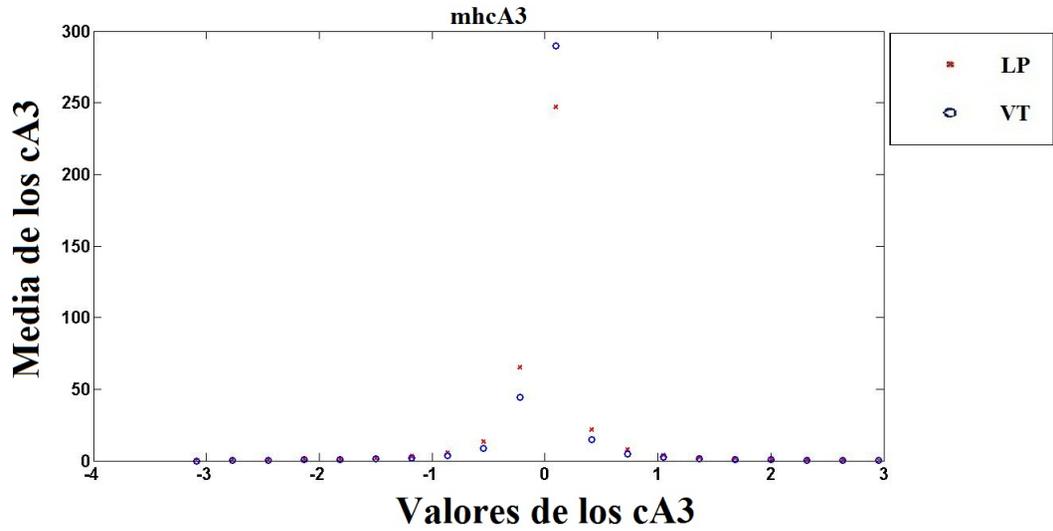


Figura 4.8: Gráfica de la media aplicada a las filas de las matrices de histogramas pertenecientes a los coeficientes de aproximación obtenidos con la wavelet Daubechies 2, a nivel tres de descomposición, para eventos LP y VT correspondientes a la estación de Anganoy. Gráfica de esta investigación.

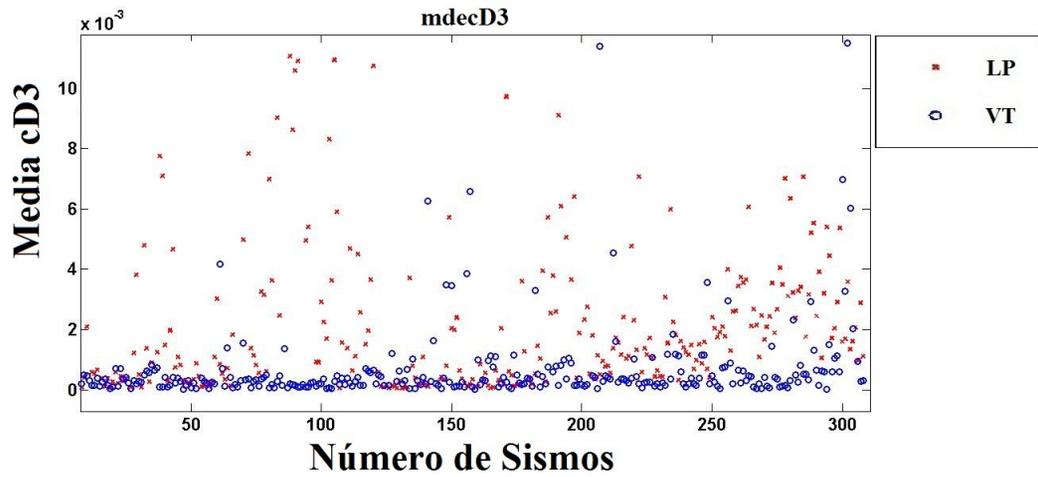


Figura 4.9: Gráfica de la mediana aplicada a las energías de los coeficientes de detalle obtenidos con la wavelet Daubechies 2, a nivel tres de descomposición, para eventos LP y VT correspondientes a la estación de Anganoy. Gráfica de esta investigación.

De manera general se analizará las gráficas correspondientes a los porcentajes de energía de los coeficientes de aproximación y detalle obtenidas con las wavelets Symlet, Coiflet, Daubechies y Haar. Se iniciara con las gráficas de porcentajes de los cA y cD que se obtuvieron de los sismos de la estación de Anganoy y luego se continuara con las de Cufiño. Cabe resaltar que en las gráficas presentadas en este análisis, el eje horizontal indica la cantidad de trazas elegidas y el vertical indica los porcentajes de energía de las mismas.

A continuación se muestra gráficamente el porcentaje de energía de los cA y cD a nivel uno, correspondientes al conjunto de trazas analizadas (figuras 4.10 a 4.15), obtenidos con las wavelets que presentaron mejores resultados, las cuales son la Symlet de orden 2, la Coiflet de orden 1 y la Daubechies de orden 2<sup>1</sup>. Para los dos niveles siguientes de descomposición también se indicara la representación gráfica de los respectivos porcentajes de los coeficientes logrados con estas ondículas. En lo correspondiente a la estación de Cufiño los gráficos mostrados, igualmente, corresponden a los porcentajes de energía logrados con estas wavelets.

Al aplicar la transformada wavelet a un primer nivel se puede observar en las gráficas de porcentajes de energía que corresponden a los coeficientes de aproximación que una gran cantidad de trazas conservan en gran medida un alto porcentaje de energía el cual se encuentra mayormente marcado en las trazas LP (cruces rojas) que en las VT (círculos azules), con porcentajes aproximadamente del 98 % a 99.5 % para las primeras y el 94 % a 97 % para las segundas. Esto era de esperarse puesto en este rango (banda de frecuencias entre 0 y 25 Hz) las componentes de mas baja frecuencia se encuentran en los LP, de aquí los amplios porcentajes para este conjunto de sismos. Respecto de las trazas VT la aproximación sigue conservándose ya que dentro de esta primera descomposición esta también la banda de frecuencias admitida para esta clase de eventos.

De otro lado en las representaciones gráficas de los porcentajes de energía de los coeficientes de detalle correspondientes a este nivel (intervalo frecuencial 25-50 Hz) se observa que los porcentajes obtenidos en general fueron muy bajos prevaleciendo los detalles provenientes de los sismos VT, con porcentajes alrededor de 3.5 % a 6 %, sobre los de los LP, los cuales tuvieron porcentajes entre 0.2 % a 1.5 % aproximadamente. Estos detalles filtrados en esta banda para las dos clases de eventos analizados corresponden a frecuencias no representativas de estos eventos, con una mas elevada cantidad de detalle en trazas de los registros VT que en las de los LP.

---

<sup>1</sup>Las gráficas de estas wavelets se encuentran en el capítulo 2, figura 2.12

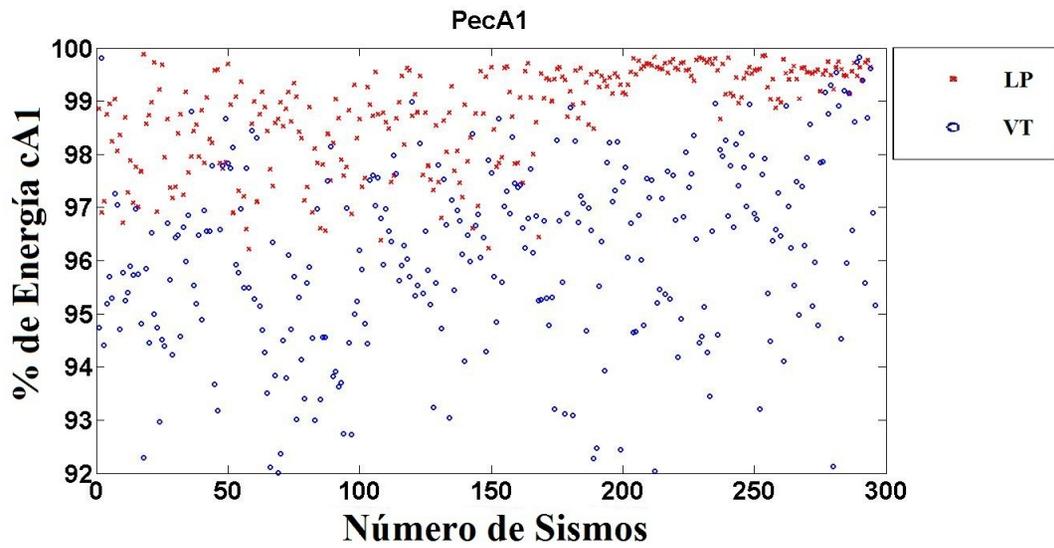


Figura 4.10: Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, ondícula Symlet de orden 2, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

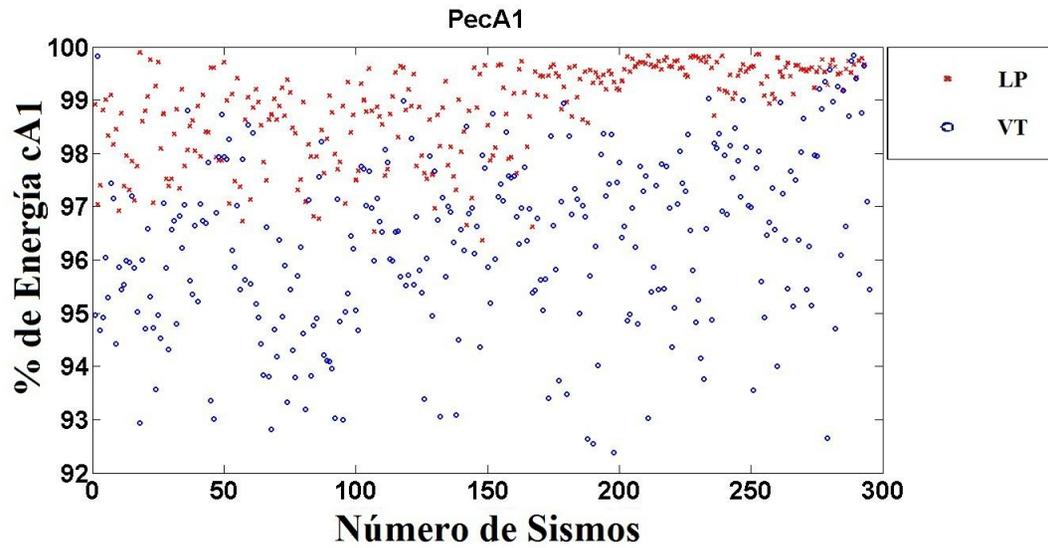


Figura 4.11: Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, ondícula Coiflet de orden 1, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

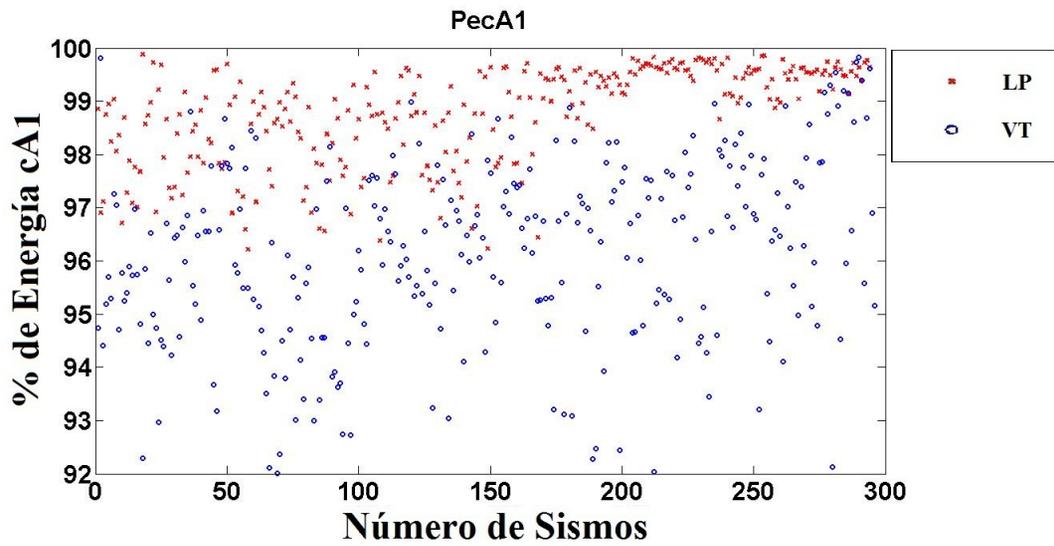


Figura 4.12: Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, ondícula Daubechies de orden 2, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

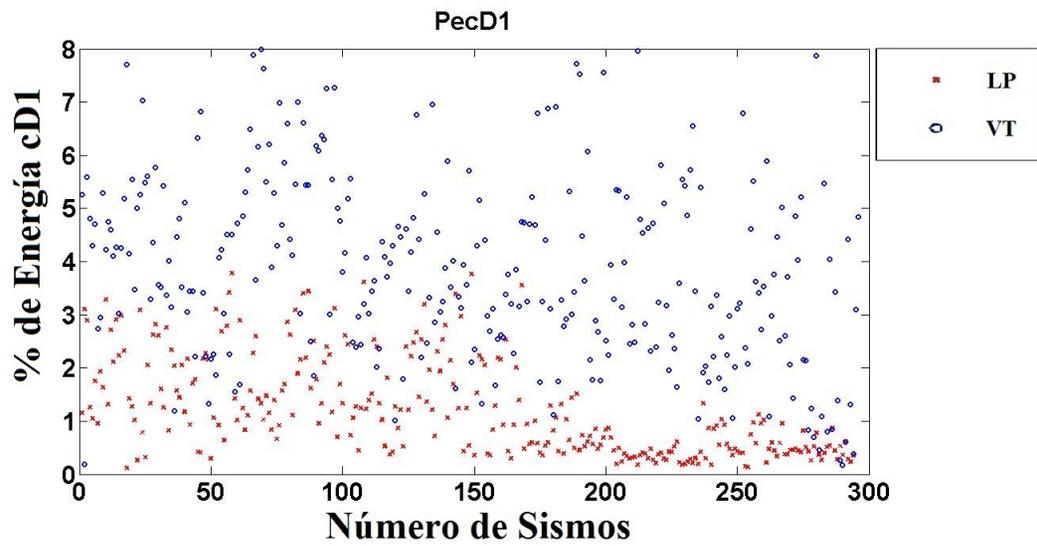


Figura 4.13: Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, ondícula Symlet de orden 2, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

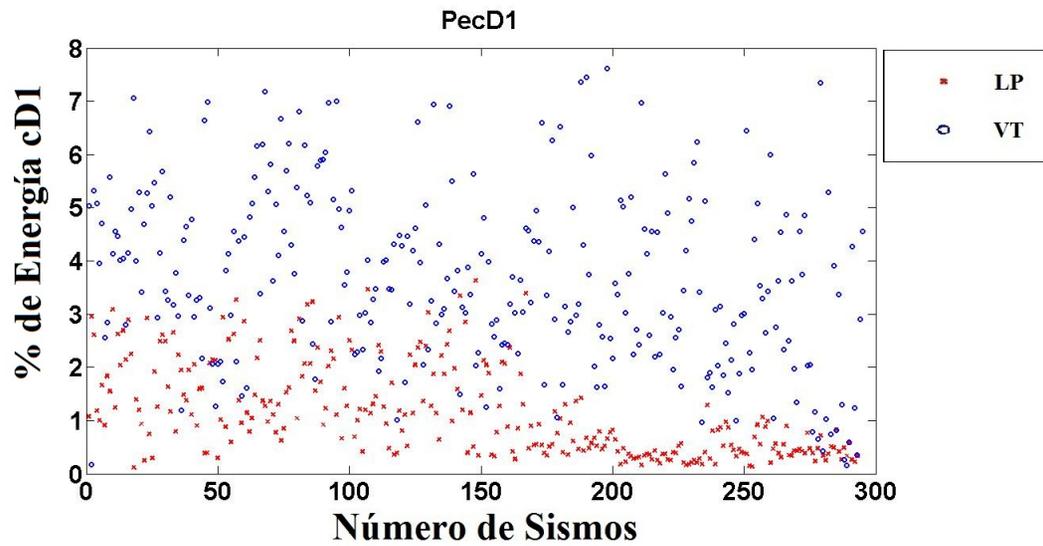


Figura 4.14: Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, ondícula Coiflet de orden 1, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

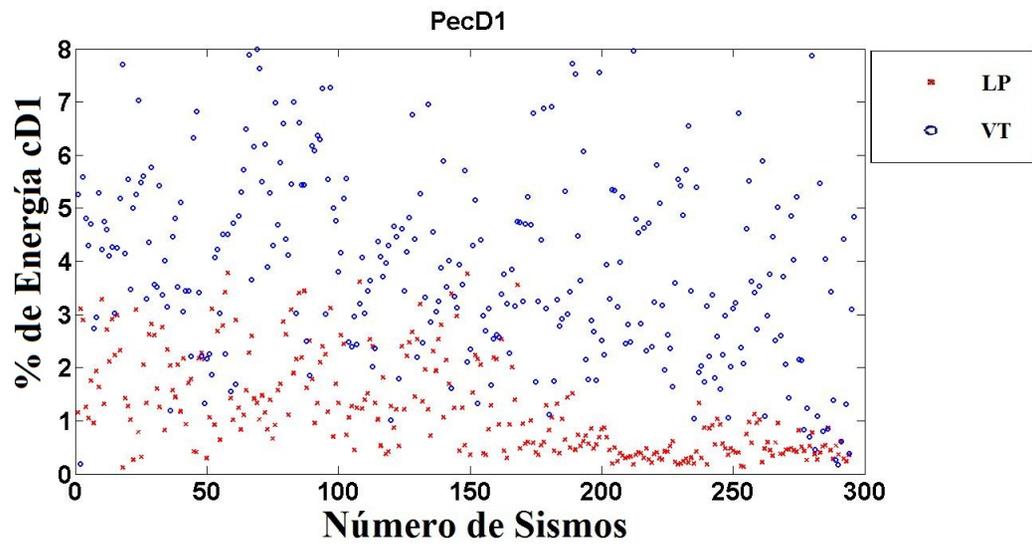


Figura 4.15: Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, ondícula Daubechies de orden 2, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

Examinando las gráficas de porcentajes a segundo nivel de los coeficientes de aproximación (figuras 4.16 a 4.18) se tiene que en los LP aún se conserva un elevado porcentaje de energía (entre 90 % a 98 % aproximadamente) debido a que las frecuencias representativas de estos sismos siguen permaneciendo dentro de esta banda de frecuencias. Para los porcentajes de los VT (entre 60 % a 75 % aproximadamente) se puede decir que el filtrado disminuyó en cierta medida un porcentaje importante de muestras en estas trazas pero todavía cierto rango de frecuencias características continua formando parte del grupo de frecuencias de la descomposición (rango frecuencial entre 0 y 12.5 Hz), sin embargo la aproximación para estas señales sigue siendo buena.

Analizando los gráficos de los porcentajes de los coeficientes de detalle a nivel dos (figuras 4.19 hasta 4.21) se observa que las frecuencias características de los VT en su gran mayoría se encuentran en este intervalo, porque la banda comprendida para este rango de frecuencias esta entre los 12.5 y 25 Hz. El porcentaje de energía de los coeficientes de detalle de estos sismos se nota mas diferenciable y marcado aproximadamente entre el 15 % y el 45 %, lo cual quiere decir que la transformada wavelet en su segundo nivel confirmo en mayor detalle que esta clase de sismos están constituidos por altas frecuencias y como esta distribuida la energía en ellas. Respecto a esta banda para los LP se ha filtrado una mayor cantidad de detalle la cual puede seguir perteneciendo a frecuencias no características de esta clase de sismos, cuyos porcentajes de energía estan alrededor del 1.5 % y el 10 % aproximadamente.

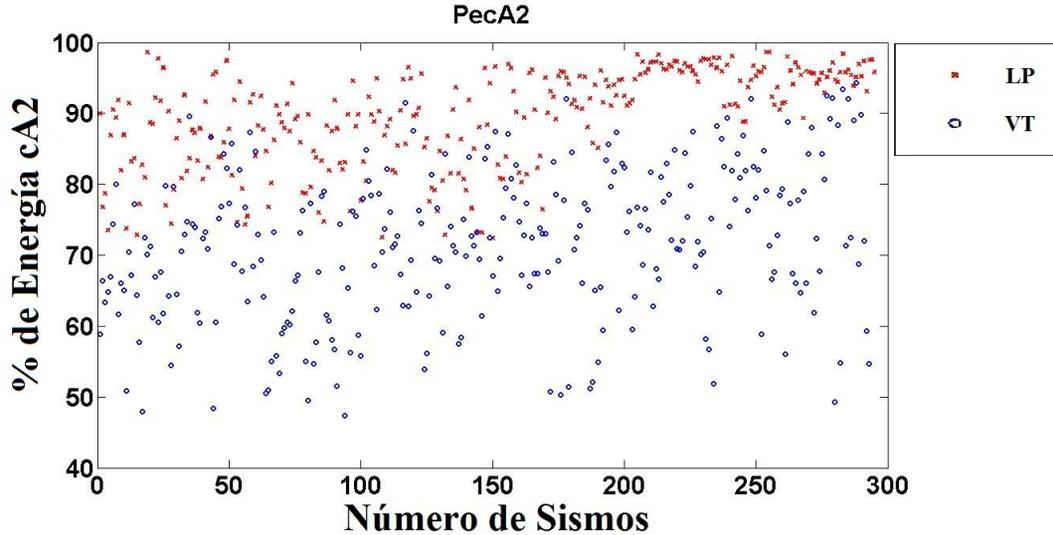


Figura 4.16: Porcentajes de energía de los cA a nivel 2, ondícula Symlet de orden 2, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

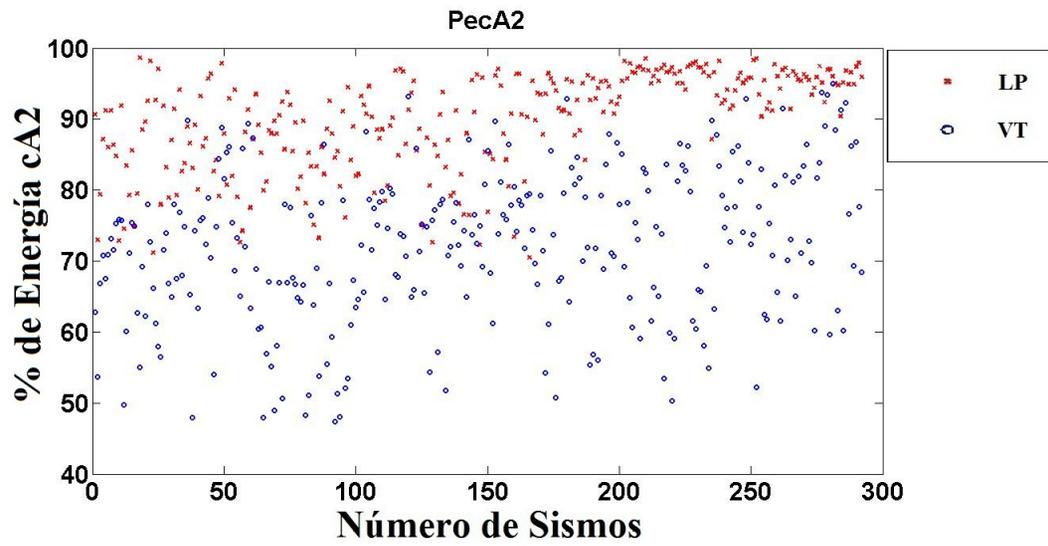


Figura 4.17: Porcentajes de energía de los cA a nivel 2, ondícula Coiflet de orden 1, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

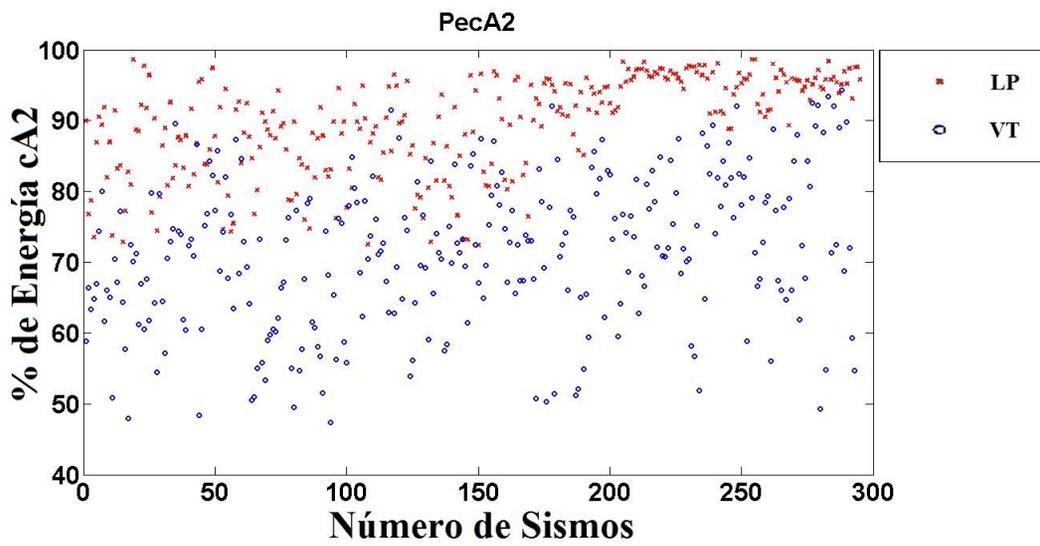


Figura 4.18: Porcentajes de energía de los cA a nivel 2, ondícula Daubechies de orden 2, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

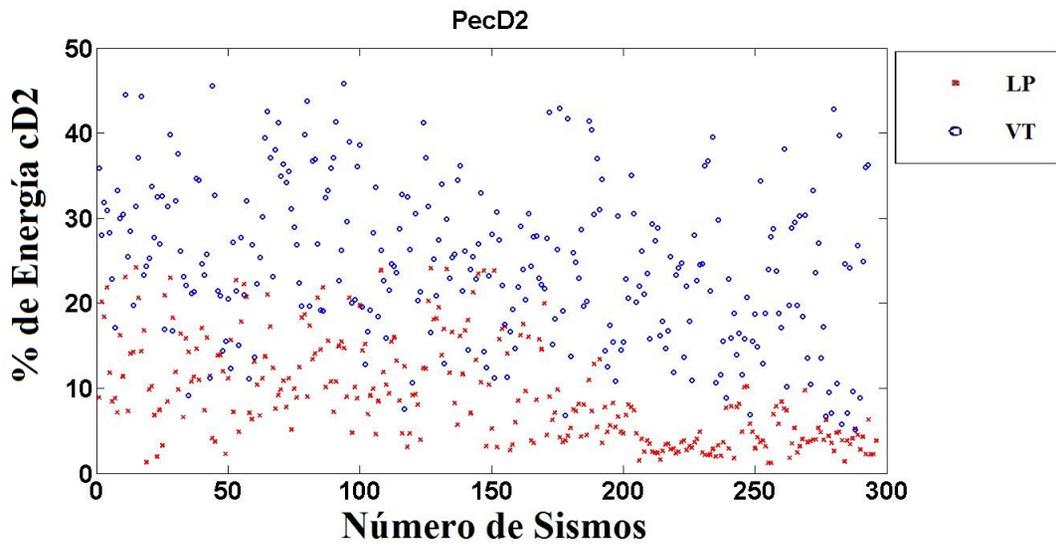


Figura 4.19: Porcentajes de energía de los cD a nivel 2, ondícula Symlet de orden 2, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

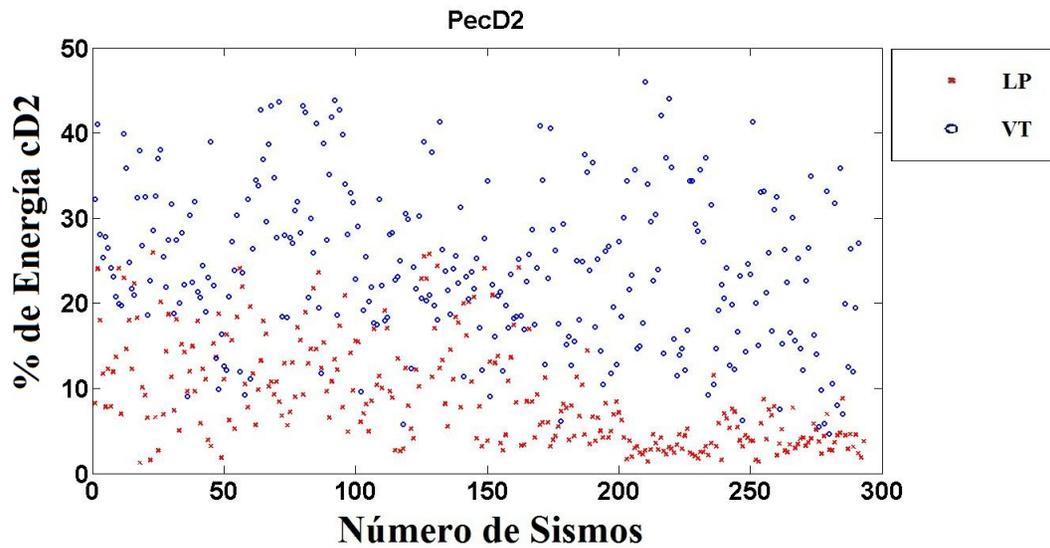


Figura 4.20: Porcentajes de energía de los cD a nivel 2, ondícula Coiflet de orden 1, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

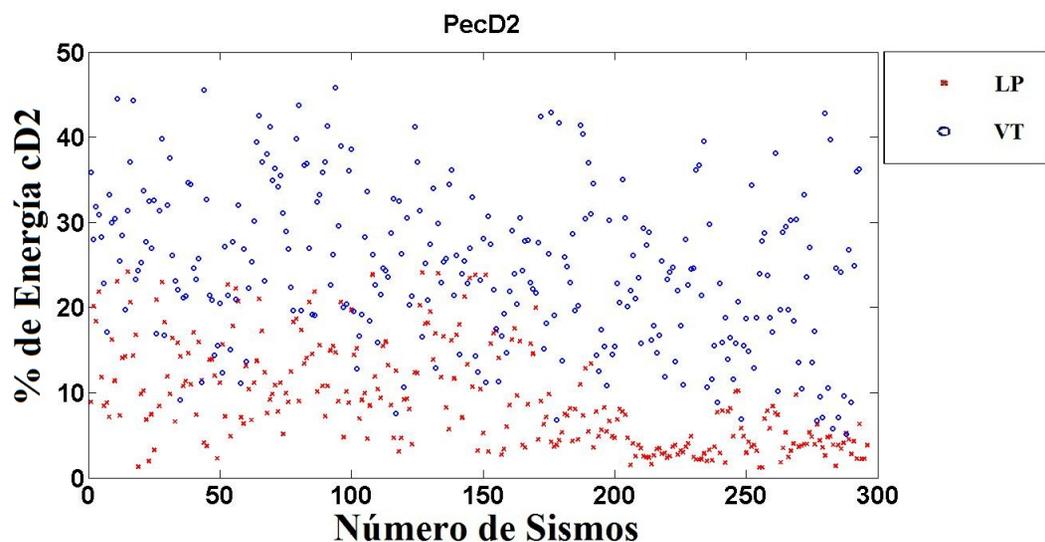


Figura 4.21: Porcentajes de energía de los cD a nivel 2, ondícula Daubechies de orden 2, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

En lo correspondiente a los gráficos de los porcentajes de energía de la descomposición a nivel tres de los coeficientes de aproximación (figuras 4.22 a 4.24) (banda entre 0 y 6.25 Hz) se distingue que estos porcentajes han disminuido tanto en las trazas LP como VT y esto era lo que se esperaba puesto que tanto el filtrado como el submuestreo realizados eliminan frecuencias y muestras respectivamente. Esta disminución es mas notoria en las firmas VT, cuyo porcentaje se encuentra entre el 15 % al 40 % aproximadamente, lo cual significa que la información contenida en estas rubricas ya no es muy buena a este nivel. Mientras que para las trazas LP existe una gran cantidad de ellas que a pesar de las operaciones aplicadas no han sufrido mayor cambio y siguen manteniendo un alto porcentaje, casi entre el 50 % al 85 %, como ha venido sucediendo al inicio de la descomposición, esto significa que en esta instancia el analisis wavelet ha logrado confirmar de manera mucho mas exacta que el rango de esta clase de sismos es de baja frecuencia y su contenido energetico radica en estas.

Por último en las figuras de porcentajes pertenecientes a los coeficientes de detalle a nivel tres (figuras 4.25 hasta 4.27), cuyo rango de frecuencias esta entre los 6.25 y 12.5 Hz, no fue posible determinar un intervalo de porcentajes que caracterice a los dos conjuntos de eventos estudiados puesto que las gráficas no mostraban información destacable.

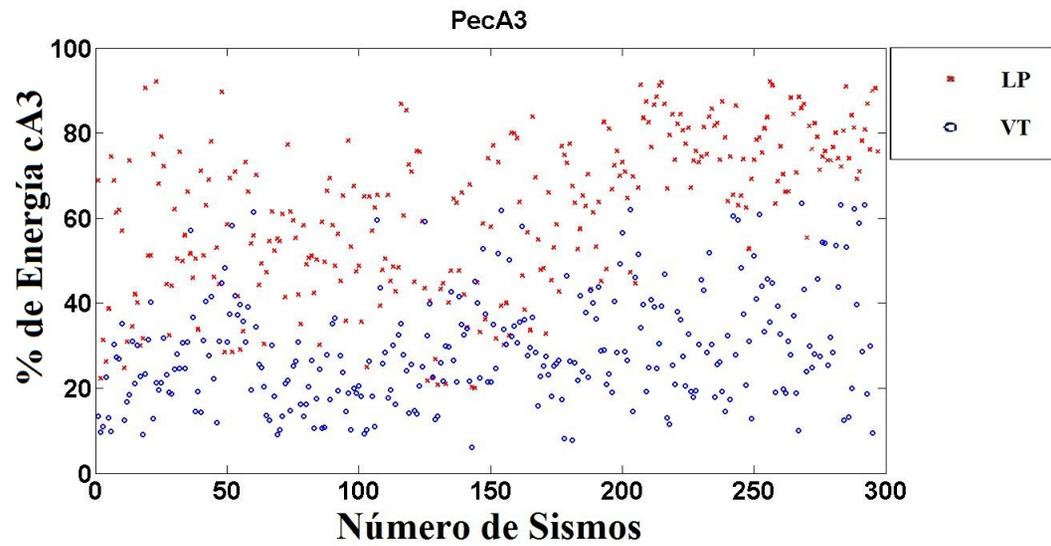


Figura 4.22: Porcentajes de energía de los cA a nivel 3, ondícula Symlet de orden 2, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

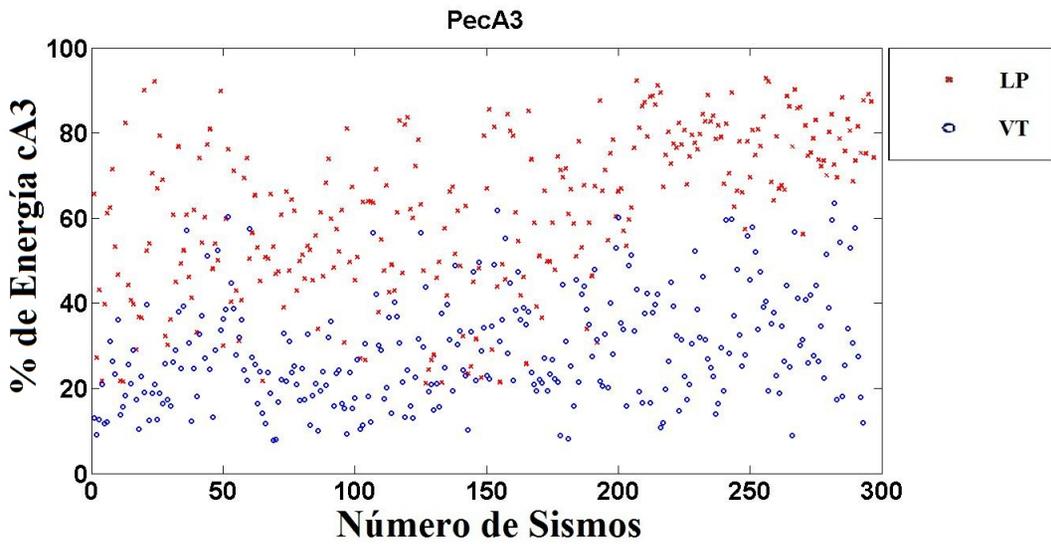


Figura 4.23: Porcentajes de energía de los cA a nivel 3, ondícula Coiflet de orden 1, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

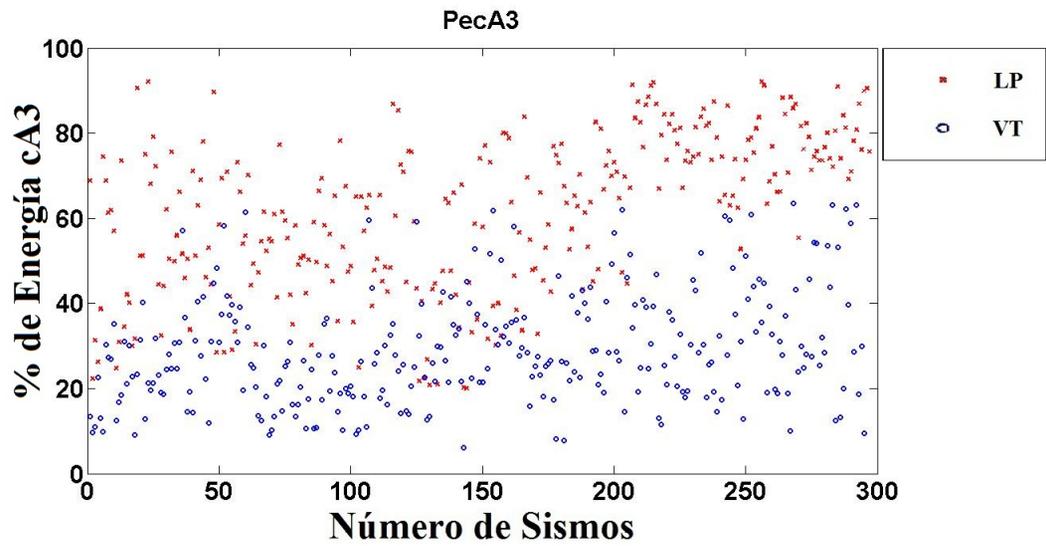


Figura 4.24: Porcentajes de energía de los cA a nivel 3, ondícula Daubechies de orden 2, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

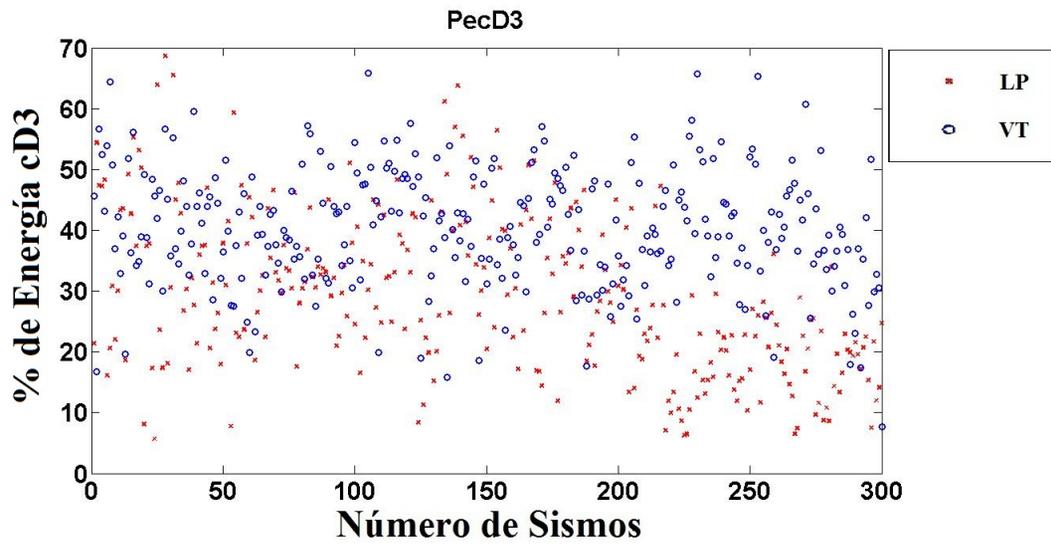


Figura 4.25: Porcentajes de energía de los cD a nivel 3, ondícula Symlet de orden 2, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

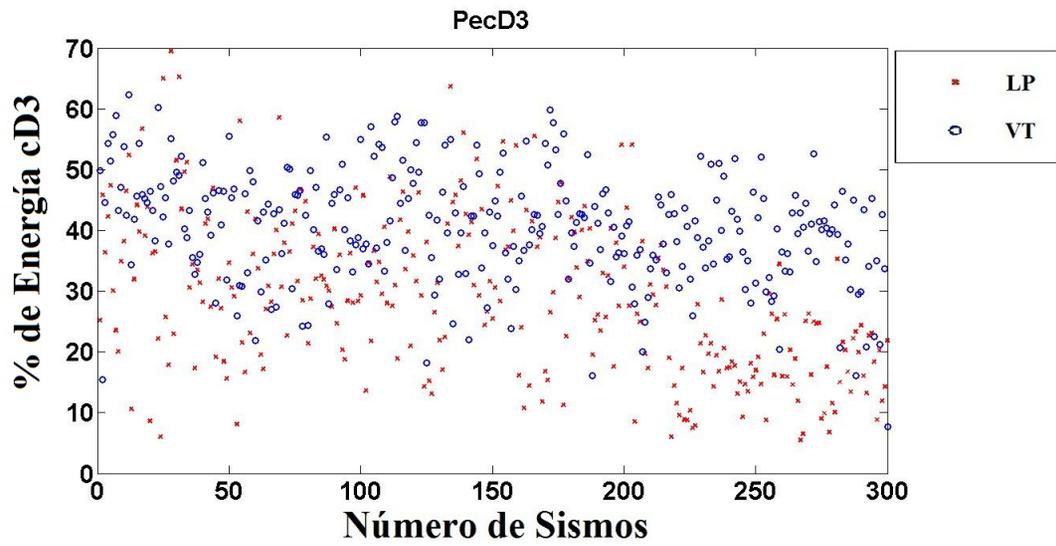


Figura 4.26: Porcentajes de energía de los cD a nivel 3, ondícula Coiflet de orden 1, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

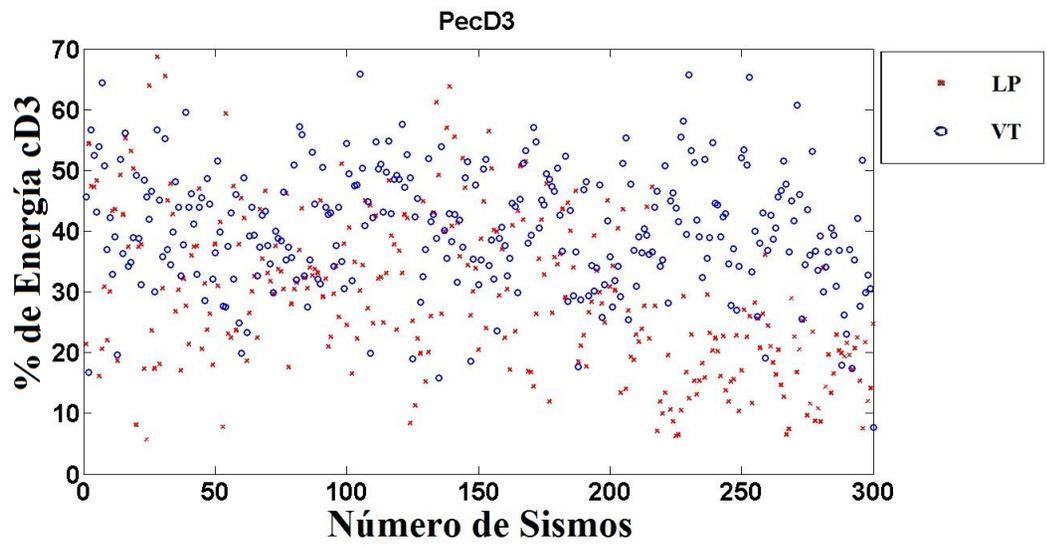


Figura 4.27: Porcentajes de energía de los cD a nivel 3, ondícula Daubechies de orden 2, estación Anganoy. Gráfica de esta investigación.

En lo relacionado a las gráficas de porcentajes de energía de la estación de Cufiño en el primer nivel de los coeficientes de aproximación (figuras 4.28 a 4.30) (rango de frecuencias de 0 a 25 Hz) se puede decir que los porcentajes para las trazas LP son los mismos que se obtuvo en las gráficas correspondientes a la estación de Anganoy. Sin embargo en lo respectivo a los porcentajes obtenidos para los cA de las trazas VT estos se encuentran casi entre el 85 % a 98 %. En estas graficas la aproximación de la señales para LP y VT es buena.

De los coeficientes de detalle (figuras 4.31 a 4.33) se puede decir que en esta primera etapa (banda frecuencial entre 25 y 50 Hz) se sigue manteniendo de manera global lo observado para las trazas de la estación de Anganoy, con la diferencia de que en las trazas de la estación de Cufiño se filtro mucha mas información correspondiente a esta banda de frecuencias para las dos clases de sismos (porcentajes alrededor de 1%-4 % para los cD de las trazas LP y en lo respectivo a los cD de las trazas VT entre un 5 % a 16 % aproximadamente), lo cual en las trazas corresponde a frecuencias representativas para este tipo de eventos.

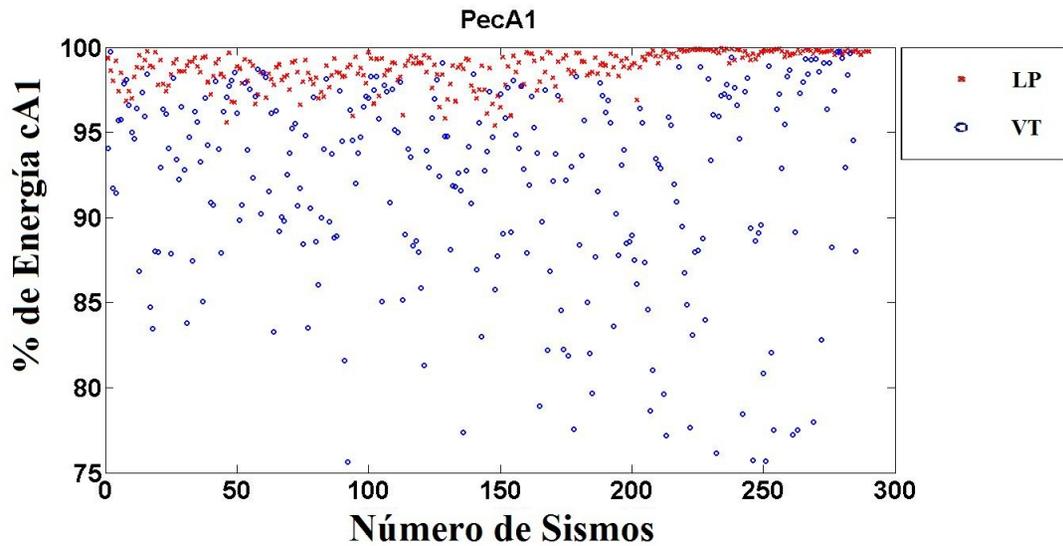


Figura 4.28: Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, ondícula Symlet de orden 2, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

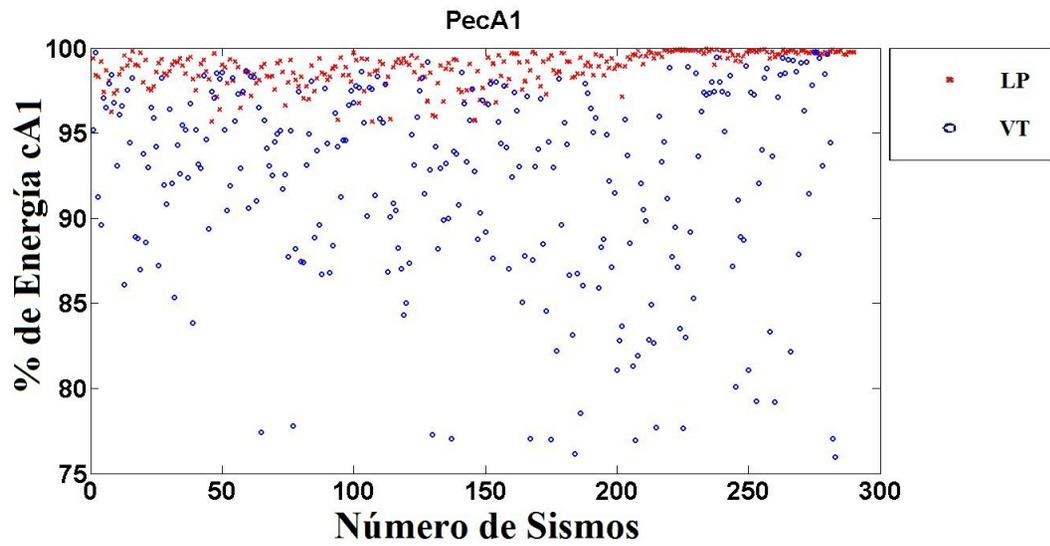


Figura 4.29: Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, ondícula Coiflet de orden 1, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

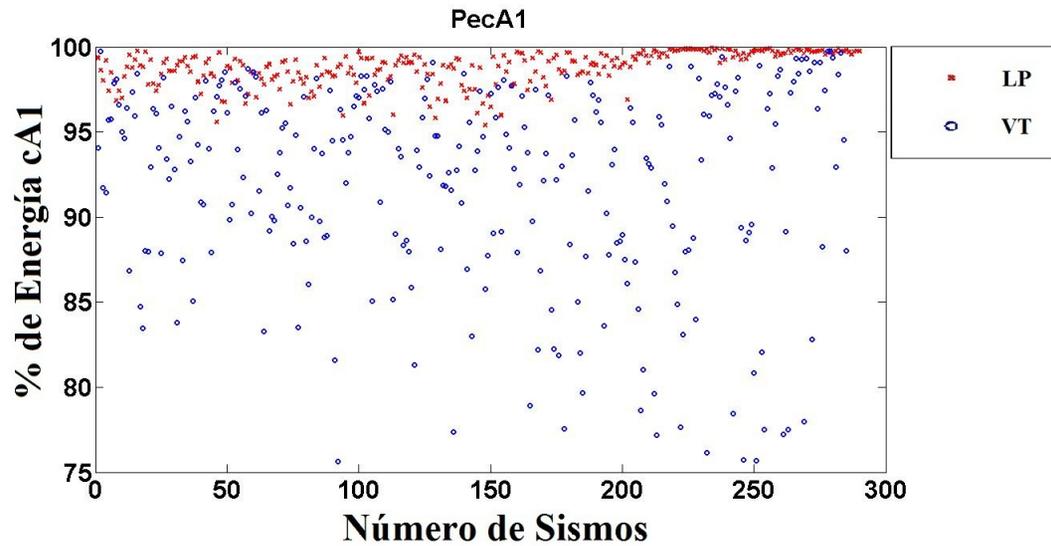


Figura 4.30: Porcentajes de energía de los cA a nivel 1, ondícula Daubechies de orden 2, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

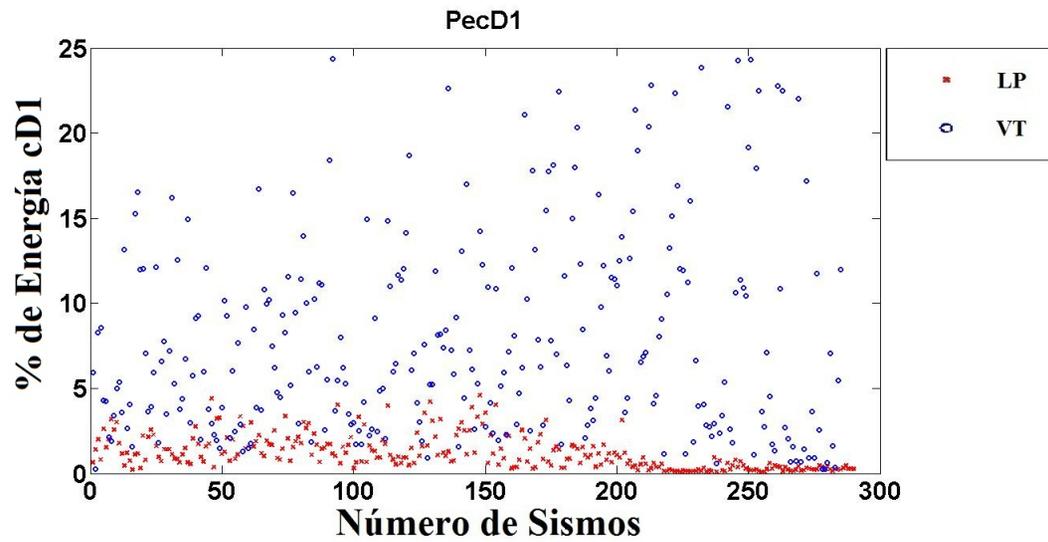


Figura 4.31: Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, ondícula Symlet de orden 2, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

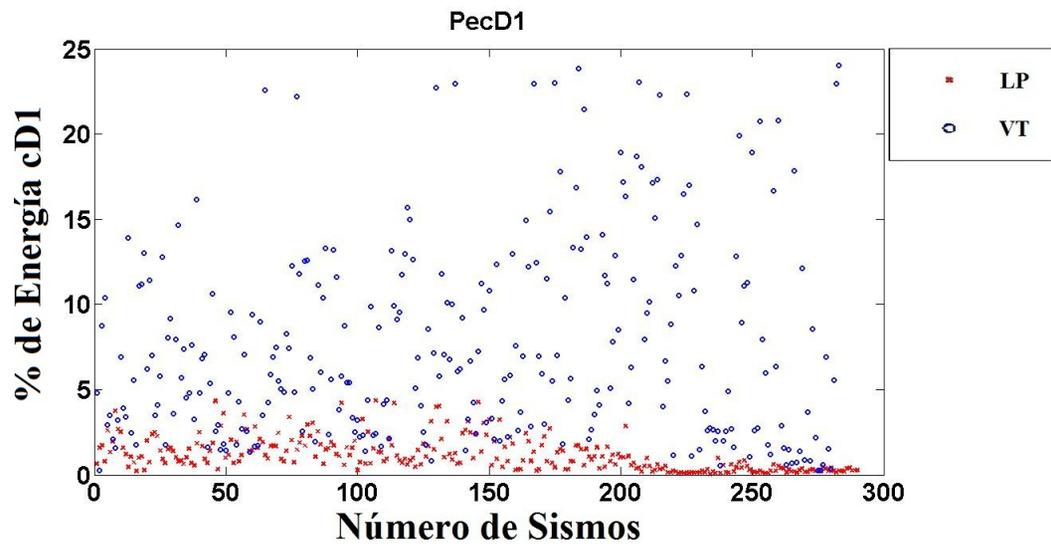


Figura 4.32: Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, ondícula Coiflet de orden 1, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

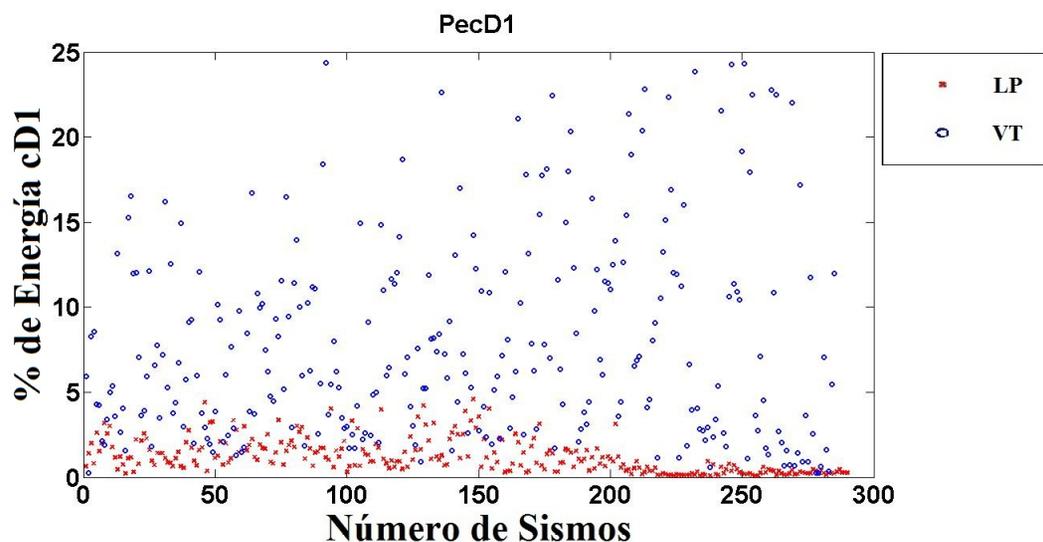


Figura 4.33: Porcentajes de energía de los cD a nivel 1, ondícula Daubechies de orden 2, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

Para el caso de los porcentajes de energía de los cA de la estación de Cufiño en segundo nivel (figuras 4.34 a 4.36) (rango entre 0 y 12.5 Hz), se sigue conservando un gran porcentaje de energía (90 % - 99 % aproximadamente con respecto a los cA para las trazas LP y 40 % - 80 % aproximadamente para los cA de los sismos VT), y se observa una mayor dispersión para los dos conjuntos de eventos respecto de las gráficas de nivel 1, esto debido al filtrado. Además se mantiene la marcada tendencia de trazas LP respecto de las VT.

En los cD se observa que los porcentajes de estos coeficientes para las trazas VT (figuras 4.37 a 4.39) se encuentran concentrados casi entre el 12 % a 45 %, al igual que en las observaciones de las gráficas de Anganoy el análisis wavelet logro mostrar notoriamente las marcadas altas frecuencias de los VT en esta banda donde las frecuencias que la constituyen oscilan entre el 12.5 y 25 Hz, que es el rango característico de estos sismos. Respecto a los LP se ha filtrado una gran cantidad de información la cual sigue perteneciendo a frecuencias no características de estos registros sísmicos (porcentajes entre 1 % - 10 % aproximadamente).

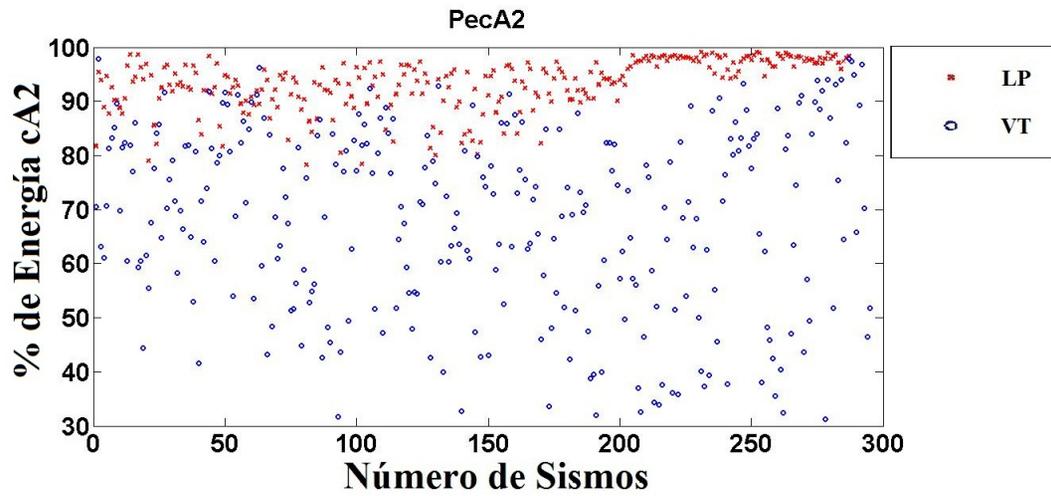


Figura 4.34: Porcentajes de energía de los cA a nivel 2, ondícula Symlet de orden 2, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

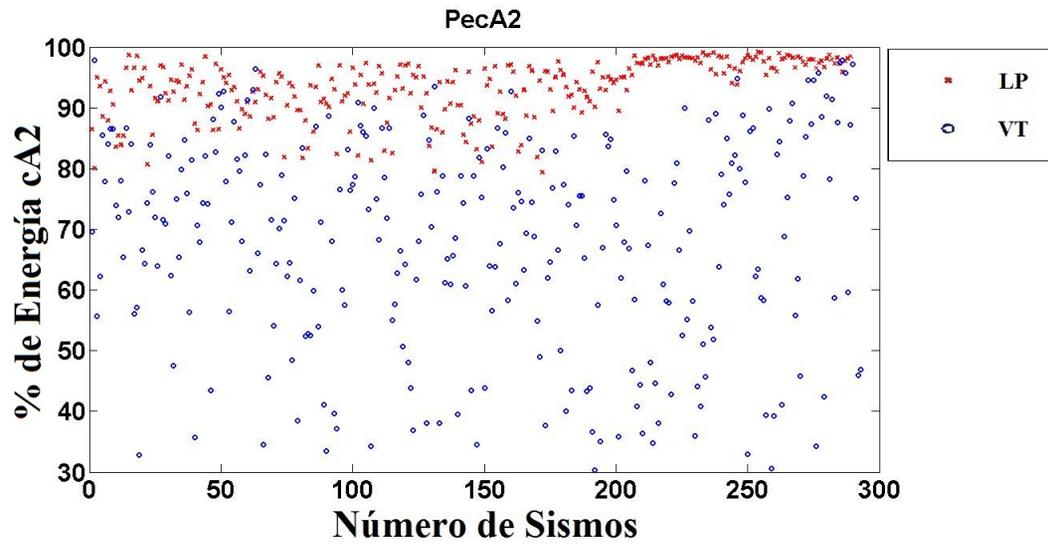


Figura 4.35: Porcentajes de energía de los cA a nivel 2, ondícula Coiflet de orden 1, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

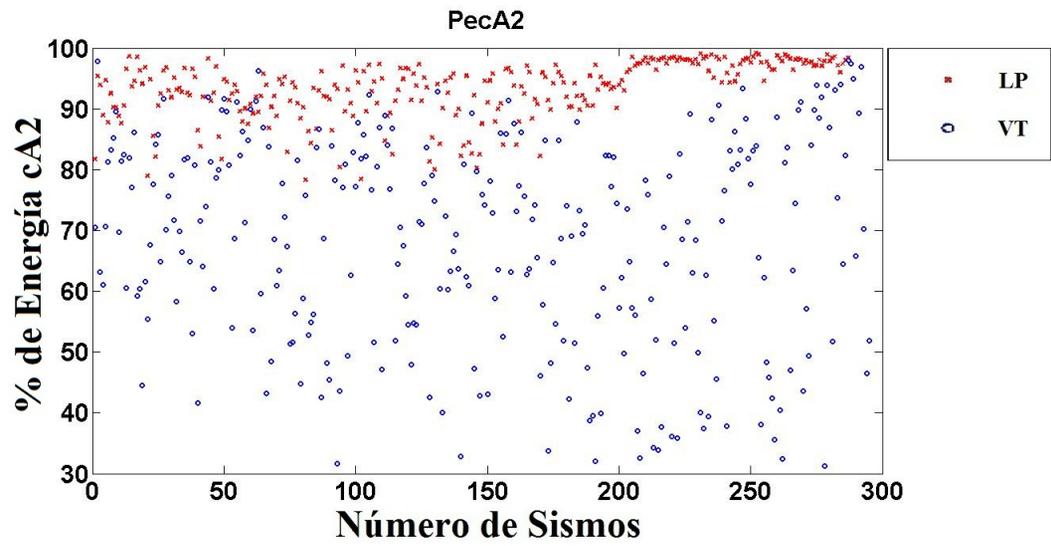


Figura 4.36: Porcentajes de energía de los cA a nivel 2, ondícula Daubechies de orden 2, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

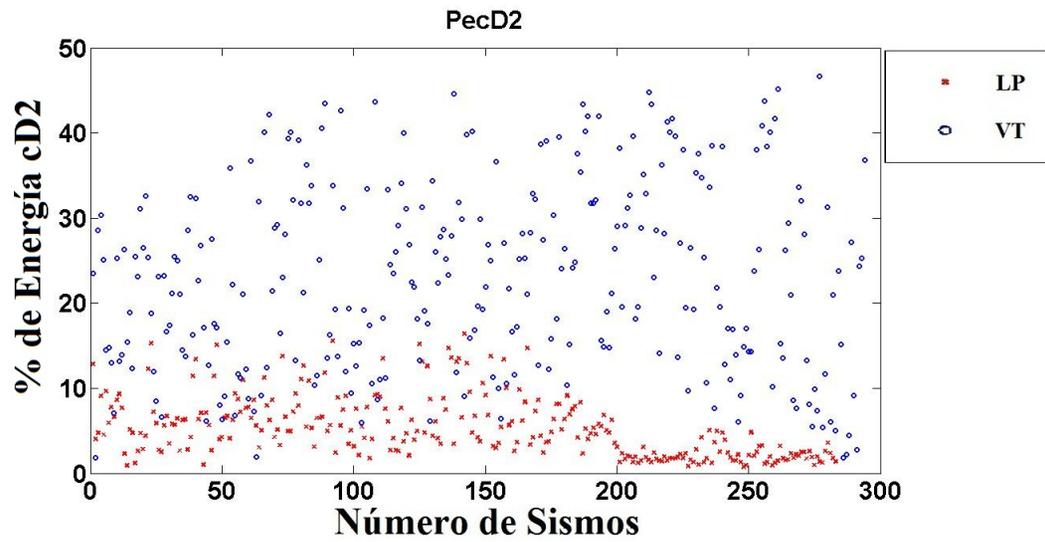


Figura 4.37: Porcentajes de energía de los cD a nivel 2, ondícula Symlet de orden 2, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

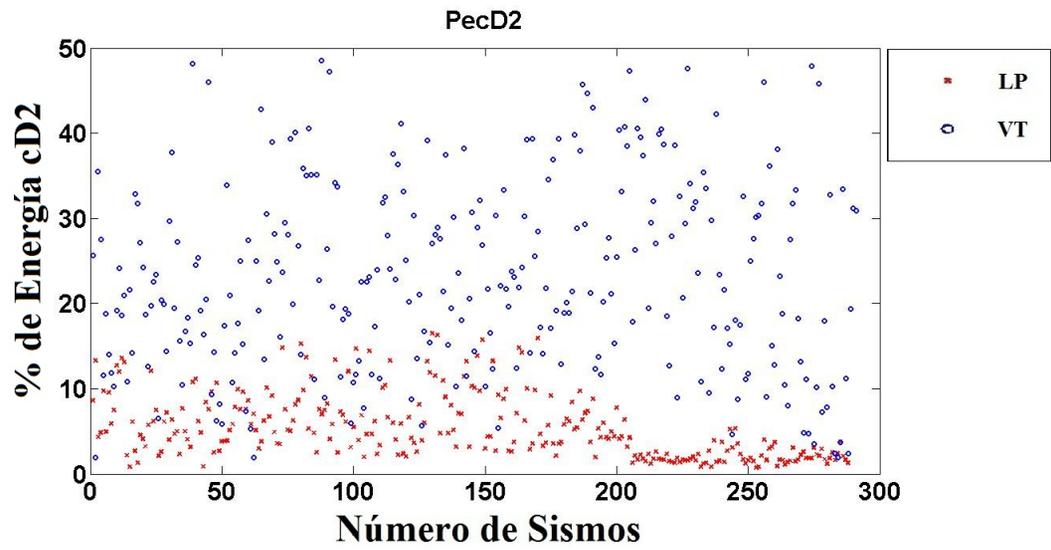


Figura 4.38: Porcentajes de energía de los cD a nivel 2, ondícula Coiflet de orden 1, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

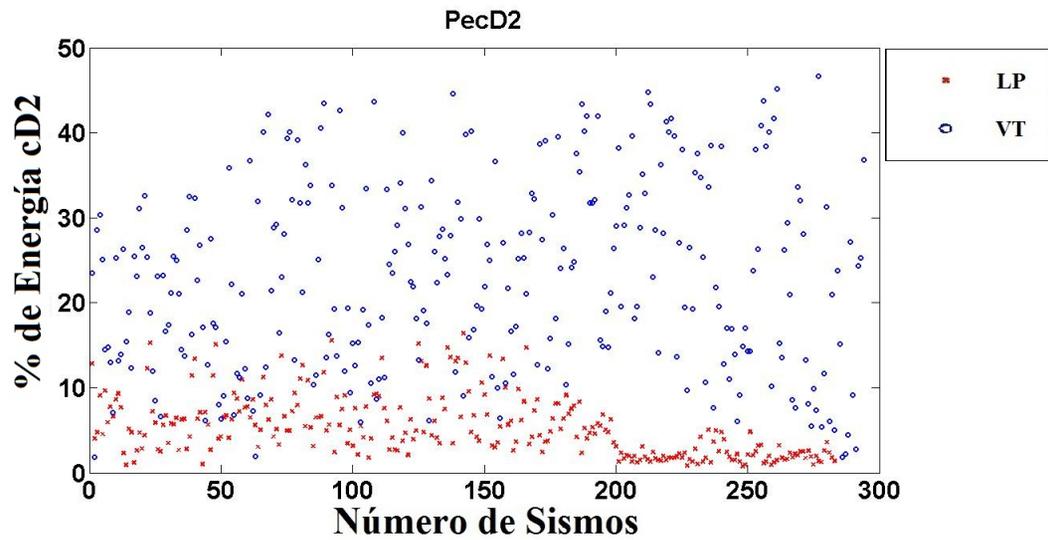


Figura 4.39: Porcentajes de energía de los cD a nivel 2, ondícula Daubechies de orden 2, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

En los porcentajes de energía de los cA de la estación Cufiño a nivel tres (figuras 4.40 a 4.42)(rango entre 0 y 6.25 Hz) se logra mirar mas notoriamente que las trazas LP a pesar de los dos filtrados anteriores siguen manteniendo un porcentaje alto (entre el 60 % a 90 % aproximadamente) que indica que las bajas frecuencias características de esta clase de sismos siguen permaneciendo y prevalecen sobre las VT (cuyo porcentaje esta entre el 15 % a 58 % aproximadamente) con una mejor aproximación.

Los porcentajes de energía de los cD a este nivel (figuras 4.43 a 4.45) (rango entre 6.25 y 12.5 Hz) no muestran información muy relevante debido a que las trazas no manejan una clara concentración y separación de las trazas LP y por lo tanto no fue posible inferir un concepto acerca de este nivel.

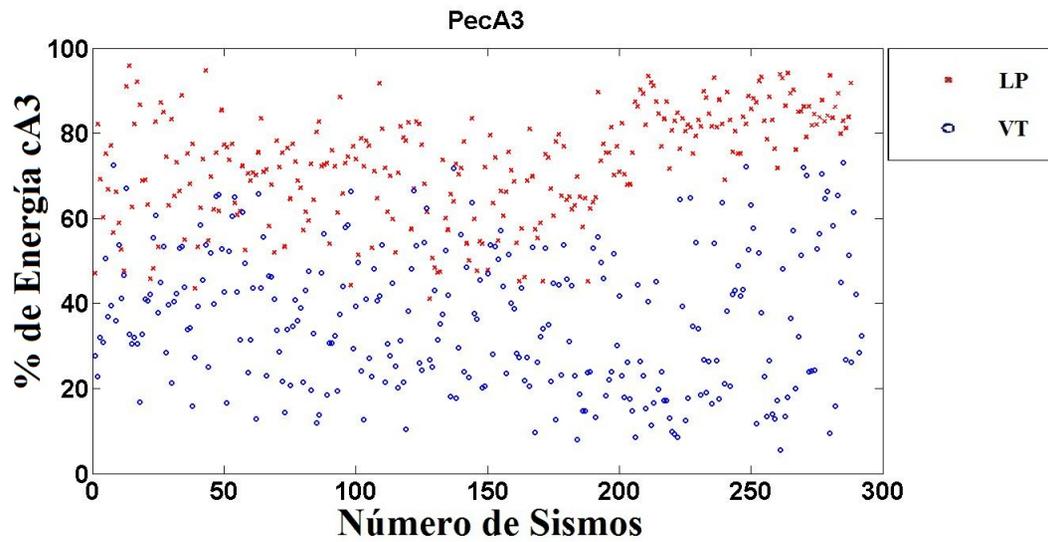


Figura 4.40: Porcentajes de energía de los cA a nivel 3, ondícula Symlet de orden 2, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

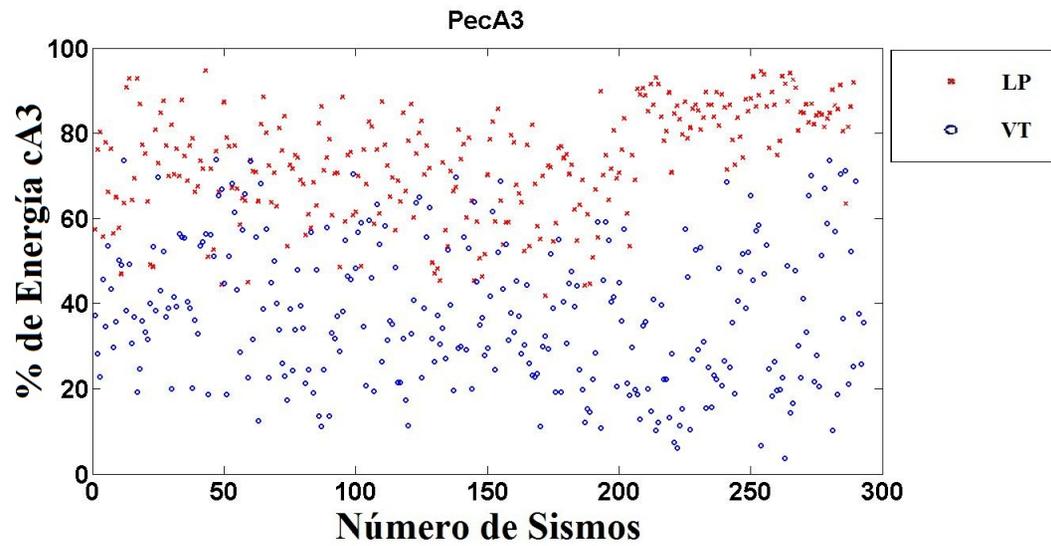


Figura 4.41: Porcentajes de energía de los cA a nivel 3, ondícula Coiflet de orden 1, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

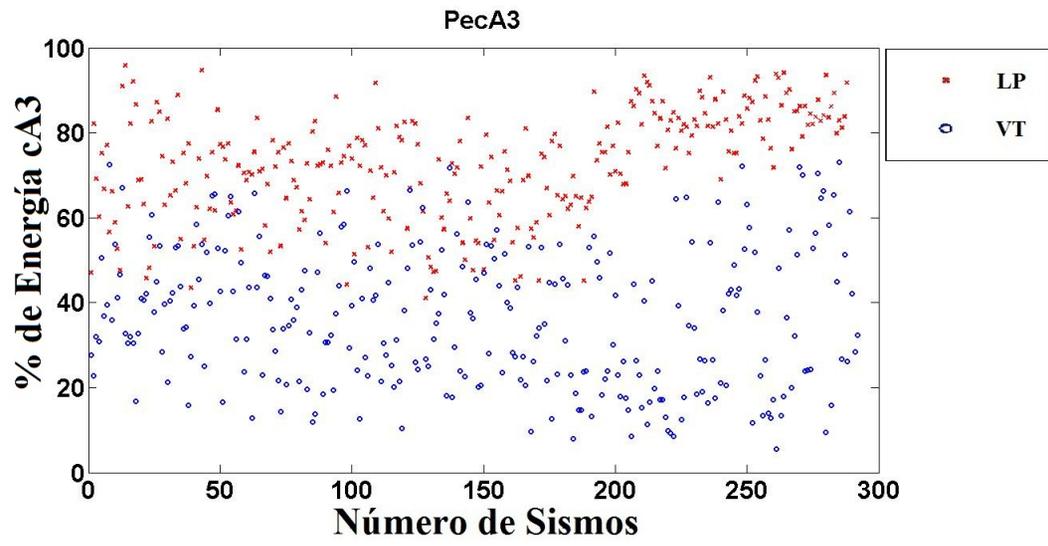


Figura 4.42: Porcentajes de energía de los cA a nivel 3, ondícula Daubechies de orden 2, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

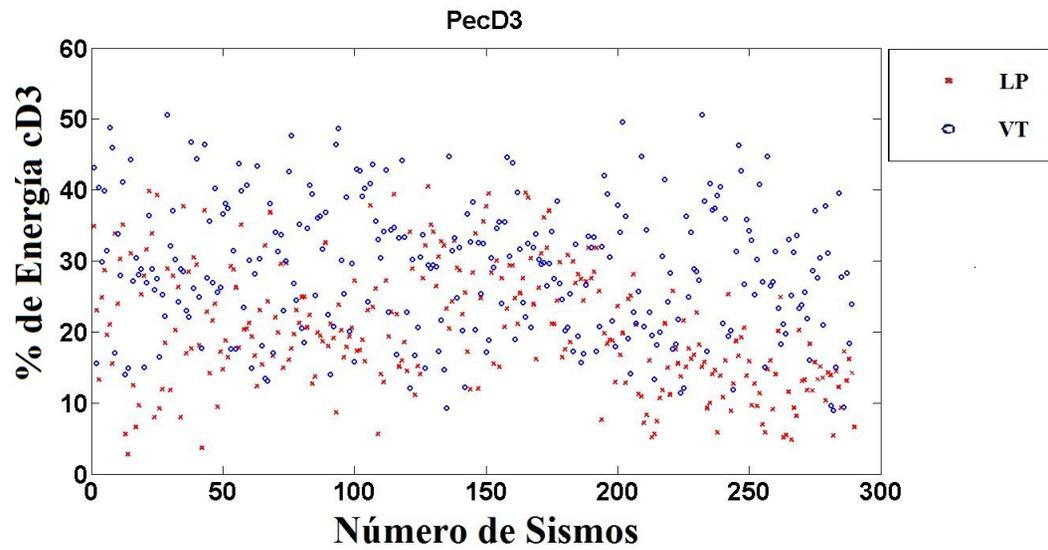


Figura 4.43: Porcentajes de energía de los cD a nivel 3, ondícula Symlet de orden 2, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

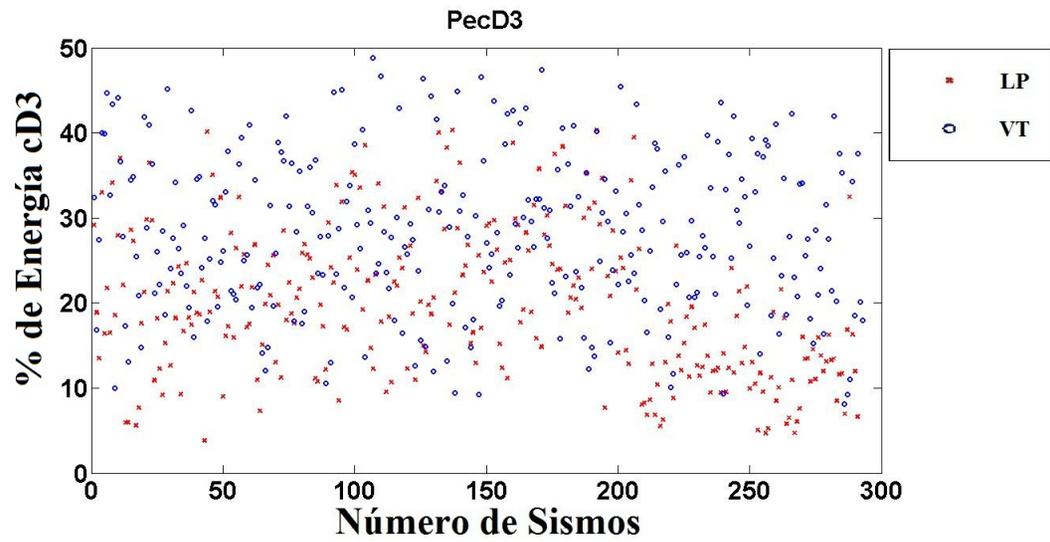


Figura 4.44: Porcentajes de energía de los cD a nivel 3, ondícula Coiflet de orden 1, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

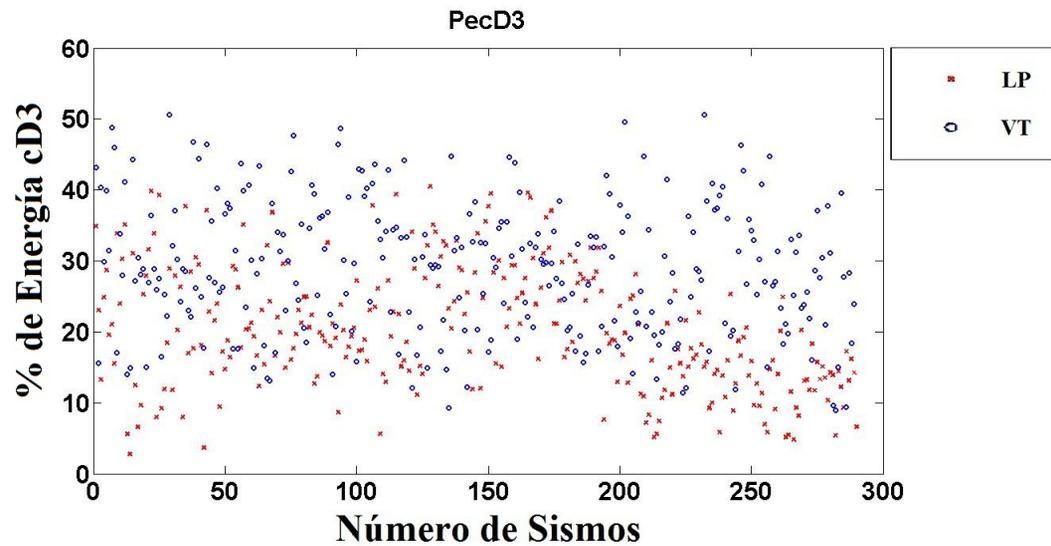


Figura 4.45: Porcentajes de energía de los cD a nivel 3, ondícula Daubechies de orden 2, estación Cufiño. Gráfica de esta investigación.

Para ratificar las observaciones hechas al conjunto de sismos a continuación se muestran algunos de los graficos realizados con la interfaz gráfica de Matlab para wavelets (figuras 4.46 a 4.57). Estas gráficas corresponden a las tres ondículas que entregaron mejores resultados, en ellas se presenta un sismo, sea VT o LP, arbitrariamente seleccionado y la reconstrucción de los cA y cD hasta nivel tres. En general para los eventos LP y VT que corresponden a las dos estaciones se observan características muy similares, por lo que la descripción de lo observado se realizo de manera conjunta.

En los niveles uno, dos y tres de aproximación, cuyos rangos abarcan las frecuencias entre los 0 - 25 Hz, 0 - 12.5 Hz y 0 - 6.25 Hz, respectivamente se puede apreciar unas muy buenas aproximaciones obtenidas para las trazas LP respecto de la señal original. Para las aproximaciones de las trazas VT en los dos primeros niveles se puede observar una buena aproximación con relación a la señal inicial; pero ya en el nivel tres la información de la traza se presenta lo bastante reducida, por lo que esta aproximación no se considera favorable.

Con respecto a los niveles de detalle uno, dos, y tres, los cuales presentan bandas de frecuencia que están entre los 25 - 50 Hz, para el primero, 12.5 - 25 Hz, para el segundo y 6.25 - 12.5 Hz, para el tercero, se diría que de las trazas de los LP ha sido extraída gran cantidad de frecuencias no representativas de esta clase de sismos, por lo cual se ha logrado un excelente filtrado de la señal original. En el caso de los detalles de los sismos VT en el nivel uno, la información filtrada corresponde a frecuencias no características de estos sismos. En el nivel dos se podría decir que la traza se encuentra muy bien caracterizada, ya que la mayor parte de frecuencias representativas para estos eventos se encuentra dentro de este intervalo. Por último en el nivel tres, esta traza se ve muy disminuida y con poca información.

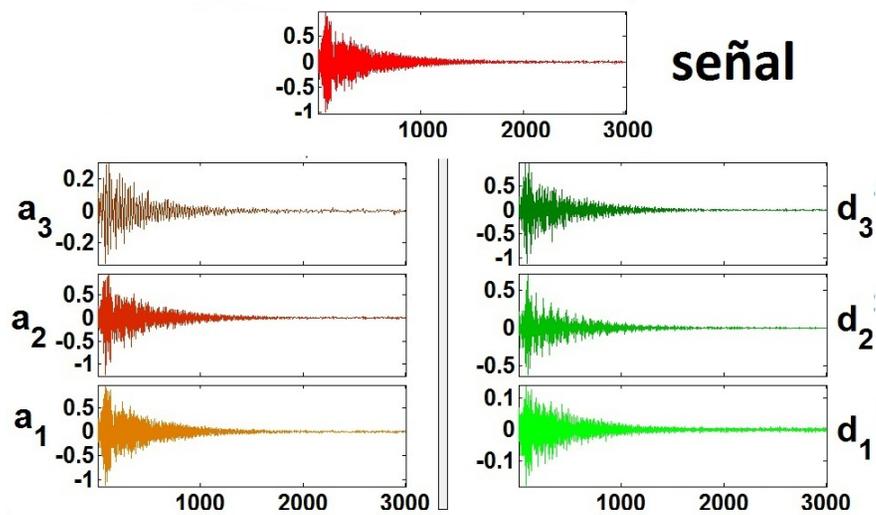


Figura 4.46: Señal LP original(superior), correspondiente a la estación de Anganoy, aproximaciones (izquierda) y detalles (derecha) a niveles 1, 2 y 3, ondícula symlet de orden dos. Gráfica de esta investigación.

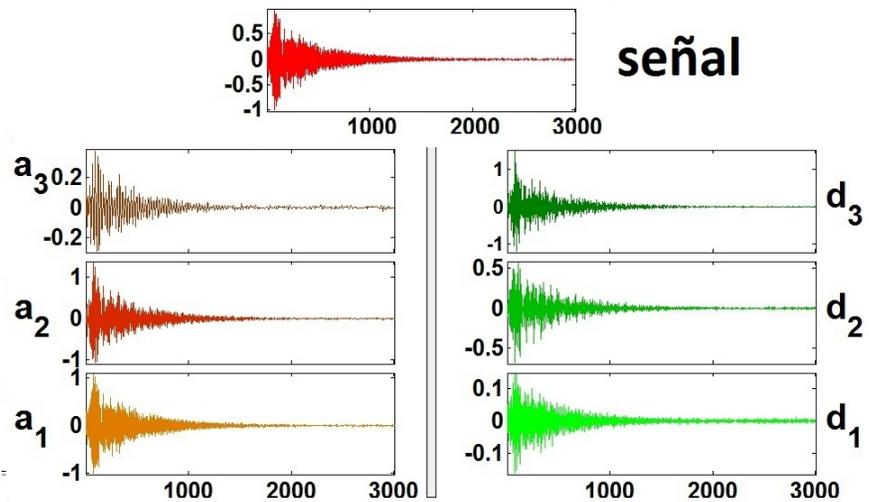


Figura 4.47: Señal LP original (superior), correspondiente a la estación de Anganoy, aproximaciones (izquierda) y detalles (derecha) a niveles 1, 2 y 3, ondícula coiflet de orden uno. Gráfica de esta investigación.

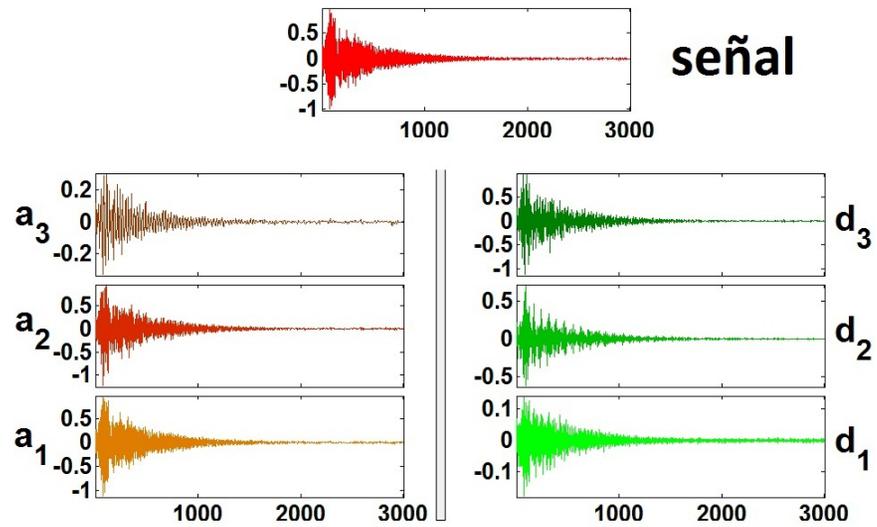


Figura 4.48: Señal LP original (superior), correspondiente a la estación de Anganoy, aproximaciones (izquierda) y detalles (derecha) a niveles 1, 2 y 3, ondícula daubechies de orden dos. Gráfica de esta investigación.

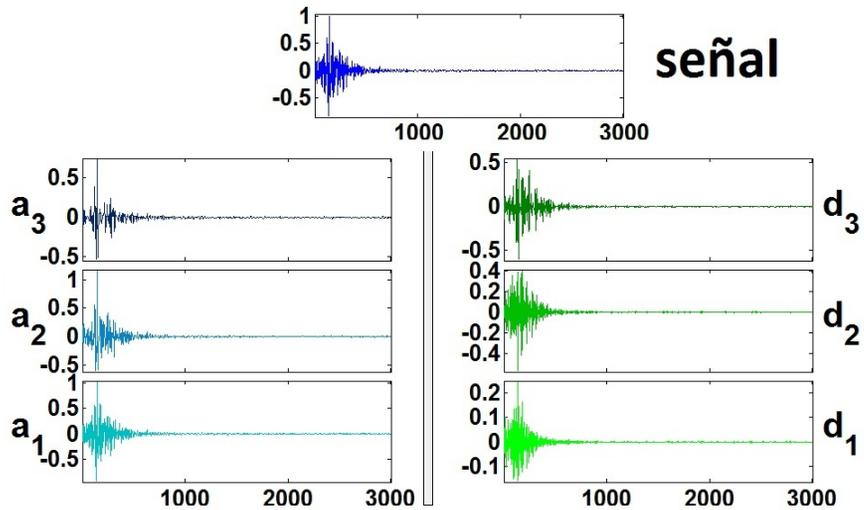


Figura 4.49: Señal VT original (superior), correspondiente a la estación de Anganoy, aproximaciones (izquierda) y detalles (detalles) a niveles 1, 2 y 3, ondícula symlet de orden dos. Gráfica de esta investigación.

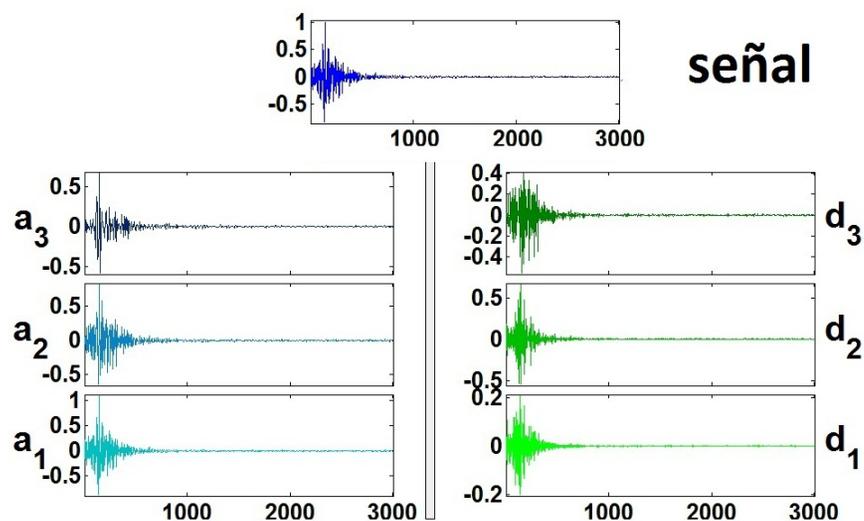


Figura 4.50: Señal VT original (superior), correspondiente a la estación de Anganoy, aproximaciones (izquierda) y detalles (derecha) a niveles 1, 2 y 3, ondícula coiflet de orden uno. Gráfica de esta investigación.

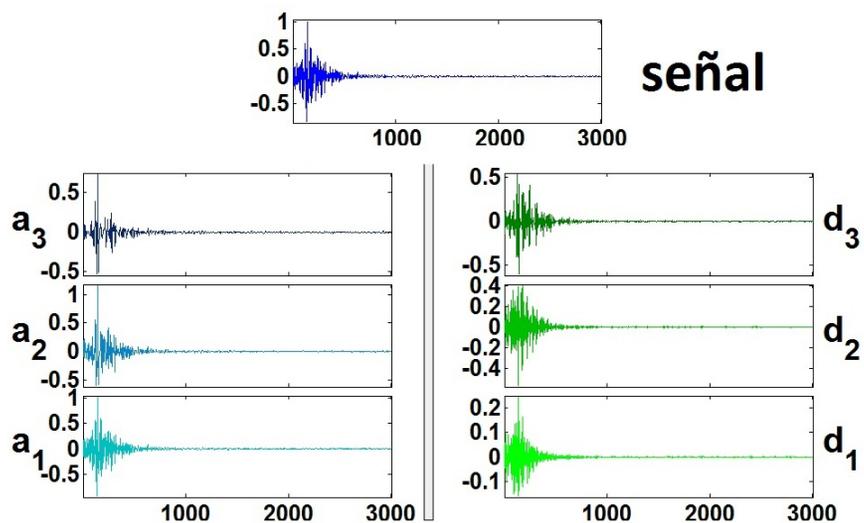


Figura 4.51: Señal VT original (superior), correspondiente a la estación de Anganoy, aproximaciones (izquierda) y detalles (derecha) a niveles 1, 2 y 3, ondícula daubechies de orden dos. Gráfica de esta investigación.

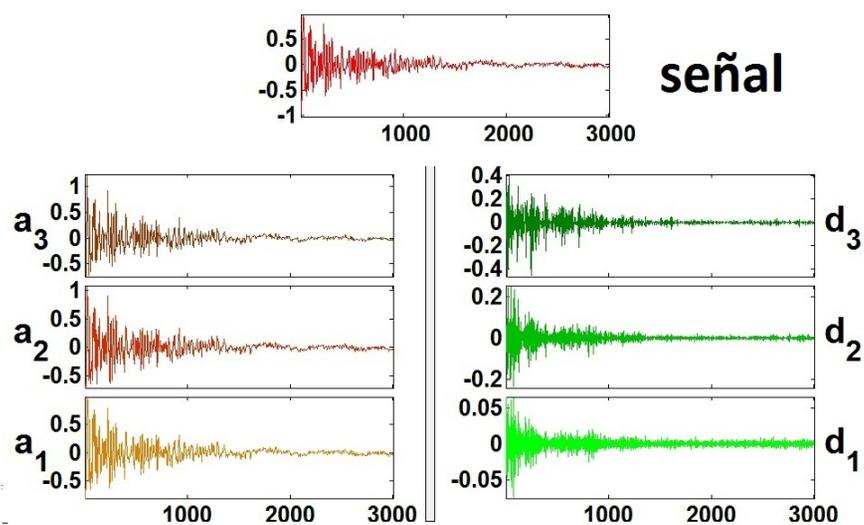


Figura 4.52: Señal LP original (superior), correspondiente a la estación de Cufiño, aproximaciones (izquierda) y detalles (derecha) a niveles 1, 2 y 3, ondícula symlet de orden dos. Gráfica de esta investigación.

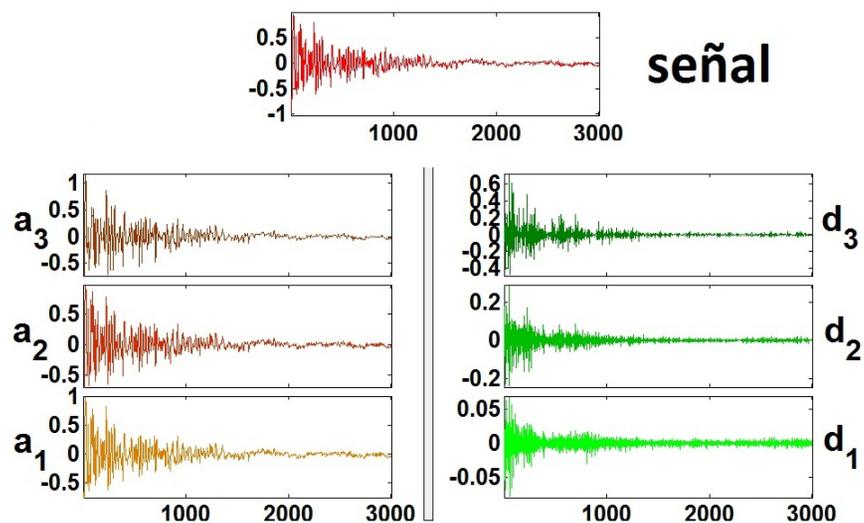


Figura 4.53: Señal LP original (superior), correspondiente a la estación de Cufiño, aproximaciones (izquierda) y detalles (derecha) a niveles 1, 2 y 3, ondícula coiflet de orden uno. Gráfica de esta investigación.

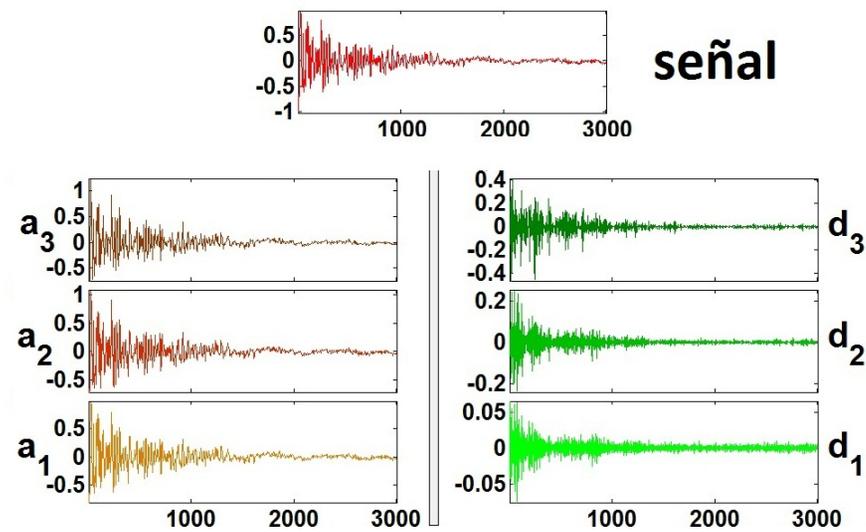


Figura 4.54: Señal LP original (superior), correspondiente a la estación de Cufiño, aproximaciones (izquierda) y detalles (derecha) a niveles 1, 2 y 3, ondícula daubechies de orden dos. Gráfica de esta investigación.

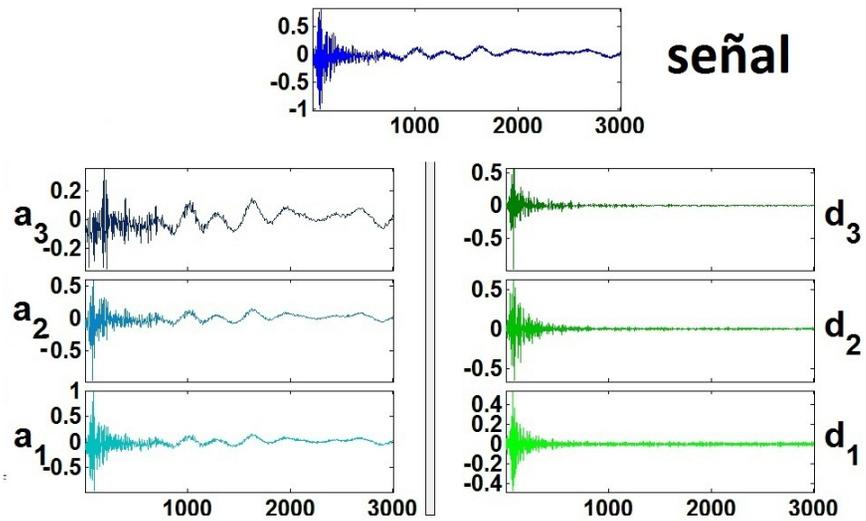


Figura 4.55: Señal VT original (superior), correspondiente a la estación de Cufiño, aproximaciones (izquierda) y detalles (derecha) a niveles 1, 2 y 3, ondícula symlet de orden dos. Gráfica de esta investigación.

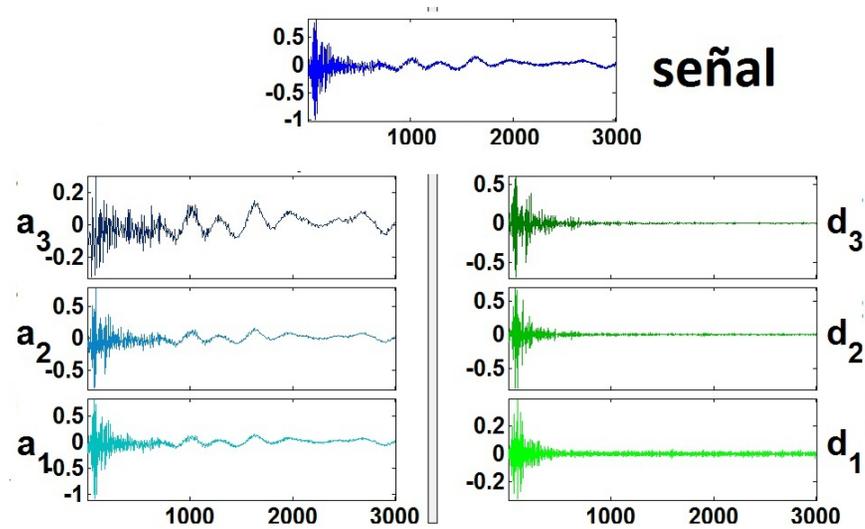


Figura 4.56: Señal VT original (superior), correspondiente a la estación de Cufiño, aproximaciones (izquierda) y detalles (derecha) a niveles 1, 2 y 3, ondícula coiflet de orden uno. Gráfica de esta investigación.

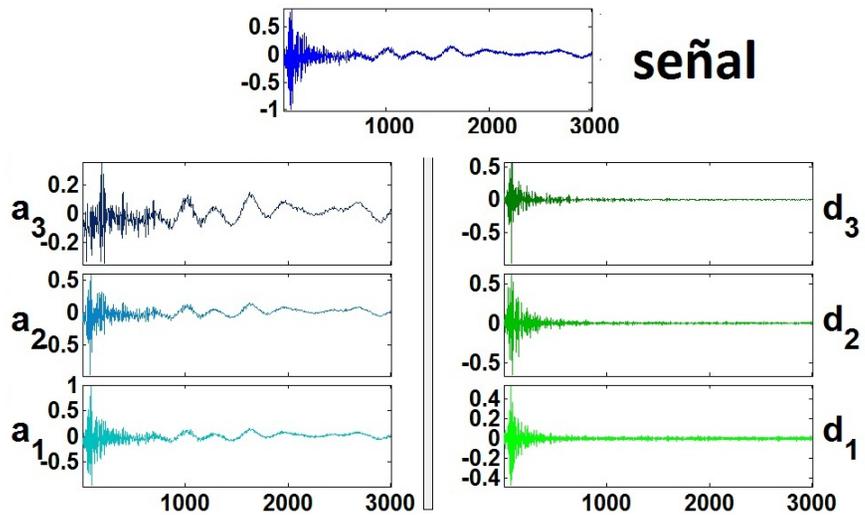


Figura 4.57: Señal VT original (superior), correspondiente a la estación de Cufiño, aproximaciones (izquierda) y detalles (derecha) a niveles 1, 2 y 3, ondícula daubechies de orden dos. Gráfica de esta investigación.

## CONCLUSIONES

1. La caracterización de los registros sísmicos LP y VT es posible mediante la extracción de porcentajes de energía de los diferentes niveles de descomposición generados con la ayuda de la transformada Wavelet Discreta.
2. De los veintidos tipos de wavelets aplicados, solamente tres hacen distinguibles las dos clases de sismos a través de los porcentajes de energía en cada descomposición. Estas wavelets corresponden a la Symlet de orden dos, la Coiflet de orden uno y la Daubechies de orden dos. La reconstrucción de los coeficientes de aproximación y detalle obtenidos con esta clase de ondículas, permite evidenciar de una forma mas clara los resultados logrados con los porcentajes de energía.

En lo referente a los sismos LP, las aproximaciones en los niveles uno, dos y tres son muy buenas con relación a los sismos originales, lo cual confirma que las energías de esta clase de eventos radican en las bajas frecuencias. Respecto a los detalles, en estos niveles se reflejan frecuencias no características de este tipo de episodios.

Los sismos VT por su parte, muestran que las aproximaciones a nivel uno y dos son buenas con respecto a la señales iniciales, a nivel tres los eventos se presentan con poca información. Los detalles en el nivel uno revelan frecuencias no características de estos eventos, en el nivel tres las trazas se ven disminuidas y en el nivel dos se produce una muy buena caracterización de estos sismos, ratificando que la energía de estos episodios reside en las altas frecuencias.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] COOMONTE BELMONTE, Rafael. Sistema de reconocimiento de personas mediante su patrón de iris basado en la transformada Wavelet. Madrid, 2006. Proyecto Fin de Carrera. Universidad Politécnica de Madrid. Matemática Aplicada a las Tecnologías de la Información. 281 p.
  
- [2] CORTÉS, Jimmy A.; CANO GARZÓN, Hugo B. y CHAVES O. José A. Del análisis de Fourier a las Wavelets : Transformada continua Wavelet (CWT). Vol XIII, No 037 (diciembre 2007); 7 p.
  
- [3] FAUNDEZ, Pablo y FUENTES, Alvaro. Procesamiento digital de señales acústicas utilizando Wavelets. Instituto de Matemáticas UACH. 145 p.
  
- [4] FUENTES, José R. Programación de Matlab. UNI-RUPAP. 43 p.
  
- [5] GARCÍA DE JALÓN, Javier; RODRÍGUEZ, José Ignacio y VIDAL, Jesús. Aprenda Matlab 7.0 como si estuviera en primero. Madrid, diciembre 2005. 136 p.
  
- [6] GARCIA, Léonard J. Transformada Wavelet aplicada a la extracción de información en señales de Voz. Barcelona, Mayo 1998. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. 215 p.
  
- [7] HURTADO, J.E, HENAO, R y CASTELLANOS, G. Clasificación de señales sísmicas por medio de onditas y máquinas de soporte vectorial. 9 p.
  
- [8] HSU, Hwei P. Análisis de Fourier. Michigan: Addison-Wesley Iberoamericana. 274 p.
  
- [9] IBAÑEZ, J.M. Sismicidad volcánica. 14 p.
  
- [10] INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA. INGEOMINAS. Volcán Galeras. Generalidades. Disponible en Internet: URL: <http://intranet.ingeominas.gov.co/pasto/Generalidades>

- [11] KOURO R., Samir y MUSALEM M., Rodrigo. Tutorial introductorio a la teoría de Wavelet. 8 p.
- [12] MISITI, Michel et al. Wavelets and their applications. Gran Bretaña y E.E.U.U: ISTE Ltda, 2007. 352 p.
- [13] MISITI, Michel. Wavelet Toolbox TM 4: User´s Guide. The MathWorks, Inc, 1997-2009. 1242 p.
- [14] MONTEJO, Luís A. y Suárez, Luís E. Aplicaciones de la transformada Ondícula ("Wavelet") en ingeniería estructural. vol XXVI. octubre 2007; 12 p.
- [15] PAZOS GARCIA, Antonio A. Estación sísmica digital. Tratamiento Digital De Señales. 2004. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz. Departamento de Física aplicada. 226 p.
- [16] PEÑA, J. Espectrogramas Basados en funciones wavelets. 7 p.
- [17] PEÑA NEGUERUELA, Francisco Javier. Algoritmos de Clasificación Automática de Eventos Sísmicos de Origen Volcánico : Análisis de los datos del Volcán Popocatepetl (México). Premio Opción B 2000, Memoria presentada en el Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I (Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid) para obtener la Suficiencia Investigadora. Disponible en Internet: URL: <http://www.minas.upm.es/fundacion/jgs/trabajos/00b01.htm>
- [18] POLIKAR, Robi. The Wavelet tutorial. Disponible en Internet: URL: <http://users.rowan.edu/~polikar/WAVELETS/WTtutorial.html>
- [19] PROYECTO AG1-03. Catálogo de señales sísmicas volcánicas de Colombia: Capítulo Galeras. San Juan de Pasto, Ingeominas, 2004. 101 p.
- [20] RODRÍGUEZ OJEDA, Luís. Conceptos Básicos y programación. Instituto de Ciencias Matemáticas. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 30 p.

- [21] THE MATHWORKS. Statistics Toolbox. Disponible en Internet: URL:  
<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/stats/>.
- [22] THE MATHWORKS. Wavelet Toolbox. Disponible en Internet: URL:  
<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/wavelet/>.
- [23] THE MATHWORKS. MATLAB [programa de computador en disco] : Versión  
7.9.0.529 (R2009b), 32-bit(win32), 2009.
- [24] ZOBIN, V.M. Introduction to volcanic seismology. Elsevier, Colima, México. 2003.  
291 p.

## ANEXO A. Algunos Comandos de Matlab

En los siguientes anexos se muestra el código fuente de las rutinas utilizadas en el desarrollo de este trabajo y se describe de manera breve la función de algunos de los comandos. Para mayor información acerca de ellos y otros no estipulados aquí puede referirse a la ayuda del toolbox de Wavelet de Matlab o en la página Web: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/wavelet/>.

Comando `disp`: Muestra el menú de opciones a digitar.

Comando `pause`: Hace una pausa de 1 segundo antes de efectuar la próxima orden del programa.

Comando `input`: Permite ingresar en pantalla los valores que tomaran de las diferentes variables presentes en la rutina, solicitadas al usuario.

Comandos `if end`: Establece la condiciones que deben cumplir las variables en el programa para que se ejecuten los diferentes bucles. Cuando esta sentencia tiene la estructura `if else end`, significa que si la condición establecida para una variable no se cumple de un modo se cumplirá de otro.

Comando `warning off all`: Hace que los warning se supriman en la pantalla.

Comando `for`: Hace que se repitan un grupo de ordenes un determinado número de veces.

Comando `uigetfile`: Posibilita elegir el archivo a cargar desde la carpeta en la que se encuentran mediante una caja de dialogo.

Comando `eval`: Permite evaluar el texto contenido entre comillas como una orden de MATLAB.

Comando `int2str`: Transforma un número entero a cadena de caracteres (vectores cuyos elementos son caracteres).

Comando `importdata`: Carga los datos y encabezados que posea el archivo.

Comando `strcmp`: Establece la comparación entre cadenas de caracteres (en este caso compara las palabras ANGV o CUVZ con las que se encuentran en los archivos de texto plano) . Si son iguales las cadenas el resultado que se muestra es un uno y si no lo son se muestra un cero.

Comando `textread`: Permite leer datos de cualquier tipo de fichero siempre que es-

tén convenientemente separados [5]. Mediante este comando se logro leer las columnas de datos de los archivos de texto plano.

Comando `ginput`: permite introducir las coordenadas del punto sobre el que está el cursor, al clicar (o al pulsar una tecla)[5].

Comando `close`: Se encarga de cerrar las ventanas gráficas activas.

Comando `length`: calcula el número de elementos de un vector [5].

Comando `msgbox`: Muestra un mensaje de error si el número de datos elegidos es inferior a 3000.

Comando `zeros`: Este comando crea un vector columna de ceros en caso de que el número de datos de la traza sea inferior a 3000.

Comando `nonzeros`: Esta orden elimina el vector creado por el comando anterior entregando un vector vacío.

Comando `clear`: Elimina la variables que no se desea que aparezcan en el espacio de trabajo. Comando `load`: Permite cargar matrices al Workspace.

Comando `whos`: Proporciona información acerca de los comandos cargados en el Workspace.

Comando `wavedec`: Devuelve la descomposición wavelet de la señal al nivel N deseado. En este comando se coloca el nombre de la wavelet a utilizar para el análisis. N debe ser positivo. C es un vector que almacena las componentes de descomposición del último nivel y L es un vector que guarda las longitudes de cada componente.

Comando `appcoef`: Permite extraer los coeficientes de aproximación (cA) de la señal analizada.

Comando `detcoef`: Permite extraer los coeficientes de detalle (cD) de la señal analizada.

Comando `size`: Devuelve el número de filas y de columnas de la matriz a la que se le aplica.

Comando `ceil`: Redondea al valor entero más próximo.

Comando `hist`: Retorna un vector columna, con la respectiva distribución de frecuencias del vector al que se aplica.

Comando mean: Calcula el valor medio de los elementos de un vector [5].

Comando median: Calcula la mediana de los elementos de un vector.

Comando mode: Calcula la moda de los elementos de un vector.

Comando std: Calcula la desviación estándar de los elementos de un vector.

Comando var: Calcula varianza de los elementos de un vector.

Comando wenergy: Calcula el porcentaje de energía de los cA y cD y los almacena en vectores denominados Ea y Ed.

Comando title: Agrega titulo a las gráficas.

Comando hgsave: Permite almacenar varias gráficas.

Comando hold: Permite incorporar gráficos a una figura ya existente.

## ANEXO B. Código rutina exreg

```
>>disp('Digite las siguientes opciones para elegir la estación a cargar');

>>disp('1)Anganoy, 2)Cufiño')

>>pause(1)

>>L=input('Digite la opcion a elegir:');% Variable que permite que
sean ejecutadas las ordenes 1 o 2 del menú de opciones.

>>if L==1

>>warning off all

>>ne=input('Introduzca el Numero de Eventos:');%Indica el número de sismos a escoger

>>ANGV='ANGV';%Nombre abreviado de la estación de Anganoy

>>for e=1:ne%La variable e es el contador de trazas

>>if e==1

>>[filename, pathname] = uigetfile('*.asc', 'Load ASC File');

>>eval(['p' int2str(e) '=filename;'])

>>P=[eval(['p' int2str(e)])];

>>disp(eval(['p' int2str(e)]))

>>A=importdata(filename,' ',4);

>>E=A.textdata(4,:);

>>eval(['C' int2str(e) '=length(E);']);

>>if eval(['C' int2str(e)])<28 % Este bucle completa con espacios en blanco
los archivos que poseen menos de 28 columnas.

>>num=eval(['C' int2str(e)])+1;

>>for cont=num:28

>>eval(['col' int2str(cont) '=cont;']);

>>E{eval(['col' int2str(cont)])}=[''];%Se añade espacios en blanco a la matriz E

>>end

>>end
```



```

>>V=[eval(['AN' int2str(e)])];%Vector vacío

>>else %Para las trazas que no cumplen la condicion anterior
se ejecuta este conjunto de ordenes.

>>S=eval(['AN' int2str(e)]);

>>eval(['AN' int2str(e) '= S(eval(['x' int2str(e)]):eval(['x' int2str(e)]+3000);');]);
% Reducción de la dimensionalidad de la traza elegida

>>eval(['M' int2str(e) '=mean(eval(['AN' int2str(e)]));');]);

>>eval(['offAN' int2str(e) '= eval(['AN' int2str(e)]) - eval(['M' int2str(e)]);');]);
%Eliminación del offset (desplazamiento vertical) de la traza en cero.

>>eval(['absAN' int2str(e) '=abs(eval(['offAN' int2str(e)]));');]);%Cálculo del valor absoluto
de la traza elegida

>>eval(['maxAN' int2str(e) '=max(eval(['absAN' int2str(e)]));');]);%Cálculo del máximo

>>eval(['AN' int2str(e) '= eval(['offAN' int2str(e)]) / eval(['maxAN' int2str(e)]);');]);
%Normalización de la traza a uno

>>eval(['AN' int2str(e) '=eval(['AN' int2str(e)]);');]);

>>V=[eval(['AN' int2str(e)])];%Matriz que almacena las trazas elegidas

>>figure(e+1)

>>plot(eval(['AN' int2str(e)]))

>>close(figure(e+1))

>>end

>>else % Aqui se vuelve a repetir el bloque anterior para valores de la
variable e diferentes de 1

>>[filename, pathname] = uigetfile('*.*. ', 'Load ASC File');

>>eval(['p' int2str(e) '=filename;']);

>>P=[P;eval(['p' int2str(e)])];

>>disp(eval(['p' int2str(e)]))

>>A=importdata(filename,' ',4);

>>E=A.textdata(4,:);

>>eval(['C' int2str(e) '=length(E);']);

```



```

>>h=msgbox('El número de datos escogidos es inferior');
>>close(h)
>>eval(['AN' int2str(e) '=zeros(3001,1);'])
>>eval(['AN' int2str(e) '=eval([''AN'' int2str(e));'])
>>eval(['AN' int2str(e) '=nonzeros(eval([''AN'' int2str(e)));'])
>>V=[V eval(['AN' int2str(e)]];
>>else
>>S=eval(['AN' int2str(e)]];
>>eval(['AN' int2str(e) '= S(eval([''x'' int2str(e)):eval([''x'' int2str(e)])+3000);']);
>>eval(['M' int2str(e) '=mean(eval([''AN'' int2str(e)']));']);
>>eval(['offAN' int2str(e) '= eval([''AN'' int2str(e)]] - eval([''M'' int2str(e)']));']);
>>eval(['absAN' int2str(e) '=abs(eval([''offAN'' int2str(e)']));']);
>>eval(['maxAN' int2str(e) '=max(eval([''absAN'' int2str(e)']));']);
>>eval(['AN' int2str(e) '= eval([''offAN'' int2str(e)]] / eval([''maxAN'' int2str(e)']));']);
>>eval(['AN' int2str(e) '=eval([''AN'' int2str(e)']);'])
>>V=[V eval(['AN' int2str(e)]];
>>figure(e+2)
>>plot(eval(['AN' int2str(e)]))
>>close(figure(e+2))
>>end
>>else
>>eval(['AN' int2str(e) '=eval([''B'' int2str(n)']);']);
>>eval(['longAN' int2str(e) '=length(eval([''AN'' int2str(e)']));']);
>>if e==3
>>figure(e+2)
>>plot(eval(['AN' int2str(e)]))

```

```

>>[x,y]=ginput(1);
>>eval(['x' int2str(e) '=x']);
>>eval(['y' int2str(e) '=y']);
>>close(figure(e+2))
>>if eval(['longAN' int2str(e)]) <= (eval(['x' int2str(e)])+3000)
>>h=msgbox('El número de datos escogidos es inferior');
>>close(h)
>>eval(['AN' int2str(e) '=zeros(3001,1);'])
>>eval(['AN' int2str(e) '=eval(['AN'' int2str(e)]);'])
>>eval(['AN' int2str(e) '=nonzeros(eval(['AN'' int2str(e)]));'])
>>V=[V eval(['AN' int2str(e)])];
>>else
>>S=eval(['AN' int2str(e)]);
>>eval(['AN' int2str(e) '= S(eval(['x'' int2str(e)]):eval(['x'' int2str(e)])+3000);']);
>>eval(['M' int2str(e) '=mean(eval(['AN'' int2str(e)]));']);
>>eval(['offAN' int2str(e) '= eval(['AN'' int2str(e)]) - eval(['M'' int2str(e)]);']);
>>eval(['absAN' int2str(e) '=abs(eval(['offAN'' int2str(e)]));']);
>>eval(['maxAN' int2str(e) '=max(eval(['absAN'' int2str(e)]));']);
>>eval(['AN' int2str(e) '= eval(['offAN'' int2str(e)]) / eval(['maxAN'' int2str(e)]);']);
>>eval(['AN' int2str(e) '=eval(['AN'' int2str(e)]);'])
>>V=[V eval(['AN' int2str(e)])];
>>figure(e+3)
>>plot(eval(['AN' int2str(e)]))
>>close(figure(e+3))
>>end

```

```

>>else

>>r=e-1;

>>h=e+r;

>>figure(h)

>>plot(eval(['AN' int2str(e)]))

>>[x,y]=ginput(1);

>>eval(['x' int2str(e) '=x']);

>>eval(['y' int2str(e) '=y']);

>>close(figure(h))

>>if eval(['longAN' int2str(e)]) <= (eval(['x' int2str(e)])+3000)

>>h=msgbox('El número de datos escogidos es inferior');

>>close(h)

>>eval(['AN' int2str(e) '=zeros(3001,1);'])

>>eval(['AN' int2str(e) '=eval(['AN' int2str(e)]);'])

>>eval(['AN' int2str(e) '=nonzeros(eval(['AN' int2str(e)]));'])

>>V=[V eval(['AN' int2str(e)])];

>>else

>>S=eval(['AN' int2str(e)]);

>>eval(['AN' int2str(e) '= S(eval(['x' int2str(e)]):eval(['x' int2str(e)]+3000);']);

>>eval(['M' int2str(e) '=mean(eval(['AN' int2str(e)]));']);

>>eval(['offAN' int2str(e) '= eval(['AN' int2str(e)]) - eval(['M' int2str(e)]);']);

>>eval(['absAN' int2str(e) '=abs(eval(['offAN' int2str(e)]));']);

>>eval(['maxAN' int2str(e) '=max(eval(['absAN' int2str(e)]));']);

>>eval(['AN' int2str(e) '= eval(['offAN' int2str(e)]) / eval(['maxAN' int2str(e)]);']);

>>eval(['AN' int2str(e) '=eval(['AN' int2str(e)]);'])

>>V=[V eval(['AN' int2str(e)])];

```

```

>>figure(h+1)
>>plot(eval(['AN' int2str(e)]))
>>close(figure(h+1))
>>end

>>if L==2%Todo el conjunto de ordenes anteriores se vuelve a repetir para Cufiño
>>warning off all
>>ne=input('Intorduzca el Numero de Eventos:');
>>CUVZ='CUVZ';%Abreviatura de la estación de Cufiño
>>for e=1:ne
>>if e==1
>>[filename, pathname] = uigetfile('*.*', 'Load ASC File');
>>eval(['p' int2str(e) '=filename;'])
>>P=[eval(['p' int2str(e)'])];
>>disp(eval(['p' int2str(e)']))
>>A=importdata(filename,' ',4);
>>E=A.textdata(4,:);
>>eval(['C' int2str(e) '=length(E);']);
>>if eval(['C' int2str(e)])<28

```



```

>>close(h)

>>eval(['CUF' int2str(e) '=zeros(3001,1);'])

>>eval(['CUF' int2str(e) '=eval([''CUF'' int2str(e)]);'])

>>eval(['CUF' int2str(e) '=nonzeros(eval([''CUF'' int2str(e)]));'])

>>V=[eval(['CUF' int2str(e)]];

>>else

>>S=eval(['CUF' int2str(e)]];

>>eval(['CUF' int2str(e) '= S(eval([''x'' int2str(e)]):eval([''x'' int2str(e)])+3000);']);

>>eval(['M' int2str(e) '=mean(eval([''CUF'' int2str(e)]));']);

>>eval(['offCUF' int2str(e) '= eval([''CUF'' int2str(e)]) - eval([''M'' int2str(e)]);']);

>>eval(['absCUF' int2str(e) '=abs(eval([''offCUF'' int2str(e)]));']);

>>eval(['maxCUF' int2str(e) '=max(eval([''absCUF'' int2str(e)]));']);

>>eval(['CUF' int2str(e) '= eval([''offCUF'' int2str(e)]) / eval([''maxCUF'' int2str(e)]);']);

>>eval(['CUF' int2str(e) '=eval([''CUF'' int2str(e)]);'])

>>V=[eval(['CUF' int2str(e)]];

>>figure(e+1)

>>plot(eval(['CUF' int2str(e)]))

>>close(figure(e+1))

>>end

>>else

>>[filename, pathname] = uigetfile('*.*', 'Load ASC File');

>>eval(['p' int2str(e) '=filename;'])

>>P=[P;eval(['p' int2str(e)]];

>>disp(eval(['p' int2str(e)]))

>>A=importdata(filename,' ',4);

```



```

>>if eval(['longCUF' int2str(e)]) <= (eval(['x' int2str(e)])+3000)
>>h=msgbox('El número de datos escogidos es inferior');
>>close(h)
>>eval(['CUF' int2str(e) '=zeros(3001,1);'])
>>eval(['CUF' int2str(e) '=eval([''CUF'' int2str(e)]);'])
>>eval(['CUF' int2str(e) '=nonzeros(eval([''CUF'' int2str(e)]));'])
>>V=[V eval(['CUF' int2str(e)])];
>>else
>>S=eval(['CUF' int2str(e)]);
>>eval(['CUF' int2str(e) '= S(eval([''x'' int2str(e)]):eval([''x'' int2str(e)])+3000);']);
>>eval(['M' int2str(e) '=mean(eval([''CUF'' int2str(e)]));']);
>>eval(['offCUF' int2str(e) '= eval([''CUF'' int2str(e)]) - eval([''M'' int2str(e)]);']);
>>eval(['absCUF' int2str(e) '=abs(eval([''offCUF'' int2str(e)]));']);
>>eval(['maxCUF' int2str(e) '=max(eval([''absCUF'' int2str(e)]));']);
>>eval(['CUF' int2str(e) '= eval([''offCUF'' int2str(e)]) / eval([''maxCUF'' int2str(e)]);']);
>>eval(['CUF' int2str(e) '=eval([''CUF'' int2str(e)]);'])
>>V=[V eval(['CUF' int2str(e)])];
>>figure(e+2)
>>plot(eval(['CUF' int2str(e)]))
>>close(figure(e+2))
>>end
>>else
>>eval(['CUF' int2str(e) '=eval([''B'' int2str(n)]);']);
>>eval(['longCUF' int2str(e) '=length(eval([''CUF'' int2str(e)]));']);
>>if e==3
>>figure(e+2)

```

```

>>plot(eval(['CUF' int2str(e)]))
>>[x,y]=ginput(1);
>>eval(['x' int2str(e) '=x']);
>>eval(['y' int2str(e) '=y']);
>>close(figure(e+2))
>>if eval(['longCUF' int2str(e)]) <= (eval(['x' int2str(e)])+3000)
>>h=msgbox('El número de datos escogidos es inferior');
>>close(h)
>>eval(['CUF' int2str(e) '=zeros(3001,1);'])
>>eval(['CUF' int2str(e) '=eval([''CUF'' int2str(e)]);'])
>>eval(['CUF' int2str(e) '=nonzeros(eval([''CUF'' int2str(e)]));'])
>>V=[V eval(['CUF' int2str(e)])];
>>else
>>S=eval(['CUF' int2str(e)]);
>>eval(['CUF' int2str(e) '= S(eval([''x'' int2str(e)]):eval([''x'' int2str(e)])+3000);']);
>>eval(['M' int2str(e) '=mean(eval([''CUF'' int2str(e)]));']);
>>eval(['offCUF' int2str(e) '= eval([''CUF'' int2str(e)]) - eval([''M'' int2str(e)]);']);
>>eval(['absCUF' int2str(e) '=abs(eval([''offCUF'' int2str(e)]));']);
>>eval(['maxCUF' int2str(e) '=max(eval([''absCUF'' int2str(e)]));']);
>>eval(['CUF' int2str(e) '= eval([''offCUF'' int2str(e)]) / eval([''maxCUF'' int2str(e)]);']);
>>eval(['CUF' int2str(e) '=eval([''CUF'' int2str(e)]);'])
>>V=[V eval(['CUF' int2str(e)])];
>>figure(e+3)
>>plot(eval(['CUF' int2str(e)]))
>>close(figure(e+3))

```

```

>>end

>>else

>>r=e-1;

>>h=e+r;

>>figure(h)

>>plot(eval(['CUF' int2str(e)]))

>>[x,y]=ginput(1);

>>eval(['x' int2str(e) 'x']);

>>eval(['y' int2str(e) 'y']);

>>close(figure(h))

>>if eval(['longCUF' int2str(e)]) <= (eval(['x' int2str(e)])+3000)

>>h=msgbox('El número de datos escogidos es inferior');

>>close(h)

>>eval(['CUF' int2str(e) '=zeros(3001,1);'])

>>eval(['CUF' int2str(e) '=eval([''CUF'' int2str(e)]);'])

>>eval(['CUF' int2str(e) '=nonzeros(eval([''CUF'' int2str(e)]));'])

>>V=[V eval(['CUF' int2str(e)])];

>>else

>>S=eval(['CUF' int2str(e)]);

>>eval(['CUF' int2str(e) '= S(eval([''x'' int2str(e)]):eval([''x'' int2str(e)]+3000);']);

>>eval(['M' int2str(e) '=mean(eval([''CUF'' int2str(e)]));']);

>>eval(['offCUF' int2str(e) '= eval([''CUF'' int2str(e)]) - eval([''M'' int2str(e)]);']);

>>eval(['absCUF' int2str(e) '=abs(eval([''offCUF'' int2str(e)]));']);

>>eval(['maxCUF' int2str(e) '=max(eval([''absCUF'' int2str(e)]));']);

>>eval(['CUF' int2str(e) '= eval([''offCUF'' int2str(e)]) / eval([''maxCUF'' int2str(e)]);']);

```

```

>>eval(['CUF' int2str(e) '=eval([''CUF'' int2str(e));'])
>>V=[V eval(['CUF' int2str(e))]];
>>figure(h+1)
>>plot(eval(['CUF' int2str(e))))
>>close(figure(h+1))

>>end

>>end

>>end

>>end

>>end

>>end

>>end

>>end

>>disp('Los archivos ingresados fueron:'),disp(P)

>>clear a* b i n e ne c* B* ANGV CUVZ E* estacion M* K* x* y* l* S h m* o* r p*
f* P L A* C* num

```

## ANEXO C. Código rutina macoef

```
>>load datfin

>>whos

>>disp('Digite las siguientes opciones para elegir los datos a analizar');

>>disp('1)LPAN, 2)LPCU, 3)VTAN, 4)VTCU')

>>pause(1)

>>R=input('Digite la opcion a elegir:');% Variable que permite que
sean ejecutadas las ordenes 1, 2, 3 o 4 del menú de opciones.

>>if R==1

>>col=input('Introduzca el número de columnas de la matriz:');

>>N=input('Introduzca el nivel de descomposición a aplicar:');

>>w=input('Introduzca el nombre de la wavelet a utilizar para el análisis:', 's');

>>for e=1:col%Contador de columnas de la matriz cargada

>>if e==1

>>c=N+2;%Contador de filas del vector L.

>>eval(['m' int2str(e) '= LPAN(:,e);']);

>>s=eval(['m' int2str(e)]);

>>eval(' [C,L]= wavedec(s,N,w); ');%Descomposición Wavelet de la señal

>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);

>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);

>>for n=1:N

>>eval(['cA' int2str(n) '=appcoef([eval(['C' int2str(e)]),[eval(['L' int2str(e)]);],
w,n);']);%Extracción de los cA

>>eval(['lcA' int2str(n) '=length(eval(['cA' int2str(n)]));']);

>>for cL=2:c-1%Contador del vector l

>>l=eval(['L' int2str(e)]);

>>eval(['long' int2str(cL) '=l(cL,1);'])
```

```

>>if eval(['lcA' int2str(n)]) == eval(['long' int2str(cL)])
>>eval(['McA' int2str(n) '= eval(['cA' int2str(n)];')]);
>>end
>>end
>>eval(['cD' int2str(n) '=detcoef([eval(['C' int2str(e)]),[eval(['L' int2str(e)]);],n);']
%Extracción de los coeficientes de detalle
>>eval(['lcD' int2str(n) '=length(eval(['cD' int2str(n)]));']);
>>for cL=2:c-1
>>l=eval(['L' int2str(e)]);
>>eval(['l' int2str(cL) '=l(cL,1);'])
>>if eval(['lcD' int2str(n)]) == eval(['l' int2str(cL)])
>>eval(['McD' int2str(n) '= eval(['cD' int2str(n)];')]);
>>end
>>end
>>end
>>else %Apartir de aqui se comienzan a repetir las mismas ordenes
para valores de e diferentes de 1
>>eval(['m' int2str(e) '= LPAN(:,e);']);
>>s=eval(['m' int2str(e)]);
>>eval(['C,L]= wavedec(s,N,w);');
>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);
>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);
>>for n=1:N
>>eval(['cA' int2str(n) '=appcoef([eval(['C' int2str(e)]),[eval(['L' int2str(e)]);],
w,n);']);
>>eval(['lcA' int2str(n) '=length(eval(['cA' int2str(n)]));']);
>>for cL=2:c-1

```



```

>>c=N+2;

>>eval(['m' int2str(e) '= LPCU(:,e);']);

>>s=eval(['m' int2str(e)]);

>>eval(['C,L]= wavedec(s,N,w);']);

>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);

>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);

>>for n=1:N

>>eval(['cA' int2str(n) '=appcoef([eval(['C' int2str(e)]),[eval(['L' int2str(e)]);],
w,n);']);

>>eval(['lcA' int2str(n) '=length(eval(['cA' int2str(n)]));']);

>>for cL=2:c-1

>>l=eval(['L' int2str(e)]);

>>eval(['long' int2str(cL) '=1(cL,1);'])

>>if eval(['lcA' int2str(n)]) == eval(['long' int2str(cL)])

>>eval(['McA' int2str(n) '= eval(['cA' int2str(n)]);']);

>>end

>>end

>>eval(['cD' int2str(n) '=detcoef([eval(['C' int2str(e)]),[eval(['L' int2str(e)]);],n);']);

>>eval(['lcD' int2str(n) '=length(eval(['cD' int2str(n)]));']);

>>for cl=2:c-1

>>l=eval(['L' int2str(e)]);

>>eval(['1' int2str(cl) '=1(cl,1);'])

>>if eval(['lcD' int2str(n)]) == eval(['1' int2str(cl)])

>>eval(['McD' int2str(n) '= eval(['cD' int2str(n)]);']);

>>end

>>end

```

```

>>end

>>else

>>eval(['m' int2str(e) '= LPCU(:,e);']);

>>s=eval(['m' int2str(e)]);

>>eval(['C,L]= wavedec(s,N,w);');

>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);

>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);

>>for n=1:N

>>eval(['cA' int2str(n) '=appcoef([eval(['C' int2str(e)]),[eval(['L' int2str(e)]);],
w,n);']);

>>eval(['lcA' int2str(n) '=length(eval(['cA' int2str(n)]));']);

>>for cL=2:c-1

>>l=eval(['L' int2str(e)]);

>>eval(['long' int2str(cL) '=l(cL,1);'])

>>if eval(['lcA' int2str(n)]) == eval(['long' int2str(cL)])

>>eval(['McA' int2str(n) '= [eval(['McA' int2str(n)]) eval(['cA' int2str(n)]];']);

>>end

>>end

>>eval(['cD' int2str(n) '=detcoef([eval(['C' int2str(e)]),[eval(['L' int2str(e)]);],n);']);

>>eval(['lcD' int2str(n) '=length(eval(['cD' int2str(n)]));']);

>>for cl=2:c-1

>>l=eval(['L' int2str(e)]);

>>eval(['l' int2str(cl) '=l(cl,1);'])

>>if eval(['lcD' int2str(n)]) == eval(['l' int2str(cl)])

>>eval(['McD' int2str(n) '= [eval(['McD' int2str(n)]) eval(['cD' int2str(n)]];']);

>>end

```

```

>>end

>>end

>>end

>>end

>>end

>>if R==3

>>col=input('Introduzca el numero de columnas del vector:');

>>N=input('Introduzca el nivel de descomposicion a aplicar:');

>>w=input('Introduzca el nombre de la wavelet a utilizar para el analisis:', 's');

>>for e=1:col

>>if e==1

>>c=N+2;

>>eval(['m' int2str(e) '= VTAN(:,e);']);

>>s=eval(['m' int2str(e)]);

>>eval(['C,L]= wavedec(s,N,w);');

>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);

>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);

>>for n=1:N

>>eval(['cA' int2str(n) '=appcoef([eval(['C' int2str(e)]),[eval(['L' int2str(e)]];],
w,n);']);

>>eval(['lcA' int2str(n) '=length(eval(['cA' int2str(n)]));']);

>>for cL=2:c-1

>>l=eval(['L' int2str(e)]);

>>eval(['long' int2str(cL) '=1(cL,1);'])

>>if eval(['lcA' int2str(n)]) == eval(['long' int2str(cL)])

>>eval(['McA' int2str(n) '= eval(['cA' int2str(n)]);']);

```

```

>>end

>>end

>>eval(['cD' int2str(n) '=detcoef([eval([''C'' int2str(e)]),[eval([''L'' int2str(e)]);],n);'])
>>eval(['lcD' int2str(n) '=length(eval([''cD'' int2str(n)]));']);
>>for c1=2:c-1
>>l=eval(['L' int2str(e)]);
>>eval(['1' int2str(c1) '=1(c1,1);'])
>>if eval(['lcD' int2str(n)]) == eval(['1' int2str(c1)])
>>eval(['McD' int2str(n) '= eval([''cD'' int2str(n)]);']);
>>end
>>end
>>end
>>else
>>eval(['m' int2str(e) '= VTAN(:,e);']);
>>s=eval(['m' int2str(e)]);
>>eval(['C,L]= wavedec(s,N,w);']);
>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);
>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);
>>for n=1:N
>>eval(['cA' int2str(n) '=appcoef([eval([''C'' int2str(e)]),[eval([''L'' int2str(e)]);],
w,n);']);
>>eval(['lcA' int2str(n) '=length(eval([''cA'' int2str(n)]));']);
>>for cL=2:c-1
>>l=eval(['L' int2str(e)]);
>>eval(['long' int2str(cL) '=1(cL,1);'])
>>if eval(['lcA' int2str(n)]) == eval(['long' int2str(cL)])

```



```

>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);
>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);
>>for n=1:N
>>eval(['cA' int2str(n) '=appcoef([eval([''C'' int2str(e)]),[eval([''L'' int2str(e)]);],
w,n);']);
>>eval(['lcA' int2str(n) '=length(eval([''cA'' int2str(n)]));']);
>>for cL=2:c-1
>>l=eval(['L' int2str(e)]);
>>eval(['long' int2str(cL) '=1(cL,1);'])
>>if eval(['lcA' int2str(n)]) == eval(['long' int2str(cL)])
>>eval(['McA' int2str(n) '= eval([''cA'' int2str(n)]);']);
>>end
>>end
>>eval(['cD' int2str(n) '=detcoef([eval([''C'' int2str(e)]),[eval([''L'' int2str(e)]);],n);'])
>>eval(['lcD' int2str(n) '=length(eval([''cD'' int2str(n)]));']);
>>for cl=2:c-1
>>l=eval(['L' int2str(e)]);
>>eval(['1' int2str(cl) '=1(cl,1);'])
>>if eval(['lcD' int2str(n)]) == eval(['1' int2str(cl)])
>>eval(['McD' int2str(n) '= eval([''cD'' int2str(n)]);']);
>>end
>>end
>>end
>>else
>>eval(['m' int2str(e) '= VTCU(:,e);']);
>>s=eval(['m' int2str(e)]);

```

```

>>eval('C,L]= wavedec(s,N,w);');
>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);
>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);
>>for n=1:N
>>eval(['cA' int2str(n) '=appcoef([eval(['C' int2str(e)]),[eval(['L' int2str(e)]);],
w,n);']);
>>eval(['lcA' int2str(n) '=length(eval(['cA' int2str(n)]));']);
>>for cL=2:c-1
>>l=eval(['L' int2str(e)]);
>>eval(['long' int2str(cL) '=1(cL,1);'])
>>if eval(['lcA' int2str(n)]) == eval(['long' int2str(cL)])
>>eval(['McA' int2str(n) '= [eval(['McA' int2str(n)]) eval(['cA' int2str(n)]];']);
>>end
>>end
>>eval(['cD' int2str(n) '=detcoef([eval(['C' int2str(e)]),[eval(['L' int2str(e)]);],n);']);
>>eval(['lcD' int2str(n) '=length(eval(['cD' int2str(n)]));']);
>>for cl=2:c-1
>>l=eval(['L' int2str(e)]);
>>eval(['l' int2str(cl) '=1(cl,1);'])
>>if eval(['lcD' int2str(n)]) == eval(['l' int2str(cl)])
>>eval(['McD' int2str(n) '= [eval(['McD' int2str(n)]) eval(['cD' int2str(n)]];']);
>>end
>>end
>>end
>>end
>>end
>>end

```

```
>>end
```

```
>>clc
```

```
>>clear e s R col N n w m* c* C* L* l* VTAN VTCU
```

## ANEXO D. Código rutina hien

```
>>disp('Digite las siguientes opciones para elegir los datos a analizar');

>>disp('1)CLPAN y CVTAN, 2)CLPCU y CVTCU')

>>pause(1)

>>opt=input('Digite la opción a elegir:');% Variable que permite que
sean ejecutadas las ordenes 1 o 2 del menú de opciones.

>>if opt==1

>>i=input('Introduzca el nombre de la wavelet utilizada acompañado del numero 11:', 's');

>>load ([char(['CLPAN' char(i)])])

>>e=input('Introduzca el número del nivel de descomposición de los
coeficientes de aproximación y detalle:');%Variable que permite que las matrices del nivel
requerido sean cargadas

>>if e==1

>>clear McA2 McA3 McA4 McA5 McA6 McA7 McA8 McA9 McA10 McA11
McD2 McD3 McD4 McD5 McD6 McD7 McD8 McD9 McD10 McD11%Carga solo las matrices McA1 y McD1

>>end

>>if e==2

>>clear McA1 McA3 McA4 McA5 McA6 McA7 McA8 McA9 McA10 McA11
McD1 McD3 McD4 McD5 McD6 McD7 McD8 McD9 McD10 McD11%Carga solo las matrices McA2 y McD2

>>end

>>if e==3

>>clear McA2 McA1 McA4 McA5 McA6 McA7 McA8 McA9 McA10 McA11
McD2 McD1 McD4 McD5 McD6 McD7 McD8 McD9 McD10 McD11%Carga solo las matrices McA3 y McD3

>>end

>>calp=eval(['McA' int2str(e)]);%Variable que contiene la matriz de
coeficientes de aproximación ya sea en los niveles 1, 2 o 3

>>cdlp=eval(['McD' int2str(e)]);%Variable que contiene la matriz de
coeficientes de detalle ya sea en los niveles 1, 2 o 3

>>z=size(calp);

>>long=z(1,1);
```

```

>>r=sqrt(long);%Variable que almacena el resultado del cálculo de la
raiz cuadrada del vector long

>>aprox=ceil(r);

>>tamp=z(1,2);

>>for a=1:tamp%Contador del número de columnas de la matriz cargada

>>if a==1;

>>x=calp(:,a);

>>y=cdlp(:,a);

>>eval(['minia' int2str(a) '=min(x);'])% Se calcula el mínimo de cada columna
de las matrices de los cA de los LP

>>eval(['maxia' int2str(a) '=max(x);'])% Se calcula el máximo de cada columna
de las matrices de los cA de los LP

>>mi=minial;

>>ma=maxial;

>>eval(['coefa' int2str(a) '=x;'])%Cálculo de las energías de los cA de los LP

>>xacuadrado1=coefa1.^2;%Vector columna que almacena los valores cuando se eleva la
primera columna de cA al cuadrado

>>eval(['Ecalp' int2str(e) '=xacuadrado1;'])

>>Vmina=mi;

>>Vmaxa=ma;

>>eval(['minid' int2str(a) '=min(y);'])% Se calcula el mínimo de cada columna
de las matrices de los cD de los LP

>>eval(['maxid' int2str(a) '=max(y);'])% Se calcula el máximo de cada columna
de las matrices de los cD de los LP

>>mid=minid1;

>>md=maxid1;

>>eval(['coefd' int2str(a) '=y;'])%Cálculo de las energías de los cD de los LP

>>xdcuadrado1=coefd1.^2;%Vector columna que almacena los valores cuando se eleva
la primera columna de cD al cuadrado

```

```

>>eval(['Ecdlp' int2str(e) '=xdcuadrado1;'])

>>Vmind=mid;

>>Vmaxd=md;

>>else

>>x=calp(:,a);

>>y=cdlp(:,a);

>>eval(['minia' int2str(a) '=min(x);'])

>>eval(['maxia' int2str(a) '=max(x);'])

>>eval(['coefa' int2str(a) '=x;'])

>>eval(['xacuadrado' int2str(a) '=eval([''coefa'' int2str(a)].^2;'])
%Para las energias de los cA de los LP

>>eval(['Ecalp' int2str(e) '= [eval([''Ecalp'' int2str(e)]) eval([''xacuadrado'' int2str(a)])]');
%Vector columna que contiene los valores de los cA elevados al cuadrado

>>Vmina=[Vmina eval(['minia' int2str(a)])];%Vector fila que almacena los mínimos
de las columnas de las matrices que contienen los coeficientes de aproximación de los LP

>>Vmaxa=[Vmaxa eval(['maxia' int2str(a)])];%Vector fila que almacena los máximos
de las columnas de las matrices que contienen los coeficientes de aproximación de los LP

>>eval(['minid' int2str(a) '=min(y);'])

>>eval(['maxid' int2str(a) '=max(y);'])

>>eval(['coefd' int2str(a) '=y;'])

>>eval(['xdcuadrado' int2str(a) '=eval([''coefd'' int2str(a)].^2;'])

>>eval(['Ecdlp' int2str(e) '= [eval([''Ecdlp'' int2str(e)]) eval([''xdcuadrado'' int2str(a)])]');
%Vector columna que contiene los valores de los cD elevados al cuadrado

>>Vmind=[Vmind eval(['minid' int2str(a)])];%Vector fila que almacena los mínimos
de las columnas de las matrices que contienen los coeficientes de detalle de los LP

>>Vmaxd=[Vmaxd eval(['maxid' int2str(a)])];%Vector fila que almacena los máximos
de las columnas de las matrices que contienen los coeficientes de detalle de los LP

>>end

>>end

```

```

>>Vminalp=min(Vmina);%Este vector contiene el mínimo de vector Vmina
>>Vmaxalp=max(Vmaxa);%Este vector contiene el mínimo de vector Vmaxa
>>Vmindlp=min(Vmind);%Este vector contiene el mínimo de vector Vmind
>>Vmaxdlp=max(Vmaxd);%Este vector contiene el mínimo de vector Vmaxd

>>load ([char(['CVTAN' char(i)])])%Se hace el mismo cálculo para
las trazas VT de la estación de Anganoy

>>cavt=eval(['McA' int2str(e)]);
>>cdvt=eval(['McD' int2str(e)]);

>>z=size(cavt);
>>tamvt=z(1,2);
>>for a=1:tamvt
>>if a==1;
>>x=cavt(:,a);
>>y=cdvt(:,a);
>>eval(['minia' int2str(a) '=min(x);'])
>>eval(['maxia' int2str(a) '=max(x);'])
>>mi=minia1;
>>ma=maxia1;
>>eval(['coefa' int2str(a) '=x;'])
>>xacuadrado1=coefa1.^2;
>>eval(['Ecavt' int2str(e) '=xacuadrado1;'])
>>Vmina=mi;
>>Vmaxa=ma;
>>eval(['minid' int2str(a) '=min(y);'])
>>eval(['maxid' int2str(a) '=max(y);'])
>>mid=minid1;

```

```

>>md=maxid1;

>>eval(['coefd' int2str(a) '=y;'])

>>xdcuadrado1=coefd1.^2;

>>eval(['Ecdvt' int2str(e) '=xdcuadrado1;'])

>>Vmind=mid;

>>Vmaxd=md;

>>else

>>x=cavt(:,a);

>>y=cdvt(:,a);

>>eval(['minia' int2str(a) '=min(x);'])

>>eval(['maxia' int2str(a) '=max(x);'])

>>eval(['coefa' int2str(a) '=x;'])

>>eval(['xacuadrado' int2str(a) '=eval([''coefa'' int2str(a)]).^2;'])

>>eval(['Ecavt' int2str(e) '=[eval([''Ecavt'' int2str(e)]) eval([''xacuadrado'' int2str(a)])]);

>>Vmina=[Vmina eval(['minia' int2str(a)]]; %Vector que almacena los mínimos de las columnas
de las matrices que contienen los coeficientes de aproximación de los VT

>>Vmaxa=[Vmaxa eval(['maxia' int2str(a)]]; %Vector que almacena los máximos de las columnas
de las matrices que contienen los coeficientes de aproximación de los VT

>>eval(['minid' int2str(a) '=min(y);'])

>>eval(['maxid' int2str(a) '=max(y);'])

>>eval(['coefd' int2str(a) '=y;'])

>>eval(['xdcuadrado' int2str(a) '=eval([''coefd'' int2str(a)]).^2;'])

>>eval(['Ecdvt' int2str(e) '=[eval([''Ecdvt'' int2str(e)]) eval([''xdcuadrado'' int2str(a)])]);

>>Vmind=[Vmind eval(['minid' int2str(a)]]; %Vector que almacena los mínimos de las columnas
de las matrices que contienen los coeficientes de detalle de los VT

>>Vmaxd=[Vmaxd eval(['maxid' int2str(a)]]; %Vector que almacena los máximos de las columnas
de las matrices que contienen los coeficientes de detalle de los VT

```

```

>>end

>>end

>>Vminavt=min(Vmina);

>>Vmaxavt=max(Vmaxa);

>>Vmindvt=min(Vmind);

>>Vmaxdvt=max(Vmaxd);

>>Mmina=[Vminalp Vminavt];

>>Mmaxa=[Vmaxalp Vmaxavt];

>>Mmind=[Vmindlp Vmindvt];

>>Mmaxd=[Vmaxdlp Vmaxdvt];

>>Vmina=min(Mmina);

>>Vmaxa=max(Mmaxa);

>>Vmind=min(Mmind);

>>Vmaxd=max(Mmaxd);

>>ranfina=linspace(Vmina,Vmaxa,aprox);%rango final para todos los histogramas de cA tanto
LP como VT

>>ranfind=linspace(Vmind,Vmaxd,aprox);%rango final para todos los histogramas de cD tanto
LP como VT

>>if tamlp==348

>>for a=1:tamlp%Ordenes para calculo de matrices de histogramas de LP

>>if a==1;

>>x=calp(:,a);

>>y=cdlp(:,a);

>>Ha1=hist(calp(1:long,a),ranfina);

>>Ha1=Ha1';

>>ranfina=ranfina';

>>eval(['MHalp' int2str(e) '= [ranfina Ha1];'])

```

```

>>Hd1=hist(cdlp(1:long,a),ranfind);
>>Hd1=Hd1';
>>ranfind=ranfind';
>>eval(['MHd1p' int2str(e) '=[ranfind Hd1];'])
>>else
>>x=calp(:,a);
>>y=cdlp(:,a);
>>eval(['Haa' int2str(a) '=hist(calp(1:long,a),ranfina);']);
>>Haa=eval(['Haa' int2str(a)]);
>>Haa=Haa';
>>eval(['Haa' int2str(a) '=Haa;']);
>>eval(['MHalp' int2str(e) '= [eval(['MHalp'' int2str(e)]) eval(['Haa'' int2str(a)])];'])
>>eval(['Hdd' int2str(a) '=hist(cdlp(1:long,a),ranfind);']);
>>Hdd=eval(['Hdd' int2str(a)]);
>>Hdd=Hdd';
>>eval(['Hdd' int2str(a) '=Hdd;']);
>>eval(['MHd1p' int2str(e) '= [eval(['MHd1p'' int2str(e)]) eval(['Hdd'' int2str(a)])];'])
>>end
>>end
>>end
>>if tamvt==308
>>for a=1:tamvt%0rdenes para calculo de matrices de histogramas de VT
>>if a==1;
>>x=cavt(:,a);
>>y=cdvt(:,a);

```

```

>>Ha1=hist(cavt(1:long,a),ranfina);
>>Ha1=Ha1';
>>eval(['MHavt' int2str(e) '=[ranfina Ha1];'])
>>Hd1=hist(cd1p(1:long,a),ranfind);
>>Hd1=Hd1';
>>eval(['MHdvt' int2str(e) '= [ranfind Hd1];'])
>>else
>>x=cavt(:,a);
>>y=cdvt(:,a);
>>eval(['Haa' int2str(a) '=hist(cavt(1:long,a),ranfina);']);
>>Haa=eval(['Haa' int2str(a)]);
>>Haa=Haa';
>>eval(['Haa' int2str(a) '=Haa;']);
>>eval(['MHavt' int2str(e) '= [eval(['MHavt'' int2str(e)]) eval(['Haa'' int2str(a)])];'])
>>eval(['Hdd' int2str(a) '=hist(cdvt(1:long,a),ranfind);']);
>>Hdd=eval(['Hdd' int2str(a)]);
>>Hdd=Hdd';
>>eval(['Hdd' int2str(a) '=Hdd;']);
>>eval(['MHdvt' int2str(e) '= [eval(['MHdvt'' int2str(e)]) eval(['Hdd'' int2str(a)])];'])
>>end
>>end
>>end
>>clear c* a x* y r* tam z aprox i* H* m* l* Vm* Mc* t* Mm*
>>if e==3
>>clear opt e
>>save ([char(['hienercAcD1231pvtan'])])%Orden que graba el contenido

```

```

final del espacio de trabajo para la opción uno.

>>e=3;

>>opt=1;

>>end

>>end

>>if opt==2%El cálculo del primer bucle es mismo para
las trazas LP y VT de la estación de Cufiño

>>i=input('introduzca el archivo de la wavelet a analizar:', 's');

>>load ([char(['CLPCU' char(i)])])

>>e=input('Introduzca el número del nivel de descomposición de los coeficientes
de aproximación y detalle:');%Carga solo las matrices McA1 y McD1

>>if e==1

>>clear McA2 McA3 McA4 McA5 McA6 McA7 McA8 McA9 McA10 McA11
McD2 McD3 McD4 McD5 McD6 McD7 McD8 McD9 McD10 McD11

>>end

>>if e==2

>>clear McA1 McA3 McA4 McA5 McA6 McA7 McA8 McA9 McA10 McA11
McD1 McD3 McD4 McD5 McD6 McD7 McD8 McD9 McD10 McD11%Carga solo las matrices McA2 y McD2

>>end

>>if e==3

>>clear McA2 McA1 McA4 McA5 McA6 McA7 McA8 McA9 McA10 McA11
McD2 McD1 McD4 McD5 McD6 McD7 McD8 McD9 McD10 McD11%Carga solo las matrices McA3 y McD3

>>end

>>calp=eval(['McA' int2str(e)]);

>>cdlp=eval(['McD' int2str(e)]);

>>z=size(calp);

>>long=z(1,1);

>>r=sqrt(long);

```

```

>>aprox=ceil(r);
>>tamlp=z(1,2);
>>for a=1:tamlp
>>if a==1;
>>x=calp(:,a);
>>y=cdlp(:,a);
>>eval(['minia' int2str(a) '=min(x);'])
>>eval(['maxia' int2str(a) '=max(x);'])
>>mi=minial;
>>ma=maxial;
>>eval(['coefa' int2str(a) '=x;'])
>>xacuadrado1=coefa1.^2;
>>eval(['Ecalp' int2str(e) '=xacuadrado1;'])
>>Vmina=mi;
>>Vmaxa=ma;
>>eval(['minid' int2str(a) '=min(y);'])
>>eval(['maxid' int2str(a) '=max(y);'])
>>mid=minid1;
>>md=maxid1;
>>eval(['coefd' int2str(a) '=y;'])
>>xdcuadrado1=coefd1.^2;
>>eval(['Ecdlp' int2str(e) '=xdcuadrado1;'])
>>Vmind=mid;
>>Vmaxd=md;
>>else
>>x=calp(:,a);

```

```

>>y=cdlp(:,a);

>>eval(['minia' int2str(a) '=min(x);'])

>>eval(['maxia' int2str(a) '=max(x);'])

>>eval(['coefa' int2str(a) '=x;'])

>>eval(['xacuadrado' int2str(a) '=eval([''coefa'' int2str(a)].^2;'])

>>eval(['Ecalp' int2str(e) '=[eval([''Ecalp'' int2str(e))] eval([''xacuadrado'' int2str(a)])]);

>>Vmina=[Vmina eval(['minia' int2str(a)])];%Vector que almacena los mínimos de las columnas
de las matrices que contienen los coeficientes de aproximación de los LP

>>Vmaxa=[Vmaxa eval(['maxia' int2str(a)])];%Vector que almacena los máximos de las columnas
de las matrices que contienen los coeficientes de aproximación de los LP

>>eval(['minid' int2str(a) '=min(y);'])

>>eval(['maxid' int2str(a) '=max(y);'])

>>eval(['coefd' int2str(a) '=y;'])

>>eval(['xdcuadrado' int2str(a) '=eval([''coefd'' int2str(a)].^2;'])

>>eval(['Ecdlp' int2str(e) '=[eval([''Ecdlp'' int2str(e))] eval([''xdcuadrado'' int2str(a)])]);

>>Vmind=[Vmind eval(['minid' int2str(a)])];%Vector que almacena los mínimos de las columnas
de las matrices que contienen los coeficientes de detalle de los LP

>>Vmaxd=[Vmaxd eval(['maxid' int2str(a)])];%Vector que almacena los máximos de las columnas
de las matrices que contienen los coeficientes de detalle de los LP

>>end

>>end

>>Vminalp=min(Vmina);

>>Vmaxalp=max(Vmaxa);

>>Vmindlp=min(Vmind);

>>Vmaxdlp=max(Vmaxd);

>>load ([char(['CVTCU' char(i)])])

>>cavt=eval(['McA' int2str(e)]);

```

```

>>cdvt=eval(['McD' int2str(e)]);
>>z=size(cavt);
>>tamvt=z(1,2);
>>for a=1:tamvt
>>if a==1;
>>x=cavt(:,a);
>>y=cdvt(:,a);
>>eval(['minia' int2str(a) '=min(x);'])
>>eval(['maxia' int2str(a) '=max(x);'])
>>mi=minia1;
>>ma=maxia1;
>>eval(['coefa' int2str(a) '=x;'])
>>xacuadrado1=coefa1.^2;
>>eval(['Ecavt' int2str(e) '=xacuadrado1;'])
>>Vmina=mi;
>>Vmaxa=ma;
>>eval(['minid' int2str(a) '=min(y);'])
>>eval(['maxid' int2str(a) '=max(y);'])
>>mid=minid1;
>>md=maxid1;
>>eval(['coefd' int2str(a) '=y;'])
>>xdcuadrado1=coefd1.^2;
>>eval(['Ecdvt' int2str(e) '=xdcuadrado1;'])
>>Vmind=mid;
>>Vmaxd=md;
>>else

```

```

>>x=cavt(:,a);
>>y=cdvt(:,a);
>>eval(['minia' int2str(a) '=min(x);'])
>>eval(['maxia' int2str(a) '=max(x);'])
>>eval(['coefa' int2str(a) '=x;'])
>>eval(['xacuadrado' int2str(a) '=eval([''coefa'' int2str(a)]).^2;'])
>>eval(['Ecavt' int2str(e) '=[eval([''Ecavt'' int2str(e)]) eval([''xacuadrado'' int2str(a)])]);
>>Vmina=[Vmina eval(['minia' int2str(a)])];%Vector que almacena los mínimos de las columnas
de las matrices que contienen los coeficientes de aproximación de los VT
>>Vmaxa=[Vmaxa eval(['maxia' int2str(a)])];%Vector que almacena los máximos de las columnas
de las matrices que contienen los coeficientes de aproximación de los VT
>>eval(['minid' int2str(a) '=min(y);'])
>>eval(['maxid' int2str(a) '=max(y);'])
>>eval(['coefd' int2str(a) '=y;'])
>>eval(['xdcuadrado' int2str(a) '=eval([''coefd'' int2str(a)]).^2;'])
>>eval(['Ecdvt' int2str(e) '=[eval([''Ecdvt'' int2str(e)]) eval([''xdcuadrado'' int2str(a)])]);
>>Vmind=[Vmind eval(['minid' int2str(a)])];%Vector que almacena los mínimos de las columnas
de las matrices que contienen los coeficientes de detalle de los VT
>>Vmaxd=[Vmaxd eval(['maxid' int2str(a)])];%Vector que almacena los máximos de las columnas
de las matrices que contienen los coeficientes de detalle de los VT
>>end
>>end
>>Vminavt=min(Vmina);
>>Vmaxavt=max(Vmaxa);
>>Vmindvt=min(Vmind);
>>Vmaxdvt=max(Vmaxd);
>>Mmina=[Vminalp Vminavt];

```

```

>>Mmaxa=[Vmaxalp Vmaxavt];
>>Mmind=[Vmindlp Vmindvt];
>>Mmaxd=[Vmaxdlp Vmaxdvt];
>>Vmina=min(Mmina);
>>Vmaxa=max(Mmaxa);
>>Vmind=min(Mmind);
>>Vmaxd=max(Mmaxd);
>>ranfina=linspace(Vmina,Vmaxa,aprox);%rango final para todos los histogramas
de cA tanto LP como VT
>>ranfind=linspace(Vmind,Vmaxd,aprox);%rango final para todos los histogramas
de cD tanto LP como VT
>>if tamlp==345
>>for a=1:tamlp%Ordenes para calculo de matrices de histogramas de LP
>>if a==1;
>>x=calp(:,a);
>>y=cdlp(:,a);
>>Ha1=hist(calp(1:long,a),ranfina);
>>Ha1=Ha1';
>>ranfina=ranfina';
>>eval(['MHalp' int2str(e) '= [ranfina Ha1];'])
>>Hd1=hist(cdlp(1:long,a),ranfind);
>>Hd1=Hd1';
>>ranfind=ranfind';
>>eval(['MHdlp' int2str(e) '= [ranfind Hd1];'])
>>else
>>x=calp(:,a);
>>y=cdlp(:,a);

```

```

>>eval(['Haa' int2str(a) '=hist(calp(1:long,a),ranfina);']);
>>Haa=eval(['Haa' int2str(a)]);
>>Haa=Haa';
>>eval(['Haa' int2str(a) '=Haa;']);
>>eval(['MHalp' int2str(e) '= [eval(['MHalp'' int2str(e)]) eval(['Haa'' int2str(a)])];'])
>>eval(['Hdd' int2str(a) '=hist(cdlp(1:long,a),ranfind);']);
>>Hdd=eval(['Hdd' int2str(a)]);
>>Hdd=Hdd';
>>eval(['Hdd' int2str(a) '=Hdd;']);
>>eval(['MHd1p' int2str(e) '= [eval(['MHd1p'' int2str(e)]) eval(['Hdd'' int2str(a)])];'])
>>end
>>end
>>end
>>if tamvt==302%0rdenes para calculo de matrices de histogramas de VT
>>for a=1:tamvt
>>if a==1;
>>x=cavt(:,a);
>>y=cdvt(:,a);
>>Ha1=hist(cavt(1:long,a),ranfina);
>>Ha1=Ha1';
>>eval(['MHavt' int2str(e) '= [ranfina Ha1];'])
>>Hd1=hist(cdlp(1:long,a),ranfind);
>>Hd1=Hd1';
>>eval(['MHdvt' int2str(e) '= [ranfind Hd1];'])
>>else

```

```

>>x=cavt(:,a);
>>y=cdvt(:,a);
>>eval(['Haa' int2str(a) '=hist(cavt(1:long,a),ranfina);']);
>>Haa=eval(['Haa' int2str(a)]);
>>Haa=Haa';
>>eval(['Haa' int2str(a) '=Haa;']);
>>eval(['MHavt' int2str(e) '= [eval(['MHavt'' int2str(e)]) eval(['Haa'' int2str(a)])];'])
>>eval(['Hdd' int2str(a) '=hist(cdvt(1:long,a),ranfind);']);
>>Hdd=eval(['Hdd' int2str(a)]);
>>Hdd=Hdd';
>>eval(['Hdd' int2str(a) '=Hdd;']);
>>eval(['MHdvt' int2str(e) '= [eval(['MHdvt'' int2str(e)]) eval(['Hdd'' int2str(a)])];'])
>>end
>>end
>>end
>>clear c* a x* y r* tam z aprox i* H* m* l* Vm* Mc* t* Mm*
>>if e==3
>>clear opt e
>>save ([char(['hienercAcD123lpvtcu']]))%Orden que graba el contenido
final del espacio de trabajo para la opción dos.
>>end
>>end
>>clear e opt

```

## ANEXO E. Código rutina Histomed

```
>>load hienercAcD123lpvtan %Para calcular las medidas de tendencia central y de
dispersión de los histogramas de los cA y cD de la estación de Cufiño se carga
el archivo hienercAcD123lpvtcu.

>>for a=1:3

>>if a==1

>>eval(['H1' int2str(a) '=eval(['MHalp' int2str(a)]);'])

>>H1=eval(['H1' int2str(a)]);

>>eval(['MHalpn' int2str(a) '=H1(:,[2:349]);'])%matriz MHalp nuevo nivel 1

>>eval(['MMHalpn' int2str(a) '=mean(eval(['MHalpn' int2str(a)]),2);'])%Medias de las
filas de los histogramas de los cA LP para nivel 1

>>eval(['MedMHalpn' int2str(a) '=median(eval(['MHalpn' int2str(a)]),2);'])%Medianas de las
filas de los histogramas de los cA LP para nivel 1

>>eval(['ModMHalpn' int2str(a) '=mode(eval(['MHalpn' int2str(a)]),2);'])%Modas de las
filas de los histogramas de los cA LP para nivel 1

>>eval(['StdMHalpn' int2str(a) '=std(eval(['MHalpn' int2str(a)]),1,2);'])%Desviación estándar
de las filas de los histogramas de los cA LP para nivel 1

>>eval(['VarMHalpn' int2str(a) '=var(eval(['MHalpn' int2str(a)]),1,2);'])%Varianza de las
filas de los histogramas de los cA LP para nivel 1

>>eval(['H2' int2str(a) '=eval(['MHd1p' int2str(a)]);'])

>>H2=eval(['H2' int2str(a)]);

>>eval(['MHd1pn' int2str(a) '=H2(:,[2:349]);'])%matriz MHd1p nuevo nivel 1

>>eval(['MMHd1pn' int2str(a) '=mean(eval(['MHd1pn' int2str(a)]),2);'])%Medias de las
filas de los histogramas de los cD LP para el nivel 1

>>eval(['MedMHd1pn' int2str(a) '=median(eval(['MHd1pn' int2str(a)]),2);'])%Medianas de las
filas de los histogramas de los cD LP para nivel 1

>>eval(['ModMHd1pn' int2str(a) '=mode(eval(['MHd1pn' int2str(a)]),2);'])%Modas de las
filas de los histogramas de los cD LP para nivel 1

>>eval(['StdMHd1pn' int2str(a) '=std(eval(['MHd1pn' int2str(a)]),1,2);'])%Desviación estándar
de las filas de los histogramas de los cD LP para nivel 1

>>eval(['VarMHd1pn' int2str(a) '=var(eval(['MHd1pn' int2str(a)]),1,2);'])%Varianza de las
filas de los histogramas de los cD LP para nivel 1
```

```

>>eval(['H3' int2str(a) '=eval(['MHavt' int2str(a)];)'])
>>H3=eval(['H3' int2str(a)]);
>>eval(['MHavtn' int2str(a) '=H3(:,[2:309]);'])%matriz MHavt nuevo nivel 1
>>eval(['MMHavtn' int2str(a) '=mean(eval(['MHavtn' int2str(a)]),2);'])%Medias de las
filas de los histogramas de los cA VT para el nivel 1
>>eval(['MedMHavtn' int2str(a) '=median(eval(['MHavtn' int2str(a)]),2);'])%Medianas de las
filas de los histogramas de los cA VT para nivel 1
>>eval(['ModMHavtn' int2str(a) '=mode(eval(['MHavtn' int2str(a)]),2);'])%Modas de las
filas de los histogramas de los cA VT para nivel 1
>>eval(['StdMHavtn' int2str(a) '=std(eval(['MHavtn' int2str(a)]),1,2);'])%Desviación estándar
de las filas de los histogramas de los cA VT para nivel 1
>>eval(['VarMHavtn' int2str(a) '=var(eval(['MHavtn' int2str(a)]),1,2);'])%Varianza de las
filas de los histogramas de los cA VT para nivel 1
>>eval(['H4' int2str(a) '=eval(['MHdvt' int2str(a)];)'])
>>H4=eval(['H4' int2str(a)]);
>>eval(['MHdvttn' int2str(a) '=H4(:,[2:309]);'])%matriz MHdvt nuevo nivel 1
>>eval(['MMHdvttn' int2str(a) '=mean(eval(['MHdvttn' int2str(a)]),2);'])%Medias de las
filas de los histogramas de los cd VT para el nivel 1
>>eval(['MedMHdvttn' int2str(a) '=median(eval(['MHdvttn' int2str(a)]),2);'])%Medianas de las
filas de los histogramas de los cd VT para nivel 1
>>eval(['ModMHdvttn' int2str(a) '=mode(eval(['MHdvttn' int2str(a)]),2);'])%Modas de las
filas de los histogramas de los cd VT para nivel 1
>>eval(['StdMHdvttn' int2str(a) '=std(eval(['MHdvttn' int2str(a)]),1,2);'])%Desviación estándar
de las filas de los histogramas de los cd VT para nivel 1
>>eval(['VarMHdvttn' int2str(a) '=var(eval(['MHdvttn' int2str(a)]),1,2);'])%Varianza de las
filas de los histogramas de los cd VT para nivel 1
>>else
>>eval(['H1' int2str(a) '=eval(['MHalp' int2str(a)];)'])
>>H1=eval(['H1' int2str(a)]);
>>eval(['MHalpn' int2str(a) '=H1(:,[2:349]);'])%matriz MHalp nuevo del nivel 2 al 3

```

```

>>eval(['MMHalpn' int2str(a) '=mean(eval(['MHalpn' int2str(a)]),2);'])%medias de las
filas de los histogramas de los cA LP desde el nivel 2 al 3

>>eval(['MedMHalpn' int2str(a) '=median(eval(['MHalpn' int2str(a)]),2);'])

>>eval(['ModMHalpn' int2str(a) '=mode(eval(['MHalpn' int2str(a)]),2);'])

>>eval(['StdMHalpn' int2str(a) '=std(eval(['MHalpn' int2str(a)]),1,2);'])

>>eval(['VarMHalpn' int2str(a) '=var(eval(['MHalpn' int2str(a)]),1,2);'])

>>eval(['H2' int2str(a) '=eval(['MHd1p' int2str(a)]);'])

>>H2=eval(['H2' int2str(a)]);

>>eval(['MHd1pn' int2str(a) '=H2(:, [2:349]);'])%matriz MHd1p nuevo del nivel 2 al 3

>>eval(['MMHd1pn' int2str(a) '=mean(eval(['MHd1pn' int2str(a)]),2);'])%Medias de las
filas de los histogramas de los cD LP desde el nivel 2 al 3

>>eval(['MedMHd1pn' int2str(a) '=median(eval(['MHd1pn' int2str(a)]),2);'])%Medianas de las
filas de los histogramas de los cD LP desde el nivel 2 al 3

>>eval(['ModMHd1pn' int2str(a) '=mode(eval(['MHd1pn' int2str(a)]),2);'])%Modas de las
filas de los histogramas de los cD LP desde el nivel 2 al 3

>>eval(['StdMHd1pn' int2str(a) '=std(eval(['MHd1pn' int2str(a)]),1,2);'])%Desviación estándar
de las filas de los histogramas de los cD LP desde el nivel 2 al 3

>>eval(['VarMHd1pn' int2str(a) '=var(eval(['MHd1pn' int2str(a)]),1,2);'])%Varianza de las
filas de los histogramas de los cD LP desde el nivel 2 al 3

>>eval(['H3' int2str(a) '=eval(['MHavt' int2str(a)]);'])

>>H3=eval(['H3' int2str(a)]);

>>eval(['MHavtn' int2str(a) '=H3(:, [2:309]);'])%matriz MHavt nuevo del nivel 2 al 3

>>eval(['MMHavtn' int2str(a) '=mean(eval(['MHavtn' int2str(a)]),2);'])%Medias de las
filas de los histogramas de los cA VT desde el nivel 2 al 3

>>eval(['MedMHavtn' int2str(a) '=median(eval(['MHavtn' int2str(a)]),2);'])%Medianas de las
filas de los histogramas de los cA VT desde el nivel 2 al 3

>>eval(['ModMHavtn' int2str(a) '=mode(eval(['MHavtn' int2str(a)]),2);'])%Modas de las
filas de los histogramas de los cA VT desde el nivel 2 al 3

>>eval(['StdMHavtn' int2str(a) '=std(eval(['MHavtn' int2str(a)]),1,2);'])%Desviación estándar
de las filas de los histogramas de los cA VT desde el nivel 2 al 3

>>eval(['VarMHavtn' int2str(a) '=var(eval(['MHavtn' int2str(a)]),1,2);'])%Varianza de las

```

```

filas de los histogramas de los cA VT desde el nivel 2 al 3

>>eval(['H4' int2str(a) '=eval(['MHdvt' int2str(a)];')
>>H4=eval(['H4' int2str(a)];
>>eval(['MHdvt' int2str(a) '=H4(:,[2:309]);'])%matriz MHdvt nuevo del nivel 2 al 3
>>eval(['MMHdvt' int2str(a) '=mean(eval(['MHdvt' int2str(a)]),2);'])%Medias de las
filas de los histogramas de los cD VT desde el nivel 2 al 3
>>eval(['MedMHdvt' int2str(a) '=median(eval(['MHdvt' int2str(a)]),2);'])%Medianas de las
filas de los histogramas de los cD VT desde el nivel 2 al 3
>>eval(['ModMHdvt' int2str(a) '=mode(eval(['MHdvt' int2str(a)]),2);'])%Modas de las
filas de los histogramas de los cD VT desde el nivel 2 al 3
>>eval(['StdMHdvt' int2str(a) '=std(eval(['MHdvt' int2str(a)]),1,2);'])%Desviación estándar
de las filas de los histogramas de los cD VT desde el nivel 2 al 3
>>eval(['VarMHdvt' int2str(a) '=var(eval(['MHdvt' int2str(a)]),1,2);'])%Varianza de las
filas de los histogramas de los cD VT desde el nivel 2 al 3

>>end

>>eval(['MTMHalpvt' int2str(a) '= [eval(['MMHalpn' int2str(a)])
eval(['MMHavtn' int2str(a)])];')
%matrices totales de las medias correspondientes a los cA de los lp y vt

>>eval(['MTMedHalpvt' int2str(a) '= [eval(['MedMHalpn' int2str(a)])
eval(['MedMHavtn' int2str(a)])];')
%matrices totales de las medianas correspondientes a los cA de los lp y vt

>>eval(['MTModHalpvt' int2str(a) '= [eval(['ModMHalpn' int2str(a)])
eval(['ModMHavtn' int2str(a)])];')
%matrices totales de las modas correspondientes a los cA de los lp y vt

>>eval(['MTStdHalpvt' int2str(a) '= [eval(['StdMHalpn' int2str(a)])
eval(['StdMHavtn' int2str(a)])];')
%matrices totales de las desviaciones estandar correspondientes a los cA de los lp y vt

>>eval(['MTVarHalpvt' int2str(a) '= [eval(['VarMHalpn' int2str(a)])
eval(['VarMHavtn' int2str(a)])];')
%matrices totales de las varianzas correspondientes a los cA de los lp y vt

>>eval(['MTMHd1pvt' int2str(a) '= [eval(['MMHd1pn' int2str(a)])
eval(['MMHdvt' int2str(a)])];')
%matrices totales de las media correspondientes a los cD de los lp y vt

>>eval(['MTMedHd1pvt' int2str(a) '= [eval(['MedMHd1pn' int2str(a)])
eval(['MedMHdvt' int2str(a)])];')

```

```

%matrices totales de las medianas correspondientes a los cD de los lp y vt
>>eval(['MTModHd1pvt' int2str(a) '=[eval(['ModMHd1pn' int2str(a)])
eval(['ModMHdvtn' int2str(a)])];'])
%matrices totales de las modas correspondientes a los cD de los lp y vt
>>eval(['MTStdHd1pvt' int2str(a) '=[eval(['StdMHd1pn' int2str(a)])
eval(['StdMHdvtn' int2str(a)])];'])
%matrices totales de las desviaciones estandar correspondientes a los cD de los lp y vt
>>eval(['MTVarHd1pvt' int2str(a) '=[eval(['VarMHd1pn' int2str(a)])
eval(['VarMHdvtn' int2str(a)])];'])
%matrices totales de las varianzas correspondientes a los cD de los lp y vt
>>end

>>clear H* MHalpn* MHd1pn* MHavtn* MHdvtn* Ecalp* Ecavt* Ecd1p* Ecdvt* MHalp* MHd1p* MHavt*
MHdvt* McAlp* McDvt* McAvt* McD1p* MMHalp* MMHavt* MMHd1p* MMHdvt* MedMHalpn* MedMHavtn*
MedMHd1pn* MedMHdvtn* ModMHalpn* ModMHavtn* ModMHd1pn* ModMHdvt* S* VarMHalpn* VarMHd1pn*
VarMHavtn* VarMHdvtn*

>>if a==3

>>clear a

>>save ([char(['medtenhisto'])])

>>end

```

## ANEXO F. Código rutina med

Para calcular las medidas de tendencia central y de dispersión de los valores proporcionales a las energías de los cA y cD de la estación de Cufiño se carga el archivo hienercAcD123lpvtcu.

```
>>load hienercAcD123lpvtan

>>for e=1:3

>>if e==1;

>>eval(['A' int2str(e) '=eval([''Ecalp'' int2str(e));'])%Esta matriz
guarda las energías correspondientes a los cA de los sismos LP

>>eval(['B' int2str(e) '=eval([''Ecdlp'' int2str(e));'])

>>eval(['C' int2str(e) '=eval([''Ecavt'' int2str(e));'])

>>eval(['D' int2str(e) '=eval([''Ecdvt'' int2str(e));'])

>>eval(['Mecalp' int2str(e) '=mean(A1);']);

>>eval(['Mecdlp' int2str(e) '=mean(B1);']);

>>eval(['Mecavt' int2str(e) '=mean(C1);']);

>>eval(['Mecdvt' int2str(e) '=mean(D1);']);

>>eval(['Medecalp' int2str(e) '=median(A1);']);

>>eval(['Medecdlp' int2str(e) '=median(B1);']);

>>eval(['Medecavt' int2str(e) '=median(C1);']);

>>eval(['Medecdvt' int2str(e) '=median(D1);']);

>>eval(['Moecalp' int2str(e) '=mode(A1);']);

>>eval(['Moecdlp' int2str(e) '=mode(B1);']);

>>eval(['Moecavt' int2str(e) '=mode(C1);']);

>>eval(['Moecdvt' int2str(e) '=mode(D1);']);

>>eval(['Stdecalp' int2str(e) '=std(A1,1,1);']);

>>eval(['Stdecdlp' int2str(e) '=std(B1,1,1);']);

>>eval(['Stdecavt' int2str(e) '=std(C1,1,1);']);
```

```

>>eval(['Stdecdrv' int2str(e) '=std(D1,1,1);']);
>>eval(['Varecalp' int2str(e) '=var(A1,1,1);']);
>>eval(['Varecdlp' int2str(e) '=var(B1,1,1);']);
>>eval(['Varecavt' int2str(e) '=var(C1,1,1);']);
>>eval(['Varecdvt' int2str(e) '=var(D1,1,1);']);

>>else

>>eval(['A' int2str(e) '=eval([''Ecalp'' int2str(e)));']);
>>eval(['B' int2str(e) '=eval([''Ecdlp'' int2str(e)));']);
>>eval(['C' int2str(e) '=eval([''Ecavt'' int2str(e)));']);
>>eval(['D' int2str(e) '=eval([''Ecdvt'' int2str(e)));']);

>>eval(['Mecalp' int2str(e) '=mean(eval([''A'' int2str(e)));']);
>>eval(['Mecdlp' int2str(e) '=mean(eval([''B'' int2str(e)));']);
>>eval(['Mecavt' int2str(e) '=mean(eval([''C'' int2str(e)));']);
>>eval(['Mecdvt' int2str(e) '=mean(eval([''D'' int2str(e)));']);

>>eval(['Medecalp' int2str(e) '=median(eval([''A'' int2str(e)));']);
>>eval(['Medecdlp' int2str(e) '=median(eval([''B'' int2str(e)));']);
>>eval(['Medecavt' int2str(e) '=median(eval([''C'' int2str(e)));']);
>>eval(['Medecdvt' int2str(e) '=median(eval([''D'' int2str(e)));']);

>>eval(['Moecalp' int2str(e) '=mode(eval([''A'' int2str(e)));']);
>>eval(['Moecdlp' int2str(e) '=mode(eval([''B'' int2str(e)));']);
>>eval(['Moecavt' int2str(e) '=mode(eval([''C'' int2str(e)));']);
>>eval(['Moecdvt' int2str(e) '=mode(eval([''D'' int2str(e)));']);

>>eval(['Stdecalp' int2str(e) '=std(eval([''A'' int2str(e))),1,1);']);
>>eval(['Stdecdlp' int2str(e) '=std(eval([''B'' int2str(e))),1,1);']);
>>eval(['Stdecavt' int2str(e) '=std(eval([''C'' int2str(e))),1,1);']);

```

```

>>eval(['Stdecdvt' int2str(e) '=std(eval(['D' int2str(e)],1,1);')]);
>>eval(['Varecalp' int2str(e) '=var(eval(['A' int2str(e)],1,1);')]);
>>eval(['Varecdlp' int2str(e) '=var(eval(['B' int2str(e)],1,1);')]);
>>eval(['Varecavt' int2str(e) '=var(eval(['C' int2str(e)],1,1);')]);
>>eval(['Varecdvt' int2str(e) '=var(eval(['D' int2str(e)],1,1);')]);
>>end

>>R1=eval(['Mecalp' int2str(e)]);%Vector fila
>>R1=R1(1,1:308);%Orden para reducir R1 de 348 elementos a 308
>>R1=R1';%Transpuesta de R1
>>R2=eval(['Mecavt' int2str(e)]);
>>R2=R2';
>>R3=eval(['Medecalp' int2str(e)]);
>>R3=R3(1,1:308);
>>R3=R3';
>>R4=eval(['Medecavt' int2str(e)]);
>>R4=R4';
>>R5=eval(['Moecalp' int2str(e)]);
>>R5=R5(1,1:308);
>>R5=R5';
>>R6=eval(['Moecavt' int2str(e)]);
>>R6=R6';
>>R7=eval(['Stdecalp' int2str(e)]);
>>R7=R7(1,1:308);
>>R7=R7';
>>R8=eval(['Stdecavt' int2str(e)]);
>>R8=R8';

```

```

>>R9=eval(['Varecalp' int2str(e)]);
>>R9=R9(1,1:308);
>>R9=R9';
>>R10=eval(['Varecavt' int2str(e)]);
>>R10=R10';
>>N1=eval(['Mecdlp' int2str(e)]);
>>N1=N1(1,1:308);
>>N1=N1';
>>N2=eval(['Mecdvt' int2str(e)]);
>>N2=N2';
>>N3=eval(['Medecd1p' int2str(e)]);
>>N3=N3(1,1:308);
>>N3=N3';
>>N4=eval(['Medecdvt' int2str(e)]);
>>N4=N4';
>>N5=eval(['Moecd1p' int2str(e)]);
>>N5=N5(1,1:308);
>>N5=N5';
>>N6=eval(['Moecdvt' int2str(e)]);
>>N6=N6';
>>N7=eval(['Stdec1p' int2str(e)]);
>>N7=N7(1,1:308);
>>N7=N7';
>>N8=eval(['Stdecvt' int2str(e)]);
>>N8=N8';

```

```

>>N9=eval(['Varecdlp' int2str(e)]);
>>N9=N9(1,1:308);
>>N9=N9';
>>N10=eval(['Varecdvt' int2str(e)]);
>>N10=N10';
>>eval(['MTMEcAlpvt' int2str(e) '=[R1 R2];'])%las primeras dos letras indican vector total(MT),
columnas impares corresponden a la medias de las energias cA, de los LPs y las pares a las
medias de las energias cA de los VTs
>>eval(['MTMedEcAlpvt' int2str(e) '=[R3 R4];'])
>>eval(['MTMoEcAlpvt' int2str(e) '=[R5 R6];'])
>>eval(['MTStdEcAlpvt' int2str(e) '=[R7 R8];'])
>>eval(['MTVarEcAlpvt' int2str(e) '=[R9 R10];'])
>>eval(['MTMEcDlpvt' int2str(e) '=[N1 N2];'])%las primeras dos letras indican vector total(MT),
columnas impares corresponden a la medias de las energias cD, de los LPs y las pares a las
medias de las energias cD de los VTs
>>eval(['MTMedEcDlpvt' int2str(e) '=[N3 N4];'])
>>eval(['MTMoEcDlpvt' int2str(e) '=[N5 N6];'])
>>eval(['MTStdEcDlpvt' int2str(e) '=[N7 N8];'])
>>eval(['MTVarEcDlpvt' int2str(e) '=[N9 N10];'])
>>end
>>clear A* B* C* D* E* R* N* Mecalp* Mecavt* Mecdlp* Mecdvt* Medecalp* Medecavt* Medecdip*
Medecdvt* Moecalp* Moecavt* Moecdip* Moecdvt* S* V* MHalp* MHavt* MHdip* MHdvt* Mc*
>>if e==3
>>clear e
>>save ([char(['eneran'])])
>>end

```

## ANEXO G. Código rutina poener

```
>>load datfin

>>whos

>>disp('Digite las siguientes opciones para elegir los datos a analizar');

>>disp('1)LPAN, 2)LPCU, 3)VTAN, 4)VTCU')

>>pause(1)

>>R=input('Digite la opcion a elegir:');

>>if R==1

>>col=input('Introduzca el numero de columnas de la matriz:');

>>N=input('Introduzca el nivel de descomposición a aplicar:');

>>w=input('Introduzca el nombre de la wavelet a utilizar para el análisis:', 's');

>>for e=1:col

>>if e==1

>>eval(['m' int2str(e) '= LPAN(:,e);']);

>>s=eval(['m' int2str(e)]);

>>eval(['C,L]= wavedec(s,N,w);');

>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);

>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);

>>eval(['Ea,Ed] = wenergy(C,L);');

>>eval(['Ea' int2str(e) '=Ea;']);

>>eval(['Ed' int2str(e) '=Ed;']);

>>End=eval(['Ed' int2str(e)]);

>>if N==1

>>Ena1=eval(['Ea' int2str(e)]);

>>End1=eval(['Ed' int2str(e)]);

>>end
```

```

>>if N==2

>>Ena2=eval(['Ea' int2str(e)]);
>>End2=eval(['Ed' int2str(e)]);
>>End2=End2(1,2);

>>end

>>if N==3

>>Ena3=eval(['Ea' int2str(e)]);
>>End3=eval(['Ed' int2str(e)]);
>>End3=End3(1,3);

>>end

>>else

>>eval(['m' int2str(e) '= LPAN(:,e);']);
>>s=eval(['m' int2str(e)]);
>>eval(['C,L]= wavedec(s,N,w);');
>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);
>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);
>>eval(['Ea,Ed] = wenergy(C,L);');
>>eval(['Ea' int2str(e) '=Ea;']);
>>eval(['Ed' int2str(e) '=Ed;']);
>>Ed=eval(['Ed' int2str(e)]);

>>if N==1

>>eval(['Eaa' int2str(e) '=eval([''Ea'' int2str(e)];')]);
>>eval(['Ena' int2str(N) '= [Ena1;eval([''Eaa'' int2str(e)])];']);
>>EA1lp=Ena1;

>>eval(['Edd' int2str(e) '=eval([''Ed'' int2str(e)];')]);

```

```

>>eval(['End' int2str(N) '= [End1;eval([''Edd'' int2str(e))];']);
>>ED1lp=End1;
>>end
>>if N==2
>>eval(['Eaa' int2str(e) '=eval([''Ea'' int2str(e))];']);
>>eval(['Ena' int2str(N) '= [Ena2;eval([''Eaa'' int2str(e))];']);
>>EA2lp=Ena2;
>>eval(['Edd' int2str(e) '=eval([''Ed'' int2str(e))];']);
>>Edd=eval(['Edd' int2str(e)]);
>>eval(['Edd' int2str(e) '=Edd(1,2);']);
>>eval(['End' int2str(N) '= [End2;eval([''Edd'' int2str(e))];']);
>>ED2lp=End2;
>>end
>>if N==3
>>eval(['Eaa' int2str(e) '=eval([''Ea'' int2str(e))];']);
>>eval(['Ena' int2str(N) '= [Ena3;eval([''Eaa'' int2str(e))];']);
>>EA3lp=Ena3;
>>eval(['Edd' int2str(e) '=eval([''Ed'' int2str(e))];']);
>>Edd=eval(['Edd' int2str(e)]);
>>eval(['Edd' int2str(e) '=Edd(1,3);']);
>>eval(['End' int2str(N) '= [End3;eval([''Edd'' int2str(e))];']);
>>ED3lp=End3;
>>end
>>end
>>end
>>end

```

```

>>if R==2

>>col=input('Introduzca el numero de columnas de la matriz:');

>>N=input('Introduzca el nivel de descomposición a aplicar:');

>>w=input('Introduzca el nombre de la wavelet a utilizar para el análisis:', 's');

>>for e=1:col

>>if e==1

>>eval(['m' int2str(e) '= LPCU(:,e);']);

>>s=eval(['m' int2str(e)]);

>>eval(['C,L]= wavedec(s,N,w);');

>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);

>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);

>>eval(['Ea,Ed] = wenergy(C,L);');

>>eval(['Ea' int2str(e) '=Ea;']);

>>eval(['Ed' int2str(e) '=Ed;']);

>>End=eval(['Ed' int2str(e)]);

>>if N==1

>>Ena1=eval(['Ea' int2str(e)]);

>>End1=eval(['Ed' int2str(e)]);

>>end

>>if N==2

>>Ena2=eval(['Ea' int2str(e)]);

>>End2=eval(['Ed' int2str(e)]);

>>End2=End2(1,2);

>>end

>>if N==3

```

```

>>Ena3=eval(['Ea' int2str(e)]);
>>End3=eval(['Ed' int2str(e)]);
>>End3=End3(1,3);
>>end
>>else
>>eval(['m' int2str(e) '= LPCU(:,e);']);
>>s=eval(['m' int2str(e)]);
>>eval(['C,L]= wavedec(s,N,w);');
>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);
>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);
>>eval(['Ea,Ed] = wenergy(C,L);');
>>eval(['Ea' int2str(e) '=Ea;']);
>>eval(['Ed' int2str(e) '=Ed;']);
>>Ed=eval(['Ed' int2str(e)]);
>>if N==1
>>eval(['Eaa' int2str(e) '=eval([''Ea'' int2str(e)]);']);
>>eval(['Ena' int2str(N) '= [Ena1;eval([''Eaa'' int2str(e)]);']);
>>EA1lp=Ena1;
>>eval(['Edd' int2str(e) '=eval([''Ed'' int2str(e)]);']);
>>eval(['End' int2str(N) '= [End1;eval([''Edd'' int2str(e)]);']);
>>ED1lp=End1;
>>end
>>if N==2
>>eval(['Eaa' int2str(e) '=eval([''Ea'' int2str(e)]);']);
>>eval(['Ena' int2str(N) '= [Ena2;eval([''Eaa'' int2str(e)]);']);
>>EA2lp=Ena2;

```

```

>>eval(['Edd' int2str(e) '=eval([''Ed'' int2str(e));']);
>>Edd=eval(['Edd' int2str(e)]);
>>eval(['Edd' int2str(e) '=Edd(1,2);']);
>>eval(['End' int2str(N) '= [End2;eval([''Edd'' int2str(e))];']);
>>ED2lp=End2;
>>end
>>if N==3
>>eval(['Eaa' int2str(e) '=eval([''Ea'' int2str(e));']);
>>eval(['Ena' int2str(N) '= [Ena3;eval([''Eaa'' int2str(e))];']);
>>EA3lp=Ena3;
>>eval(['Edd' int2str(e) '=eval([''Ed'' int2str(e));']);
>>Edd=eval(['Edd' int2str(e)]);
>>eval(['Edd' int2str(e) '=Edd(1,3);']);
>>eval(['End' int2str(N) '= [End3;eval([''Edd'' int2str(e))];']);
>>ED3lp=End3;
>>end
>>end
>>end
>>end
>>if R==3
>>col=input('Introduzca el numero de columnas de la matriz:');
>>N=input('Introduzca el nivel de descomposición a aplicar:');
>>w=input('Introduzca el nombre de la wavelet a utilizar para el análisis:', 's');
>>for e=1:col
>>if e==1

```

```

>>eval(['m' int2str(e) '= VTAN(:,e);']);
>>s=eval(['m' int2str(e)]);
>>eval(['C,L]= wavedec(s,N,w);');
>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);
>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);
>>eval(['Ea,Ed] = wenergy(C,L);');
>>eval(['Ea' int2str(e) '=Ea;']);
>>eval(['Ed' int2str(e) '=Ed;']);
>>End=eval(['Ed' int2str(e)]);
>>if N==1
>>Ena1=eval(['Ea' int2str(e)]);
>>End1=eval(['Ed' int2str(e)]);
>>end
>>if N==2
>>Ena2=eval(['Ea' int2str(e)]);
>>End2=eval(['Ed' int2str(e)]);
>>End2=End2(1,2);
>>end
>>if N==3
>>Ena3=eval(['Ea' int2str(e)]);
>>End3=eval(['Ed' int2str(e)]);
>>End3=End3(1,3);
>>end
>>else
>>eval(['m' int2str(e) '= VTAN(:,e);']);
>>s=eval(['m' int2str(e)]);

```

```

>>eval('C,L]= wavedec(s,N,w);');
>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);
>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);
>>eval('Ea,Ed] = wenergy(C,L);');
>>eval(['Ea' int2str(e) '=Ea;']);
>>eval(['Ed' int2str(e) '=Ed;']);
>>Ed=eval(['Ed' int2str(e)]);
>>if N==1
>>eval(['Eaa' int2str(e) '=eval([''Ea'' int2str(e)];');]);
>>eval(['Ena' int2str(N) '= [Ena1;eval([''Eaa'' int2str(e)']);]);]);
>>EA1vt=Ena1;
>>eval(['Edd' int2str(e) '=eval([''Ed'' int2str(e)];');]);
>>eval(['End' int2str(N) '= [End1;eval([''Edd'' int2str(e)']);]);]);
>>ED1vt=End1;
>>end
>>if N==2
>>eval(['Eaa' int2str(e) '=eval([''Ea'' int2str(e)];');]);
>>eval(['Ena' int2str(N) '= [Ena2;eval([''Eaa'' int2str(e)']);]);]);
>>EA2vt=Ena2;
>>eval(['Edd' int2str(e) '=eval([''Ed'' int2str(e)];');]);
>>Edd=eval(['Edd' int2str(e)]);
>>eval(['Edd' int2str(e) '=Edd(1,2);']);
>>eval(['End' int2str(N) '= [End2;eval([''Edd'' int2str(e)']);]);]);
>>ED2vt=End2;
>>end

```

```

>>if N==3
>>eval(['Eaa' int2str(e) '=eval([''Ea'' int2str(e));']);
>>eval(['Ena' int2str(N) '= [Ena3;eval([''Eaa'' int2str(e))];']);
>>EA3vt=Ena3;
>>eval(['Edd' int2str(e) '=eval([''Ed'' int2str(e));']);
>>Edd=eval(['Edd' int2str(e)]);
>>eval(['Edd' int2str(e) '=Edd(1,3);']);
>>eval(['End' int2str(N) '= [End3;eval([''Edd'' int2str(e))];']);
>>ED3vt=End3;
>>end
>>end
>>end
>>end
>>if R==4
>>col=input('Introduzca el numero de columnas de la matriz:');
>>N=input('Introduzca el nivel de descomposición a aplicar:');
>>w=input('Introduzca el nombre de la wavelet a utilizar para el análisis:', 's');
>>for e=1:col
>>if e==1
>>eval(['m' int2str(e) '= VTCU(:,e);']);
>>s=eval(['m' int2str(e)]);
>>eval(['[C,L]= wavedec(s,N,w);']);
>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);
>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);
>>eval(['[Ea,Ed] = wenergy(C,L);']);
>>eval(['Ea' int2str(e) '=Ea;']);

```

```

>>eval(['Ed' int2str(e) '=Ed;']);
>>End=eval(['Ed' int2str(e)]);
>>if N==1
>>Ena1=eval(['Ea' int2str(e)]);
>>End1=eval(['Ed' int2str(e)]);
>>end
>>if N==2
>>Ena2=eval(['Ea' int2str(e)]);
>>End2=eval(['Ed' int2str(e)]);
>>End2=End2(1,2);
>>end
>>if N==3
>>Ena3=eval(['Ea' int2str(e)]);
>>End3=eval(['Ed' int2str(e)]);
>>End3=End3(1,3);
>>end
>>else
>>eval(['m' int2str(e) '= VTCU(:,e);']);
>>s=eval(['m' int2str(e)]);
>>eval(['C,L]= wavedec(s,N,w);');
>>eval(['C' int2str(e) '=C;']);
>>eval(['L' int2str(e) '=L;']);
>>eval(['Ea,Ed] = wenergy(C,L);');
>>eval(['Ea' int2str(e) '=Ea;']);
>>eval(['Ed' int2str(e) '=Ed;']);

```

```

>>Ed=eval(['Ed' int2str(e)]);

>>if N==1

>>eval(['Eaa' int2str(e) '=eval([''Ea'' int2str(e));']);

>>eval(['Ena' int2str(N) '= [Ena1;eval([''Eaa'' int2str(e))];']);

>>EA1vt=Ena1;

>>eval(['Edd' int2str(e) '=eval([''Ed'' int2str(e));']);

>>eval(['End' int2str(N) '= [End1;eval([''Edd'' int2str(e))];']);

>>ED1vt=End1;

>>end

>>if N==2

>>eval(['Eaa' int2str(e) '=eval([''Ea'' int2str(e));']);

>>eval(['Ena' int2str(N) '= [Ena2;eval([''Eaa'' int2str(e))];']);

>>EA2vt=Ena2;

>>eval(['Edd' int2str(e) '=eval([''Ed'' int2str(e));']);

>>Edd=eval(['Edd' int2str(e)]);

>>eval(['Edd' int2str(e) '=Edd(1,2);']);

>>eval(['End' int2str(N) '= [End2;eval([''Edd'' int2str(e))];']);

>>ED2vt=End2;

>>end

>>if N==3

>>eval(['Eaa' int2str(e) '=eval([''Ea'' int2str(e));']);

>>eval(['Ena' int2str(N) '= [Ena3;eval([''Eaa'' int2str(e))];']);

>>EA3vt=Ena3;

>>eval(['Edd' int2str(e) '=eval([''Ed'' int2str(e));']);

>>Edd=eval(['Edd' int2str(e)]);

>>eval(['Edd' int2str(e) '=Edd(1,3);']);

```

```
>>eval(['End' int2str(N) '= [End3;eval([''Edd'' int2str(e)])];']);  
>>ED3vt=End3;  
>>end  
>>end  
>>end  
>>end  
>>clc  
>>clear a b e s R col N n w m* c* C* L* l* VTAN VTCU Ea* Ed* Ena* End*
```

## ANEXO H. Código rutina mtean

Esta rutina es para los valores de energías de los cA y cD que se derivan de la estación de Anganoy. Para recortar el número de elementos de las matrices que contienen los valores proporcionales a las energías de los cA y cD pertenecientes a la estación de Cufiño la rutina que se utiliza es mtecu, que tiene básicamente la misma estructura que esta rutina que se presenta aquí, con la diferencia de que el número de filas fue reducido a 302.

```
>>R1=EA11p;

>>R1=R1(1:308,1);

>>R2=EA1vt;

>>R3=EA21p;

>>R3=R3(1:308,1);

>>R4=EA2vt;

>>R5=EA31p;

>>R5=R5(1:308,1);

>>R6=EA3vt;

>>R7=ED11p;

>>R7=R7(1:308,1);

>>R8=ED1vt;

>>R9=ED21p;

>>R9=R9(1:308,1);

>>R10=ED2vt;

>>R11=ED31p;

>>R11=R11(1:308,1);

>>R12=ED3vt;

>>MTPEcAlpvt1=[R1 R2];

>>MTPEcAlpvt2=[R3 R4];

>>MTPEcAlpvt3=[R5 R6];
```

```
>>MTPEcDlpvt1=[R7 R8];  
>>MTPEcDlpvt2=[R9 R10];  
>>MTPEcDlpvt3=[R11 R12];  
>>clear R* E*
```

## ANEXO I. Código rutina graficar

Los archivos cargados en esta rutina corresponden a la estación de Anganoy. Para aplicar esta a los archivos de la estación de Cufiño se cargan los siguientes archivos MPElptcu, medtenhisto, enercu y hienercAcD123lpvtcu.

```
>>load MPElptan

>>load medtenhisto

>>load eneran

>>load hienercAcD123lpvtan

>>disp('Digite la opción a elegir para realizar su correspondiente gráfica')

>>pause(1)

>>disp('1)Media, 2)Mediana, 3)Moda, 4)Desviación Estándar, 5)Varianza, 6)Porcentaje de Energía')

>>O=input('Digite la opcion a elegir:');

>>if O==1

>>F1=figure(1);

>>x=MHalp1(:,1);k=MHavt1(:,1);

>>plot(x,MTMHalpvt1(:,1),'rx',k,MTMHalpvt1(:,2),'bo')

>>title('mhcA1')

>>F2=figure(2);

>>y=MHalp2(:,1);n=MHavt2(:,1);

>>plot(y,MTMHalpvt2(:,1),'rx', n,MTMHalpvt2(:,2),'bo')

>>title('mhcA2')

>>F3=figure(3);

>>z=MHalp3(:,1);l=MHavt3(:,1);

>>plot(z,MTMHalpvt3(:,1),'rx', l,MTMHalpvt3(:,2),'bo')

>>title('mhcA3')

>>F4=figure(4);
```

```

>>x1=MHd1p1(:,1);k1=MHdvt1(:,1);
>>plot(x1,MTMHd1pvt1(:,1),'rx', k1,MTMHd1pvt1(:,2),'bo')
>>title('mhcD1')
>>F5=figure(5);
>>y1=MHd1p2(:,1);n1=MHdvt2(:,1);
>>plot(y1,MTMHd1pvt2(:,1),'rx', n1,MTMHd1pvt2(:,2),'bo')
>>title('mhcD2')
>>F6=figure(6);
>>z1=MHd1p3(:,1);l1=MHdvt3(:,1);
>>plot(z1,MTMHd1pvt3(:,1),'rx', l1,MTMHd1pvt3(:,2),'bo')
>>title('mhcD3')
>>F7=figure(7);
>>j=1:308;
>>plot(j,MTMEcAlpvt1(:,1),'rx',j,MTMEcAlpvt1(:,2),'bo')
>>title('mecA1')
>>F8=figure(8);
>>plot(j,MTMEcAlpvt2(:,1),'rx', j,MTMEcAlpvt2(:,2),'bo')
>>title('mecA2')
>>F9=figure(9);
>>plot(j,MTMEcAlpvt3(:,1),'rx', j,MTMEcAlpvt3(:,2),'bo')
>>title('mecA3')
>>F10=figure(10);
>>plot(j,MTMEcDlpvt1(:,1),'rx', j,MTMEcDlpvt1(:,2),'bo')
>>title('mecD1')
>>F11=figure(11);
>>plot(j,MTMEcDlpvt2(:,1),'rx', j,MTMEcDlpvt2(:,2),'bo')

```

```

>>title('mecD2')

>>F12=figure(12);

>>plot(j,MTMEcdlpvt3(:,1),'rx', j,MTMEcdlpvt3(:,2),'bo')

>>title('mecD3')

>>hgsave([F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10 F11 F12],'mediacacd.fig','all');

>>clear MTPE*

>>end

>>if 0==2

>>F1=figure(1);

>>x=MHalp1(:,1);k=MHavt1(:,1);

>>plot(x,MTMedHalpvt1(:,1),'rx', k,MTMedHalpvt1(:,2),'bo')

>>title('medhcA1')

>>F2=figure(2);

>>y=MHalp2(:,1);n=MHavt2(:,1);

>>plot(y,MTMedHalpvt2(:,1),'rx', n,MTMedHalpvt2(:,2),'bo')

>>title('medhcA2')

>>F3=figure(3);

>>z=MHalp3(:,1);l=MHavt3(:,1);

>>plot(z,MTMedHalpvt3(:,1),'rx', l,MTMedHalpvt3(:,2),'bo')

>>title('medhcA3')

>>F4=figure(4);

>>x1=MHd1p1(:,1);k1=MHdvt1(:,1);

>>plot(x1,MTMedHd1pvt1(:,1),'rx', k1,MTMedHd1pvt1(:,2),'bo')

>>title('medhcD1')

>>F5=figure(5);

```

```

>>y1=MHd1p2(:,1);n1=MHdvt2(:,1);
>>plot(y1,MTMedHd1pvt2(:,1),'rx', n1,MTMedHd1pvt2(:,2),'bo')
>>title('medhcD2')
>>F6=figure(6);
>>z1=MHd1p3(:,1);l1=MHdvt3(:,1);
>>plot(z1,MTMedHd1pvt3(:,1),'rx', l1,MTMedHd1pvt3(:,2),'bo')
>>title('medhcD3')
>>F7=figure(7);
>>j=1:308;
>>plot(j,MTMedEcAlpvt1(:,1),'rx', j,MTMedEcAlpvt1(:,2),'bo')
>>title('mdecA1')
>>F8=figure(8);
>>plot(j,MTMedEcAlpvt2(:,1),'rx', j,MTMedEcAlpvt2(:,2),'bo')
>>title('mdecA2')
>>F9=figure(9);
>>plot(j,MTMedEcAlpvt3(:,1),'rx', j,MTMedEcAlpvt3(:,2),'bo')
>>title('mdecA3')
>>F10=figure(10);
>>plot(j,MTMedEcD1pvt1(:,1),'rx', j,MTMedEcD1pvt1(:,2),'bo')
>>title('mdecD1')
>>F11=figure(11);
>>plot(j,MTMedEcD1pvt2(:,1),'rx', j,MTMedEcD1pvt2(:,2),'bo')
>>title('mdecD2')
>>F12=figure(12);
>>plot(j,MTMedEcD1pvt3(:,1),'rx', j,MTMedEcD1pvt3(:,2),'bo')
>>title('mdecD3')

```

```

>>hgsave([F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10 F11 F12], 'medianacacd.fig', 'all');

>>clear MTPE*

>>end

>>if 0==3

>>F1=figure(1);

>>x=MHalp1(:,1);k=MHavt1(:,1);

>>plot(x,MTModHalpvt1(:,1), 'rx', k,MTModHalpvt1(:,2), 'bo')

>>title('modhcA1')

>>F2=figure(2);

>>y=MHalp2(:,1);n=MHavt2(:,1);

>>plot(y,MTModHalpvt2(:,1), 'rx', n,MTModHalpvt2(:,2), 'bo')

>>title('modhcA2')

>>F3=figure(3);

>>z=MHalp3(:,1);l=MHavt3(:,1);

>>plot(z,MTModHalpvt3(:,1), 'rx', l,MTModHalpvt3(:,2), 'bo')

>>title('modhcA3')

>>F4=figure(4);

>>x1=MHd1p1(:,1);k1=MHdvt1(:,1);

>>plot(x1,MTModHd1pvt1(:,1), 'rx', k1,MTModHd1pvt1(:,2), 'bo')

>>title('modhcD1')

>>F5=figure(5);

>>y1=MHd1p2(:,1);n1=MHdvt2(:,1);

>>plot(y1,MTModHd1pvt2(:,1), 'rx', n1,MTModHd1pvt2(:,2), 'bo')

>>title('modhcD2')

>>F6=figure(6);

```

```

>>z1=MHd1p3(:,1);l1=MHdvt3(:,1);
>>plot(z1,MTModHd1pvt3(:,1),'rx', l1,MTModHd1pvt3(:,2),'bo')
>>title('modhcD3')
>>F7=figure(7);
>>j=1:308;
>>plot(j,MTMoEcAlpvt1(:,1),'rx',j,MTMoEcAlpvt1(:,2),'bo')
>>title('moecA1')
>>F8=figure(8);
>>plot(j,MTMoEcAlpvt2(:,1),'rx', j,MTMoEcAlpvt2(:,2),'bo')
>>title('moecA2')
>>F9=figure(9);
>>plot(j,MTMoEcAlpvt3(:,1),'rx', j,MTMoEcAlpvt3(:,2),'bo')
>>title('moecA3')
>>F10=figure(10);
>>plot(j,MTMoEcDlpvt1(:,1),'rx', j,MTMoEcDlpvt1(:,2),'bo')
>>title('moecD1')
>>F11=figure(11);
>>plot(j,MTMoEcDlpvt2(:,1),'rx', j,MTMoEcDlpvt2(:,2),'bo')
>>title('moecD2')
>>F12=figure(12);
>>plot(j,MTMoEcDlpvt3(:,1),'rx', j,MTMoEcDlpvt3(:,2),'bo')
>>title('moecD3')
>>hgsave([F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10 F11 F12],'modcacd.fig','all');
>>clear MTPE*
>>end
>>if 0==4

```

```

>>F1=figure(1);
>>x=MHalp1(:,1);k=MHavt1(:,1);
>>plot(x,MTStdHalpvt1(:,1),'rx', k,MTStdHalpvt1(:,2),'bo')
>>title('stdhcA1')
>>F2=figure(2);
>>y=MHalp2(:,1);n=MHavt2(:,1);
>>plot(y,MTStdHalpvt2(:,1),'rx', n,MTStdHalpvt2(:,2),'bo')
>>title('stdhcA2')
>>F3=figure(3);
>>z=MHalp3(:,1);l=MHavt3(:,1);
>>plot(z,MTStdHalpvt3(:,1),'rx', l,MTStdHalpvt3(:,2),'bo')
>>title('stdhcA3')
>>F4=figure(4);
>>x1=MHd1p1(:,1);k1=MHdvt1(:,1);
>>plot(x1,MTStdHd1pvt1(:,1),'rx', k1,MTStdHd1pvt1(:,2),'bo')
>>title('stdhcD1')
>>F5=figure(5);
>>y1=MHd1p2(:,1);n1=MHdvt2(:,1);
>>plot(y1,MTStdHd1pvt2(:,1),'rx', n1,MTStdHd1pvt2(:,2),'bo')
>>title('stdhcD2')
>>F6=figure(6);
>>z1=MHd1p3(:,1);l1=MHdvt3(:,1);
>>plot(z1,MTStdHd1pvt3(:,1),'rx', l1,MTStdHd1pvt3(:,2),'bo')
>>title('stdhcD3')
>>F7=figure(7);

```

```

>>j=1:308;
>>plot(j,MTStdEcAlpvt1(:,1),'rx',j,MTStdEcAlpvt1(:,2),'bo')
>>title('stdecA1')
>>F8=figure(8);
>>plot(j,MTStdEcAlpvt2(:,1),'rx', j,MTStdEcAlpvt2(:,2),'bo')
>>title('stdecA2')
>>F9=figure(9);
>>plot(j,MTStdEcAlpvt3(:,1),'rx', j,MTStdEcAlpvt3(:,2),'bo')
>>title('stdecA3')
>>F10=figure(10);
>>plot(j,MTStdEcDlpvt1(:,1),'rx', j,MTStdEcDlpvt1(:,2),'bo')
>>title('stdecD1')
>>F11=figure(11);
>>plot(j,MTStdEcDlpvt2(:,1),'rx', j,MTStdEcDlpvt2(:,2),'bo')
>>title('stdecD2')
>>F12=figure(12);
>>plot(j,MTStdEcDlpvt3(:,1),'rx', j,MTStdEcDlpvt3(:,2),'bo')
>>title('stdecD3')
>>hgsave([F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10 F11 F12],'stdcacd.fig','all');
>>clear MTPE*
>>end
>>if 0==5
>>F1=figure(1);
>>x=MHalp1(:,1);k=MHavt1(:,1);
>>plot(x,MTVarHalpvt1(:,1),'rx', k,MTVarHalpvt1(:,2),'bo')
>>title('varhcA1')

```

```

>>F2=figure(2);
>>y=MHalp2(:,1);n=MHavt2(:,1);
>>plot(y,MTVarHalpvt2(:,1),'rx', n,MTVarHalpvt2(:,2),'bo')
>>title('varhcA2')
>>F3=figure(3);
>>z=MHalp3(:,1);l=MHavt3(:,1);
>>plot(z,MTVarHalpvt3(:,1),'rx', z,MTVarHalpvt3(:,2),'bo')
>>title('varhcA3')
>>F4=figure(4);
>>x1=MHd1p1(:,1);k1=MHdvt1(:,1);
>>plot(x1,MTVarHd1pvt1(:,1),'rx', k1,MTVarHd1pvt1(:,2),'bo')
>>title('varhcD1')
>>F5=figure(5);
>>y1=MHd1p2(:,1);n1=MHdvt2(:,1);
>>plot(y1,MTVarHd1pvt2(:,1),'rx', n1,MTVarHd1pvt2(:,2),'bo')
>>title('varhcD2')
>>F6=figure(6);
>>z1=MHd1p3(:,1);l1=MHdvt3(:,1);
>>plot(z1,MTVarHd1pvt3(:,1),'rx', l1,MTVarHd1pvt3(:,2),'bo')
>>title('varhcD3')
>>F7=figure(7);
>>j=1:308;
>>plot(j,MTVarEcAlpvt1(:,1),'rx',j,MTVarEcAlpvt1(:,2),'bo')
>>title('varecA1')
>>F8=figure(8);

```

```

>>plot(j,MTVarEcAlpvt2(:,1),'rx', j,MTVarEcAlpvt2(:,2),'bo')
>>title('varecA2')
>>F9=figure(9);
>>plot(j,MTVarEcAlpvt3(:,1),'rx', j,MTVarEcAlpvt3(:,2),'bo')
>>title('varecA3')
>>F10=figure(10);
>>plot(j,MTVarEcDlpvt1(:,1),'rx', j,MTVarEcDlpvt1(:,2),'bo')
>>title('varecD1')
>>F11=figure(11);
>>plot(j,MTVarEcDlpvt2(:,1),'rx', j,MTVarEcDlpvt2(:,2),'bo')
>>title('varecD2')
>>F12=figure(12);
>>plot(j,MTVarEcDlpvt3(:,1),'rx', j,MTVarEcDlpvt3(:,2),'bo')
>>title('varecD3')
>>hgsave([F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10 F11 F12],'varcacd.fig','all');
>>clear MTPE*
>>end
>>if 0==6
>>F1=figure(1);
>>x=1:308;
>>plot(x,MTPEcAlpvt1(:,1),'rx', x,MTPEcAlpvt1(:,2),'bo')
>>title('pecA1')
>>F2=figure(2);
>>plot(x,MTPEcAlpvt2(:,1),'rx', x,MTPEcAlpvt2(:,2),'bo')
>>title('pecA2')
>>F3=figure(3);

```

```

>>plot(x,MTPEcAlpvt3(:,1),'rx', x,MTPEcAlpvt3(:,2),'bo')
>>title('pecA3')
>>F4=figure(4);
>>plot(x,MTPEcDlpvt1(:,1),'rx', x,MTPEcDlpvt1(:,2),'bo')
>>title('pecD1')
>>F5=figure(5);
>>plot(x,MTPEcDlpvt2(:,1),'rx', x,MTPEcDlpvt2(:,2),'bo')
>>title('pecD2')
>>F6=figure(6);
>>plot(x,MTPEcDlpvt3(:,1),'rx', x,MTPEcDlpvt3(:,2),'bo')
>>title('pecD3')
>>hgsave([F1 F2 F3 F4 F5 F6],'pocacd.fig','all');
>>clear E* MTM*
>>end
>>clear F* k* x* y* z* 0 l* n* c j g h
>>clc

```

## ANEXO J. Código rutina grahis

```
>>load hienercAcD123lpvtan %Para los histogramas de los cA y cD de
la estación de Cufiño se carga el archivo hienercAcD123lpvtcu

>>F1=figure(1);

>>x1=MHalp1(:,1);

>>plot(x1,MHalp1(1:39,2:349),'rx','MarkerSize',4)

>>title('hcA1LP')

>>F2=figure(2);

>>y1=MHalp2(:,1);

>>plot(y1,MHalp2(1:28,2:349),'rx','MarkerSize',4)

>>title('hcA2LP')

>>F3=figure(3);

>>z1=MHalp3(:,1);

>>plot(z1,MHalp3(1:20,2:349),'rx','MarkerSize',4)

>>title('hcA3LP')

>>F4=figure(4);

>>x2=MHd1p1(:,1);

>>plot(x2,MHd1p1(1:39,2:349),'rx','MarkerSize',4)

>>title('hcD1LP')

>>F5=figure(5);

>>y2=MHd1p2(:,1);

>>plot(y2,MHd1p2(1:28,2:349),'rx','MarkerSize',4)

>>title('hcD2LP')

>>F6=figure(6);

>>z2=MHd1p3(:,1);

>>plot(z2,MHd1p3(1:20,2:349),'rx','MarkerSize',4)

>>title('hcD3LP')
```

```

>>F7=figure(7);
>>x3=MHavt1(:,1);
>>plot(x3,MHavt1(1:39,2:309),'bo','MarkerSize',4)
>>title('hcA1VT')
>>F8=figure(8);
>>y3=MHavt2(:,1);
>>plot(y3,MHavt2(1:28,2:309),'bo','MarkerSize',4)
>>title('hcA2VT')
>>F9=figure(9);
>>z3=MHavt3(:,1);
>>plot(z3,MHavt3(1:20,2:309),'bo','MarkerSize',4)
>>title('hcA3VT')
>>F10=figure(10);
>>x4=MHdvt1(:,1);
>>plot(x4,MHdvt1(1:39,2:309),'bo','MarkerSize',4)
>>title('hcD1VT')
>>F11=figure(11);
>>y4=MHdvt2(:,1);
>>plot(y4,MHdvt2(1:28,2:309),'bo','MarkerSize',4)
>>title('hcD2VT')
>>F12=figure(12);
>>z4=MHdvt3(:,1);
>>plot(z4,MHdvt3(1:20,2:309),'bo','MarkerSize',4)
>>title('hcD3VT')
>>F13=figure(13);

```

```

>>plot(x1,MHalp1(1:39,2:349),'rx','MarkerSize',4)
>>hold on
>>plot(x3,MHavt1(1:39,2:309),'bo','MarkerSize',4)
>>hold off
>>title('hcA1LPVT')
>>F14=figure(14);
>>plot(y1,MHalp2(1:28,2:349),'rx','MarkerSize',4)
>>hold on
>>plot(y3,MHavt2(1:28,2:309),'bo','MarkerSize',4)
>>hold off
>>title('hcA2LPVT')
>>F15=figure(15);
>>plot(z1,MHalp3(1:20,2:349),'rx','MarkerSize',4)
>>hold on
>>plot(z3,MHavt3(1:20,2:309),'bo','MarkerSize',4)
>>hold off
>>title('hcA3LPVT')
>>F16=figure(16);
>>plot(x2,MHd1p1(1:39,2:349),'rx','MarkerSize',4)
>>hold on
>>plot(x4,MHdvt1(1:39,2:309),'bo','MarkerSize',4)
>>hold off
>>title('hcD1LPVT')
>>F17=figure(17);
>>plot(y2,MHd1p2(1:28,2:349),'rx','MarkerSize',4)
>>hold on

```

```
>>plot(y4,MHdvt2(1:28,2:309),'bo','MarkerSize',4)
>>hold off
>>title('hcD2LPVT')
>>F18=figure(18);
>>plot(z2,MHd1p3(1:20,2:349),'rx','MarkerSize',4)
>>hold on
>>plot(z4,MHdvt3(1:20,2:309),'bo','MarkerSize',4)
>>hold off
>>title('hcD3LPVT')
>>hgsave([F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10 F11 F12 F13 F14 F15 F16 F17 F18],'histcAcD.fig','all')
>>clear E* M* x* y* z* F*
```

## ANEXO K. Código rutina simplificar

```
>>load MPElpvtan %Para la estación de Cufiño se carga el archivo MPElpvtcu
>>for a=1:3
>>if a==1
>>eval(['m' int2str(a) '=eval(['MTPEcAlpvt' int2str(a)]);'])
>>eval(['McAlpvt' int2str(a) '=mean(eval(['m' int2str(a)]));'])
>>eval(['DcAlpvt' int2str(a) '=std(eval(['m' int2str(a)]),1,1);'])
>>R=2*eval(['DcAlpvt' int2str(a)]);
>>eval(['RTN' int2str(a) '=eval(['McAlpvt' int2str(a)]-R;')]);
>>eval(['RTP' int2str(a) '=eval(['McAlpvt' int2str(a)]+R;')]);
>>f=size(eval(['MTPEcAlpvt' int2str(a)]));
>>fm=f(1,1);
>>RTN1=eval(['RTN' int2str(a)]);
>>RTN1=RTN1';
>>RTP1=eval(['RTP' int2str(a)]);
>>RTP1=RTP1';
>>RT=[RTN1 RTP1];
>>for e=1:fm
>>if m1(e,1)>=RT(1,1)& m1(e,1)<=RT(1,2)
>>if e==1
>>PEcAlp1=m1(e,1);
>>else
>>eval(['m' int2str(e) '=m1(e,1);'])
>>eval(['PEcAlp' int2str(a) '=[PEcAlp1;eval(['m' int2str(e)]);'])
>>end
>>end
```

```

>>if m1(e,2)>= RT(2,1) & m1(e,2)<=RT(2,2)

>>if e==1

>>PEcAvt1=m1(e,2);

>>else

>>eval(['m' int2str(e) '=m1(e,2);'])

>>eval(['PEcAvt' int2str(a) '=[PEcAvt1;eval(['m' int2str(e)])];'])

>>end

>>end

>>end

>>else

>>eval(['m' int2str(a) '=eval(['MTPEcAlpvt' int2str(a)];'])

>>eval(['McAlpvt' int2str(a) '=mean(eval(['m' int2str(a)]);')]

>>eval(['DcAlpvt' int2str(a) '=std(eval(['m' int2str(a)]),1,1);'])

>>R=2*eval(['DcAlpvt' int2str(a)]);

>>eval(['RTN' int2str(a) '=eval(['McAlpvt' int2str(a)]-R;')]

>>eval(['RTP' int2str(a) '=eval(['McAlpvt' int2str(a)]+R;')]

>>f=size(eval(['MTPEcAlpvt' int2str(a)]));

>>fm=f(1,1);

>>eval(['RTN' int2str(a) '=eval(['RTN' int2str(a)]);'])

>>RTN=eval(['RTN' int2str(a)]);

>>RTN=RTN';

>>eval(['RTN' int2str(a) '=RTN;'])

>>eval(['RTP' int2str(a) '=eval(['RTP' int2str(a)]);'])

>>RTP=eval(['RTP' int2str(a)]);

>>RTP=RTP';

>>eval(['RTP' int2str(a) '=RTP;'])

```

```

>>eval(['RT' int2str(a) '=[eval(['RTN' int2str(a)]) eval(['RTP' int2str(a)])];'])
>>RT=eval(['RT' int2str(a)]);
>>m=eval(['m' int2str(a)]);
>>for e=1:fm
>>if m(e,1)>= RT(1,1)& m(e,1)<=RT(1,2)
>>if e==1
>>eval(['PEcAlp' int2str(a) '=m(e,1);'])
>>else
>>eval(['m' int2str(e) '=m(e,1);'])
>>eval(['PEcAlp' int2str(a) '=[eval(['PEcAlp' int2str(a)]);eval(['m' int2str(e)])];'])
>>end
>>end
>>if m(e,2)>= RT(2,1) & m(e,2)<=RT(2,2)
>>if e==1
>>eval(['PEcAvt' int2str(a) '=m(e,2);'])
>>else
>>eval(['m' int2str(e) '=m(e,2);'])
>>eval(['PEcAvt' int2str(a) '=[ eval(['PEcAvt' int2str(a)]);eval(['m' int2str(e)])];'])
>>end
>>end
>>end
>>end
>>if a==1
>>eval(['m' int2str(a) '=eval(['MTPEcDlpvt' int2str(a)]);'])
>>eval(['McDlpvt' int2str(a) '=mean(eval(['m' int2str(a)]));'])

```

```

>>eval(['DcDlpvt' int2str(a) '=std(eval(['m' int2str(a)],1,1);')]
>>R=2*eval(['DcDlpvt' int2str(a)]);
>>eval(['RTN' int2str(a) '=eval(['McDlpvt' int2str(a)]-R;')]
>>eval(['RTP' int2str(a) '=eval(['McDlpvt' int2str(a)]+R;')]
>>f=size(eval(['MTPEcDlpvt' int2str(a)]));
>>fm=f(1,1);
>>RTN1=eval(['RTN' int2str(a)]);
>>RTN1=RTN1';
>>RTP1=eval(['RTP' int2str(a)]);
>>RTP1=RTP1';
>>RT=[RTN1 RTP1];
>>for e=1:fm
>>if m1(e,1)>=RT(1,1)& m1(e,1)<=RT(1,2)
>>if e==1
>>PEcDlp1=m1(e,1);
>>else
>>eval(['m' int2str(e) '=m1(e,1);'])
>>eval(['PEcDlp' int2str(a) '=[PEcDlp1;eval(['m' int2str(e)])];'])
>>end
>>end
>>if m1(e,2)>= RT(2,1) & m1(e,2)<=RT(2,2)
>>if e==1
>>PEcDvt1=m1(e,2);
>>else
>>eval(['m' int2str(e) '=m1(e,2);'])
>>eval(['PEcDvt' int2str(a) '=[PEcDvt1;eval(['m' int2str(e)])];'])

```

```

>>end

>>end

>>end

>>else

>>eval(['m' int2str(a) '=eval(['MTPEcDlpvt' int2str(a)]);'])

>>eval(['McDlpvt' int2str(a) '=mean(eval(['m' int2str(a)]));'])

>>eval(['DcDlpvt' int2str(a) '=std(eval(['m' int2str(a)]),1,1);'])

>>R=2*eval(['DcDlpvt' int2str(a)]);

>>eval(['RTN' int2str(a) '=eval(['McDlpvt' int2str(a)]-R;']);

>>eval(['RTP' int2str(a) '=eval(['McDlpvt' int2str(a)]+R;']);

>>f=size(eval(['MTPEcDlpvt' int2str(a)]));

>>fm=f(1,1);

>>eval(['RTN' int2str(a) '=eval(['RTN' int2str(a)]);'])

>>RTN=eval(['RTN' int2str(a)]);

>>RTN=RTN';

>>eval(['RTN' int2str(a) '=RTN;'])

>>eval(['RTP' int2str(a) '=eval(['RTP' int2str(a)]);'])

>>RTP=eval(['RTP' int2str(a)]);

>>RTP=RTP';

>>eval(['RTP' int2str(a) '=RTP;'])

>>eval(['RT' int2str(a) '= [eval(['RTN' int2str(a)]) eval(['RTP' int2str(a)])];'])

>>RT=eval(['RT' int2str(a)]);

>>m=eval(['m' int2str(a)]);

>>for e=1:fm

>>if m(e,1)>= RT(1,1)& m(e,1)<=RT(1,2)

```

```

>>if e==1
>>eval(['PEcDlp' int2str(a) '=m(e,1);'])
>>else
>>eval(['m' int2str(e) '=m(e,1);'])
>>eval(['PEcDlp' int2str(a) '=[eval(['PEcDlp' int2str(a)]);eval(['m' int2str(e)])];'])
>>end
>>end
>>if m(e,2)>= RT(2,1) & m(e,2)<=RT(2,2)
>>if e==1
>>eval(['PEcDvt' int2str(a) '=m(e,2);'])
>>else
>>eval(['m' int2str(e) '=m(e,2);'])
>>eval(['PEcDvt' int2str(a) '=[ eval(['PEcDvt' int2str(a)]);eval(['m' int2str(e)])];'])
>>end
>>end
>>end
>>end
>>end
>>end
>>clear m* R* f* e D* McAlpvt* McDlpvt* MTPEcAlpvt* MTPEcDlpvt*
>>if a==3
>>clear a
>>save ([char(['gsim'])])
>>end

```

## ANEXO L. Código rutina gra

```
>>load gsim

>>for a=1:3

>>if a==1

>>xa=size(eval(['PEcAlp' int2str(a)]));

>>xa=xa(1,1);

>>ya=size(eval(['PEcAvt' int2str(a)]));

>>ya=ya(1,1);

>>eval(['F' int2str(a) '=figure(a);'])

>>xa=1:xa; ya=1:ya;

>>plot(xa,eval(['PEcAlp' int2str(a)]),'rx','MarkerSize',5)

>>hold on

>>plot(ya,eval(['PEcAvt' int2str(a)]),'bo','MarkerSize',5)

>>hold off

>>title([char(['PecA' int2str(a)])])

>>xd=size(eval(['PEcDlp' int2str(a)]));

>>xd=xd(1,1);

>>yd=size(eval(['PEcDvt' int2str(a)]));

>>yd=yd(1,1);

>>eval(['F' int2str(a+3) '=figure(a+3);'])

>>xd=1:xd; yd=1:yd;

>>plot(xd,eval(['PEcDlp' int2str(a)]),'rx','MarkerSize',5)

>>hold on

>>plot(yd,eval(['PEcDvt' int2str(a)]),'bo','MarkerSize',5)

>>hold off

>>([char(['PecD' int2str(a)])])
```

```

>>else

>>xa=size(eval(['PEcAlp' int2str(a)]));

>>xa=xa(1,1);

>>ya=size(eval(['PEcAvt' int2str(a)]));

>>ya=ya(1,1);

>>eval(['F' int2str(a) '=figure(a);'])

>>xa=1:xa; ya=1:ya;

>>plot(xa,eval(['PEcAlp' int2str(a)]),'rx','MarkerSize',5)

>>hold on

>>plot(ya,eval(['PEcAvt' int2str(a)]),'bo','MarkerSize',5)

>>hold off

>>title([char(['PecA' int2str(a)])])

>>xd=size(eval(['PEcDlp' int2str(a)]));

>>xd=xd(1,1);

>>yd=size(eval(['PEcDvt' int2str(a)]));

>>yd=yd(1,1);

>>b=a+3;

>>eval(['F' int2str(b) '=figure(b);'])

>>xd=1:xd; yd=1:yd;

>>plot(xd,eval(['PEcDlp' int2str(a)]),'rx','MarkerSize',5)

>>hold on

>>plot(yd,eval(['PEcDvt' int2str(a)]),'bo','MarkerSize',5)

>>hold off

>>title([char(['PecD' int2str(a)])])

>>end

>>end

```

```
>>hgsave([F1 F2 F3 F4 F5 F6], 'POCAD.fig', 'all');
```

```
>>clear
```