

**ANÁLISIS SÍSMICO DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS DESDE 1993 HASTA
2013 DEL NIDO DE BUCARAMANGA POR MEDIO DE TRANSFORMADAS DE
FOURIER Y WAVELETS**

**ALEXANDRA BAYONA CASTILLO
RICARDO JAVIER CRUZ MENDEZ**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

**ANÁLISIS SÍSMICO DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS DESDE 1993 HASTA
2013 DEL NIDO DE BUCARAMANGA POR MEDIO DE TRANSFORMADAS DE
FOURIER Y WAVELETS**

ALEXANDRA BAYONA CASTILLO

RICARDO JAVIER CRUZ MENDEZ

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniería Civil

Director

DIEGO OVIEDO SALCEDO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, Mayo de 2014

DEDICATORIA

A Dios, por su acompañamiento y protección constante en mi vida y en la de mi familia; por fortalecer mi corazón, iluminar mi mente y mi camino para culminar satisfactoriamente ésta etapa.

A mis padres Miguel y Aurora, quienes han sido mis dos grandes pilares y han forjado los cimientos de mi vida; Son interminables las palabras de agradecimiento por todo lo que han hecho por mí. Sin embargo, de todo corazón, agradezco su apoyo incondicional, su amor, su comprensión y reconozco el sacrificio que han hecho por nosotros.

A mi novio, fuente de inspiración y motivación, gracias por su amor, inmensa comprensión, acompañamiento, buenos consejos y estímulo para finalizar satisfactoriamente esta etapa; gracias por ayudarme a creer y demostrarme que todo es posible en la vida, siempre y cuando me mentalice para ello.

Alexandra Bayona Castillo

Primeramente a Dios que ha sido el pilar en todo este proceso, y que me ha dado las herramientas y las capacidades para culminar esta etapa tan importante en la vida. A mi madre que nunca me ha dejado solo a pesar de tantos tropiezos, ella que es ese faro que ilumina mi camino y que batalla cada guerra junto a mí. A mi amada esposa e hijo con son el apoyo incondicional y el núcleo fundamental en mi vida, ellos que todas las noches de desvelos me acompañaron y que siempre tuvieron una sonrisa de aliento en los momentos difíciles

Ricardo Cruz Méndez

AGRADECIMIENTOS

Damos gracias a Dios por su inmensa bondad, por mantenernos firmes y protegernos en los momentos más difíciles sin desfallecer.

A nuestras familias por su apoyo incondicional en todo proyecto que emprendemos.

Al Ingeniero Diego Oviedo, director del proyecto, quien con su conocimiento y experiencia nos orientó e hizo un constante acompañamiento.

A la ingeniera Claudia Patricia Retamoso, por su inmensa colaboración para solicitar la información a la Red Sismológica Nacional de Colombia y por brindarnos apoyo siempre que lo necesitamos.

A la Red sismológica Nacional de Colombia por suministrar la información inicial para poder desarrollar el presente proyecto de grado.

A los docentes que hicieron parte de todo nuestro proceso de formación; y en general, a toda la comunidad Bolivariana que de una u otra forma nos han ayudado a fortalecernos como persona y a ser profesionales integrales.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	13
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GENERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
5. MARCO REFERENCIAL	20
5.1 MARCO CONCEPTUAL	20
5.2 MARCO TEÓRICO	24
5.3 MARCO LEGAL	32
6. METODOLOGÍA.....	37
6.1 RECOLECCIÓN DE DATOS.....	37
6.2 ORGANIZACIÓN DE DATOS	40
6.3 DISEÑO DE INTERFAZ DE USUARIO.....	44
6.4 GRÁFICAS GENERADAS	46
6.5 CREACIÓN DE MANUAL DE USUARIO V 1.0.....	47
7. RESULTADOS	48
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
8.1 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE VARIABLES.....	54
9. CONCLUSIONES.....	63
10. RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFÍA	65
WEBGRAFÍA.....	66
ANEXOS	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Sismicidad en Colombia.....	13
Figura 2 Descripción gráfica del comportamiento sísmico en el mundo.....	21
Figura 3 Acelerógrafo Kinematics K-2.....	22
Figura 4 Acelerógrafo.....	22
Figura 5 Epicentro e Hipocentro.....	23
Figura 6 Puente Tacoma Narrows.....	24
Figura 7 Efecto de resonancia.....	25
Figura 8 Resorte con oscilación forzada.....	26
Figura 9 Datos no estacionarios.....	28
Figura 10 Transformadas de Fourier.....	28
Figura 11 Espectro generado a partir de las transformadas de Fourier.....	29
Figura 12 Descomposición Wavelet.....	31
Figura 13 Escalograma tridimensional.....	32
Figura 14 Página principal RSNC.....	38
Figura 15.....	38
Figura 16 Formulario de Consulta RSNC.....	39
Figura 17 Resultado y descarga RSNC.....	39
Figura 18 Detalles del registro.....	40
Figura 19 Forma de guardar los archivos.....	41
Figura 20 Incluir datos a Excel.....	41
Figura 21 Importación de datos.....	42
Figura 22 Importación de datos.....	42
Figura 23 Aceleración en Excel.....	43
Figura 24 Inclusión del intervalo de tiempo.....	43
Figura 25 Cambio de unidades de aceleración.....	44
Figura 26 Wolfram Mathematica.....	45
Figura 27 Incluir datos en plantilla.....	45
Figura 28 Uso de la plantilla.....	46
Figura 29 Manual de usuario Seismic Graphs & Trans V1.0.....	47
Figura 30 Resumen de datos obtenidos.....	48
Figura 31 Acelerograma 05 de Enero de 2004.....	49
Figura 32 Espectro energético 05 de Enero de 2004.....	49
Figura 33 Transformadas de wavelets.....	51
Figura 34 Escalograma en 3D.....	51
Figura 35 Comparación entra la magnitud y los octavos de frecuencia dominantes EW.....	54

Figura 36 Comparación entra la magnitud y los octavos de frecuencia dominantes NS	55
Figura 37 Comparación entra la profundidad y los octavos de frecuencia dominantes EW	56
Figura 38 Comparación entra la profundidad y los octavos de frecuencia dominantes NS.....	57
Figura 39 Comparación entra la magnitud y frecuencia dominantes EW	58
Figura 40 Comparación entra la magnitud y frecuencia dominantes NS.....	59
Figura 41 Comparación entra la profundidad y frecuencia dominantes EW.....	60
Figura 42 Comparación entra la profundidad y frecuencia dominantes NS	61
Figura 43 Comparación entra la profundidad y Magnitud.....	62

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Manual de Usuario V 1.0 Seismic Graphs & Trans	67
Anexo 2 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 05/01/2004	67
Anexo 2 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 10/01/2004	73
Anexo 3 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 20/01/2004	77
Anexo 4 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 04/02/2004	82
Anexo 5 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 22/05/2004	87
Anexo 6 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 23/05/2004	92
Anexo 7 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 06/05/2004	97
Anexo 8 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 11/09/2004	102
Anexo 9 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 03/10/2004	106
Anexo 10 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 12/10/2004	111
Anexo 11 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 25/10/2004	115
Anexo 12 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 04/11/2004	120
Anexo 13 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 08/11/2004	126
Anexo 14 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 24/11/2004	131
Anexo 15 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 04/12/2004	135

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ANÁLISIS SISMICO DE LOS REGISTROS HISTÓRICOS DESDE 1993 HASTA 2013 DEL NIDO DE BUCARAMANGA POR MEDIO DE TRANSFORMADAS DE FOURIER Y WAVELETS

AUTORES: Andrea Alexandra Bayona Castillo & Ricardo Javier Cruz Méndez

FACULTAD: Ingeniería Civil

DIRECTOR: Diego Oviedo

RESUMEN

Una de las principales preocupaciones en Bucaramanga son los altos niveles de sismicidad a los que se ven sometidas las estructuras, producidos por las fallas Santa Marta- Bucaramanga y el nido sísmico de Los Santos; por cuanto es imperioso profundizar los estudios sísmicos y las diferentes afectaciones que presentan los espectros frecuenciales sobre las estructuras existentes en la ciudad. Este trabajo de grado, presenta un análisis completo de los fenómenos sísmicos presentados durante el periodo en el nido sísmico de los Santos. Los datos correspondientes a los eventos sísmicos fueron obtenidos en el catálogo de de RSNC disponible en línea. El análisis de los eventos sísmicos se realizó a partir del archivo de acelrograma no corregido obtenido en la red sismológica nacional de Colombia, haciendo uso del software Wolfram Mathematica se filtró la información y en primera instancia se determinó el Acelerograma del evento sísmico, como segunda instancia se realizó el análisis del evento sísmico mediante la transformada de Fourier logrando obtener los espectros energéticos los cuales permiten observar la existencia de frecuencias dominantes durante el transcurso de los eventos sísmicos pero no define la variabilidad de las mismas, en tercera instancia se realiza el análisis del evento sísmico mediante las transformadas de wavelets analizando el sismo y posteriormente realizar el cálculo de Escalograma en tres dimensiones en la que se observa el comportamiento de las pseudo frecuencias durante el transcurso del evento sísmico. Finalmente producto de la información obtenida se genera una base de datos fundada en el software Wolfram Mathematica que permite tener a disposición los frutos de este trabajo para posteriores estudios y la constante retro alimentación de la misma ampliando el rango de estudio y caracterización de los sismos a nivel local como nivel nacional según se requiera.

PALABRAS CLAVES: Evento sísmico, Nido sísmico, Transformadas de Fourier, Transformada de Wavelets

GRADE PROJECT GENERAL SUMMARY

TITLE: SEISMIC ANALYSIS OF HISTORICAL RECORDS FROM 1993 TO 2013 THE NEST BUCARAMANGA BY FOURIER TRANSFORMS AND WAVELETS

AUTHOR: Andrea Alexandra Bayona Castillo & Ricardo Javier Cruz Méndez

FACULTY: Civil Engineering

DIRECTOR: Diego Oviedo

ABSTRACT

One of the main concerns in Bucaramanga are high levels of seismicity which structures are subjected, produced by the Santa Marta-Bucaramanga fault and seismic nest of Los Santos; is imperative to achieve further seismic studies and the different effects that frequential spectra present on existing structures in the city. This degree work, presents a comprehensive analysis of seismic events during the period presented in the nest seismic of los santos. The corresponding seismic events data were obtained in the catalog of RSNC available online. The analysis of seismic events was based from the not corrected acelerogram file, obtained in the national seismic network of Colombia, using the software Wolfram Mathematica the information was filtered in the first instance was determined the acelerogram of the seismic event, in the second instance was performed the seismic event analysis by the transformation of Fourier managing to obtain energy spectra which allow observing the existence of frequencies dominant during the course of the seismic events but does not define the same variability in third instance the analysis of the seismic event is done by wavelet transforms earthquake and subsequently analyzing the calculation of three-dimensional Scalogram which observed the behavior of the pseudo frequencies during the course of the seismic event. finally thanks to the obtain information it is generated a database based on the software Wolfram Mathematica which allows to make available the fruits of this work for further studies and the corresponding feedback of it, extending the range of study and characterization of earthquakes at locally and nationally as required.

KEYWORDS: seismic event , seismic nest , Fourier , Wavelet transformed

INTRODUCCIÓN

Colombia se encuentra “localizada en el Anillo Sísmico Circumpacífico, el cual bordea el océano pacífico y es una de las zonas sísmicamente más activas de la tierra, donde ocurren la mayoría de sismos que se registran en el mundo. En el territorio nacional se hallan 3 placas tectónicas de suma importancia a nivel mundial”¹, las cuales son la Placa Sudamericana, la Placa de Nazca y la Placa Caribe.

A lo anterior se le debe agregar el hecho de que el área metropolitana de Bucaramanga, se encuentra en una zona cuyo riesgo sísmico es alto, ya que buena parte del “territorio santandereano está amenazado por choques tectónicos”² entre las placas nombradas en el primer párrafo.

En definitiva todos los municipios del departamento se encuentran ante la amenaza de movimientos telúricos, la mayor actividad sísmica se centran en un sitio denominado “nido o enjambre sísmico de Bucaramanga el cual tiene epicentro a 150 km de profundidad y a 50 km al sur de Bucaramanga entre las poblaciones de Umpalá y Cepitá ubicadas en el Cañón del Chicamocha en donde la RSNC (Red Sismológica Nacional de Colombia) registra un promedio de 5 sismos diarios”³, aunque esta actividad por lo general no hace parte de los catalogados sismos destructores.

Por ello se hace primordial la realización de un estudio que dé a conocer la relación de los acelerogramas de los sismos producidos en el nido de Bucaramanga, con sus respectivas transformadas de Fourier y wavelets para de esta manera lograr determinar frecuencias y obtener una frecuencia concurrente que permita concluir objetivamente sobre cuáles son las características de las estructuras más afectadas por los sismos de dicha zona y basado en esto poder tomar medidas preventivas al respecto de la situación problemática que pone en peligro a la población de estos municipios.

¹ http://camacol.co/sites/default/files/manual_sismoresistencia.pdf

² http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-02832010000100006&script=sci_arttext

³ <http://www.sgc.gov.co/Servicios-de-informacion-al-ciudadano/Preguntas-y-Respuestas-Frecuentes/Red-Sismologica-Nacional-de-Colombia-RSNC.aspx?page=2>

1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Colombia es un país que presenta gran dinamismo sísmico en la mayoría de su territorio. “La zona andina es en sí una zona de riesgo sísmico”⁴. Los sismos hacia la zona del pacífico, sur y centro occidente son los más intensos, tal como se muestra en la figura 1.

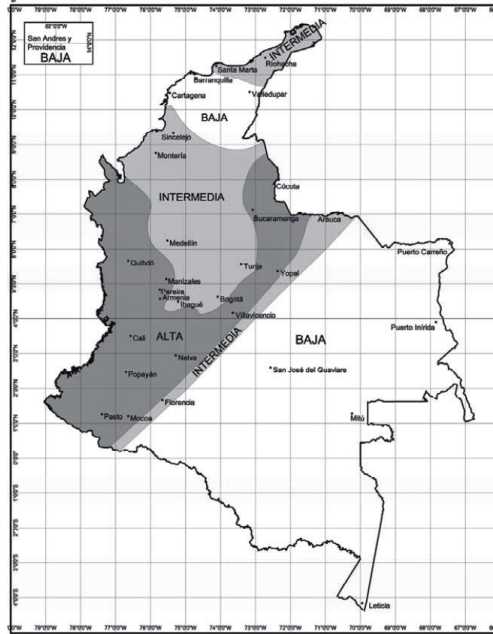


Figura 1 Sismicidad en Colombia
Fuente: Ingeominas

La zona oriental de los Santanderes tiene un grado de sismicidad alta según lo indicado en la imagen de Ingeominas. Además, “el 86% de los colombianos se encuentran bajo un nivel de amenaza sísmica apreciable: en zonas de amenaza alta aparecen cerca de 475 municipios con el 35% de los habitantes; en zonas de amenaza intermedia 435 municipios con el 51% de la población; y en zonas de amenaza baja 151 municipios con aproximadamente el 14% de los colombianos”⁵.

⁴ PINTO DE HART, Martha. Panorama de la construcción en Colombia. Presentación ante el LXIII de Consejo Directivo FIIC. CAMACOL, 2010. Citado el 02 de Octubre de 2013

⁵ DUQUE, Gonzalo. Actividad sísmica en Colombia. En línea. Disponible en web: [<http://www.bdigital.unal.edu.co/1685/1/gonzaloduqueescobar.201019.pdf>]. Citado el 02 de Octubre de 2013

Sin embargo, para que exista un riesgo se deben tener en cuenta la amenaza que en este caso es la alta actividad sísmica y una vulnerabilidad, la cual se relaciona directamente con el tipo de edificaciones construidas en dichas regiones.

En el país se han registrado cuatro eventos sísmicos muy fuertes que han afectado de forma catastrófica a los habitantes de esas zonas, los cuales fueron:

“Tumaco. Este movimiento telúrico acompañado de un tsunami ocurrió el 12 de diciembre de 1979. Tuvo una magnitud de 7,9 en la escala de Richter. Un mes antes, el 23 de noviembre del mismo año, un sismo de 6,7 había sacudido la zona de Tumaco y otras poblaciones costeras, lo que dejó un saldo de 44 muertos.

Popayán. Se registró el 31 de marzo de 1983. Tuvo una magnitud de 5,5 en la escala de Richter. Causó la muerte a 197 personas. Destruyó 15.000 casas.

Municipio de Páez. Afectó a 37 municipios de Cauca y Huila. Hubo 556 muertos, en su mayoría indígenas del pueblo nasa. 45.000 personas quedaron damnificadas. Al menos 5.276 casas destruidas y 8.341 averiadas. La magnitud fue de 6,4. Ocurrió el 6 de junio de 1994.

Eje Cafetero. Ocurrió el 25 de enero de 1999. Destruyó a Armenia y otras poblaciones del Quindío. También ocasionó daños en Pereira. Registró una magnitud de 6,2. El saldo fue de 1.230 muertos, 5.300 heridos y 200.000 personas damnificadas”⁶.

De acuerdo al recorrido histórico anterior y con el fin de mitigar la vulnerabilidad a la que estaban expuestas la mayoría de la población colombiana, el gobierno estableció por medio de la ley 400 de 1997 normas de sismo resistencia para que se cumplieran por parte de los constructores.

Al siguiente año, se publicó la norma de sismo resistencia NSR98, pero esto no impidió la ocurrencia del evento de gran afectación en Colombia (Eje Cafetero, 1999).

En el año 2010, se realizó una actualización del reglamento sismo resistente denominado: NSR10, la cual permanece en vigencia actualmente. “El capítulo A de

⁶ HERNANDEZ, Mauricio. Terremotos más fuertes en Colombia. EN: El Pais.com. Disponible en web: [<http://historico.elpais.com.co/historico/ago172007/INT/hd02.html>]. Citado el 04 de Octubre de 2013

dicha norma, establece los requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente, al igual que los coeficientes sísmicos”⁷.

Por otra parte, en el ámbito académico y de investigación, ha surgido gran interés en el estudio de las respuestas de las edificaciones ante excitaciones sísmicas, con el fin de evitar el fenómeno de resonancia “un cuerpo capaz de vibrar es sometido a la acción de una fuerza periódica, cuyo periodo de vibración se acerca al periodo de vibración natural”⁸.

“Este tipo de análisis ha utilizado las teorías desarrolladas por [Fourier, 1807] para extraer de los registros en el tiempo de una señal (vibración) las frecuencias dominantes y por tanto los periodos de vibración”⁹.

La transformada de Fourier es una herramienta que se encuentra limitada para determinar las frecuencias dominantes y la resolución en el tiempo de manera simultánea- Sin embargo, existen unas transformadas matemáticas más recientes, denominadas Transformadas wavelets, las cuales proporcionan a partir de una señal registrada, su contenido frecuencial a lo largo del tiempo.

La Facultad de ingeniería civil de la universidad Pontificia Bolivariana, con el fin de aportar en el proceso cognitivo y aprovechando “la riqueza de información que suministra el nido sísmico de Bucaramanga”¹⁰, ha planteado una serie de investigaciones en este campo.

A pesar que las transformadas wavelets son de gran utilidad en el campo de la geofísica, las investigaciones y estudios que hacen uso de ellas son muy remotos; por tal motivo, surge la necesidad de realizar un análisis espectral de los registros sísmicos históricos del nido Bucaramanga, aplicando las transformadas de Fourier y Wavelets.

⁷COLOMBIA. Sociedad colombiana de Geotecnia. Norma NSR 2010. Disponible en web:[<http://www.scg.org.co/Titulo-A-NSR-10-Decreto%20Final-2010-01-13.pdf>]. Citado el 10 de Octubre de 2013

⁸ íbid

⁹ OVIEDO, Diego. Transformada wavelet de las señales sísmicas provenientes del Nido de Bucaramanga. VI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Pag. 791

¹⁰ Op cit. Pag 793

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- ✚ Realizar un análisis sísmico de los registros históricos de la Red Nacional de Acelerógrafos del nido de Bucaramanga, por medio de la construcción de transformadas de Fourier y Wavelets, con el fin de caracterizar el comportamiento de los espectros sísmicos en el tiempo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✚ Recolectar información de eventos sísmicos registrados en el nido de Bucaramanga, con el fin de organizarlos y depurarlos para su posterior análisis.
- ✚ Analizar todos los registros sísmicos del nido de Bucaramanga, suministrados por la red Nacional de Acelerógrafos por medio de las transformadas de Fourier y Wavelets.
- ✚ Investigar si se pueden establecer patrones que tengan algún tipo de correlación entre la frecuencia y el tiempo.
- ✚ Caracterizar el contenido frecuencial de cada registro sísmico proveniente del nido de Bucaramanga, usando herramientas computacionales como lo es el software Wolfram Mathematica.
- ✚ Diseñar una interfaz de usuario que permita suministrar la información requerida y al mismo tiempo pueda ser alimentada con eventos futuros; con el fin de entregar una caracterización organizada del evento sísmico de búsqueda.

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el diseño sismo resistente es una práctica que cada vez se toma con más seriedad, innovando en el uso de nuevas tecnologías y métodos que permiten optimizar el proceso de creación de edificaciones sismo-resistentes y de predicción de la respuesta de estas ante diferentes eventos sísmicos.

El fundamento de esta metodología de diseño, es el de “conocer las vibraciones naturales de la estructura y evitar que estas coincidan con las vibraciones producidas por el espectro sísmico, de esta forma se evita la resonancia magnética”¹¹ en el cual las vibraciones externas coinciden con las de la estructura ocasionando un fallo del sistema estructural.

El área metropolitana de Bucaramanga es una zona de alta amenaza sísmica sobre la cual actúan los Sistemas sísmicos de Bucaramanga – Santa Marta, Sistema Soapaga – Suárez, Falla del Río de Oro, Falla Suratá, Falla Quebrada La Iglesia, Falla Carrera 17. Generando constante movimientos sísmicos, sometiendo las estructuras a constantes estados de excitación dinámica como consecuencia de los espectros creados por los movimientos del suelo de fundación.

El problema radica en que para el diseño sismo resistente se toma como referencia uno de los acelerogramas de los sismos más representativos, pero no se evalúan los efectos de toda la gama de movimientos que se han presentado a la fecha y como la variación de cualquiera de sus patrones (aceleración, periodo o frecuencia) puede afectar diferentes tipos de estructuras y de formas no previstas.

Se requiere entonces llevar a cabo un análisis espectral sobre las totalidad de las señales sísmicas presentadas en el nido sísmico de Bucaramanga, los cual se desarrollan normalmente mediante el uso de las teorías desarrolladas por [Fourier, 1807] para extraer de los registros en el tiempo de una señal (vibración) las frecuencias dominantes y por tanto los períodos de vibración. Sin embargo las teorías desarrolladas por Fourier conocidas formalmente como transformadas de Fourier TF, tiene una limitante y es que no permite observar el comportamiento de la frecuencia de la señal sísmica en el tiempo sino que solamente reconoce los picos de la misma; de esta forma se hace más práctico implementar también el uso de las transformadas de Wavelets las cuales permiten observar el desarrollo de la frecuencia en el tiempo de la señal sísmica.

¹¹ OVIEDO, Diego. Transformada wavelet de las señales sísmicas provenientes del Nido de Bucaramanga. VI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Pag. 791

4. ESTADO DEL ARTE

Aunque fue el matemático húngaro Alfred Haar en el año 1909 quien utilizó y descubrió las transformadas wavelets, este lo hizo sin saberlo. Sin embargo “fue solo hasta el año de 1981 cuando el ingeniero Jean Morlet descubre cómo llegar a descomponer ciertas señales sísmicas en algo que denomina wavelets de forma constante y en 1984 con ayuda del físico cuántico Alex Grossman”¹², Morlet termina su modelo y permite la aparición del término wavelet por vez primera.

Desde su aparición las wavelets han tenido múltiples aplicaciones que comprenden múltiples ramas de la física, como lo son la astrofísica, la geofísica de los sismos, la óptica, el estudio de las turbulencias y la mecánica cuántica, entre otros, como lo es el procesamiento digital de imágenes y los electrocardiogramas.

Gracias a su versatilidad y la notable ventaja que representa el análisis de las señales en el dominio del tiempo y la frecuencia, las wavelets han sido utilizadas incluso por el FBI en el año de 1992 para comprimir su base de datos de huellas dactilares.

La profundización en el tema sísmico, en el año 2005 la asociación española de ingeniería mecánica representada por M. Algaba, desarrolló un estudio de la detección de daño en estructuras mediante la aplicación de la transformada wavelet a su deflexión estática, como propuesta de desarrollo de nuevas tecnologías que permitan detectar con tiempo prudente los daños en ciertas edificaciones¹³.

De igual manera desde el año 1993 a la actualidad la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)¹⁴ ha venido desarrollando unos algoritmos de clasificación automática de eventos sísmicos de origen volcánico y aunque se han estudiado varios volcanes, el más representativo ha sido el Popocatepetl (México).

¹² YAMASAKIMAZA, Leonardo. Transformadas wavelets y el diseño sismorresistente. En línea. Disponible en web:[<http://leonardo.yamasakimaza.org/doctorado/wavelet/reporte-waveletLYM.pdf>]. Citado el 10 de Septiembre de 2013

¹³ RODRIGUEZ, Adolfo. VI congreso de construcción. En línea. Disponible en web:[<http://www.uclm.es/actividades/2010/CongresoIIM/pdf/cdarticulos/050.pdf>]. Citado el 10 de Septiembre de 2013

¹⁴ LARA, Adriana. Eventos sísmicos. En línea. Disponible en web:[http://www.minas.upm.es/fundacion/jgs/index.php?option=com_content&view=article&id=111:00b01&catid=14:sample-data-articles&Itemid=272&lang=es]. Citado el 10 de Septiembre de 2013

En el ámbito nacional, la Ingeniera Civil Ana María Moros Vivas, desarrollo un trabajo de grado basado en la “caracterización de señales de precipitación mediante la transformada de Fourier y transformada Wavelet”¹⁵, para la Universidad Pontificia Javeriana en la ciudad de Bogotá, el cual tuvo como objetivo construir herramientas que faciliten el análisis de series de tiempo y campos de precipitación.

De igual manera en la Universidad Pontificia Bolivariana se han venido adelantando ciertas investigaciones. Que parten de estudios geoestadísticos como los que desarrollaron Oviedo y García en el presente año y finalmente el estudio del contenido frecuencial de los sismos originados en el nido de Bucaramanga haciendo uso de la información suministrada por dicho sector en la capital santandereana.

¹⁵ MOROS, Ana María. Caracterización de señales de precipitación. En línea. Disponible en web:[<http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis334.pdf>]. Citado el 14 de Septiembre de 2013.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 MARCO CONCEPTUAL

5.1.1 Sismo¹⁶ : Un sismo se puede describir como un movimiento convulsivo que se origina en el interior de la tierra, gracias a las placas terrestres, generando una fuerte liberación de energía que en muchos casos implica cierta destrucción, dicha energía se propaga por medio de ondas sísmicas que producen el movimiento del terreno, ocasionando que la superficie terrestre soporte terremotos o si dicho movimiento se hace de forma acuática pues se generen Tsunamis.

5.1.2 Sismología¹⁷ : Rama de la geofísica encargada del estudio de todas las características y temas relacionados con los sismos, terremotos y la propagación de las ondas sísmicas generadas en el interior de la tierra, dichas características pueden ser la fuente que los produce, su localización, orientación, tamaño, las ondas elásticas que generan, su modo de propagación, dispersión, amplitudes y el medio físico en el que están inmersas dichas ondas.

De igual manera la sismología estudia las posibles causas del terremoto o movimiento tectónico, en pos de ayudar a la predicción y prevención de eventos posteriores en el área afectada y para ello recurre a la elaboración de modelos realistas que permitan dar a conocer detalles tanto de las ondas sísmicas como de la fuente sísmica (ver figura 2).

¹⁶ [Sin autor]. Diccionario ABC. Disponible en web:[<http://www.definicionabc.com/geografia/sismo.php#ixzz2mOEvRZvo>]. Citado el 03 de Octubre de 2013

¹⁷ BAEZ, Armando. Análisis de estructuras II. En línea. Disponible en web:[http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/civil/analisisestructuralII/GuiaDeEstudio/PDF/Unidad_1_01.pdf]. Citado el '4 de Octubre de 2013

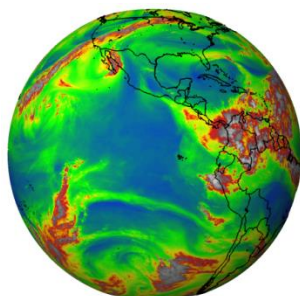


Figura 2 Descripción gráfica del comportamiento sísmico en el mundo
Fuente: PEÑA, José¹⁸

5.1.3 Red sismológica nacional de Colombia¹⁹: Es una institución gubernamental que representa el sistema nacional para la atención y prevención de desastres y su principal objetivo es alertar de manera anticipada cualquier movimiento tectónico o evento sísmico en territorio nacional y de igual manera promueve y lidera las investigaciones sismológicas en toda Colombia. En la actualidad la institución está compuesta de 50 estaciones sismológicas, que permiten obtener datos en tiempo real y vía satelital de diferentes sitios con tendencia sísmica en el país.

5.1.4 Red nacional de acelerógrafos de Colombia²⁰: Esta institución tiene como objetivo primordial el registro de la mayoría de sismos en específico los de mayor magnitud y relevancia en el territorio nacional.

Dicha información que se registra, es la principal fuente que alimenta la construcción de leyes de atenuación de las ondas sísmicas en Colombia, buscando reducir la amenaza sísmica nacional.

De igual manera en la red nacional de acelerógrafos de Colombia se llevan a cabo estudios de las principales ciudades con respecto al comportamiento de los suelos y la posible ocurrencia de movimientos tectónicos. La relevancia de estos estudios yace en identificar de manera apropiada el grado de respuesta sísmica de las construcciones en el país.

¹⁸ PEÑA, José. Análisis sísmico. En línea. Disponible en web:[<http://www.dgf.uchile.cl/mmc/>]. Citado el 04 de Octubre de 2013

¹⁹ COLOMBIA. Ministerio de minas. Quiénes somos. En línea. Disponible en web:[<http://seisan.ingeminas.gov.co/RSNC/>]. Citado el 05 de Octubre de 2013-

²⁰ Íbid.

Usualmente los estudios se llevan a cabo con la instalación de acelerógrafos en roca y en suelo, pero, de igual manera existen redes locales de acelerómetros en las ciudades más pobladas del país, para así lograr un registro detallado que dé a conocer la respuesta sísmica de los diferentes suelos colombianos (ver figura3).

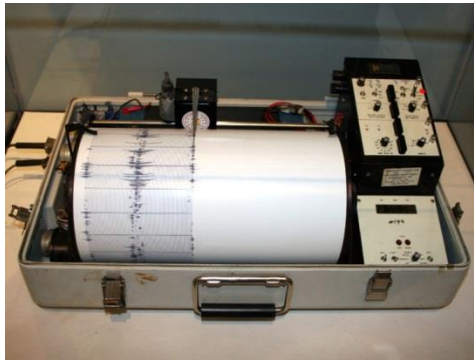


Figura 3 Acelerógrafo Kinometrics K-2

Fuente: Universidad nacional autónoma de México²¹

5.1.5 Acelerógrafo²²: Dispositivo que mide la aceleración del suelo o la magnitud de la fuerza que actúa sobre alguna edificación en un evento sísmico, los acelerógrafos fueron construidos para ayudar a explicar a la ingeniería sísmica las fuerzas que interactúan en una edificación, de igual manera, estos instrumentos trabajan al ser excitados por una onda sísmica registrando a alta velocidad las fuerzas que emite. Y a partir de esta información se pueden obtener registros de velocidad y de desplazamiento de las ondas (ver figura 4).



Figura 4 Acelerógrafo

Fuente: Universidad nacional autónoma de México

²¹ MÉXICO. Universidad Nacional Autónoma. Departamento de geofísica. En línea. Disponible en web:[<http://secre.ssn.unam.mx/SSN/instrumentacion3.html>]. Citado el 08 de Octubre de 2013

²² MÉXICO. Universidad Nacional Autónoma. Departamento de geofísica. En línea. Disponible en web:[http://secre.ssn.unam.mx/SSN/IMG/Instrumentos/III_K2-s.jpg]. Citado el 08 de Octubre de 2013

5.1.6 Estación sismográfica: Sitio donde uno o más sismógrafos son instalados con el fin de registrar ondas sísmicas.

5.1.7 Sismo: Corresponde al proceso de liberación de energía y generación como posterior propagación de ondas por el interior de la tierra. Al llegar a la superficie estas ondas son percibidas tanto por la población como por estructuras.

5.1.8 Epicentro: Punto exacto en la superficie que se localiza sobre el hipocentro de un sismo, representación en superficie de la ubicación de la fuente sísmica.

5.1.9 Hipocentro o Foco: Punto en el interior de la tierra, en el cual se da inicio a la liberación de energía causada por la ruptura y generación de un sismo, este punto indica la localización de la fuente sísmica como lo muestra la figura 5.

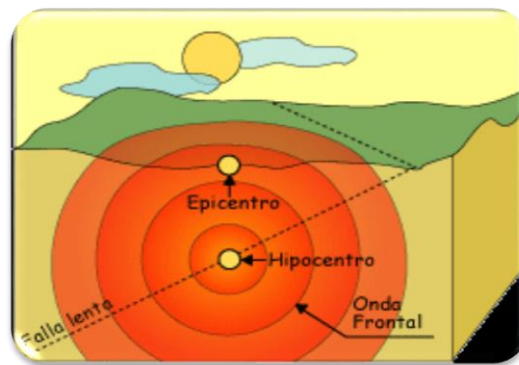


Figura 5 Epicentro e Hipocentro

5.1.10 Intensidad: Medida de los efectos producidos por un sismo en personas, animales, estructuras y terreno en un lugar particular. Los valores de intensidad se denotan con números romanos en la escala de intensidades de Mercalli modificada. No sólo depende de la fuerza del sismo, sino también de la distancia epicentral, la geología local, la naturaleza del terreno y el tipo de construcciones del lugar.

5.1.11 Magnitud: El tamaño de los sismos, se indica en términos de magnitud la cual está relacionada con la energía liberada en la fuente sísmica.

5.1.12 Magnitud Local (MI): Es conocida como la “magnitud o escala de Richter” y se indica como MI y es una de las magnitudes que reporta la Red Sismológica Nacional de Colombia. Para su cálculo se mide la amplitud de las mayores ondas registradas, usualmente las ondas S.

5.1.13 Magnitud de Momento (Mw): Es una de las escalas más recientes desarrollada por Kanamori en 1977 y es una de las magnitudes que reporta la Red Sismológica Nacional de Colombia

5.1.14 Ondas S: Las ondas S (Secundarias) son ondas transversales o de corte, lo cual significa que el medio de propagación es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, hacia un lado y hacia el otro.

5.2 MARCO TEÓRICO

5.2.1 Resonancia Magnética: Se produce cuando un cuerpo capaz de vibrar es sometido a la acción de una fuerza periódica, cuyo periodo de vibración se acerca al periodo de vibración característico de dicho cuerpo como lo muestra la figura 6.

“Habitualmente, cuando se piensa en el fenómeno de la resonancia, se recuerda la famosa catástrofe del puente de Tacoma. Esto demuestra la capacidad destructora de dicho fenómeno cuando ocurre en estructuras civiles flexibles, como un puente colgante de acero”²³.

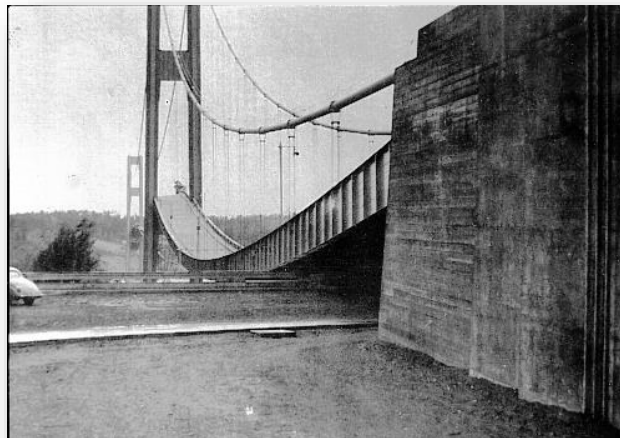


Figura 6 Puente Tacoma Narrows
Fuente: Suarez, Alvaro.

5.2.2 Efecto de la Resonancia en estructuras civiles²⁴

Cuando el periodo de vibración de un edificio coincide o es muy parecido al periodo natural del suelo, se produce un incremento significativo en las vibraciones experimentadas por el edificio. La resonancia puede causar que las estructuras

²³ VACHETTA, Marcelo. La resonante caída del Tacoma Narrows. Disponible en web: [<http://www.fing.edu.uy/if/cursos/mecsis/apoyo/tacoma.pdf>. Citado el 16 de Junio de 2014

²⁴ BALLESTEROS, Eduardo. Conceptos generales de dinámica estructural. Disponible en web: [<http://www.civil.cicloides.com/cgenerales/1.5.6>. Citado el 16 de Junio de 2014

experimenten aceleraciones de 1g, cuando el suelo vibra a una aceleración mucho menor. Es por esto que los edificios sufren mayor daño cuando la frecuencia del suelo es parecida a su propia frecuencia.

Los movimientos vibratorios ocurridos en zonas cercanas al epicentro, generalmente poseen periodos cortos, por lo que los efectos de resonancia en esta área pueden afectar a los edificios bajos y rígidos. En las áreas distantes al epicentro, y si las condiciones de sitio favorecen a su amplificación, los periodos llegan a ser largos, por lo que el efecto de resonancia afecta a los edificios largos y flexibles. Aquí se puede volver a tomar el ejemplo del sismo de México en 1985, en donde afectó a los edificios altos ubicados en las zonas de mayor profundidad de los estratos blandos como se muestra en la figura 7.

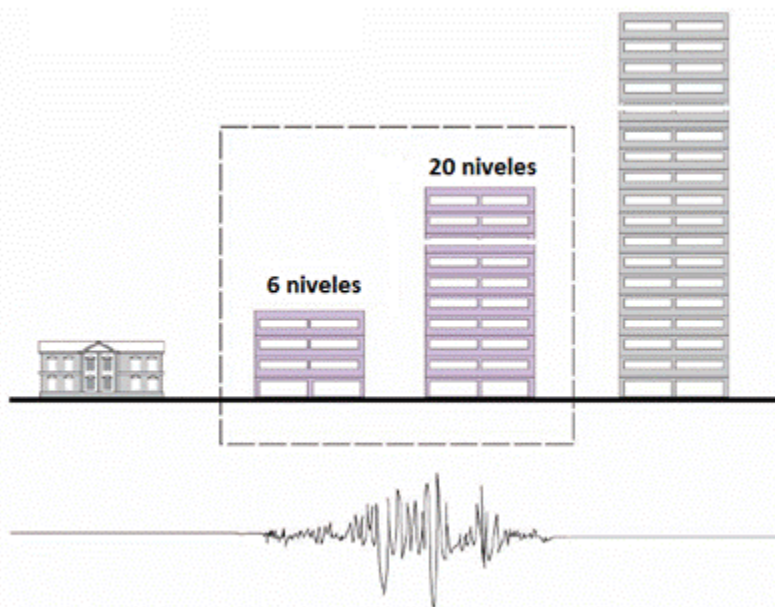


Figura 7 Efecto de resonancia
Fuente: Universidad nacional autónoma de México

5.2.2 La resonancia en un sistema sencillo²⁵

El análisis de un sistema sencillo como es el de una masa m ligada a un resorte de constante elástica K , ya que este caso, pese a su sencillez ilustra conceptos básicos del fenómeno que se presentan en casos más complejos.

Para describir la dinámica de una masa acoplada a un resorte se parte de la 2ª Ley de Newton

²⁵ PERALTA, Jose Atonio. El fenómeno de la resonancia. Disponible en web:[
http://www.lajpe.org/sep09/19_LAJPE_293_Peralta.pdf. Citado el 16 de Junio de 2014

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -Ky \cdot \quad (1)$$

Se propone como solución para su posición en función del tiempo un movimiento armónico simple

$$y(t) = A \cos \omega_0 t, \quad (2)$$

El fenómeno de la resonancia al sustituir esta función en la ecuación 1 se tiene que la frecuencia angular con que en el estado estacionario se moverá la masa es

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}} \cdot \quad (3)$$

Es de hacer notar que la frecuencia angular no depende de la amplitud sino solo de la constante K (Rigidez) del resorte y de la masa, por tanto, este sistema tiene una sola frecuencia que “adopta” en forma espontánea en cuanto se le deja oscilar libremente, por ello se le denomina “frecuencia natural del sistema”.

Analicemos ahora el caso de un oscilador forzado, para ello se aplica sobre la masa otra fuerza más la cual tendrá un carácter periódico con una amplitud F, frecuencia angular ω y actuando en la dirección del eje del resorte, tal como se observa en la figura 8.



Figura 8 Resorte con oscilación forzada
Fuente: Peralta, Jose Antonio

Por otra parte, el periodo se denomina como el mínimo lapso que separa dos instantes en los que el sistema se encuentra exactamente en el mismo estado: mismas posiciones, mismas velocidades, mismas amplitudes. En términos breves es el tiempo que dura un ciclo de la onda en volver a comenzar. Por ejemplo, en

una onda, el periodo es el tiempo transcurrido entre dos crestas o valles sucesivos. El periodo (T) es inverso a la frecuencia (f):

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$$

Por lo tanto, para lograr realizar una comparación entre la frecuencia de las estructuras vs las frecuencias encontradas en los eventos sísmicos, se debe determinar la primera de la siguiente manera

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Hz)}$$

5.2.3 Transformadas de Fourier²⁶

La transformada de Fourier, denominada así por Joseph Fourier, es una aplicación que hace corresponder a una función f, con valores complejos y definidos en la recta, con otra función g definida de la manera siguiente:

$$g(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{-i\xi x} dx$$

La transformada de Fourier se utiliza para pasar al dominio de la frecuencia una señal para así obtener información que no es evidente en el dominio temporal. Por ejemplo, es más fácil saber sobre qué ancho de banda se concentra la energía de una señal analizándola en el dominio de la frecuencia.

También se utiliza en el ámbito del tratamiento digital de imágenes, como por ejemplo para mejorar o definir más ciertas zonas de una imagen fotográfica o tomada con una computadora.

Son aplicadas a las señales para obtener información de las frecuencias, midiendo la frecuencia en ciclos por segundo o Hertz (Hz). La señal se divide en frecuencias organizadas en bandas uniformes desde w hasta w+Δw.

²⁶ TELLEZ, Augusto. Transformadas de Fourier. Disponible en web: [http://www.lajpe.org/sep09/19_LAJPE_293_Peralta.pdf. Citado el 16 de Junio de 2014

Un ejemplo más gráfico de las transformadas de Fourier aplicado en datos no estacionarios con diferentes frecuencias sería el observado en las figuras 9 y 10.

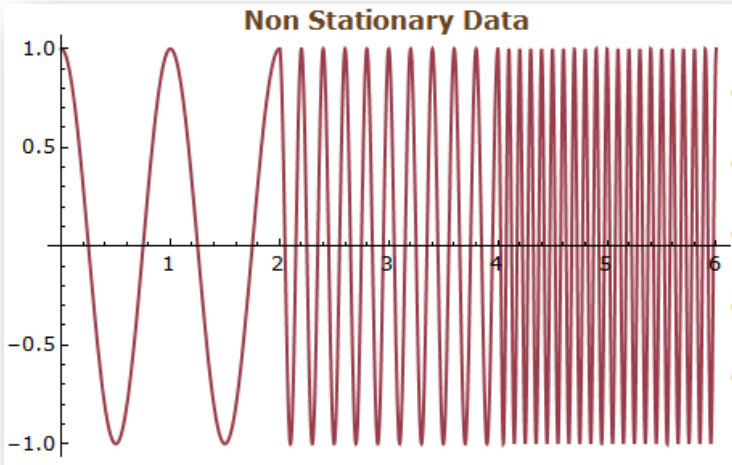


Figura 9 Datos no estacionarios

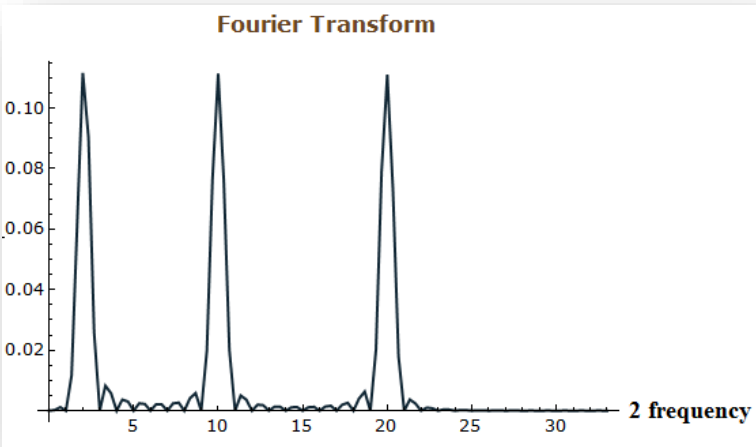
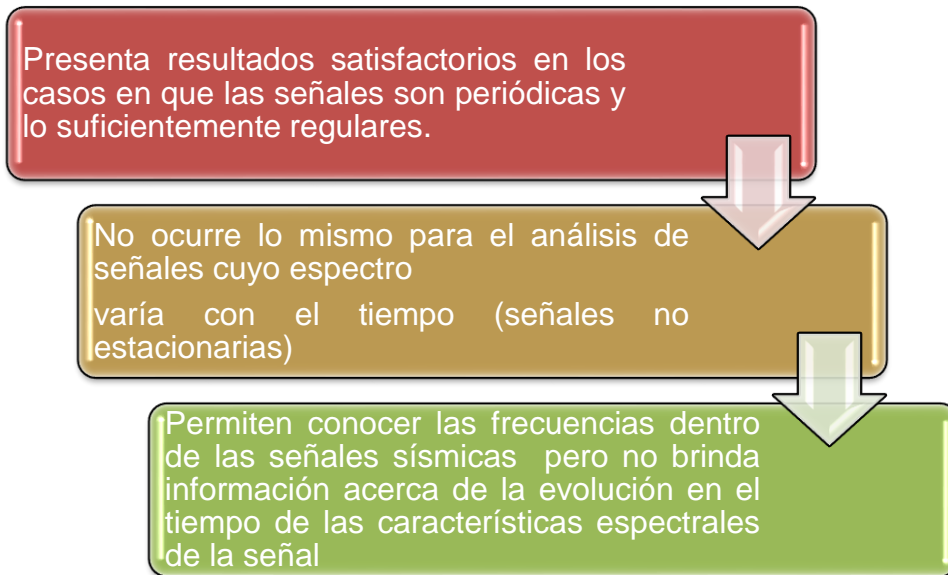


Figura 10 Transformadas de Fourier

- **Limitaciones De Transformadas Fourier**



Además, Permite obtener la representación gráfica y numérica del espectro de aceleración en gravedades y la frecuencia en Hz, tal como se muestra en la figura 11.

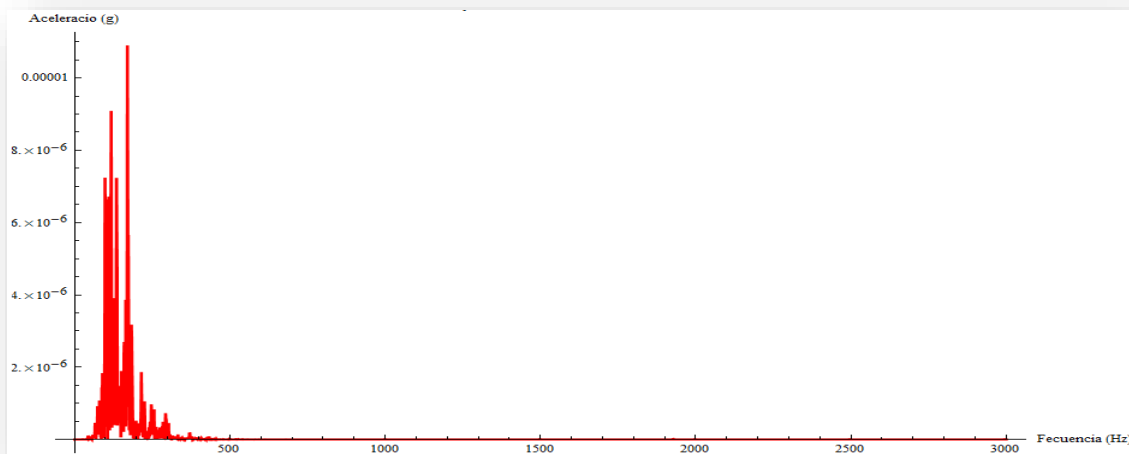


Figura 11 Espectro generado a partir de las transformadas de Fourier

5.2.3 Transformadas Wavelets²⁷

Es una herramienta matemática desarrollada a mediados de los años '80, la cual es eficiente para el análisis local de señales no estacionarias y de rápida transitoriedad. Provee análisis de multiresolución con ventanas dilatadas.

La Transformada Wavelet no es solamente local en tiempo, sino también en frecuencia. Dentro de los usos de esta poderosa herramienta podemos nombrar, además del análisis local de señales no estacionarias, el análisis de señales electrocardiográficas, sísmicas, de sonido, de radar, así como también es utilizada para la compresión y procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones.

De manera muy general, la Transformada Wavelet de una función $f(t)$ es la descomposición de $f(t)$ en un conjunto de funciones $\psi_{s,\tau}(t)$, que forman una base y son llamadas las "Wavelets". La Transformada Wavelet se define como:

$$W_f(s, \tau) = \int f(t) \psi_{s,\tau}^*(t) dt.$$

Las Wavelets son generadas a partir de la traslación y cambio de escala de una misma función wavelet $\psi(t)$, llamada la "Wavelet madre", y se define como:

$$\psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right),$$

Donde s es el factor de escala, y τ es el factor de traslación. Las wavelets $\psi_{s,\tau}(t)$ generadas de la misma función wavelet madre $\psi(t)$ tienen diferente escala s y ubicación τ , pero tienen todas la misma forma. Se utilizan siempre factores de escala $s > 0$. Las Wavelets son dilatadas cuando la escala $s > 1$, y son contraídas cuando $s < 1$. Así, cambiando el valor de s se cubren rangos diferentes de frecuencias. Valores grandes del parámetro s corresponden a frecuencias de menor rango, o una escala grande de $\psi_{s,\tau}(t)$. Valores pequeños de s corresponden a frecuencias de menor rango o una escala muy pequeña de $\psi_{s,\tau}(t)$.

²⁷ TELLEZ, Augusto. Transformadas de Fourier. Disponible en web: [http://www.lajpe.org/sep09/19_LAJPE_293_Peralta.pdf. Citado el 16 de Junio de 2014

La señal se divide en diferentes escalas de la resolución, en lugar de las frecuencias. Esta forma de análisis se denomina análisis multi-resolución y es fundamental para el análisis wavelet.

El análisis de multi-resolución divide las frecuencias en las bandas de octavos, a partir de w a $2w$ (1, 2, 4, 8, 16, ..), en contraste con el análisis de Fourier donde las frecuencias se dividen en bandas uniformes de w a $w + \Delta w$ como lo muestra a figura 12.

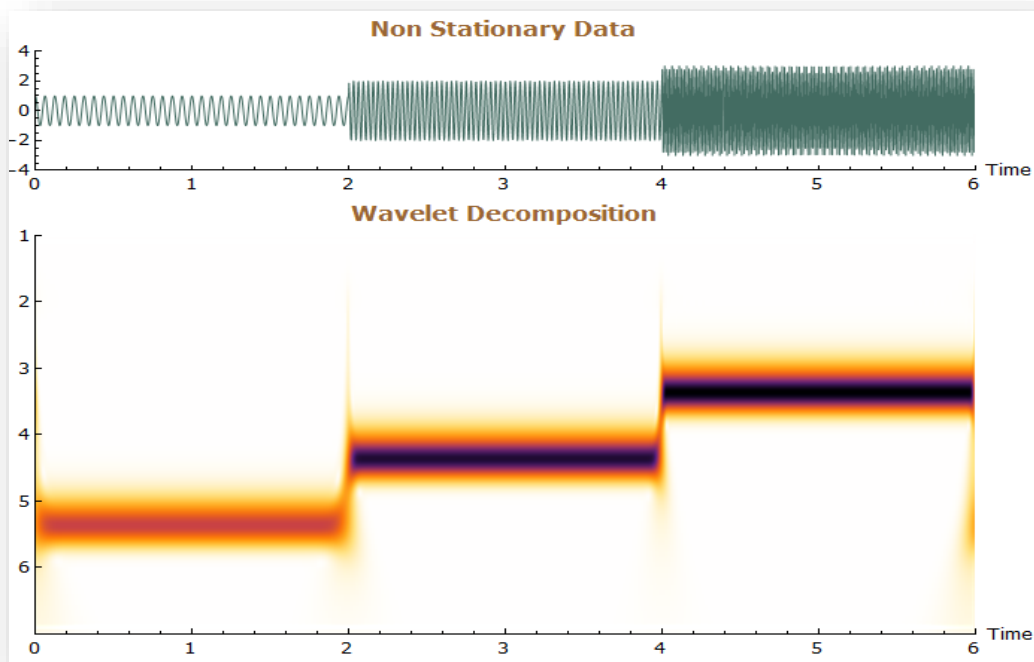


Figura 12 Descomposición Wavelet

El numero predeterminado para los octavos es $\text{Log}_2(n/2)$, el valor predeterminado para las voces es 4; cada par (oct, voice) es asociado a una escala, a altos octavos se presentaran altas escala. Escalas altas significan bajas frecuencias y viceversa

Tipos de Familias Wavelets

Existen muchas wavelets madre agrupadas en familias según su utilidad; Ingrid Daubechies quien es el mayor constructor de Wavelets ha propuesto cinco familias apropiadas para aplicarse en análisis de señales discretas: Mexican Hat, Morlet, Dgaussian, Gabor y Paul.

Del análisis de las mismas y la naturaleza de las señales, se selecciona las más óptima y se genera Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo, como se muestra en la figura 13.

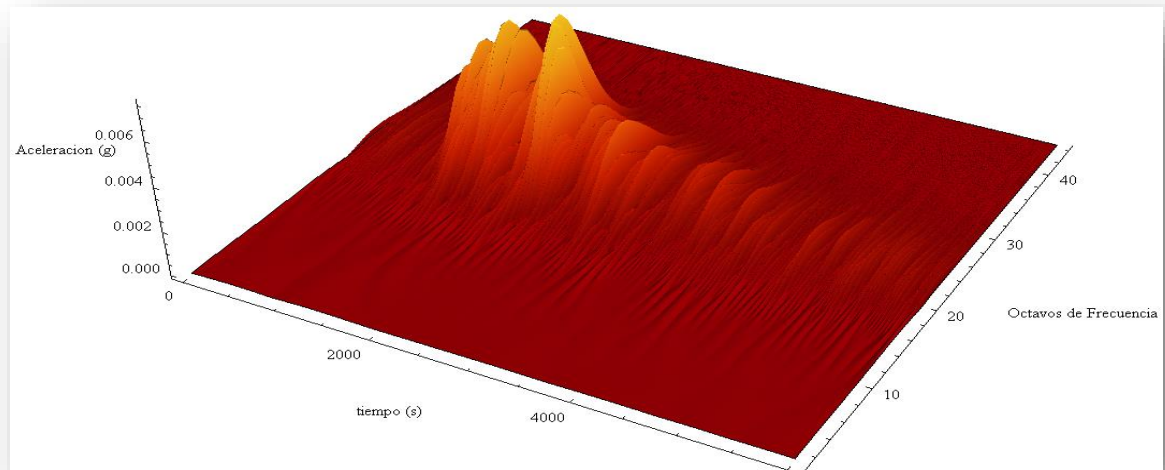


Figura 13 Escalograma tridimensional
Fuente: Autores

5.3 MARCO LEGAL

Para estudiar con detenimiento la sismología colombiana, es necesario conocer las normas que la rigen según el estado del país y de igual manera es por ello que a continuación se muestran las leyes, normas y decretos que están directamente involucrados con el tema que se desea profundizar en el presente trabajo. Cabe destacar que citan de manera parcial, pues su extensión es muy amplia para el presente documento.

5.2.1 LEY 400 DE 1997²⁸

por el cual se adoptan normas sobre construcciones sismo resistentes.

TÍTULO I

OBJETO Y ALCANCE

Artículo 1º.- Objeto. La presente Ley establece criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas, así como de aquellas indispensables para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de un sismo, que puedan verse sometidas a fuerzas sísmicas y otras fuerzas impuestas por la naturaleza o el uso, con el fin de que sean capaces de resistirlas, incrementar su resistencia a los efectos que éstas producen, reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender en lo posible el patrimonio del Estado y de los ciudadanos.

Además, señala los requisitos de idoneidad para el ejercicio de las profesiones relacionadas con su objeto y define las responsabilidades de quienes las ejercen, así como los parámetros para la adición, modificación y remodelación del sistema estructural de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente Ley.

TÍTULO II

DEFINICIONES

Artículo 4º.- Definiciones. Para los efectos de esta Ley se entiende por:

1. **Acabados o elementos no estructurales.** Partes y componentes de una edificación que no pertenecen a la estructura o a su cimentación.

2. **Amenaza sísmica.** Es el valor esperado de futuras acciones sísmicas en el sitio de interés y se cuantifica en términos de una aceleración horizontal del terreno esperada, que tiene una probabilidad de excedencia dada en un lapso de tiempo predeterminado.

²⁸ COLOMBIA. SENADO DE LA REPÚBLICA. Ley 400 de 1997. EN línea. Disponible en web:[http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley/1997/ley_0400_1997.html]. Citado el 28 de Octubre de 2013

3. **Amplificación de la onda sísmica.** Aumento en la amplitud de las ondas sísmicas, producido por su paso desde la roca hasta la superficie del terreno, a través de los estratos del suelo.

4. **Capacidad de disipación de energía.** Es la capacidad que tiene un sistema estructural, un elemento estructural o una sección de un elemento estructural, de trabajar dentro del rango inelástico de respuesta sin perder su resistencia.

5. **Carga muerta.** Es la carga vertical debida al peso de todos los elementos permanentes, ya sean estructurales o no estructurales.

6. **Carga viva.** Es la carga debida al uso de la estructura, sin incluir la carga muerta. Fuerza de viento o sismo.

7. **Casa.** Edificación unifamiliar destinada a vivienda.

8. **Construcción sismo resistente.** Es el tipo de construcción que cumple con el objeto de esta Ley, a través de un diseño y una construcción que se ajusta a los parámetros establecidos en ella y sus reglamentos.

9. **Constructor.** [Modificado por el art. 1, Ley 1229 de 2008](#). Es el profesional, ingeniero civil o arquitecto, bajo cuya responsabilidad se adelanta la construcción de una edificación.

10. **Deriva de piso.** Es la diferencia entre los desplazamientos horizontales de los niveles entre los cuales está comprendido el piso.

11. **Diseñador arquitectónico.** Es el arquitecto bajo cuya responsabilidad se realizan el diseño y los planos arquitectónicos de la edificación y quien los firma o rotula.

12. **Diseñador de los elementos no estructurales.** Es el profesional, facultado para ese fin, bajo cuya responsabilidad se realizan el diseño y los planos de los elementos no estructurales de la edificación y quien los firma o rotula.

13. **Diseñador estructural.** Es el ingeniero civil, facultado para ese fin, bajo cuya responsabilidad se realizan el diseño y los planos estructurales de la edificación, y quien los firma o rotula.

14. **Edificación.** Es una construcción cuyo uso primordial es la habitación u ocupación por seres humanos.

15. **Edificaciones de atención a la comunidad.** Son las edificaciones necesarias para atender emergencia, preservar la salud y la seguridad de

las personas, tales como: cuarteles de bomberos, policía y fuerzas militares, instalaciones de salud, sedes de organismos operativos de emergencia, etc.

16. **Edificaciones indispensables.** Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alternativo, tales como hospitales de niveles de complejidad 2 y 3 y centrales de operación y control de líneas vitales.

17. **Elemento o miembro estructural.** Componente del sistema estructural de la edificación.

18. **Estructura.** Es un ensamblaje de elementos, diseñado para soportar las cargas gravitacionales y resistir las fuerzas horizontales.

19. **Fuerzas sísmicas.** Son los efectos inerciales causados por la aceleración del sismo, expresados como fuerzas para ser utilizadas en el análisis y diseño de la estructura.

20. **Desempeños de los elementos no estructurales.** Se denominan desempeño el comportamiento de los elementos no estructurales de la edificación ante la ocurrencia de un sismo que la afecte.

21. **Grupo de uso.** Clasificación de las edificaciones según su importancia para la atención y recuperación de las personas que habitan en una región que puede ser afectada por un sismo o cualquier tipo de desastre.

22. **Ingeniero geotecnista.** Es el ingeniero civil, quien firma el estudio geotécnico y bajo cuya responsabilidad se realizan los estudios geotécnicos o de suelos, por medio de los cuales se fijan los parámetros de diseño de la cimentación, los efectos de ampliación de la onda sísmica causados por el tipo y estratificación del suelo subyacente a la edificación, y la definición de los parámetros del suelo que se deben utilizar en la evaluación de los efectos de interacción suelo-estructura.

Artículo 5º.- Responsabilidad de los diseños. Para efectos de la asignación de las responsabilidades correspondientes, deben consultarse las definiciones de constructor, diseñador, arquitectónico, diseñador estructural, diseñador de los elementos no estructurales, ingeniero geotecnista, revisor de los diseños, propietario, interventor y supervisor técnico, establecidas en el Título II de esta ley.

Artículo 6°.- Responsabilidad de los diseñadores. La responsabilidad de los diseños de los diferentes elementos que componen la edificación, así como la adopción de todas las medidas necesarias para el cumplimiento en ellos del objetivo de las normas de esta ley y sus reglamentos, recae en los profesionales bajo cuya dirección se elaboran los diferentes diseños particulares.

5.2.3 DECRETO 926 DE 2010²⁹

Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismorresistentes NSR-10.

DECRETA:

Artículo 1°. . Adóptase el **Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente NSR-10**, anexo al presente decreto, el cual tendrá vigencia en todo el territorio de la República.

Artículo 2°. *Vigencia.* Modificado por el art. 1, Decreto Nacional 2525 de 2010. El presente decreto rige a partir del día quince (15) julio del año 2010.

Parágrafo. Quienes soliciten licencias de construcción durante el periodo comprendido entre la fecha de Publicación y la fecha de entrada en vigencia del presente decreto, podrán acogerse a sus requisitos.

Artículo 3°. *Derogatorias.* Modificado por el art. 4, Decreto Nacional 2525 de 2010. El presente decreto deroga en su totalidad las disposiciones contenidas en los Decretos 33 de 1998, 34 de 1999, 2809 de 2000 y 52 de 2002.

²⁹ COLOMBIA. ALCALDÍA DE BOGOTÁ. Decreto 926 de 2010. EN línea. Disponible en web: [<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=336>]. Citado el 28 de Octubre de 2013

6. METODOLOGÍA

La metodología de desarrollo del presente proyecto, se realizó teniendo en cuenta la recolección, organización y análisis de los datos suministrados por la red sísmica nacional de Colombia. A continuación se muestran de forma detallada cada uno de los pasos mencionados.

6.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

La adquisición de los datos se llevó a cabo bajo el apoyo de las herramientas tecnológicas que suministra la Red Nacional de Acelerogramas, en la cual, se muestran los registros sísmicos generados en los últimos años.

En el caso de la presente investigación, se tuvieron en cuenta los registros relacionados con el nido Sísmico de la mesa de los santos, siendo esta la estación más cercana y con mayor efecto en el área metropolitana de Bucaramanga.

El instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS cuenta con un servicio geológico denominado “Red Sismológica Nacional de Colombia”, la cual cuenta con un catálogo completo de la sismicidad en el país, teniendo en cuenta las estaciones sismológicas instaladas en diferentes puntos estratégicos.

Los datos recolectados se obtuvieron por medio de la página web de la Red sismológica de Colombia; el periodo cronológico de análisis (1.993-2.013) fue establecido porque la información disponible inicia desde el primero de Junio de 1.993.

A continuación se presenta de forma detallada, la manera como se descargaron los registros desde la página.

Ingresando a la página de la red sismológica nacional de Colombia <http://seisan.ingeminas.gov.co/RSNC/>. En el recuadro RNAC (red nacional de acelerógrafos de Colombia) al costado derecho de la página de inicio, como lo indica la figura 14.



Figura 14 Página principal RSNC

Fuente: RSNC. Disponible en web:[<http://seisan.ingeminas.gov.co/RSNC/>]

Una vez ubicados en la red nacional de acelerógrafos de Colombia se ingresa al link “consulta general de acelerogramas” ubicado en la parte inferior de la ventana, como se muestra en la figura 15.

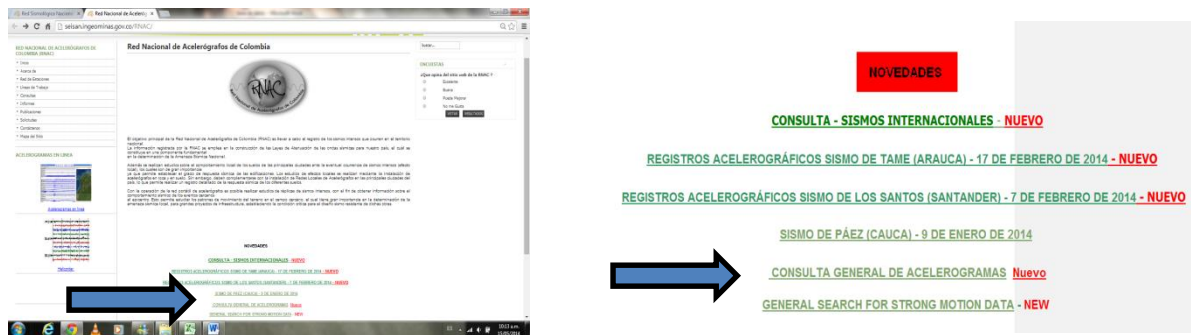


Figura 15
Consultas RSNC

Fuente: RSNC. Disponible en web:[<http://seisan.ingeminas.gov.co/RSNC/>]

En el formulario de consulta general, se digitaron los datos sobre el sismo que se desea acceder, completando el formulario como se muestra en la figura 16.

FORMULARIO CONSULTA GENERAL:

Departamento o Región:	SANTANDER	Municipio:	SELECCIONE MUNICIPIO
Fecha Inicial:	01/06/1993	Fecha Final:	31/12/2008
Latitud Mínima (Grados):	-05	Latitud Máxima (Grados):	14
Longitud Mínima:	-90	Longitud Máxima:	-66
Magnitud Mínima (Grados):	0	Magnitud Máxima (Grados):	9
Profundidad Mínima (Km):	0	Profundidad Máxima (Km):	700




Figura 16 Formulario de Consulta RSNC

Fuente: RSNC. Disponible en web:[<http://seisan.ingegominas.gov.co/RSNC/>]

Los datos de latitud mínima, longitud mínima, magnitud mínima, profundidad mínima, latitud máxima, longitud máxima, magnitud máxima, profundidad máxima; son para búsquedas más avanzadas en caso de conocer todos estos parámetros específicos del sismo que se desea buscar. Para el caso del ejemplo solo se completa: departamento, municipio, fecha inicial y fecha final; los demás datos se dejan por defecto.

Una vez diligenciado los parámetros básicos de búsqueda se hace clic en consultar y se obtiene la lista de sismos, se selecciona el deseado, dándole clic en consultar, como se muestra en la figura 17.

RESULTADO - CONSULTA GENERAL

Parámetros de Consulta:			
Departamento:	SANTANDER	Municipio:	LOS SANTOS
Fecha Inicial:	01/01/2004	Fecha Final:	31/01/2004
Latitud Mínima:	-05	Latitud Máxima:	14
Longitud Mínima:	-90	Longitud Máxima:	-66
Magnitud Mínima:	0	Magnitud Máxima:	9
Profundidad Mínima:	0	Profundidad Máxima:	700
Total Eventos Sísmicos Encontrados: 3			
Cambiar Parámetros			

Fecha	Hora_UTC	Departamento	Municipio	Latitud (Grados)	Longitud (Grados)	Profundidad (Km)	Magnitud (M)	Magnitud (Mw)	Ver
2004/01/05	03:05:28	SANTANDER	LOS SANTOS	6.835	-73.06	155.3	5		<input type="button" value="Detalles"/>
2004/01/10	22:24:35	SANTANDER	LOS SANTOS	6.843	-73.077	156.3	4.5		<input type="button" value="Detalles"/>
2004/01/20	08:31:36	SANTANDER	LOS SANTOS	6.857	-73.053	159.8	5.1		<input type="button" value="Detalles"/>

1

Figura 17 Resultado y descarga RSNC

Fuente: RSNC. Disponible en web:[<http://seisan.ingegominas.gov.co/RSNC/>]

En detalles se muestra una lista de estaciones en las cuales se cuenta con registro del evento sísmico, en la mayoría de las ocasiones los registros son de más de una estación, por cuanto se recomienda seleccionar la estación más cercana al evento sísmico; para el caso del ejemplo es solo una estación como se muestra en la figura 18.

RESULTADO - CONSULTA GENERAL

Datos del Sismo

Identificador	Localizacion	Fecha	Hora (UTC)	Latitud (Grados)	Longitud (Grados)	Profundidad (Km)	Magnitud (M)	Magnitud (Mw)	Mapa en Google Maps
20040105030528	SANTANDER/LOS SANTOS	2004/01/05	03:05:28	6.835	-73.06	155.3	5		Ver

Estaciones que Registraron el Sismo

Nombre Estacion	Estacion	Geologia	Topografia	Distancia Hipocentral (Km)	Distancia Epicentral (Km)	Aceleracion-Este Oeste Superficie (cm/s ²)	Aceleracion Vertical Superficie (cm/s ²)	Aceleracion Norte-Sur Superficie (cm/s ²)	Aceleración Este Oeste Profundidad (cm/s ²)	Aceleración Vertical Profundidad (cm/s ²)	Aceleración Norte Sur Profundidad (cm/s ²)	Archivo de Aceleracion No Corregido	Grafico de Aceleracion
EMBALSE DE FUQUENE	CFQNE	ROCA	ONDULADA	229.649	169.176	-1.796	0.7154	1.7314					

Figura 18 Detalles del registro

Fuente: RSNC. Disponible en web:[<http://seisan.ingegominas.gov.co/RSNC/>]

El usuario se ubica en esa ventana y debe descargar el archivo de aceleración no corregido, como muestra la figura 18.

6.2 ORGANIZACIÓN DE DATOS

Los archivos suministrados por la entidad estatal, vienen en un tipo de archivo .txt, el cual debe ser exportado a Excel; además por cada fecha registrada, el RSNC entrega datos relacionados con la aceleración Norte y otros con la Este.

A los archivos originales, se les realizó una depuración de información; es decir, se cambiaron las unidades de la aceleración a valores de gravedad terrestre (g) y se separaron los datos norte y Este en libros diferentes; el nombre para guardar los archivos estaba dado por el mes y el año del registro.

A continuación se muestra de forma detallada, la manera como se depuraron y organizaron los datos a manera de manual.

1. la primera carpeta nombrada registros sísmicos, en la cual se deben guardar el archivo de aceleración no corregido de los registros descargados el archivo se debe guardar con el nombre año-mes-día en esta carpeta, para el caso del ejemplo 2004-01-05, como se muestra en la figura 19.

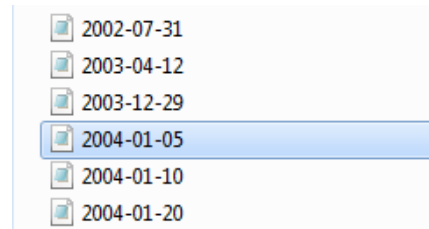


Figura 19 Forma de guardar los archivos
Fuente: Autores

2. Conformación de base de datos de acelerogramas: debido a que los archivos descargados 'archivo de aceleración no corregido' se encuentran en formato ANC , es necesario realizar un filtro de la información para obtener los archivos de acelerogramas requeridos.
- 3 Abrir el archivo guardado en el paso anterior (2004-01-05) a un libro de Microsoft Excel, para lo anterior dar clic en archivo, abrir, buscar el archivo y dar ver todos los archivos como se muestra en las figura 20.

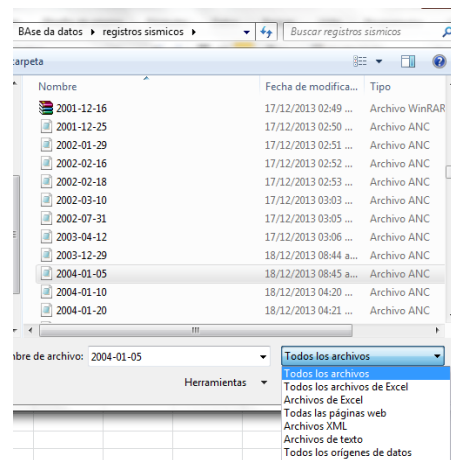


Figura 20 Incluir datos a Excel
Fuente: Autores

Se selecciona el archivo y dar clic en abrir, en este paso se abre un asistente para importar texto el cual consta de dos pasos:

Paso 1, en tipo de datos originales seleccionar delimitados y dar clic en siguiente, tal como aparece en la figura 21.

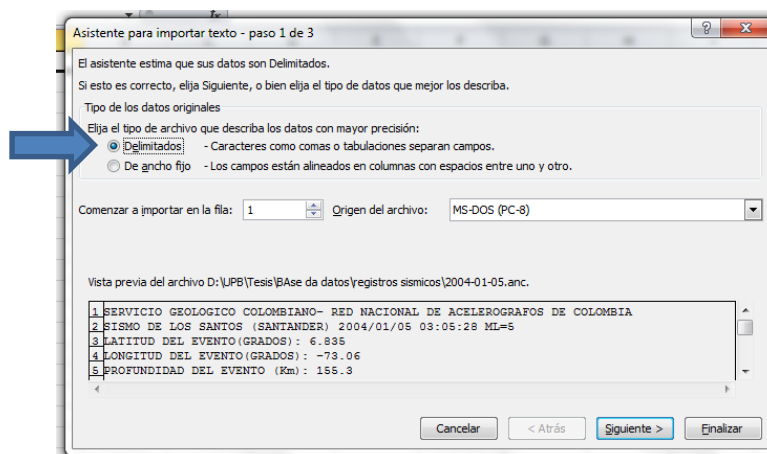


Figura 21 Importación de datos
Fuente: Autores

Paso 2, en separadores activar tabuladores y espacios, dar clic en Finalizar, tal como lo muestra en la figura 22.

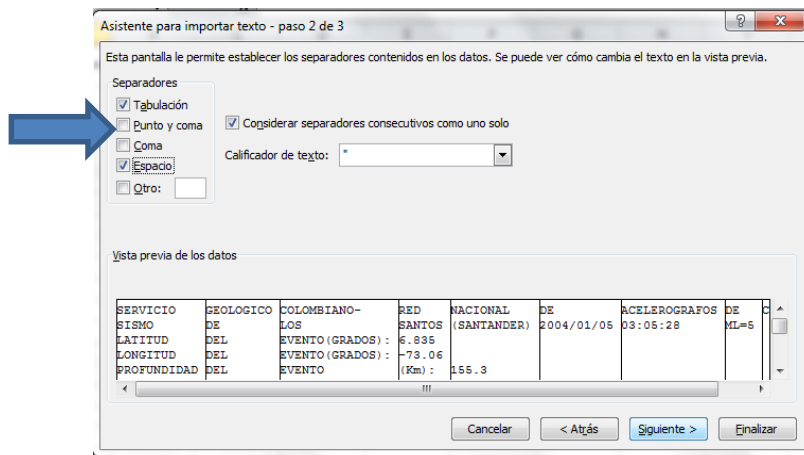


Figura 22 Importación de datos
Fuente: Autores

Una vez se abre el archivo se obtiene toda la información del sismo, para la conformación del archivo los datos de texto no son requeridos por cuanto se deben eliminar; sin embargo se debe tener presente el intervalo del muestreo y las unidades de la aceleración. Como se puede observar los datos numéricos están

divididos en tres columnas que indican la dirección de la aceleración EW dirección este-oeste, VER dirección vertical y NS dirección norte-sur, solamente se necesita los registros de los sismos en direcciones EW y NS ya que son estas direcciones las que afectan las estructuras de las edificación, pero se debe evitar trabajarlos en el mismo libro, por lo tanto, se realiza una copia del libro y guardan los archivos independientes como lo muestra la figura 23.

SERVICIO	GEOLOGICO	COLOMBIAN RED	NACIONAL DE	ACELEROGR/DE	COLOMBIA
2	SISMO	DE LOS SANTOS	(SANTANDE/	05/01/2004	03:05:28 ML=5
3	LATITUD DEL	EVENTO(GR/	6.833		
4	LONGITUD DEL	EVENTO(GR/	-73.06		
5	PROFUNDID DEL	EVENTO (km):	155.3		
6	CODIGO DE LA	ESTACION: CFQNE			
7	Estacion:EMI DE	FUQUENE Geol:ROCA	Topo:ONDULADA		
8	LATITUD DE LA	ESTACION (GRADOS):	5.47		
9	LONGITUD DE LA	ESTACION (GRADOS):	-73.738		
10	DISTANCIA EPICENTRAL:	169.176 km			
11	DISTANCIA HIPOCENTRAL:	229.649 km			
12	INTERVALO DE MUESTREO (SEGUNDOS)	0.005			
13	NUMERO DE DATOS:	6000			
14	DURACION (SEGUNDOS)	30			
15	UNIDADES:	cm/s ²			
16	TIPO DE EQUIPO:	ETNA			
17	ESCALA MAXIMA (G):	2			
18	CORRECCION DE LINEA BASE:	LINEA BASE NO REMOVIDA			
19	TIPO DE DATOS:	NO CORREGIDO			
20	EW	VER	NS		
21		-1.3651848	-3.4961704	10.189056	
22		-1.3456344	-3.5071376	10.1869232	
23		-1.3566016	-3.508568	10.122776	
24		-1.3294216	-3.4980776	10.1194384	
25		-1.3227464	-3.4956936	10.1199152	

Figura 23 Aceleración en Excel
Fuente: Autores

La figura muestra los datos que arroja inicialmente el Excel, eliminados los datos de texto se debe adicionar los intervalos de tiempo, de ahí la importancia de tener presente en el texto cada cuanto se tomaron los datos; para el ejemplo se desarrollara el Acelerograma en dirección EW. En la columna izquierda junto al primer dato de aceleración EW se digita cero (0), en la siguiente fila se introduce la fórmula de sumar la anterior fila + 0.005 debido a que este es el intervalo de tiempo del evento sísmico en referencia; seguidamente arrastrar hasta completar los datos. Se recomienda este método ya que el número de datos tomados la mayoría de las ocasiones supera las 2000 filas lo que resultaría muy tedioso incluirlo manualmente, como se muestra en la figura 24.

	A	B	
1		EW	V
2	0	-1.3651848	-
3	=A2+0.005	-1.3456344	-
4		-1.3566016	-
5		-1.3294216	-

	A	B	VE
1		EW	VE
2	0	-1.3651848	-
3	0.005	-1.3456344	-
4	0.01	-1.3566016	-
5	0.015	-1.3294216	-
6	0.02	-1.3227464	-
7	0.025	-1.3275216	-

Figura 24 Inclusión del intervalo de tiempo
Fuente: Autores

Definidos los intervalos se procede a calcular el coeficiente de la aceleración sobre la gravedad, es importante tener presente las unidades de los datos que se tienen, si la aceleración en sentido EW se encuentra en M/S^2 se debe dividir en $9.81 m/S^2$ y si es en cm/S^2 se debe dividir en $981 cm/S^2$, para el caso del ejemplo se debe dividir en $981 cm/S^2$, posteriormente arrastrar la formula hasta el total de datos y después copiar y pegar esos datos como texto sobre la columna EW, finalmente eliminar la primera fila de forma que el archivo no contenga espacios vacíos en la primera fila y primera columna, como se muestra en la figura 25.

A	B	C
	EW	
0	-1.3651848	-0.00139163
0.005	-1.3456344	-0.0013717
0.01	-1.3566016	-0.00138288
0.015	-1.3294216	-0.00135517
0.02	-1.3227464	-0.00134837
0.025	-1.337528	-0.00136343

	A	B
1	0	-0.00139163
2	0.005	-0.0013717
3	0.01	-0.00138288
4	0.015	-0.00135517
5	0.02	-0.00134837
6	0.025	-0.00136343
7	0.03	-0.00133476

Figura 25 Cambio de unidades de aceleración
Fuente: Autores

Por ultimo crear una subcarpeta en la carpeta acelerogramas con el nombre 2040105 y guardar el archivo dentro de la subcarpeta con el nombre EW, de igual forma se debe hacer para el archivo de Acelerograma en dirección NS.

6.3 DISEÑO DE INTERFAZ DE USUARIO

Con el fin de darle continuidad al presente proyecto y teniendo en cuenta que todos los años se generan nuevos registros sísmicos, se determinó realizar una plantilla o interfaz de usuario para que de manera fácil y sencilla, las personas que quisieran analizar eventos que no estén contemplados en el rango de tiempo del presente proyecto (1.993- 2.013), o que tengan datos de otra estación sísmica, puedan evaluarlos y generar las gráficas referentes al acelerograma y a sus respectivas transformadas.

La interfaz se realizó por medio del software Wolfram Mathematica, donde sólo es necesario la modificación de la ruta de archivo de los datos de análisis, tal y como se muestra a continuación.

En la primera línea donde dice dirección del archivo a importar poner la dirección del archivo anteriormente guardado, puede hacerse de forma directa buscando el archivo y copiando la dirección desde el explorador de Excel o importándolo desde mathematica para lo cual debe darse clic en Insert después seleccionar “File Path”. Buscar el archivo en la carpeta acelerogramas y abrirlo, como lo indica la figura 26

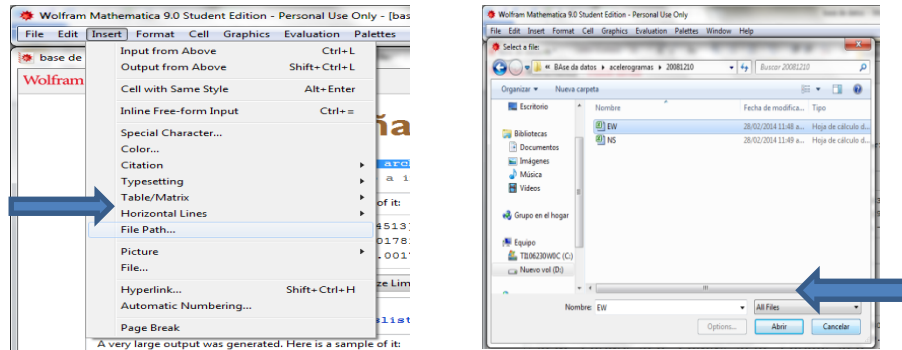


Figura 26 Wolfram Mathematica
Fuente: Autores

Repetir este procedimiento para la segunda fila llamada datos ubicar el cursor al final de esta fila y dar Shift + Enter.

Para generar la gráfica de Acelerograma dar Shift + Enter donde lo indica la figura 27.

```
Flatten[datos, 1] // MatrixForm; datoslistas = Flatten[datos, 1]
```

A very large output was generated. Here is a sample of it:

```
{0., -0.0018359}, {0.005, -0.00184513}, {0.01, -0.00185582}, {0.015, -0.00183055},
{0.02, -0.00180041}, {0.025, -0.00178194}, {0.03, -0.00176396}, <<5986>>, {29.965, -0.00172653}, {29.97, -0.0017207},
{29.975, -0.00168716}, {29.98, -0.00170174}, {29.985, -0.00169882}, {29.99, -0.00168473}, {29.995, -0.00170709}
```

Show Less Show More Show Full Output Set Size Limit...

```
primcol = datoslistas[[All, 1]]; segcol = datoslistas[[All, 2]]; segcolmedia = Mean[segcol]; segcolcorreg = segcol - segcolmedia;
Riffle[primcol, segcolcorreg]; tabladatos = Partition[Riffle[primcol, segcolcorreg], 2];
ListLinePlot[Partition[Riffle[primcol, segcolcorreg], 2], PlotRange -> Full, PlotStyle -> {Cyan, Thick},
AxesLabel -> {"n=  $\frac{\text{duración del registro}}{0.005}$ ", "Acel. (g) E-W"}, PlotLabel -> "Acelerograma Los Santos" " nombreg"]
```

Figura 27 Incluir datos en plantilla
Fuente: Autores

Para generar la transformada de Fourier dar Shift + Enter donde lo indica la figura 28, ubicado después de la gráfica de Acelerograma



Figura 28 Uso de la plantilla
Fuente: Autores

Repetir el anterior pasó para la generación de las diferentes familias de las transformadas de wavelets, y de la gráfica en 3D de las transformadas de wavelets.

Finalmente crear un subcarpeta dentro de la carpeta transformadas con el siguiente nombre año-mes-día todo seguido; para el caso del ejemplo sería 20040105 y guardar el archivo dentro de la carpeta de igual forma año-mes-día y la dirección, para el caso del ejemplo sería 20040105EW.

Repetir los anteriores pasos para el Acelerograma en sentido NS; de esta forma se obtiene la información sobre el registro sísmico y sus distintos comportamientos de los espectros y las pseudo frecuencias de acuerdo a las transformadas de Fourier y wavelets.

6.4 GRÁFICAS GENERADAS

Con la plantilla desarrollada y descrita anteriormente, se generan tres gráficas importantes para cada registro sísmico, las cuales son: el acelerograma, la transformada de Fourier y la Transformada Wavelet; las cuales sirven para determinar la frecuencia y la magnitud de cada uno.

Cabe aclarar que el presente análisis se realizó para 269 registros sísmicos, los cuales se muestran como anexos al presente documento.

6.5 CREACIÓN DE MANUAL DE USUARIO V 1.0

Con el fin de establecer las pautas detalladas para el análisis de eventos sísmicos por medio del interfaz de usuario denominado Seismic Graphs & Trans V 1.0, se desarrolló un manual de instrucciones que funciona como guía para aquellas personas que deseen usar la herramienta para estudiar eventos de cualquier fecha y sitio de Colombia y el mundo, siempre y cuando sean datos digitales.

Además, **Seismic Graphs & Trans V 1.0** fue creado con el objetivo de brindar facilidades a los estudiantes y profesionales de ingeniería civil para consultar y analizar los registros sísmicos del nido de Bucaramanga generados por la estación ubicada en Los Santos Santander, Colombia.

El manual consta de 6 capítulos en los cuales se explica de forma didáctica la manera como se debe diligenciar los nuevos eventos y revisar archivos ya establecidos en la base de datos.

En la figura se observa brevemente el contenido del manual.



Figura 29 Manual de usuario Seismic Graphs & Trans V1.0

Fuente: Autores

7. RESULTADOS

A continuación se presenta las gráficas obtenidas de los sismos de mayor magnitud dentro de los registrados en el periodo de estudio. Los demás se ven respectivamente en la sección de anexos.

Se hace necesario aclarar que dentro del conjunto de eventos registrados, hubo información sesgada, es decir, al momento de generar las gráficas de acelerograma, se presentaban datos constantes representados por bloques. Razón por la cual, no se tuvieron en cuenta a la hora del análisis.

Por otra parte, se presentaron eventos en los cuales los datos obtenidos no oscilaban en el eje neutro (positivos y negativos), por lo cual, se tuvo que modificar el eje adecuándolo a la media.

A continuación, se muestra un resumen de los resultados generados en el presente proyecto (ver figura

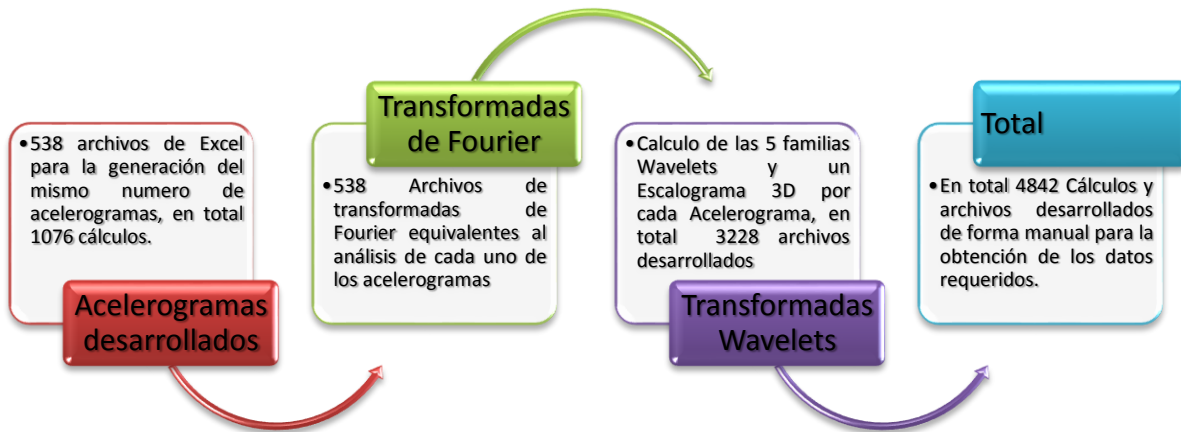


Figura 30 Resumen de datos obtenidos
Fuente: Autores

- Evento registrado el 05 de Enero de 2004. Magnitud: 5

Registro de aceleración E-W,

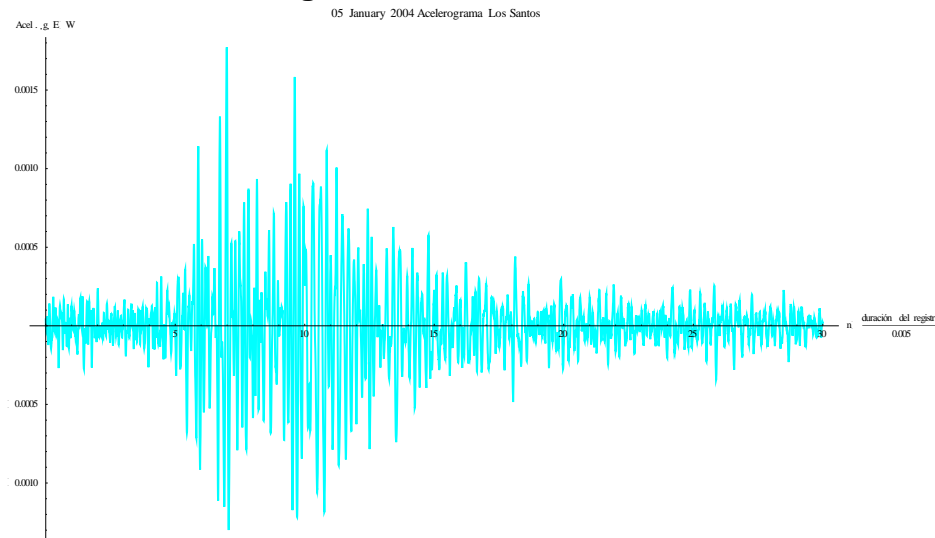


Figura 31 Acelerograma 05 de Enero de 2004

Fuente: Autores

La figura 30 representa el Escalograma de las aceleraciones en gravedades en dirección este oeste, registrando en el eje horizontal el tiempo cada 0.05 segundos y en el eje vertical la aceleración presentada por el evento sísmico como una fracción de la gravedad; la figura refleja los máximos picos de aceleración entre los 5 y 17 segundos.

Espectro energético de la aceleración E-W Trasformada Fourier



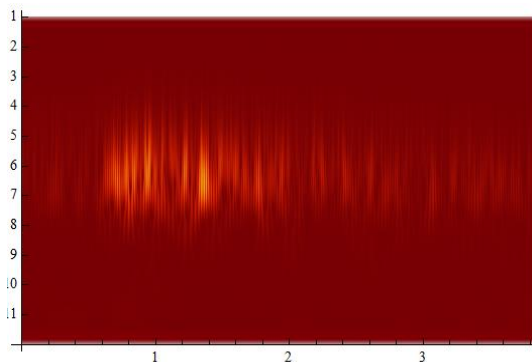
Figura 32 Espectro energético 05 de Enero de 2004

Fuente: Autores

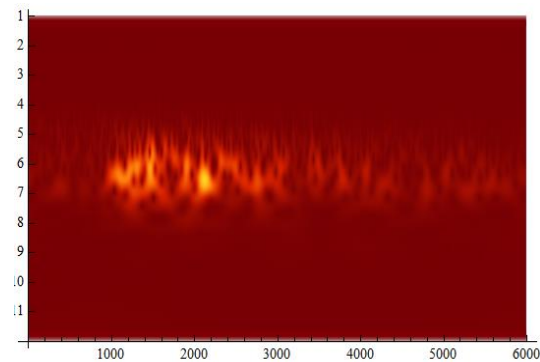
La figura 31 representa el espectro sísmico o espectro energético del evento sísmico obtenido mediante la transformada de Fourier, la figura permite observar que existen frecuencias dominantes durante el transcurso del evento sísmico pero no están completamente definidas debido a su variabilidad.

A continuación se muestran los tipos de wavelets generadas para lograr determinar la Wavelets madre y de esa manera crear el escalograma tridimensional (ver figura 32)

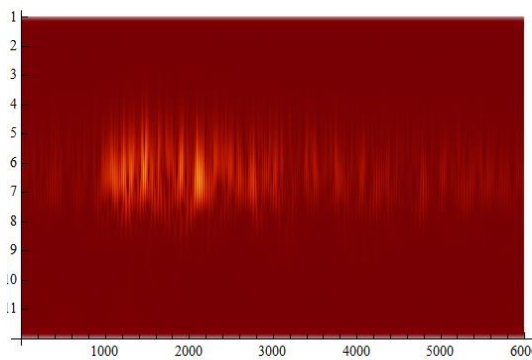
Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



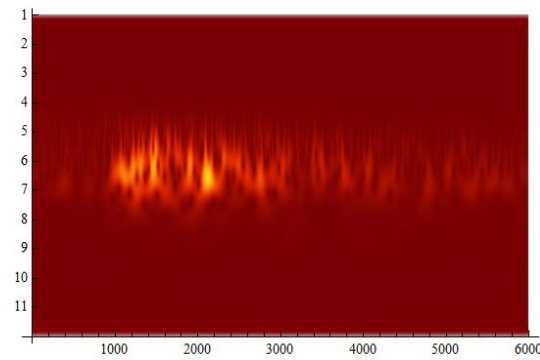
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat) (Morlet)



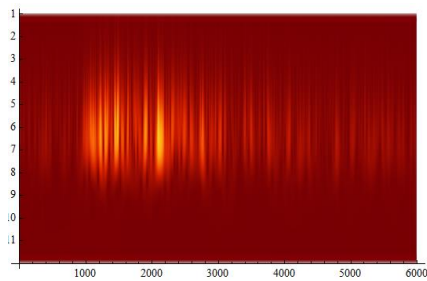
b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian) ((Gabor)



d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

Figura 33 Transformadas de wavelets
Fuente: Autores

El figura 32 muestra el grupo de familias de las transformadas wavelets, observado que no en todas se obtiene una buena definición de las frecuencias dominantes en el evento sísmico para el caso particular Gabor y Dgaussian no permiten definir las magnitudes de las frecuencias en el tiempo mientras que Paul se acerca más a la obtención de las frecuencias y los tiempos dominantes durante el evento sísmico.

Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo

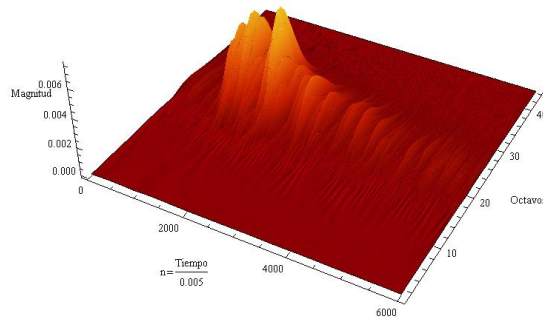


Figura 34 Escalograma en 3D
Fuente: Autores

La figura 33 representa el comportamiento del evento sísmico en tres dimensiones, logrando obtener una mejor perspectiva sobre el comportamiento de las frecuencias en el tiempo y las magnitudes del evento sísmico, la magnitud representa la intensidad con que se comporta el sismo, la primera dimensión representa el tiempo en el que se registró el evento sísmico cada 0.005 segundos, la segunda dimensión representada por los octavos hace referencia a la banda frecuencial.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De los datos, se determinaron datos promedios, mínimos y máximos de variables tales como: profundidad, magnitud, duración, puntos de frecuencias encontrados en las transformadas de Fourier, octavos dominantes encontrados con las transformadas Wavelets, tal como lo muestra la tabla 1.

Tabla 1 Resumen de resultados encontrados

	PROM.	MÁXIMA	MINIMA
Profundidad (Km)	153,791	175	139,1
Magnitud (Unid)	4,593	6,2	3,1
Duración (s)	40,063	66,56	11,52

Fuente: Autores

Según la tabla 1, la profundidad estuvo en el rango de 139.1 – 175 km, teniendo obteniendo una profundidad promedio de 153.8 Km; en cuanto a la magnitud, osciló entre 3.1 y 6.2, con un promedio de 4.59. De esta manera, se observa que los sismos de estudios no se consideran muy fuertes.

Además, se puede observar que los eventos sísmicos que se estudiaron, tuvieron una duración promedio de 40 segundos, teniendo un punto máximo de casi 67 segundos y el de menos duración de casi 12 segundos.

Por otro lado, se encontraron tiempos en los cuales se encontraba la frecuencia dominante de los sismos por medio de la transformada de Fourier y octavos de frecuencia encontrados en con las transformadas Wavelets, la tabla 2 muestra dichos resultados.

Tabla 2 Resultados transformadas de Fourier

		<i>PROMEDIO</i>		<i>MÁXIMA</i>		<i>MINIMA</i>	
		<i>Unid.</i>	<i>t</i> <i>(seg)</i>	<i>Unid.</i>	<i>t</i> <i>(seg)</i>	<i>Unid.</i>	<i>t</i> <i>(seg)</i>
<i>Fourier Puntos de Frecuencias dominantes (Unid)</i>	<i>NS</i>	171,8	0,859	426,9	2,135	68,4	0,342
	<i>EW</i>	97,1	0,486	243,4	1,217	23,4	0,117

Fuente: Autores

En cuanto a los datos encontrados por medio de las transformadas de Fourier, se puede observar que las frecuencias dominantes se encuentran entre los puntos de datos 68 y el 427, obteniendo una media ubicada en el dato 172. Cabe aclarar que lo anterior no es frecuencia, sino los intervalos de tiempo donde se encuentran las frecuencias dominantes. Es decir que los puntos dominantes en sentido Norte – Sur, se encuentran entre 0.342 y 2.135 segundos y en sentido Este-Oeste (EW) se encuentra entre 0.117 y 1.217 segundos.

En la tabla 3, se encuentran los valores de los octavos dominantes, donde los valores en sentido norte sur (NS) están en el rango de 20 a 24 y en sentido EW está entre 20 y 24,5. Como se puede observar, los valores son muy similares en ambos sentidos.

Tabla 3 Resultados transformada Wavelets

		<i>PROMEDIO</i>	<i>MÁXIMA</i>	<i>MINIMA</i>
<i>Wavelets Octavos dominantes (Unid)</i>	<i>NS</i>	22,3	24	20
	<i>EW</i>	22,5	24,5	20

Fuente: Autores

8.1 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE VARIABLES

Con el fin de buscar posibles patrones entre las diferentes variables que se tuvieron en cuenta en el presente proyecto, se realizaron gráficas de dispersión para poder relacionar y analizar los puntos generados.

En la gráfica 35 se realiza una comparación entre la magnitud y los octavos de frecuencia dominantes en sentido EW encontrados por medio de las transformadas Wavelets. Como se puede observar, los datos se encuentran agrupados entre los octavos 22, 23 y 24, casi no se muestra dispersión en los datos. Por lo que se puede definir que los octavos de frecuencia no dependen directamente de la magnitud. Sin embargo, para lograr una definición más precisa, se debe agrupar primero por rango de datos en magnitud.

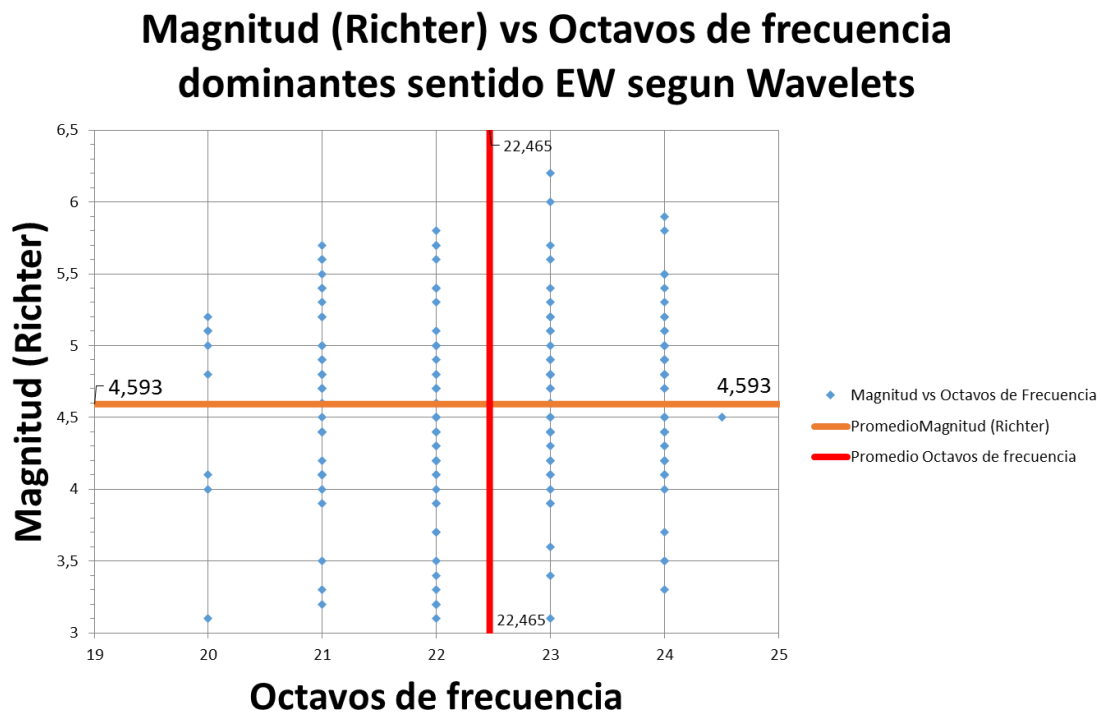


Figura 35 Comparación entre la magnitud y los octavos de frecuencia dominantes EW
Fuente: Autores

En la figura 36 se presenta una comparación entre la magnitud y los octavos de frecuencia dominantes en sentido NS; a diferencia de la figura 35 los octavos se encuentran sectorizados en el octavo No. 21 y 24, sin embargo la distribución es similar que el sentido EW.

Magnitud (Richter) vs Octavos de frecuencia dominantes sentido NS segun Wavelets

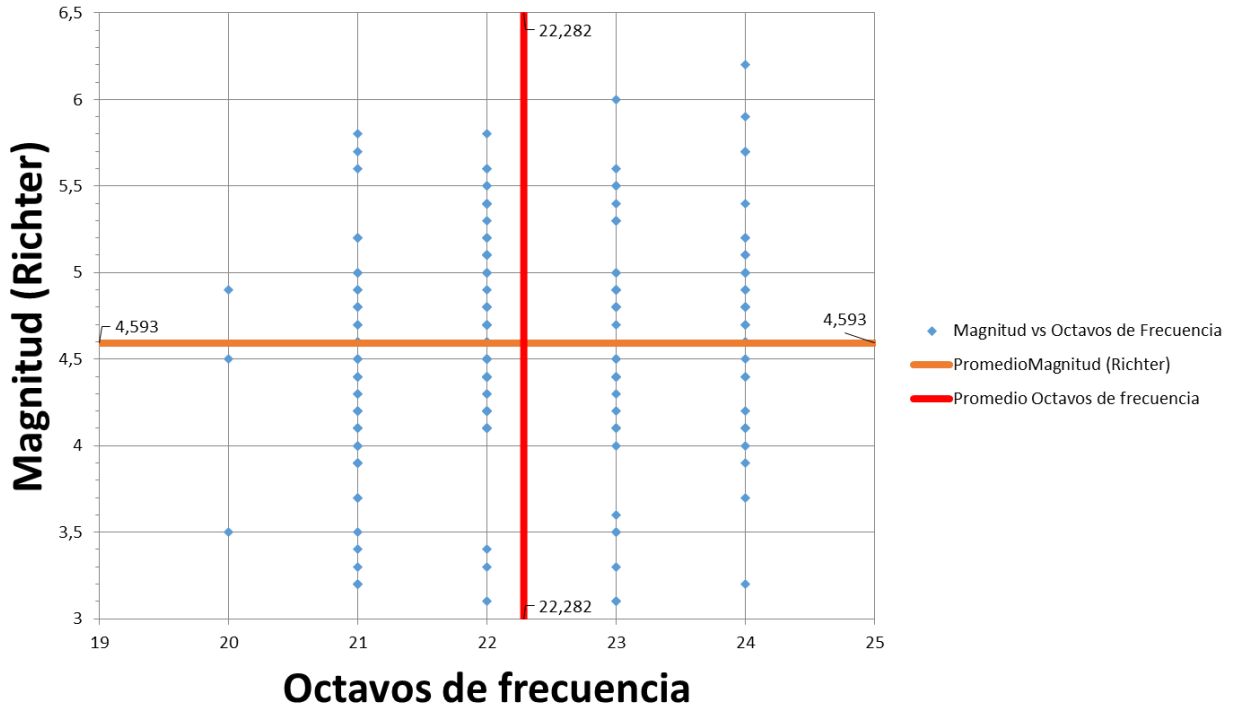


Figura 36 Comparación entre la magnitud y los octavos de frecuencia dominantes NS
Fuente: Autores

En la figura 37 se observa la comparación realizada entre la profundidad de los sismos y los octavos de frecuencia dominantes en sentido EW, lo cual también presenta gran agrupación de datos en los octavos No. 21 y 24; también se puede observar que las profundidades con mayor recurrencia están entre 150 y 160 Km.

Profundidad de los sismos vs Octavos de frecuencia dominantes sentido EW segun Wavelets

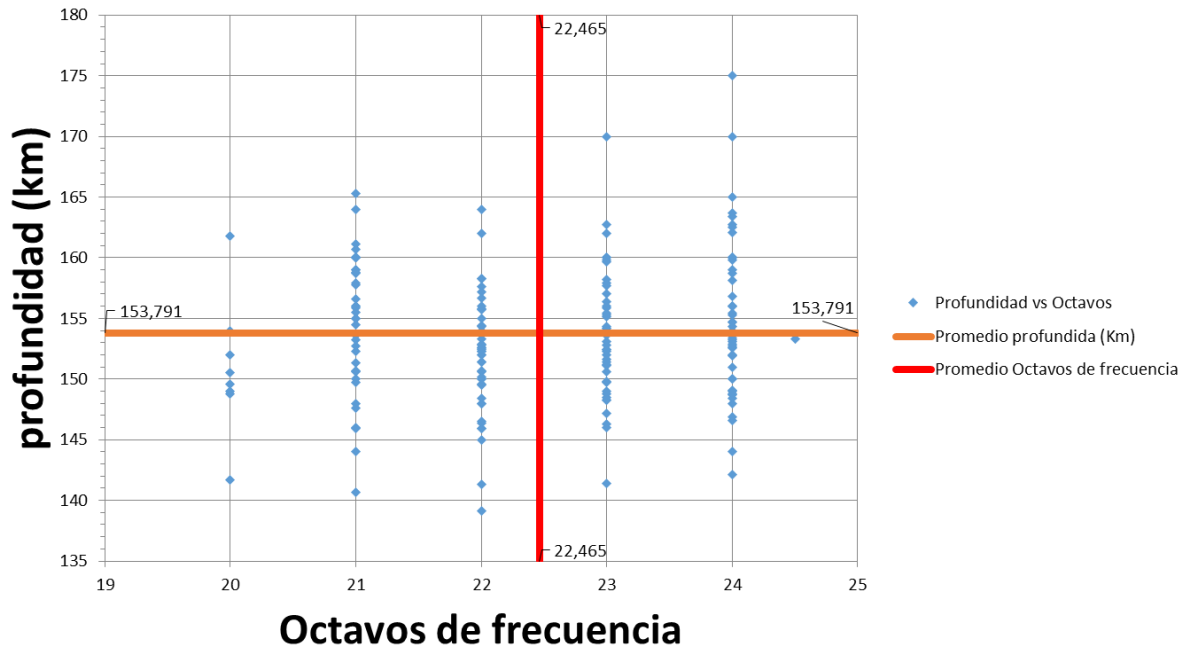


Figura 37 Comparación entra la profundidad y los octavos de frecuencia dominantes EW
Fuente: Autores

En la figura 38, también se realiza una comparación entre profundidad y octavos de frecuencia; sin embargo, a diferencia de la anterior, el octavo No. 20 no se presentan casi puntos, teniendo mayor repercusión el octavo No. 22.

Profundidad de los sismos vs Octavos de frecuencia dominantes sentido NS segun Wavelets

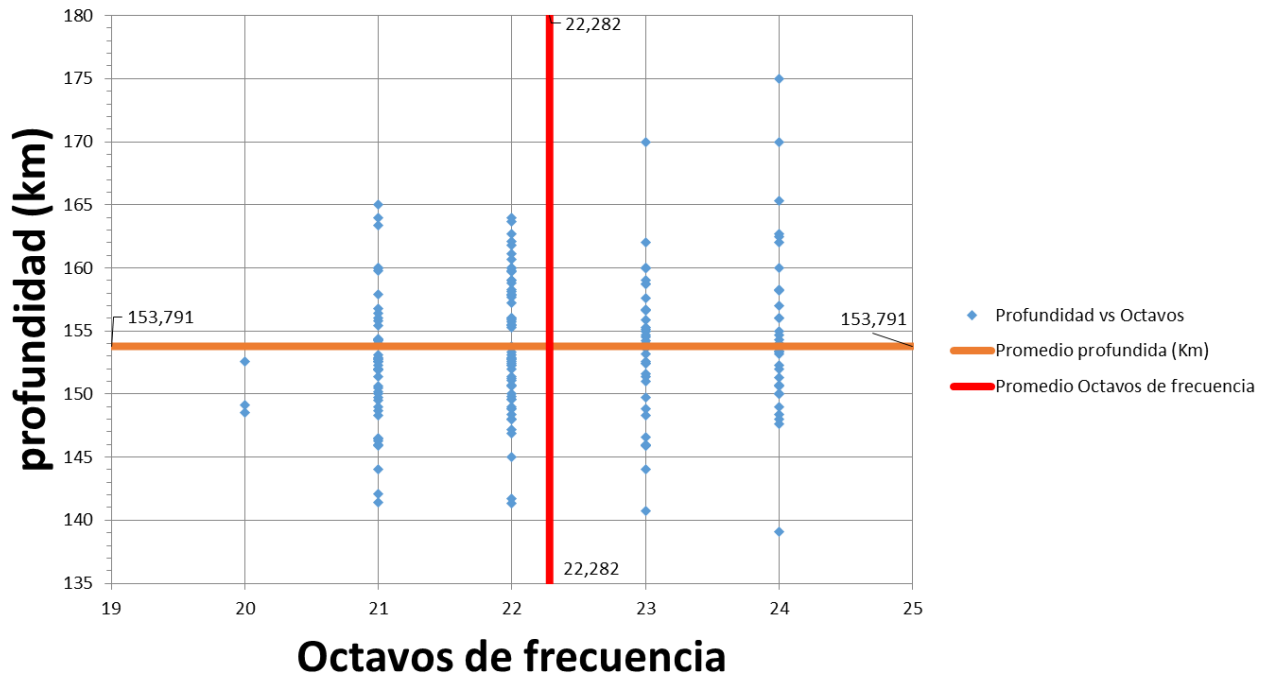


Figura 38 Comparación entra la profundidad y los octavos de frecuencia dominantes NS
Fuente: Autores

En la figura 39, se analiza la magnitud vs los puntos de frecuencias dominantes encontrados por medio de la transformada de Fourier en sentido EW; se puede observar que los puntos donde se encuentran las frecuencias dominantes están entre el número 60 y 110, es decir entre 0.30 y 0.55 segundos, especialmente en los sismos con magnitudes entre 3.8 y 5.7 e escala Richter.

Magnitud (Richter) vs frecuencia dominantes sentido EW (Hz) segun Fourier

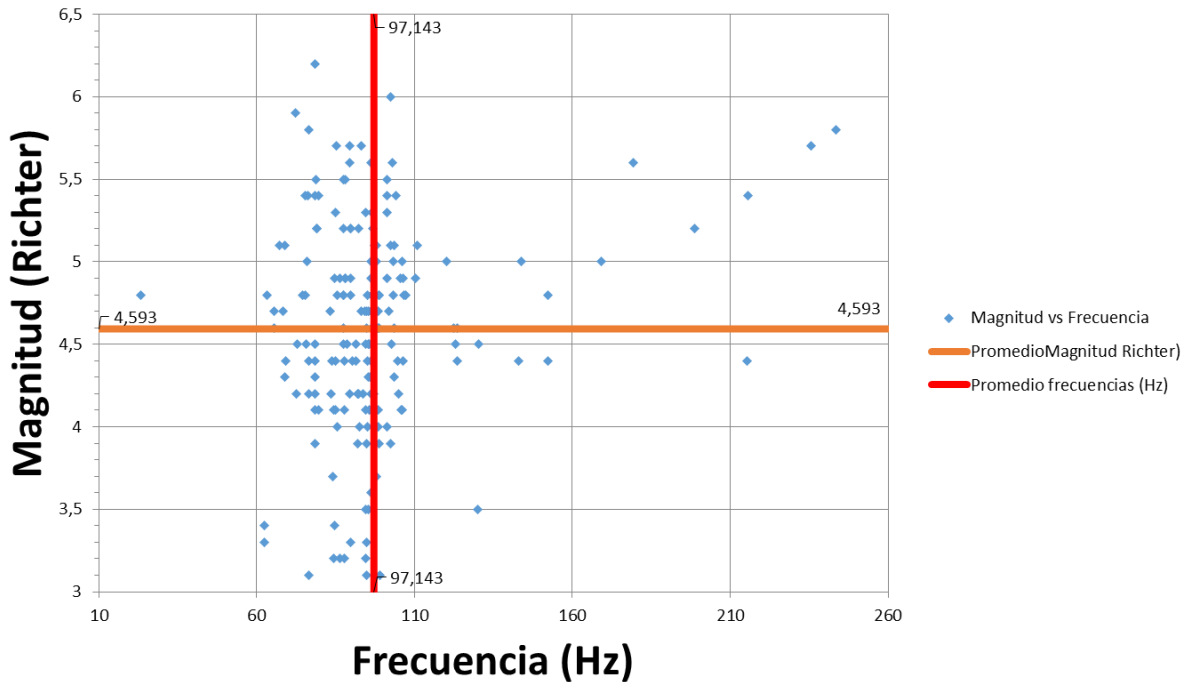


Figura 39 Comparación entre la magnitud y frecuencia dominantes EW
Fuente: Autores

En la figura 40, se analiza la magnitud vs los puntos de frecuencias dominantes encontrados por medio de la transformada de Fourier en sentido NS; se puede observar que los puntos donde se encuentran las frecuencias dominantes están entre el número 150 y 200, es decir entre 0.75 y 1 segundos, especialmente en los sismos con magnitudes entre 4 y 5.5 e escala Richter.

Magnitud (Richter) vs frecuencia dominantes sentido NS (Hz) segun Fourier

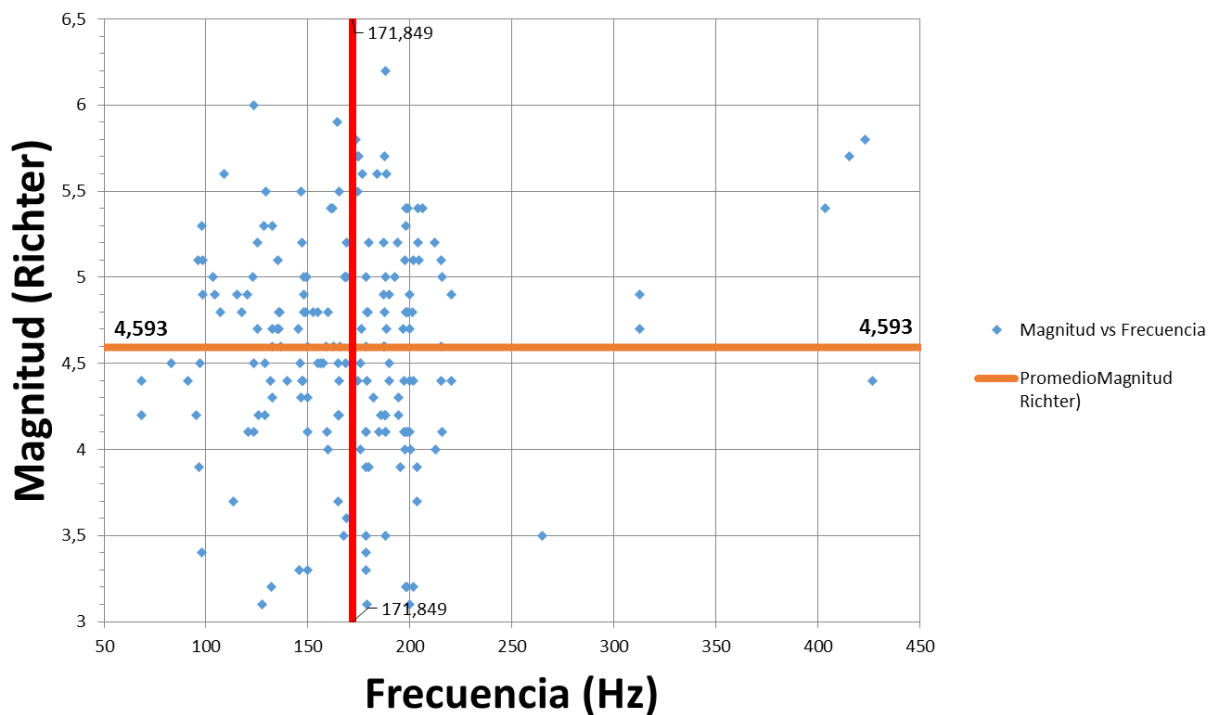


Figura 40 Comparación entre la magnitud y frecuencia dominantes NS
Fuente: Autores

En la figura 41, se analiza la profundidad vs los puntos de frecuencias dominantes encontrados por medio de la transformada de Fourier en sentido EW; se puede observar que los puntos donde se encuentran las frecuencias dominantes están entre el número 60 y 110, es decir entre 0.30 y 0.55 segundos, especialmente en los sismos con profundidades entre 145 y 164 Km.

Profundidad de los sismos vs frecuencia dominantes sentido EW (Hz) segun Fourier

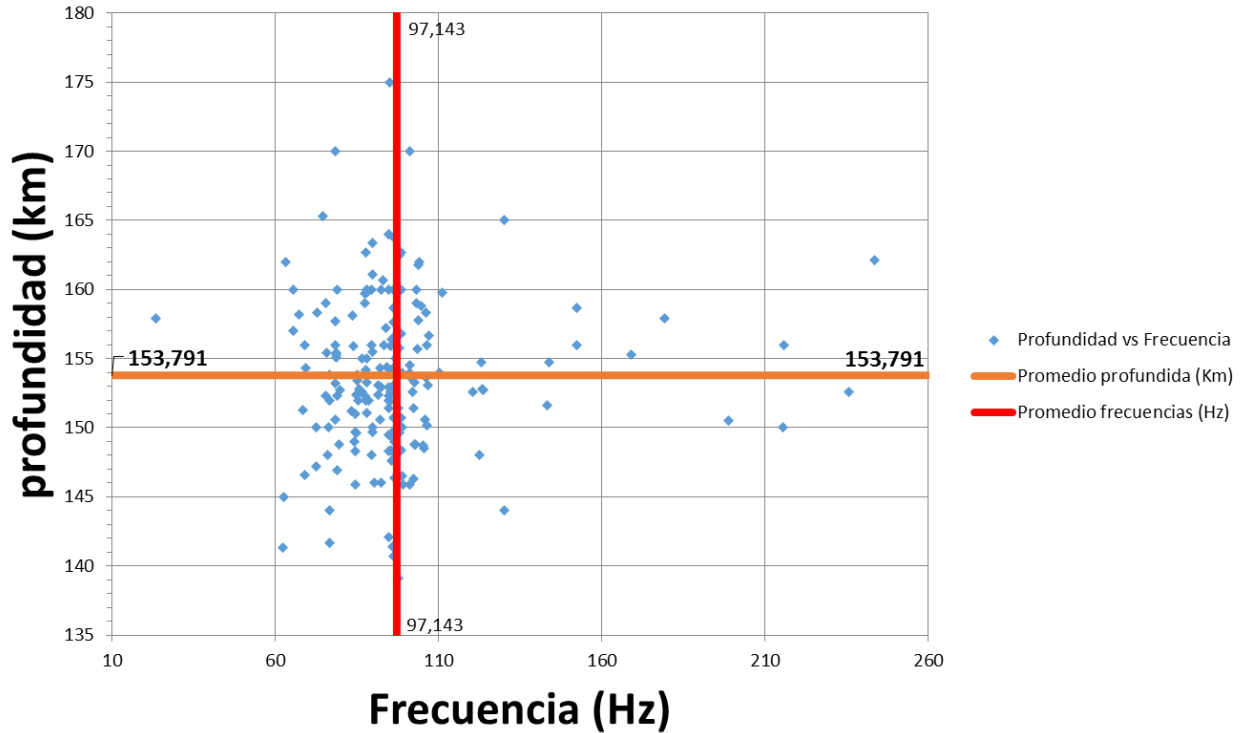


Figura 41 Comparación entre la profundidad y frecuencia dominantes EW
Fuente: Autores

En la figura 42, se analiza la profundidad vs los puntos de frecuencias dominantes encontrados por medio de la transformada de Fourier en sentido NS; se puede observar que los puntos donde se encuentran las frecuencias dominantes están entre el número 110 Y 210, es decir entre 0.55 y 1.05 segundos, especialmente en los sismos con profundidades entre 145 y 160 Km.

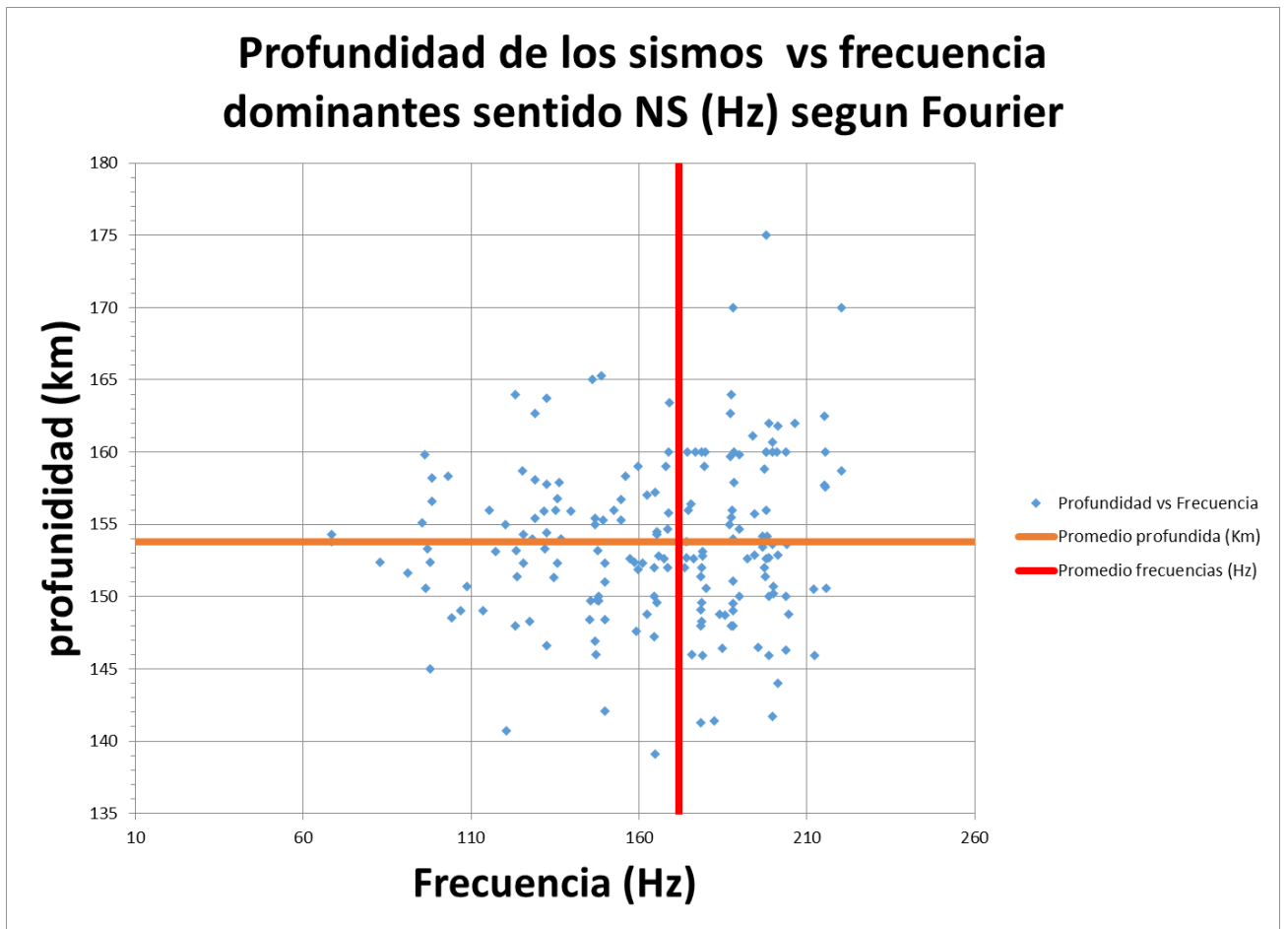


Figura 42 Comparación entre la profundidad y frecuencia dominantes NS
Fuente: Autores

En la figura 43, se analiza la profundidad vs magnitud; se puede observar las magnitudes más recurrentes se encuentran entre 4 y 5.6 en escala Richter, especialmente en los sismos con profundidades entre 147 y 163 Km.

Profundidad de los sismos vs magnitud en la escala de Richter

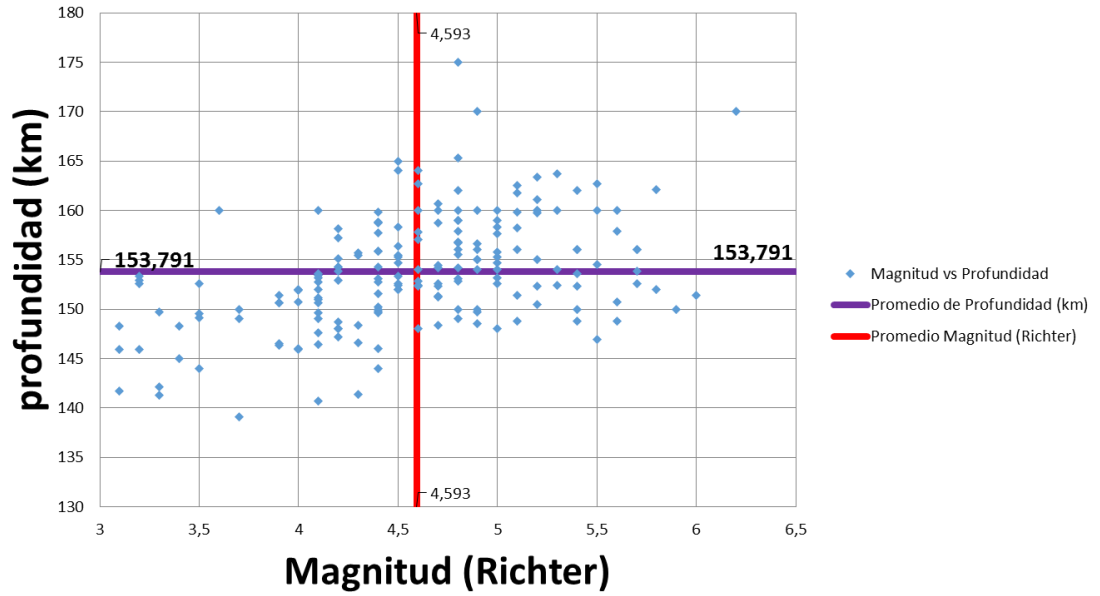


Figura 43 Comparación entre la profundidad y Magnitud
Fuente: Autores

9. CONCLUSIONES

La interfaz generada en el software Wolfram mathematica permite constante retroalimentación del evento sísmicos lo que constituye una excelente herramienta académica y profesional, única a nivel regional.

Mediante el uso de las transformadas de Fourier se puede obtener las frecuencias dominantes de los sismos

Se pudo determinar el comportamiento de los espectros y pseudo-frecuencias sísmicas en el transcurrir del tiempo, siendo esto el aporte más importante respecto al análisis sísmico con relación a los métodos tradicionales

Para los sismos estudiados la magnitud oscila entre 3.1 y 6.2 en escala Richter, el contenido pseudo-frecuencial se mantiene entre los 20 y 24 octavos , las frecuencias dominantes de Fourier entre 23 Hz y 426 Hz y la profundidad oscila entre los 139.1 y 175 kilómetros

La magnitud dominante de los eventos sísmicos es 4.6 en escala Richter, la profundidad dominante es 153.8 Km, la frecuencia dominante promedio con base en la transformada de Fourier es 171.85 Hz en sentido NS y 97.14 Hz en sentido EW; los octavos de frecuencia promedios obtenidos de las transformadas Wavelets fueron de 22.28 en sentido NS y 22.47 en sentido EW

Mediante el uso de las transformadas de Wavelets se pudo observar el comportamiento de las seudo-frecuencias en el tiempo de ocurrencia de las señales sísmicas

10.RECOMENDACIONES

Algunos archivos de aceleración no corregidos suministrados por la red sismológica de Colombia, presentan aceleraciones constantes durante la ocurrencia de los eventos sísmicos, hecho que no es posible y que puede deberse a una falla en la estación sismológica o a errores humanos en la transcripción de los datos; por cuanto se recomienda descartar este tipo de datos, ya que pueden convertirse en un parámetro desviador de los datos reales que se necesitan tabular.

Es importante continuar con la alimentación de la interfaz creada para mejorar la veracidad de los resultados obtenidos, respecto a las conclusiones a las que se pueda llegar y a la aplicabilidad de este estudio a la ingeniería civil.

Se recomienda usar esta herramienta para posteriores estudios en los cuales se analice el comportamiento de las estructuras de distintos grados de libertad ante diferentes patrones de frecuencias y de esta forma determinar la influencia de las señales sísmicas sobre las edificaciones

Es posible determinar patrones en las frecuencias obtenidas mediante el análisis de las señales sísmicas para el nido de la mesa de los santos, pero esto requiere de un estudio más profundo y de análisis estadísticos de mayor precisión que dan paso a otro proyecto de grado

BIBLIOGRAFÍA

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto No. 1600 (25, Mayo, 2005). Por el cual se reglamentan las disposiciones sobre licencias urbanísticas, reconocimiento de edificaciones y legalización de asentamientos humanos. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2005. P. 1- 34

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 810. (13, Junio, 2003). Por la cual se modifica la Ley 388 de 1997 en materia de sanciones urbanísticas y algunas actuaciones de los curadores urbanos y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2003. P. 1- 8

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Norma NSR 2010. Por el cual se establecen los requisitos de diseño y construcción sismo resistente. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2010. P. 1- 514

ICONTEC. Trabajos escritos: Presentación y referencias bibliográficas. 6 ED. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2009. ISBN: 978-958-9383-81-0

PINTO DE HART, Martha. Panorama de la construcción en Colombia. Presentación ante el LXIII de consejo Directivo FIIC. CAMACOL, 2010. Citado el 08 de Octubre de 2.013

MOROS, Ana María. Caracterización de señales de precipitación. 14 de Septiembre de 2013.

OVIEDO, Diego. Transformada wavelet de las señales sísmicas provenientes del Nido de Bucaramanga. VI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Pag. 791

DUQUE, Gonzalo. Actividad sísmica en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, 2009. Citado el 04 de Octubre de 2013.

WEBGRAFÍA

- [] YAMASAKIMAZA, Leonardo. Transformadas wavelets y el diseño sismorresistente. En línea. Disponible en web:[<http://leonardo.yamasakimaza.org/doctorado/wavelet/reporte-wavletLYM.pdf>]. Citado el 10 de Septiembre de 2013
- [] RODRIGUEZ, Adolfo. VI congreso de construcción. En línea. Disponible en web:[<http://www.uclm.es/actividades/2010/CongresoIM/pdf/cdarticulos/050.pdf>]. Citado el 10 de Septiembre de 2013
- [] LARA, Adriana. Eventos sísmicos. En línea. Disponible en web:[http://www.minas.upm.es/fundacion/jgs/index.php?option=com_content&view=article&id=111:00b01&catid=14:sample-data-articles&Itemid=272&lang=es]. Citado el 10 de Septiembre de 2013
- [] MOROS, Ana María. Caracterización de señales de precipitación. En línea. Disponible en web:[<http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis334.pdf>]. Citado el 14 de Septiembre de 2013.
- [] [Sin autor]. Diccionario ABC. Disponible en web:[<http://www.definicionabc.com/geografia/sismo.php#ixzz2mOEvRZvo>]. Citado el 03 de Octubre de 2013
- [] BAEZ, Armando. Análisis de estructuras II. En línea. Disponible en web:[http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/civil/analisisestructuralII/GuiaDeEstudio/PDF/Unidad_1_01.pdf]. Citado el '4 de Octubre de 2013
- [] MÉXICO. Universidad Nacional Autónoma. Departamento de geofísica. En línea. Disponible en web:[<http://secre.ssn.unam.mx/SSN/instrumentacion3.html>]. Citado el 08 de Octubre de 2013
- [] MÉXICO. Universidad Nacional Autónoma. Departamento de geofísica. En línea. Disponible en web:[http://secre.ssn.unam.mx/SSN/IMG/Instrumentos/III_K2-s.jpg]. Citado el 08 de Octubre de 2013
- [] COLOMBIA. SENADO DE LA REPÚBLICA. Ley 400 de 1997. EN línea. Disponible en web:[http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley/1997/ley_0400_1997.html]. Citado el 28 de Octubre de 2013

ANEXOS

Anexo 1 Manual de Usuario V 1.0 Seismic Graphs & Trans

Anexo 2 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 05/01/2004

Fecha: 05/01/2004.

Hora: 03:05:28.

Magnitud: 5

Latitud del evento (grados): 6.835

Longitud del evento (grados): -73.06

Profundidad del evento (Km): 155.3

Estación: Embalse de Fuquene

Latitud de la estación (grados): 5.47

Longitud de la estación (grados): -73.738

Distancia epicentral: 169.176 km

Distancia hipo central: 229.649 km

Intervalo de muestreo (segundos): 0.005

Numero de datos: 6000

Duración (segundos): 30

Unidades: cm/s²

Registro de aceleración E-W,

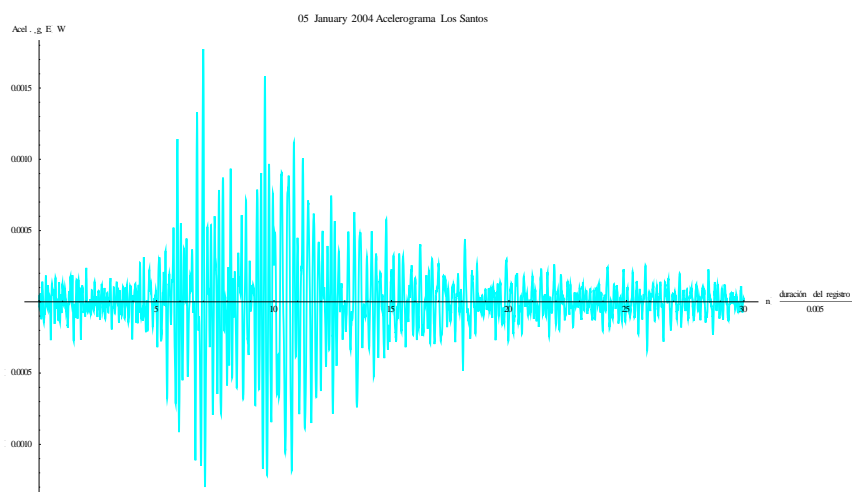


Figura 1, Acelerograma

La figura uno representa el Escalograma de las aceleraciones en gravedades en dirección este oeste, registrando en el eje horizontal el tiempo cada 0.05 segundos y en el eje vertical la aceleración presentada por el evento sísmico como una fracción de la gravedad; la figura refleja los máximos picos de aceleración entre los 5 y 17 segundos.

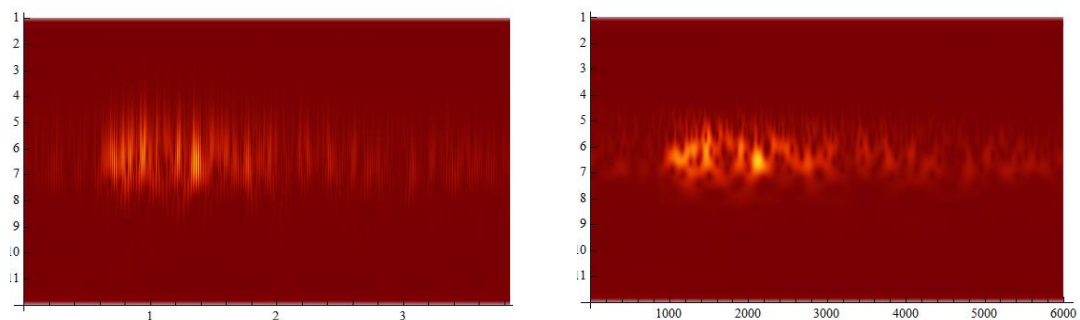
Espectro energético de la aceleración E-W Transformada Fourier



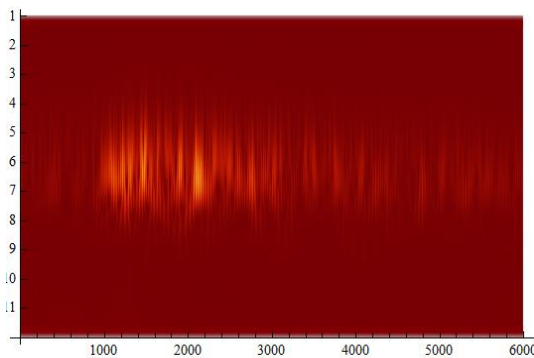
Figura 2, espectro energético

La figura 2 representa el espectro sísmico o espectro energético del evento sísmico obtenido mediante la transformada de Fourier, la figura permite observar que existen frecuencias dominantes durante el transcurso del evento sísmico pero no están completamente definidas debido a su variabilidad.

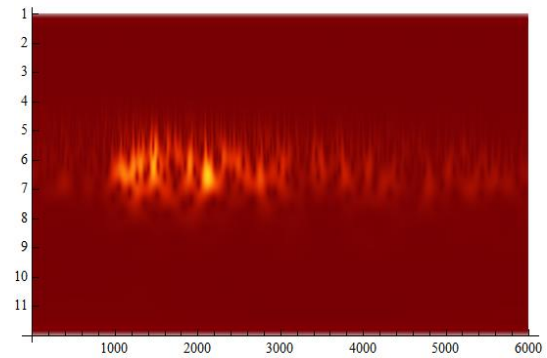
Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



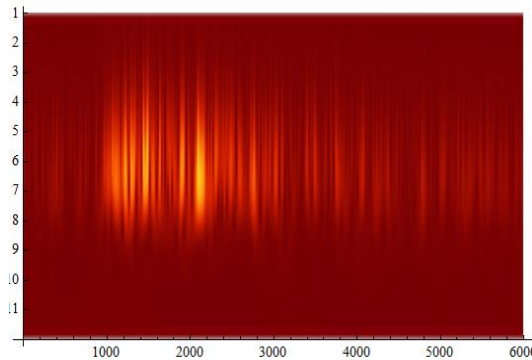
b. Transformada Wavelet (Mexican Hat)
(Morlet)



b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)



d. Transformada Wavelet

e. Transformada (Paul)

Figura3, transformadas de wavelets

El figura tres muestra el grupo de familias de las transformadas wavelets, observado que no en todas se obtiene una buena definición de las frecuencias dominantes en el evento sísmico para el caso particular Gabor y Dgaussian no permiten definir las magnitudes de las frecuencias en el tiempo mientras que Paul se acerca más a la obtención de las frecuencias y los tiempos dominantes durante el evento sísmico.

**Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial)
y tiempo**

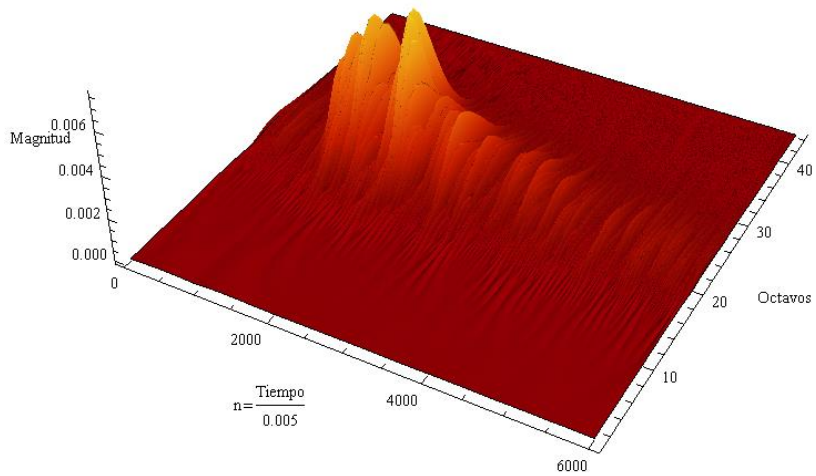
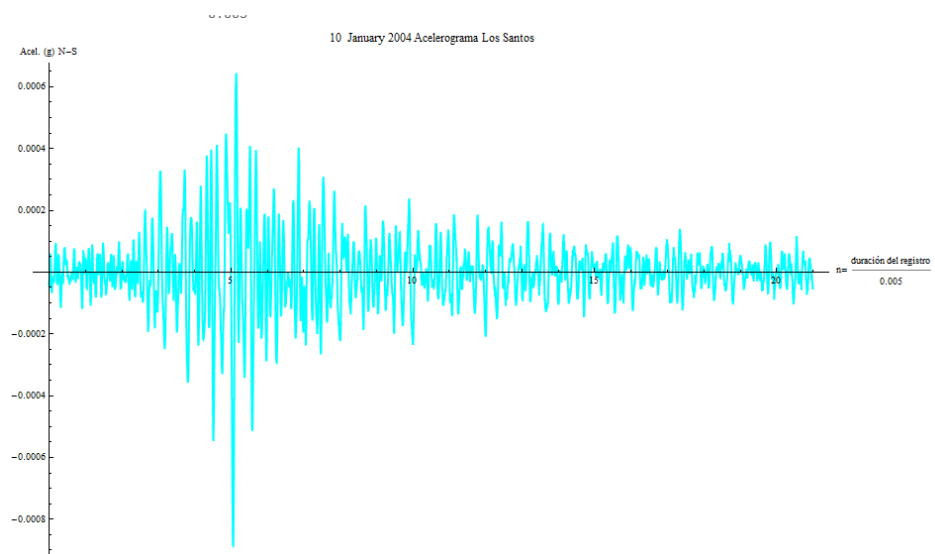


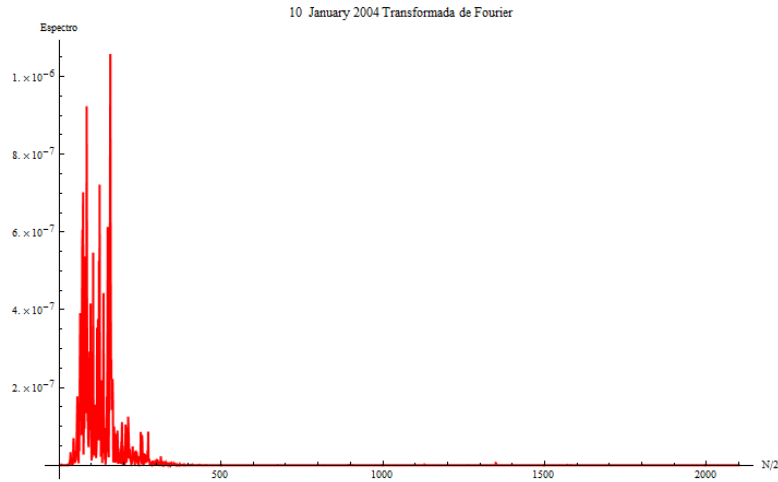
Figura 4, Escalograma en tres dimensiones

La figura cuatro representa el comportamiento del evento sísmico en tres dimensiones, logrando obtener una mejor perspectiva sobre el comportamiento de las frecuencias en el tiempo y las magnitudes del evento sísmico, la magnitud representa la intensidad con que se comporta el sismo, la primera dimensión representa el tiempo en el que se registró el evento sísmico cada 0.005 segundos, la segunda dimensión representada por los octavos hace referencia a la banda frecuencial. Observando el comportamiento del evento podemos ver en qué momento y a que ancho de banda frecuencial presento sus mayores magnitudes.

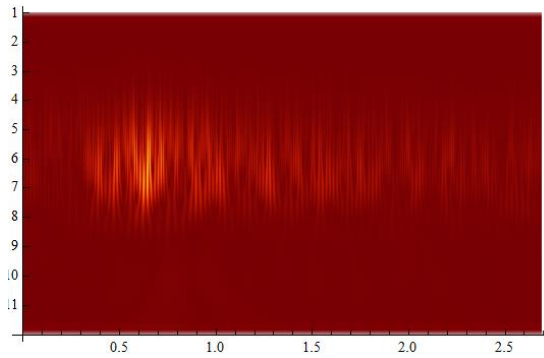
Registro de aceleración N-S,



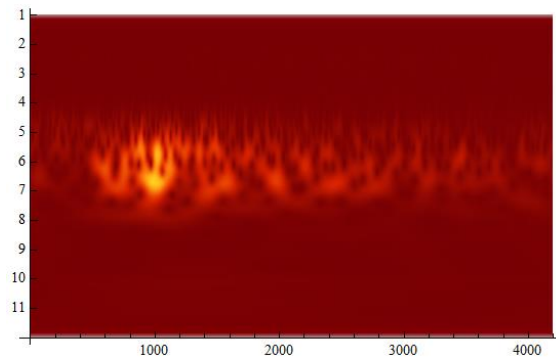
Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier



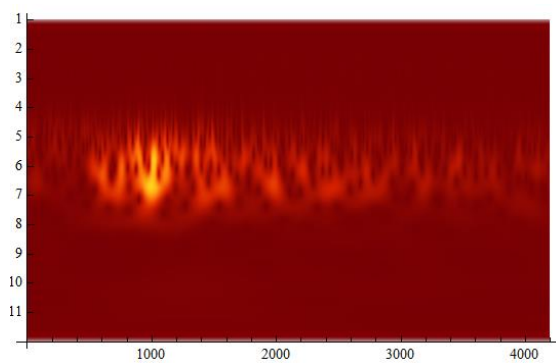
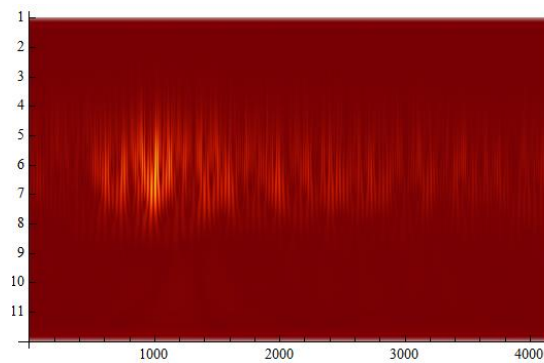
Trasformadas Wavelet Dirección N-S " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



a. Transformada Wavelet (Mexican Hat) (Morlet)

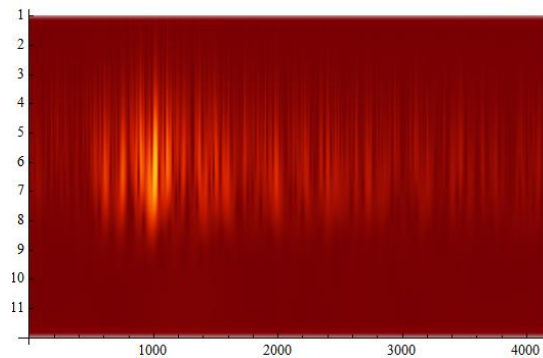


b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

d. Transformada Wavelet

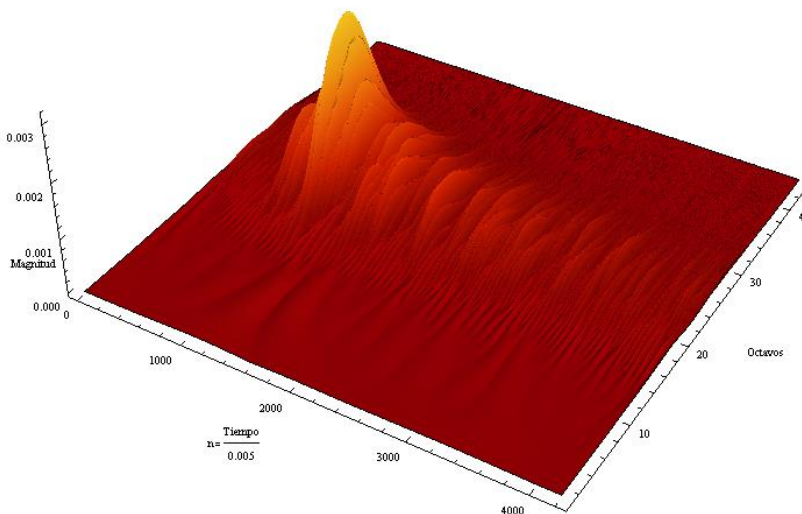


e. Transformada (Paul)

Al aplicar la transformada con distintas familias de wavelet se observa no todas arrojan la mejor definición.

Por ejemplo Gabor y Meyer, en este caso no definen los valores de el tiempo en el que se presentan las frecuencias dominantes, mientras que Paul no permite definir las frecuencias. Por su parte los wavelets, MexicanHat y Derivada Gaussiana permite obtener una mejor resolución en ambas dimensiones. La Figura 12 presenta el Escalograma en tres dimensiones, la tercera dimensión es la magnitud o intensidad con que se presentan cada una de las escalas (banda frecuencial) en el tiempo.

Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



Anexo 3 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 10/01/2004

Fecha: 2004/01/10

Hora: 22:24:35

Magnitud: 4.5

Latitud del evento (grados): 6.843

Longitud del evento (grados): -73.077

Profundidad del evento (km): 158.3

Estación: embalse de Fuquene

Latitud de la estación (grados): 5.47

Longitud de la estación (grados): -73.738

Distancia epicentral: 169.145 km

Distancia hipo central: 231.666 km

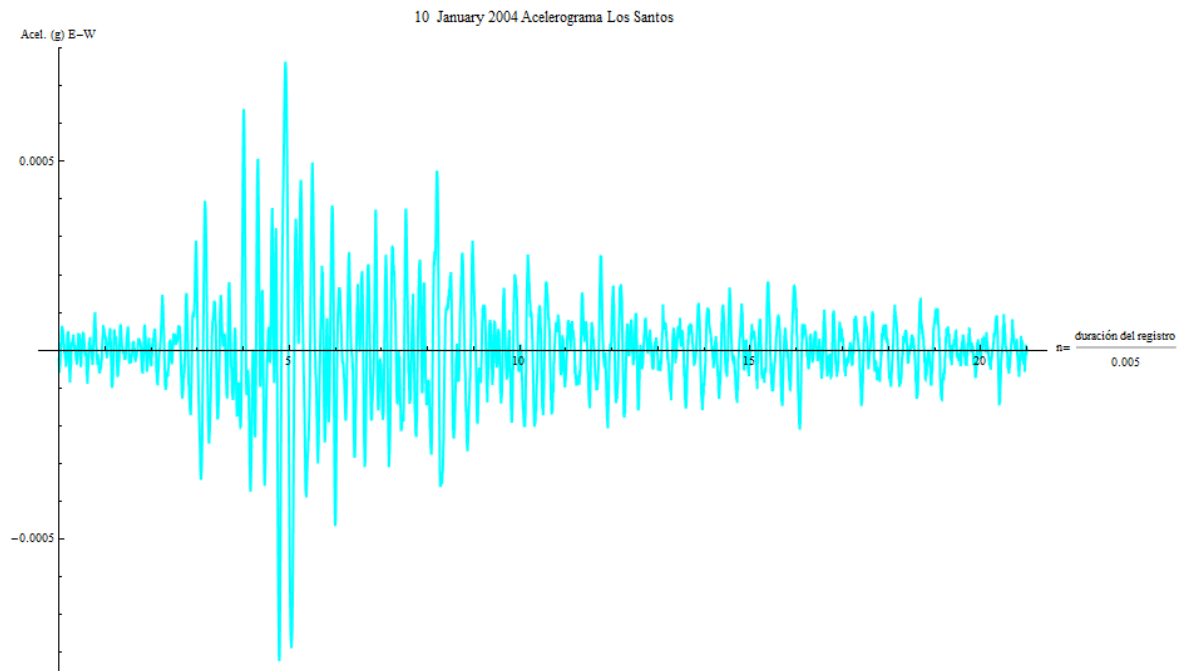
Intervalo de muestreo (segundos): 0.005

Numero de datos: 4200

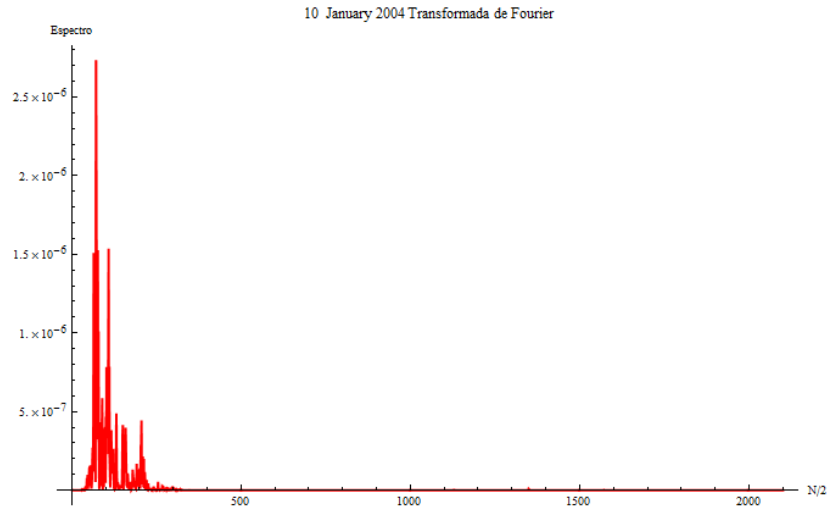
Duración (segundos): 21

Unidades: cm/s²

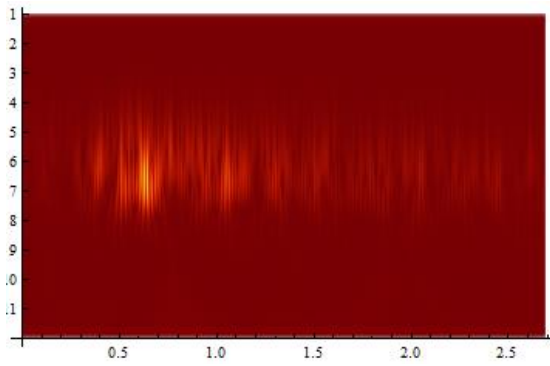
Registro de aceleración E-W,



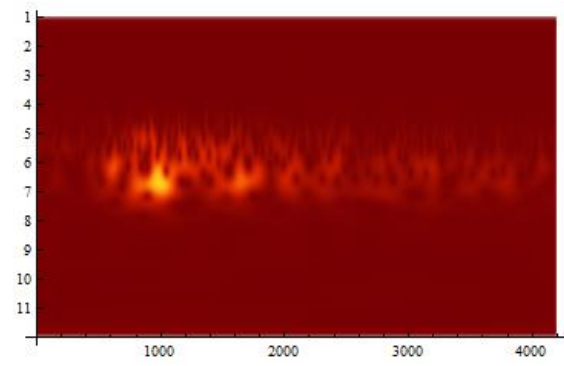
Espectro energético de la aceleración E-W Trasformada Fourier



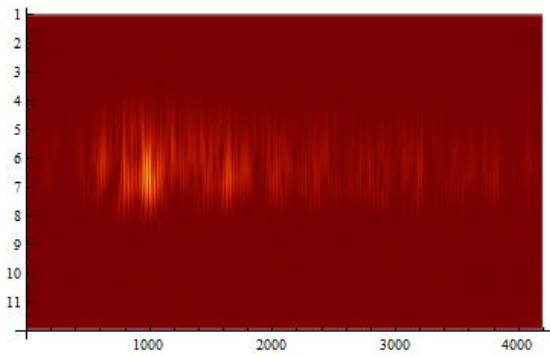
Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



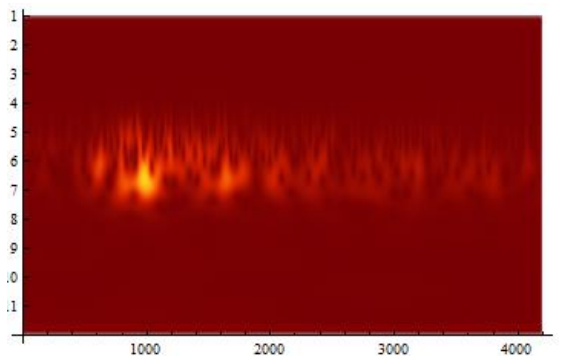
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)
(Morlet)



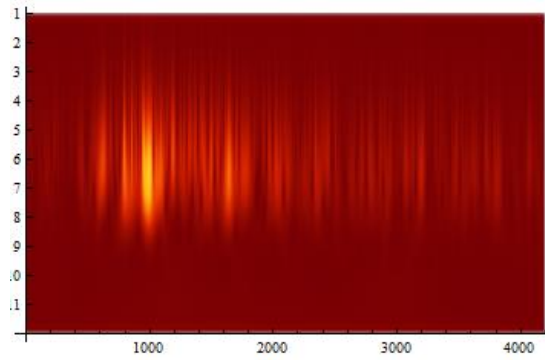
b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

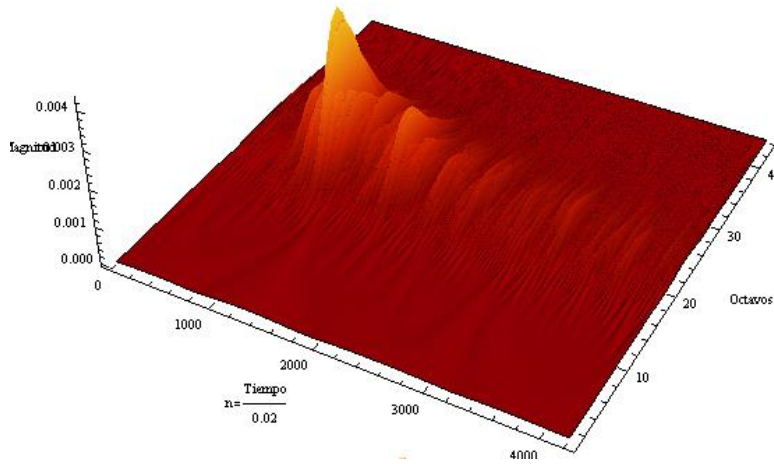


d. Transformada Wavelet

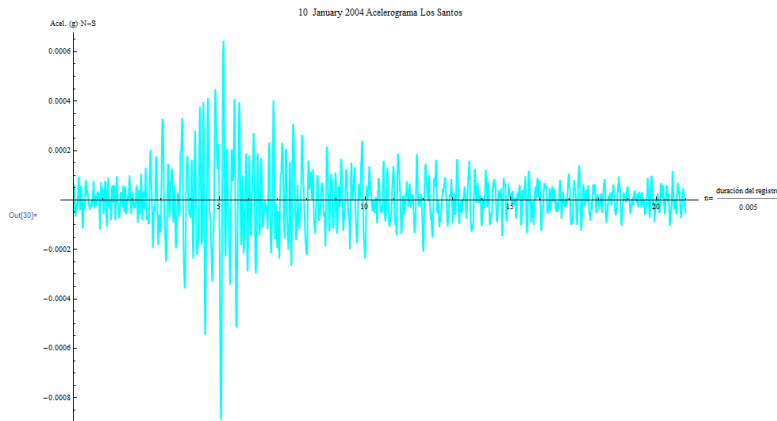


e. Transformada (Paul)

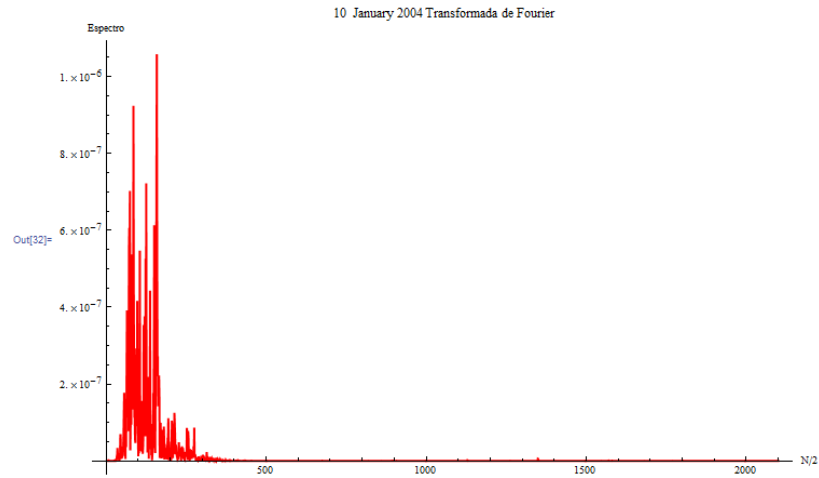
Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



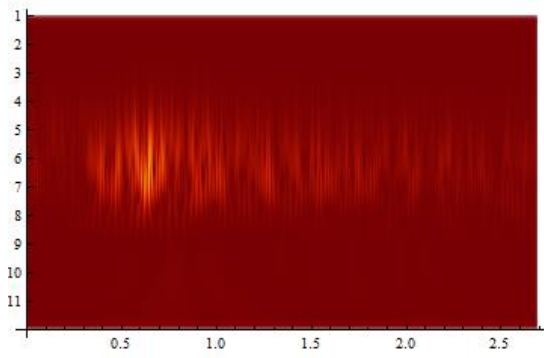
Registro de aceleración N-S,



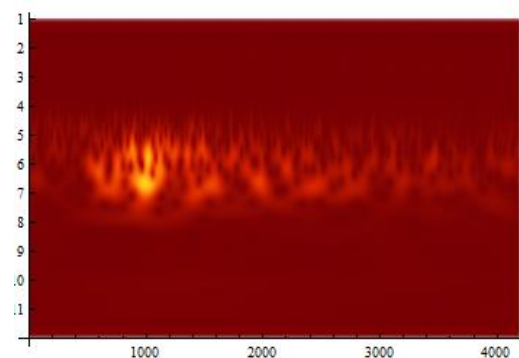
Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier



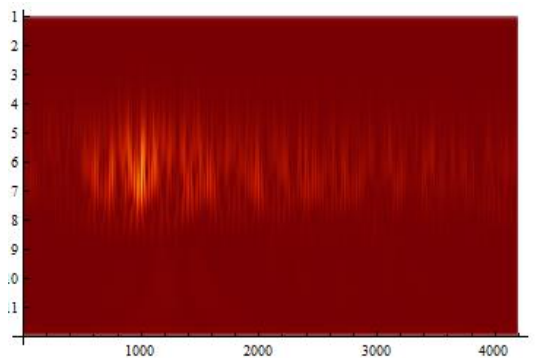
Trasformadas Wavelet Dirección N-S " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



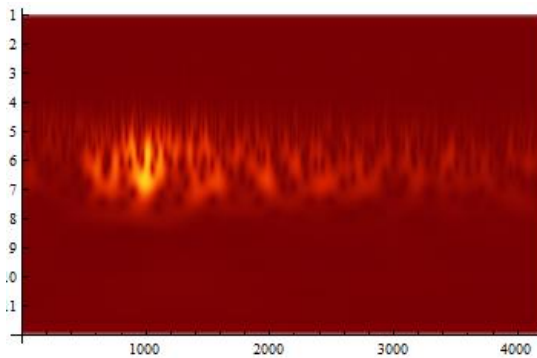
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)
(Morlet)



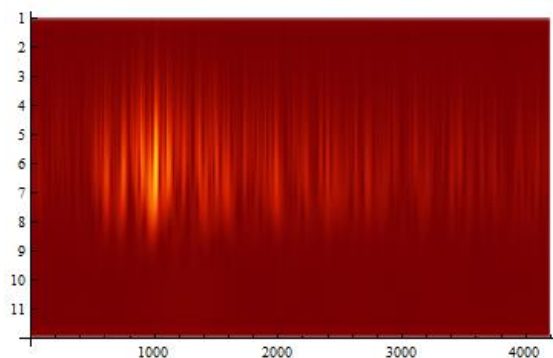
b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

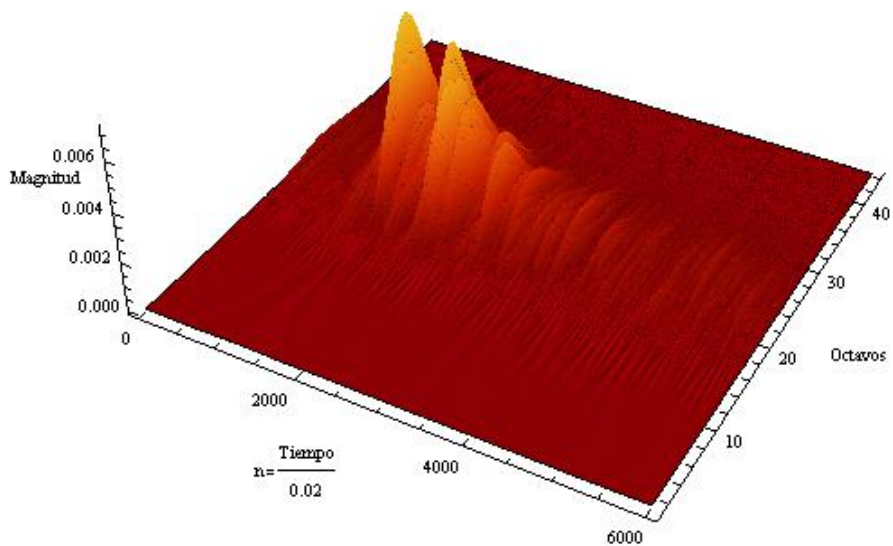


d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



Anexo 4 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 20/01/2004

Fecha: 2004/01/20

Hora: 08:31:35

Latitud del evento (grados): 6.857

Longitud del evento (grados): -73.053

Profundidad del evento (km): 159.8

Estación: Embalse de Fuquene

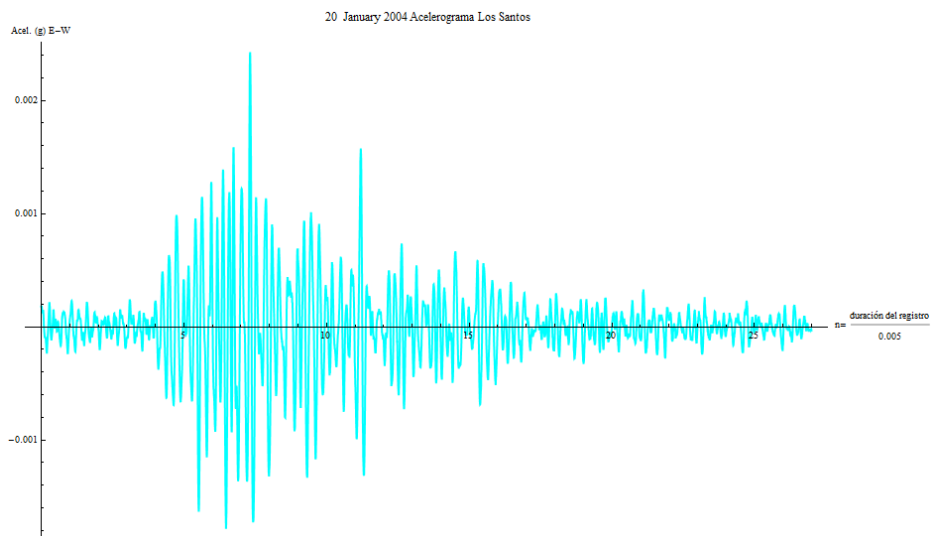
Latitud de la estación (grados): 5.47

Longitud de la estación (grados): -73.738

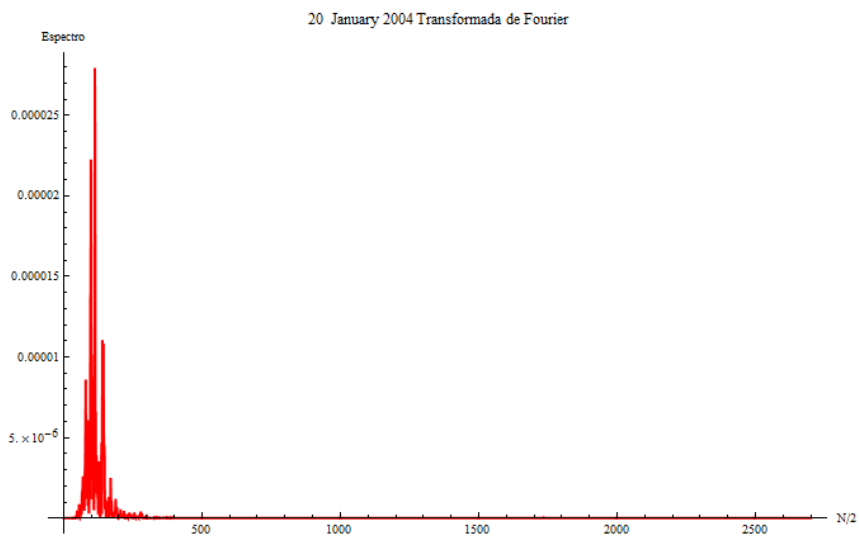
Distancia epicentral: 171.709 km

Distancia hipo central: 234.563 km
Intervalo de muestreo (segundos): 0.005
Numero de datos: 5400
Duración (segundos): 27
Unidades: cm/s²

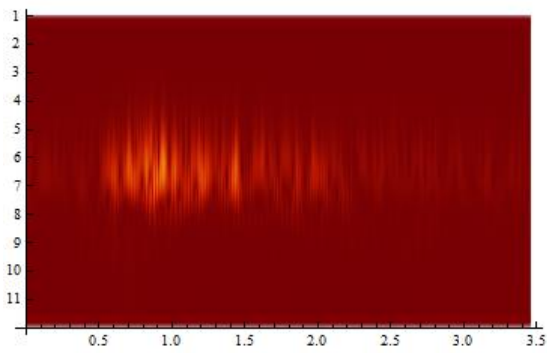
Registro de aceleración E-W,



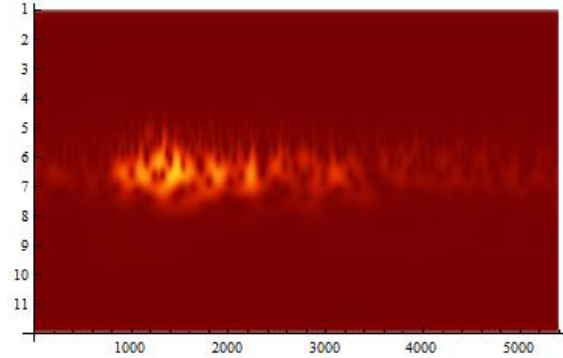
Espectro energético de la aceleración E-W Trasformada Fourier



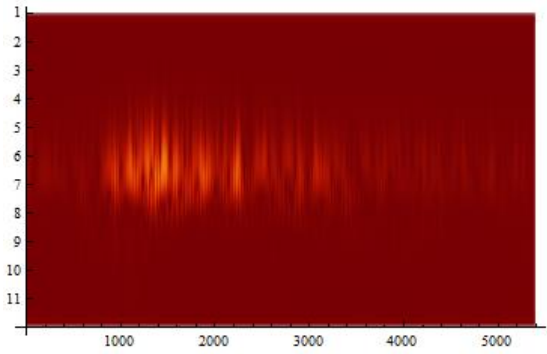
Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



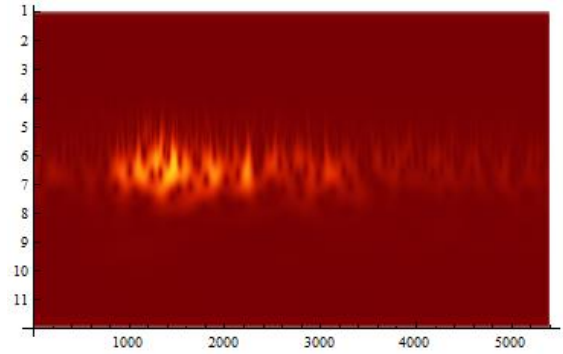
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)
(Morlet)



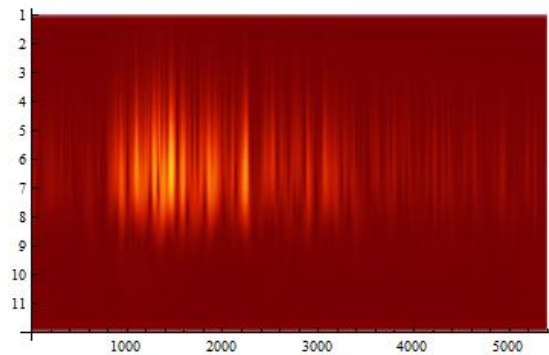
b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian)
((Gabor)

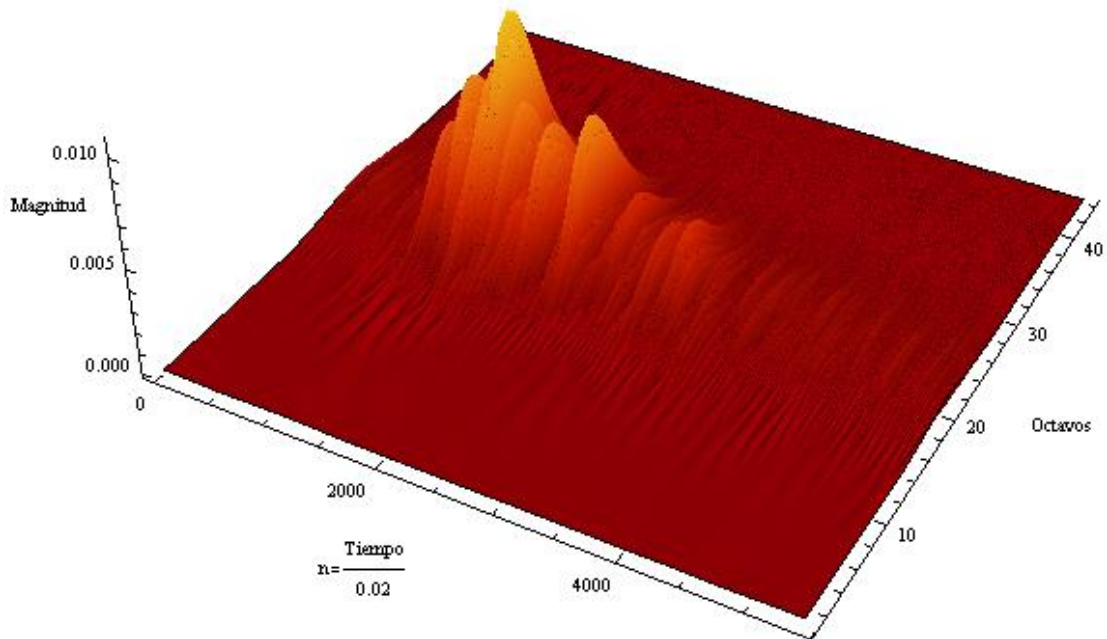


d. Transformada Wavelet

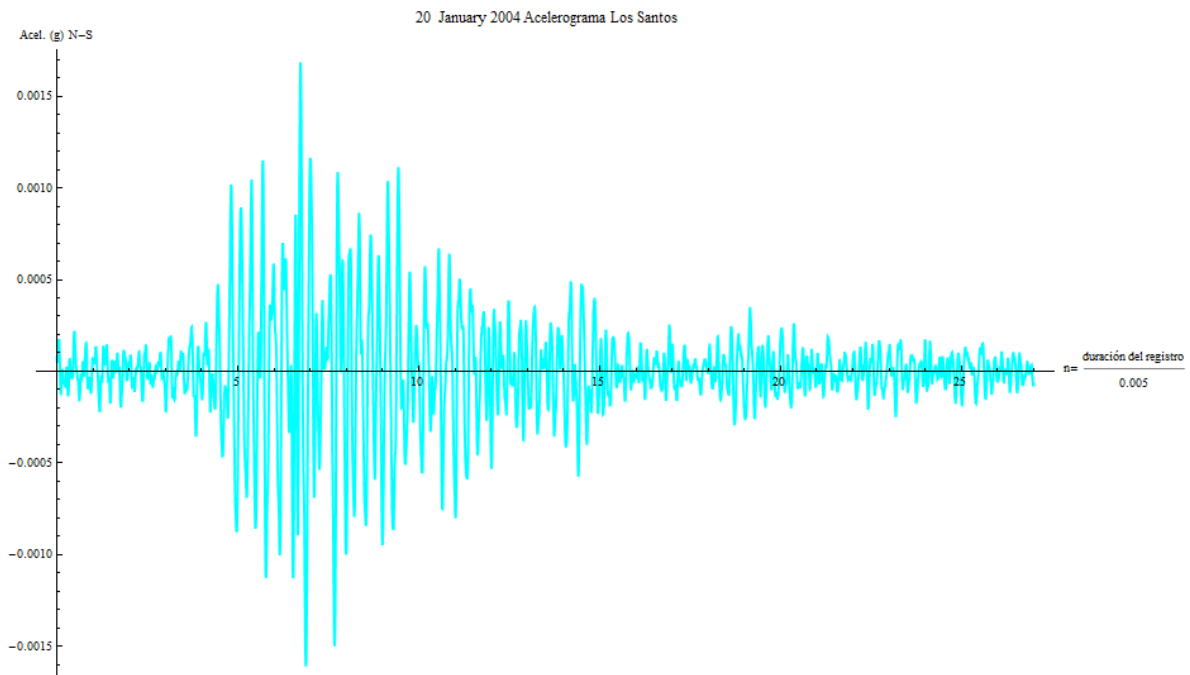


e. Transformada (Paul)

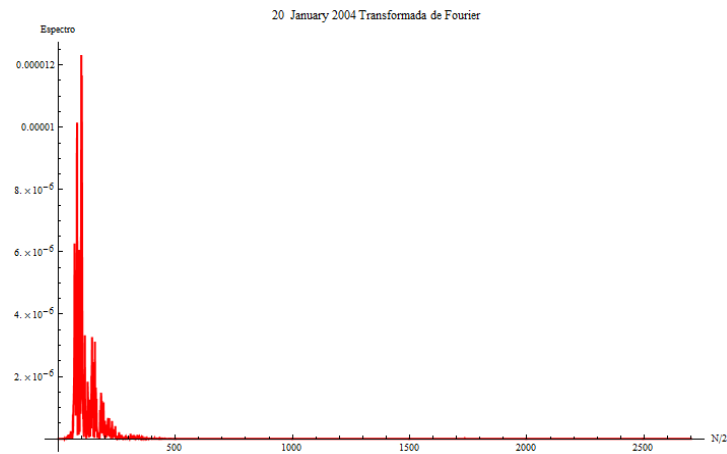
Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



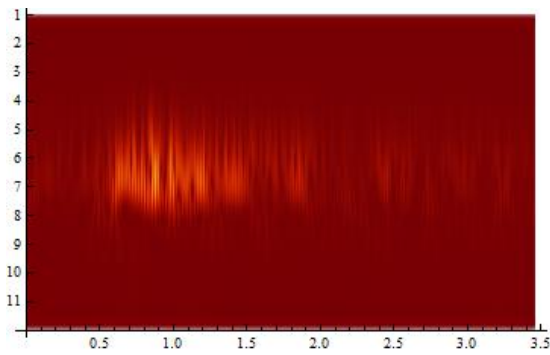
Registro de aceleración N-S,



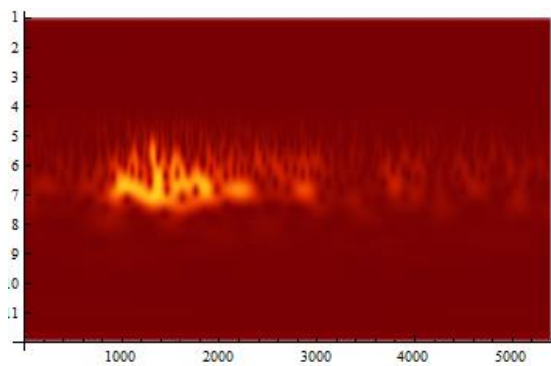
Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier



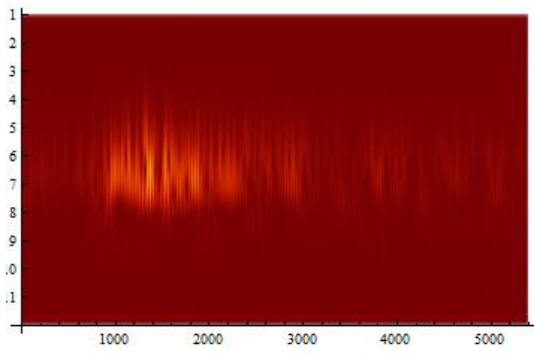
Trasformadas Wavelet Dirección N-S " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



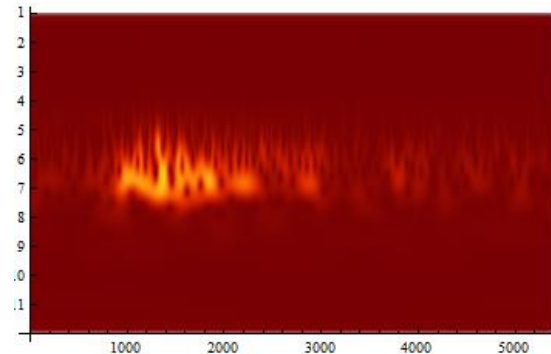
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)
(Morlet)



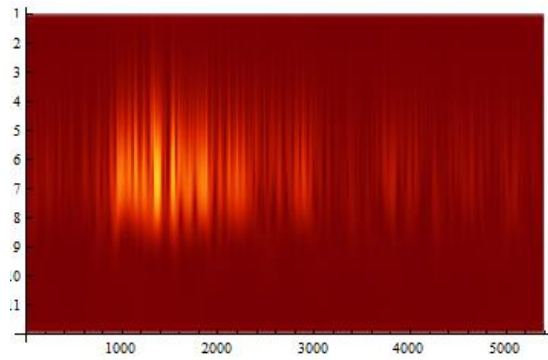
b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

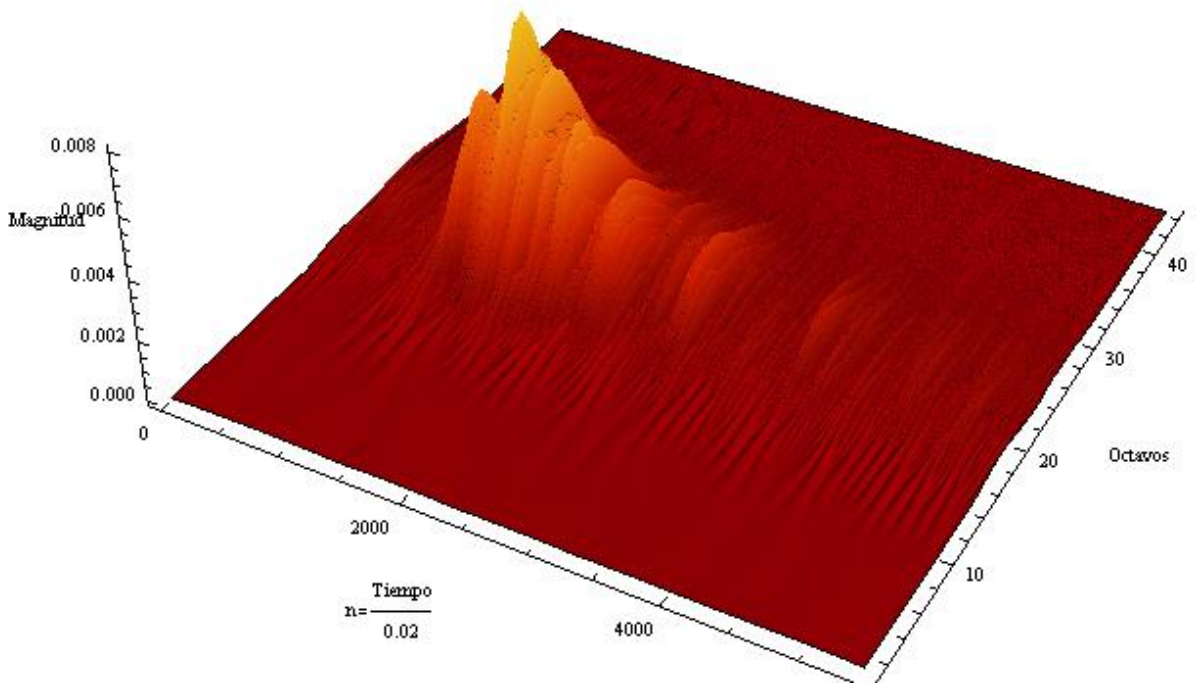


d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



Anexo 5 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 04/02/2004

Fecha: 2004/04/02

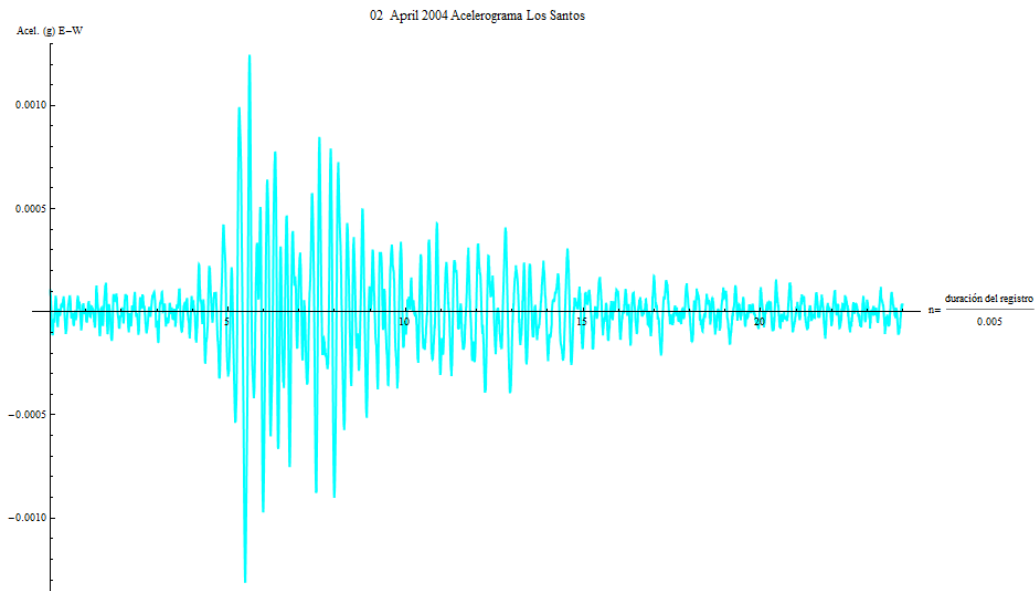
Latitud del evento (grados): 6.819

Longitud del evento (grados): -73.103

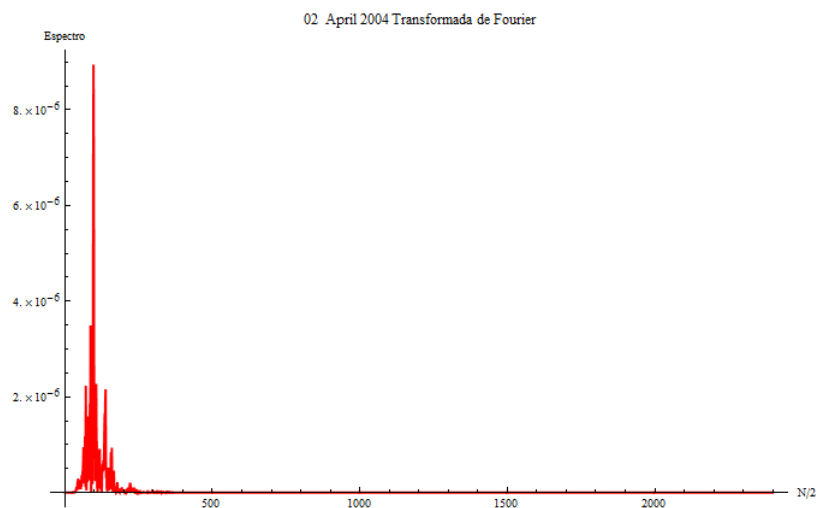
Profundidad del evento (km): 152.3

Estación: embalse de Fuquene
Latitud de la estación (grados): 5.47
Longitud de la estación (grados): -73.738
Distancia epicentral: 165.499 km
Distancia hipo central: 224.912 km
Intervalo de muestreo (segundos): 0.005
Numero de datos: 4800
Duración (segundos): 24
Unidades: cm/s²

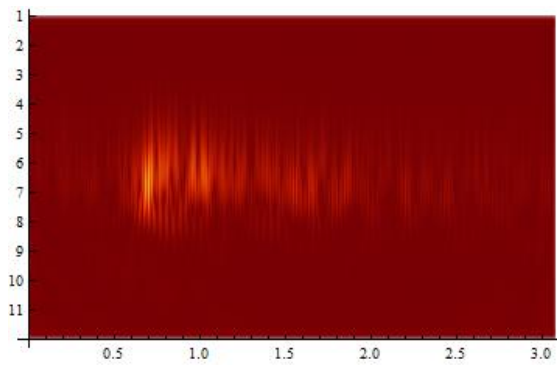
Registro de aceleración E-W,



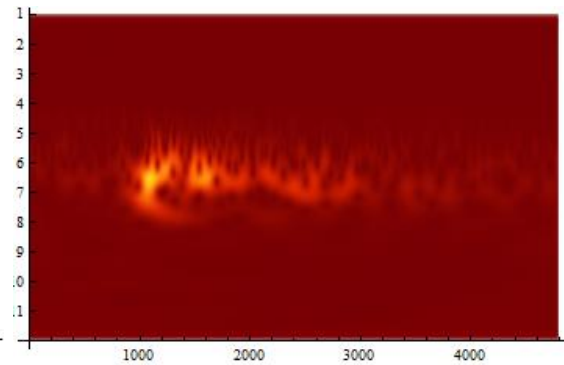
Espectro energético de la aceleración E-W Trasformada Fourier



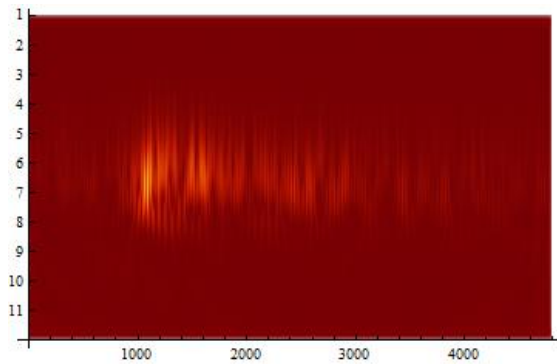
Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



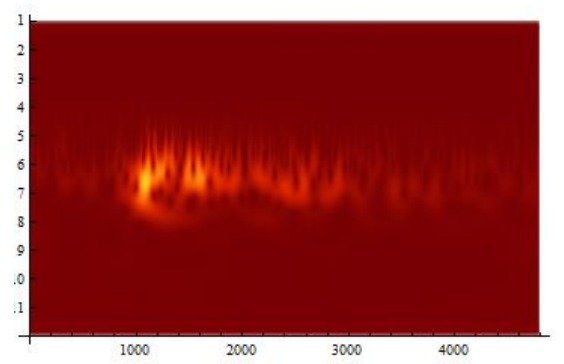
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat (Morlet))



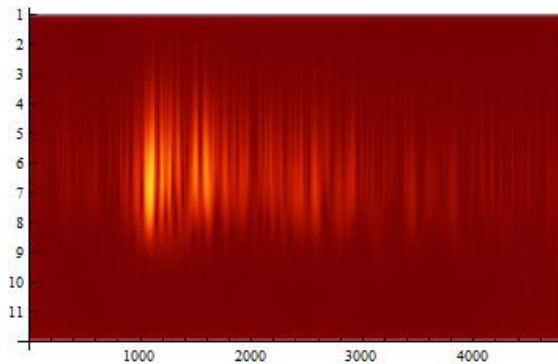
b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian ((Gabor))

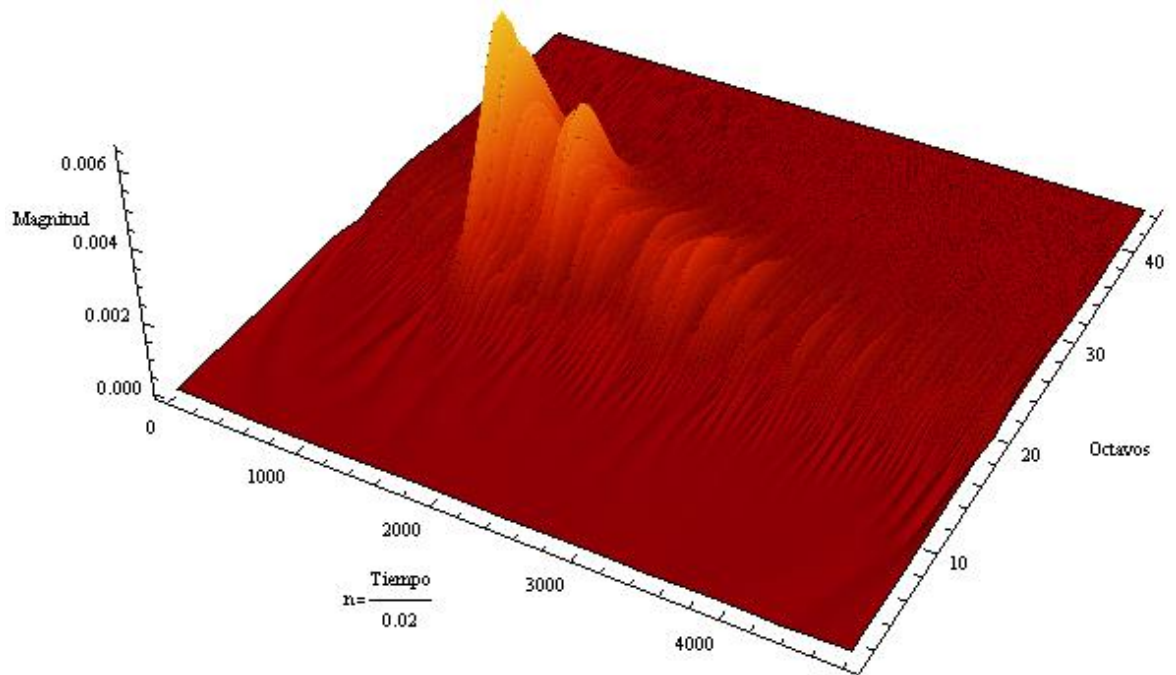


d. Transformada Wavelet

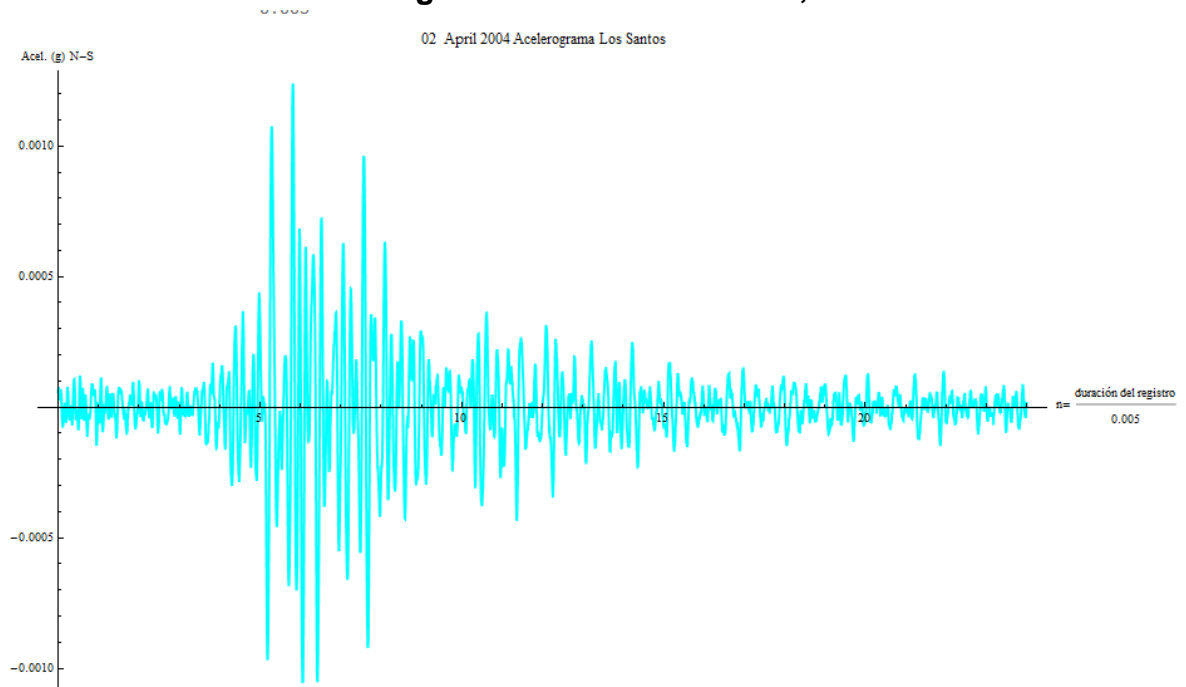


e. Transformada (Paul)

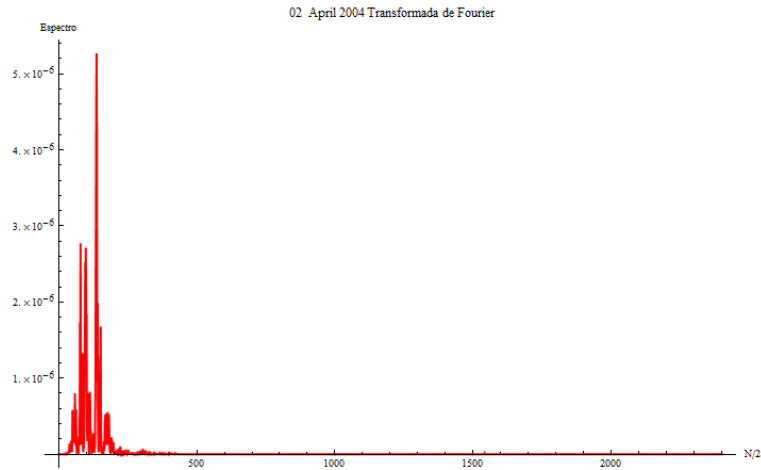
Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



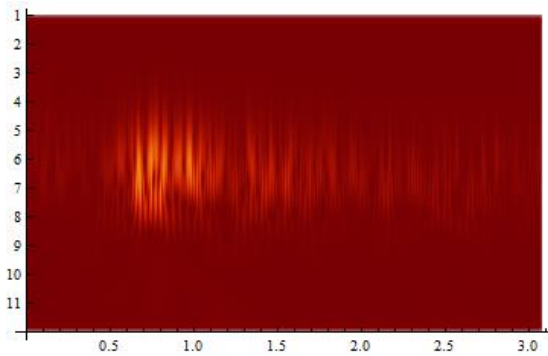
Registro de aceleración N-S,



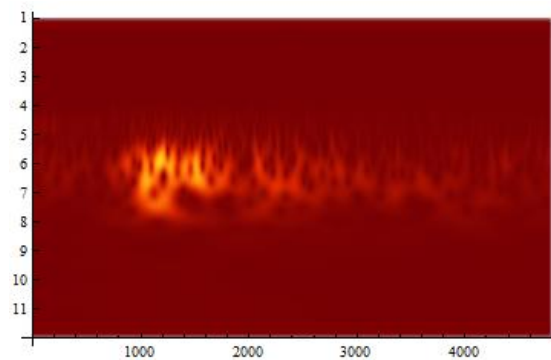
Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier



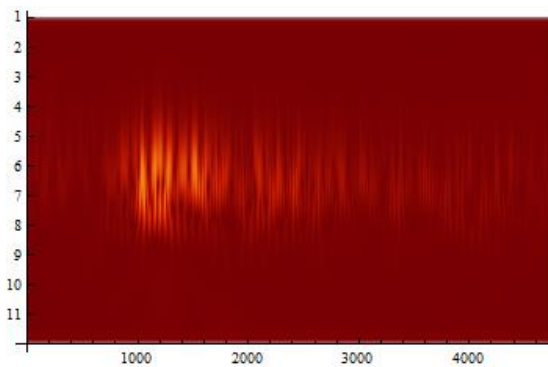
Trasformadas Wavelet Dirección N-S " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



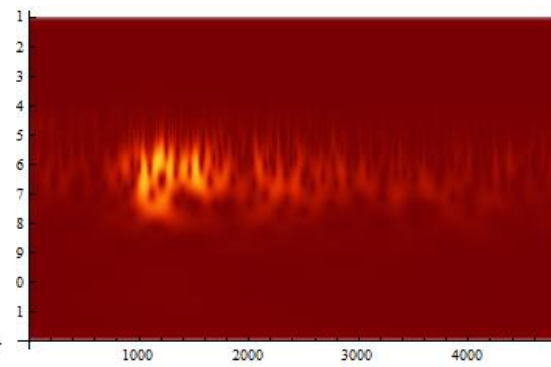
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat) (Morlet)



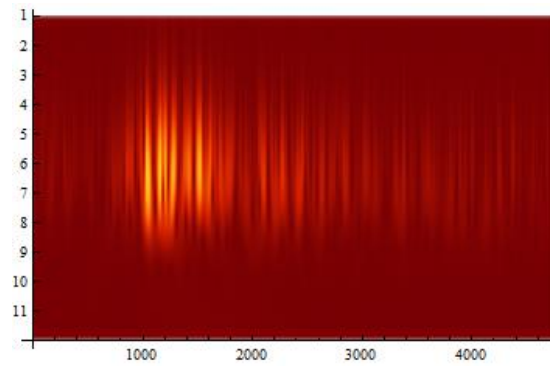
b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian) ((Gabor)

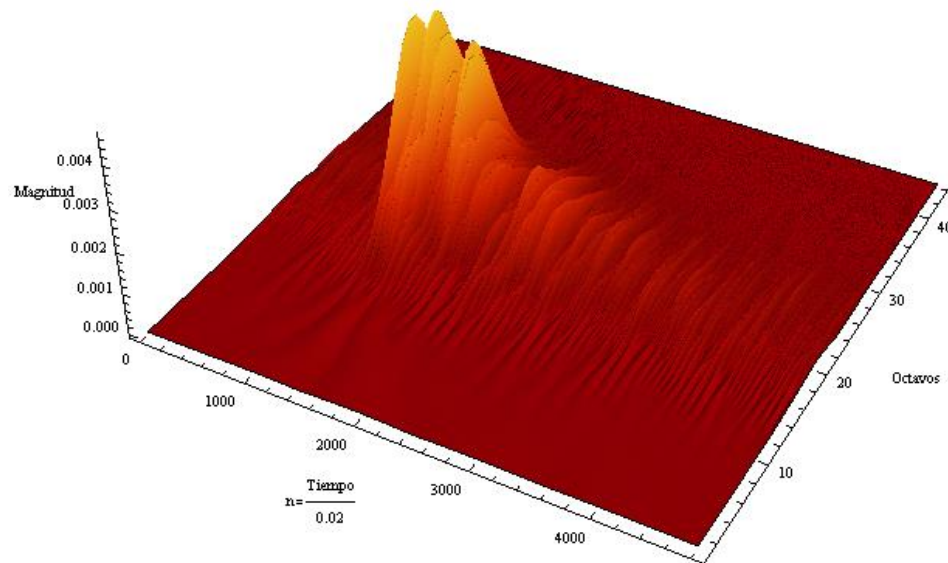


d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



Anexo 6 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 22/05/2004

Fecha: 2004/05/22

Hora: 13:38:26

Latitud del evento (grados): 6.824

Longitud del evento (grados): -73.047

Profundidad del evento (km): 155.4

Estación: embalse de Fuquene

Latitud de la estación (grados): 5.47

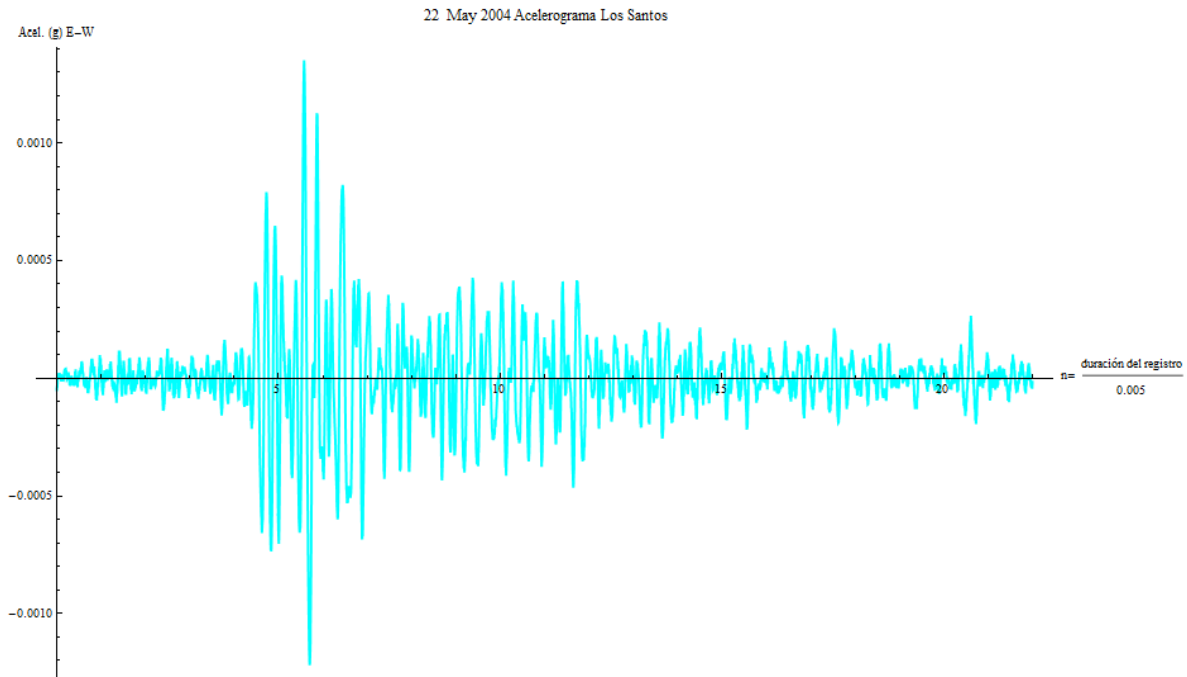
Longitud de la estación (grados): -73.738

Distancia epicentral: 168.734 km

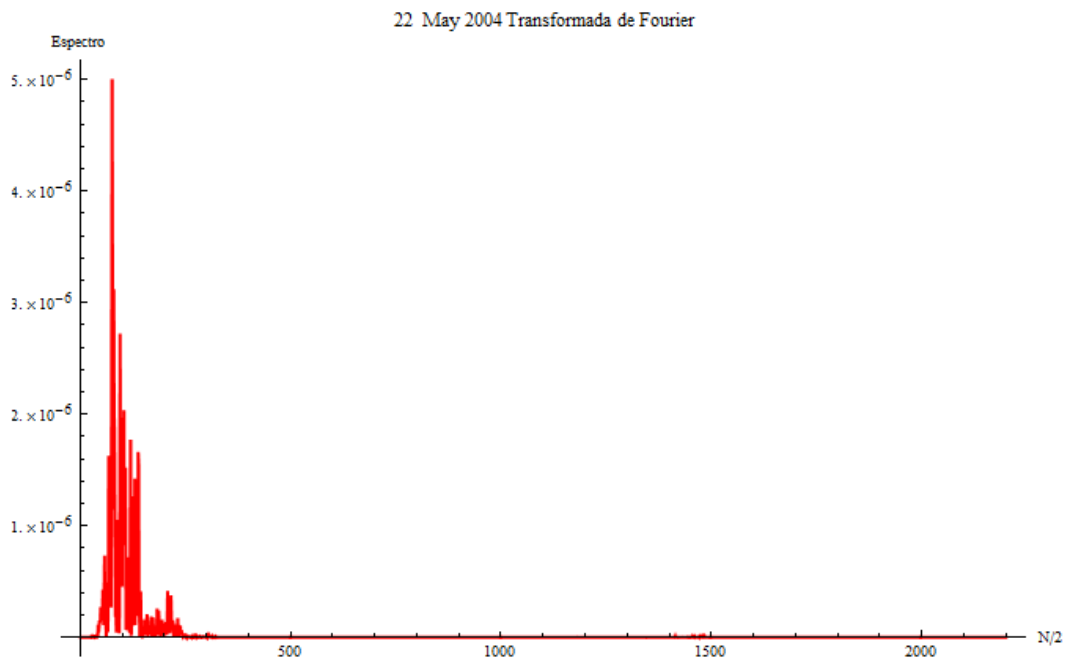
Distancia hipo central: 229.391 km

Intervalo de muestreo (segundos): 0.005
Numero de datos: 4400
Duración (segundos): 22
Unidades: cm/s²

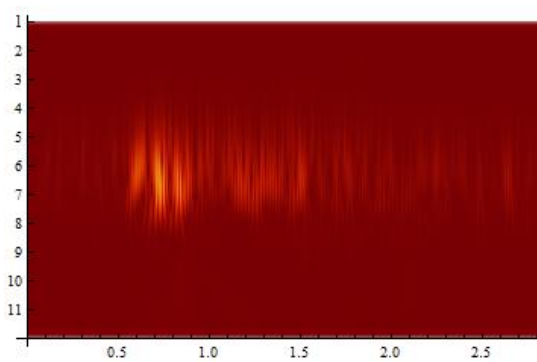
Registro de aceleración E-W,



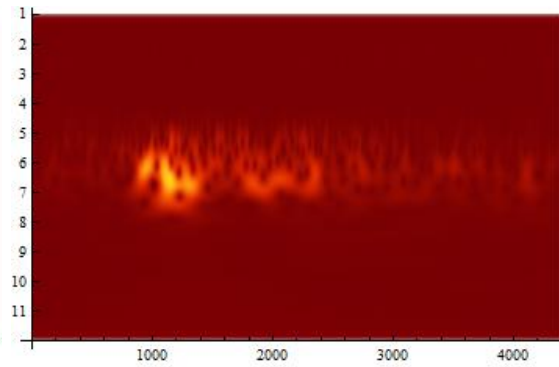
Espectro energético de la aceleración E-W Trasformada Fourier



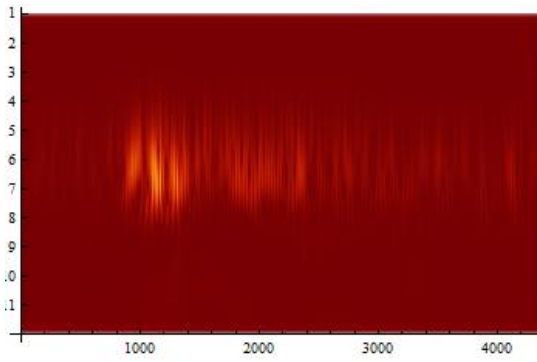
Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



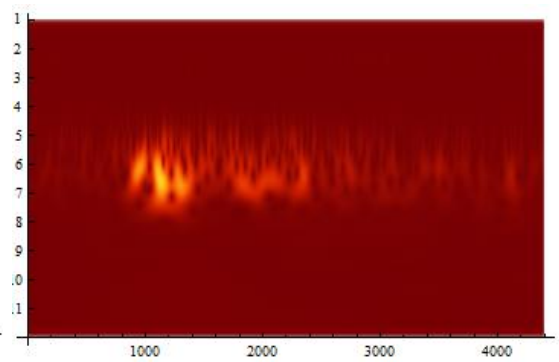
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat) (Morlet)



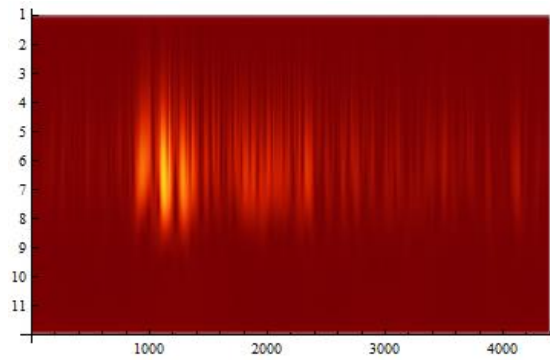
b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian) ((Gabor)

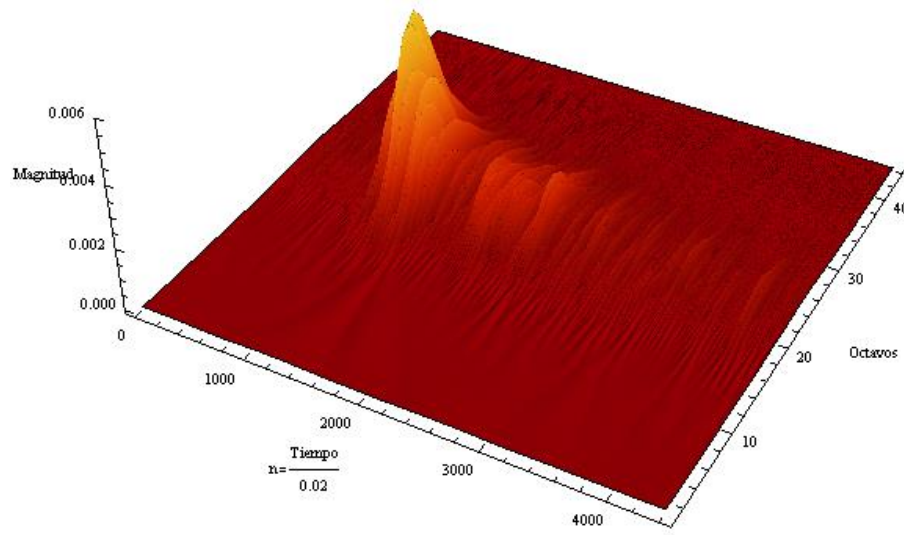


d. Transformada Wavelet

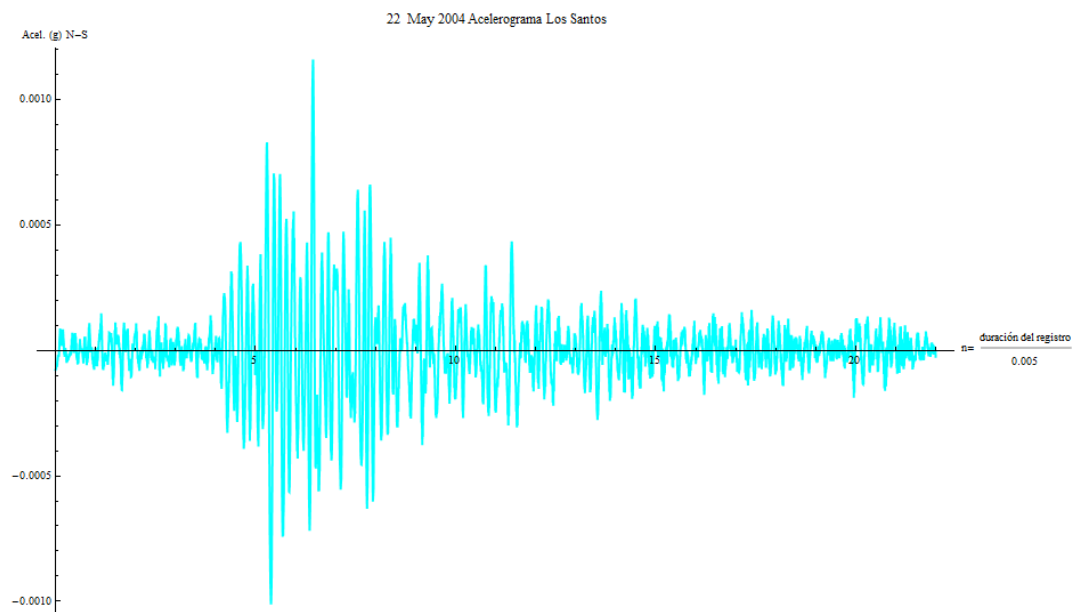


e. Transformada (Paul)

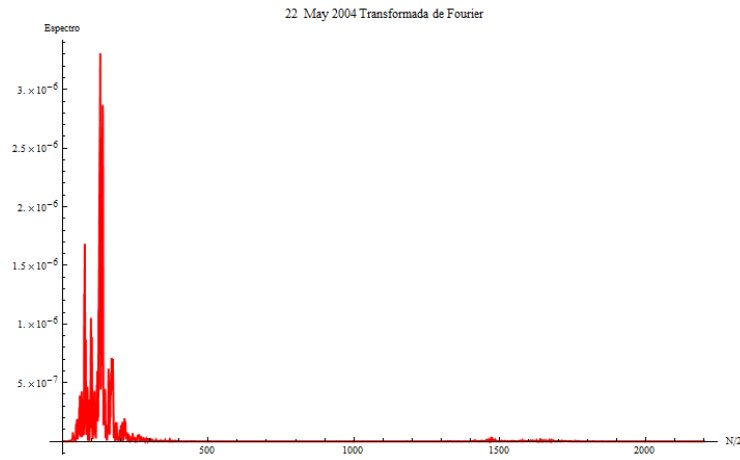
Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



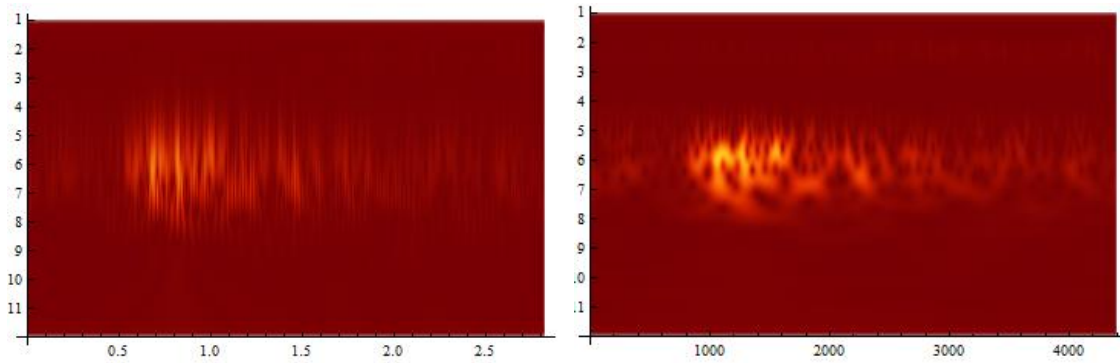
Registro de aceleración N-S



Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier

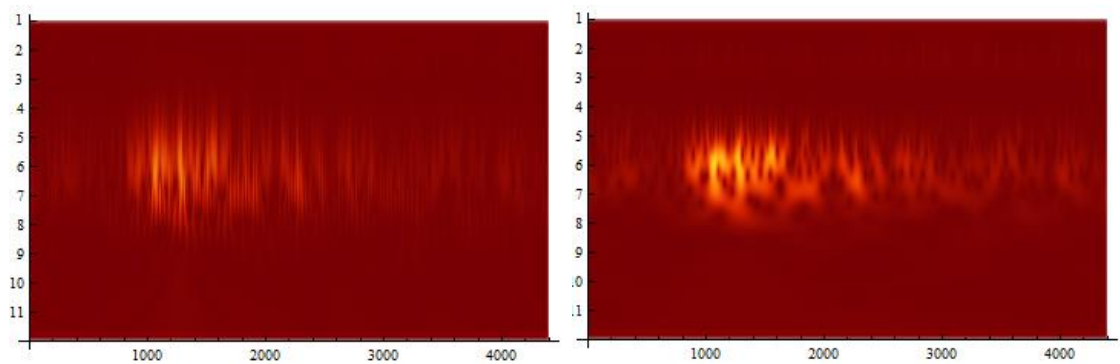


Trasformadas Wavelet Dirección N-S " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets



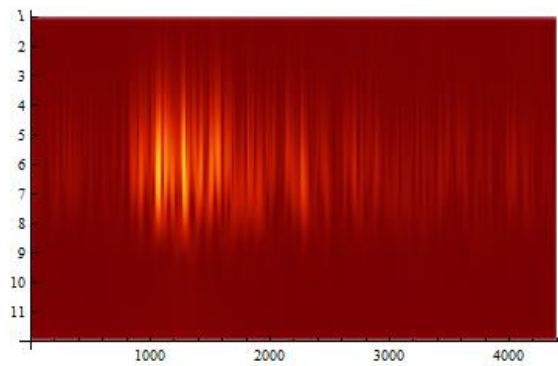
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)

b. Transformada Wavelet (Morlet)



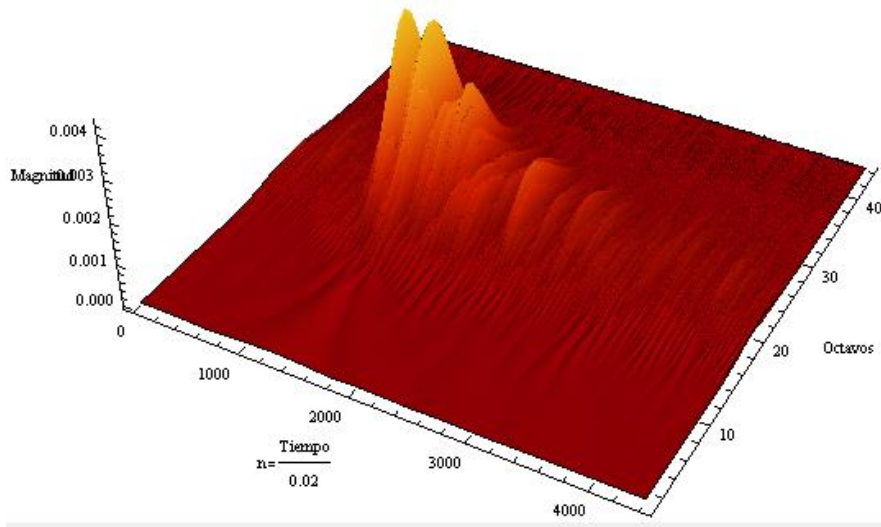
c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



Anexo 7 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 23/05/2004

Fecha: 2004/05/23

Hora: 22:42:34

Latitud del evento (grados): 6.828

Longitud del evento (grados): -73.066

Profundidad del evento (km): 155.9

Estación: embalse de Fuquene

Latitud de la estación (grados): 5.47

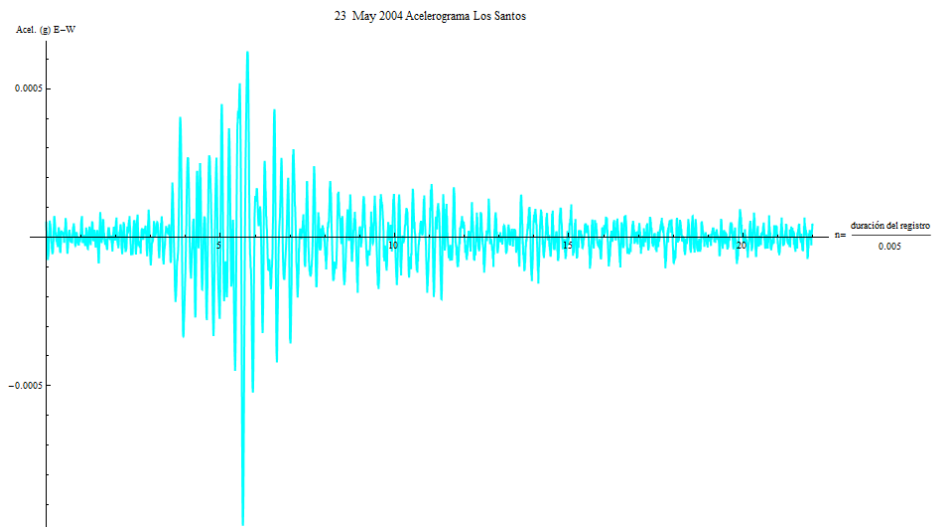
Longitud de la estación (grados): -73.738

Distancia epicentral: 168.184 km

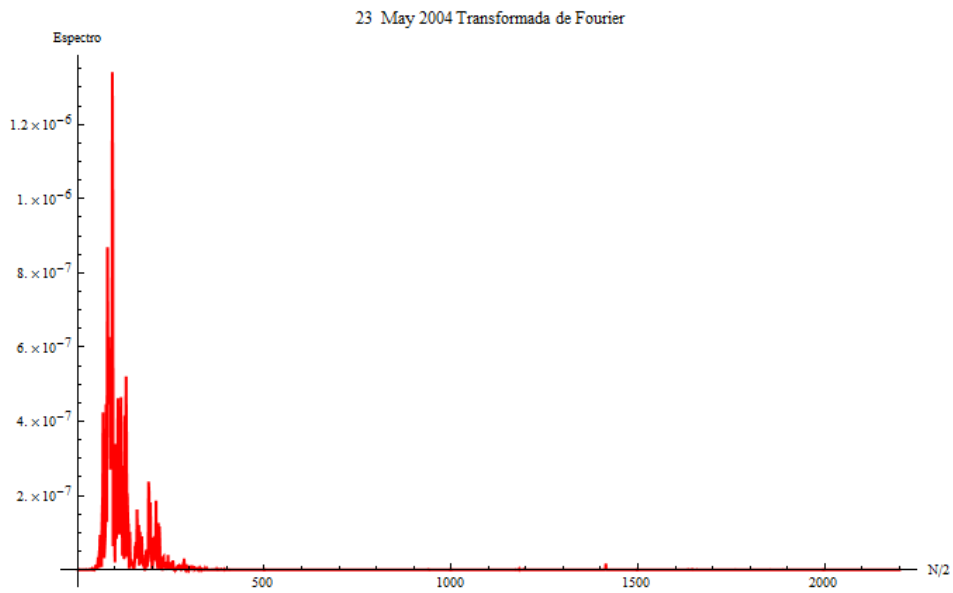
Distancia hipo central: 229.327 km

Intervalo de muestreo (segundos): 0.005
Numero de datos: 4400
Duración (segundos): 22
Unidades: cm/s²

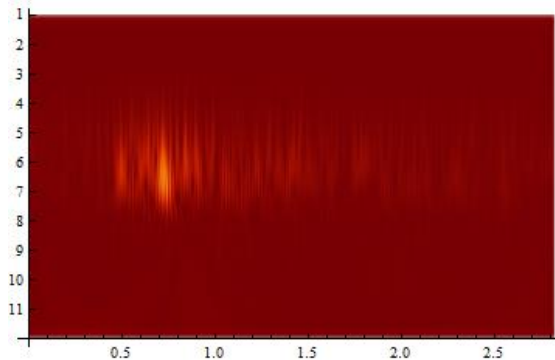
Registro de aceleración E-W



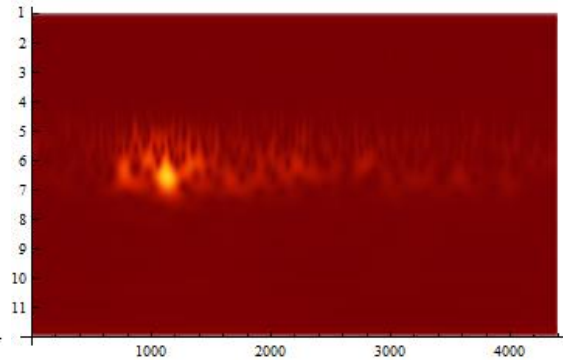
Espectro energético de la aceleración E-W Trasformada Fourier



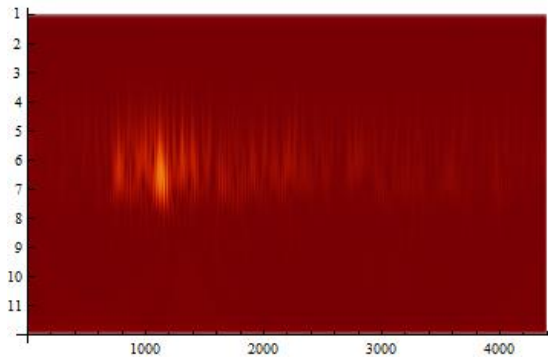
Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



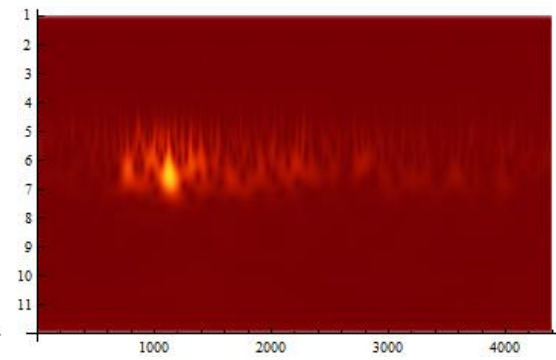
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)
(Morlet)



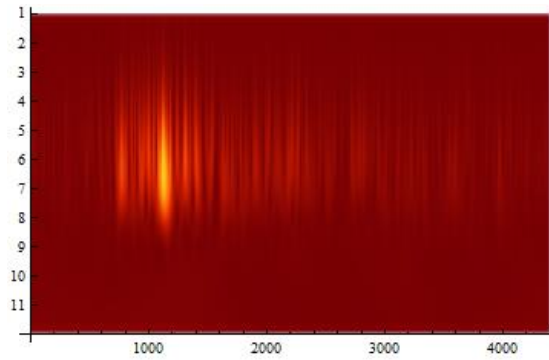
b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

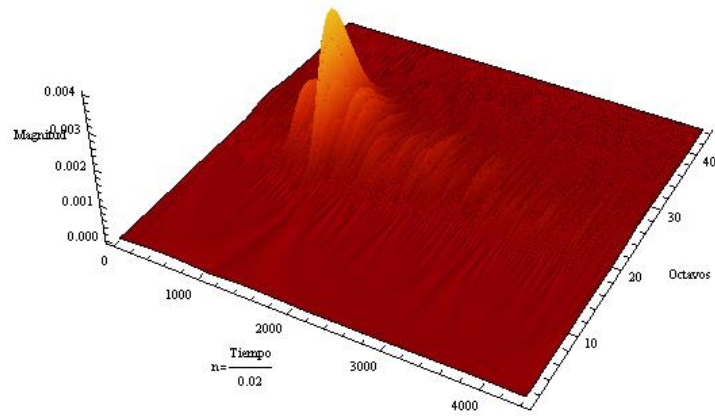


d. Transformada Wavelet

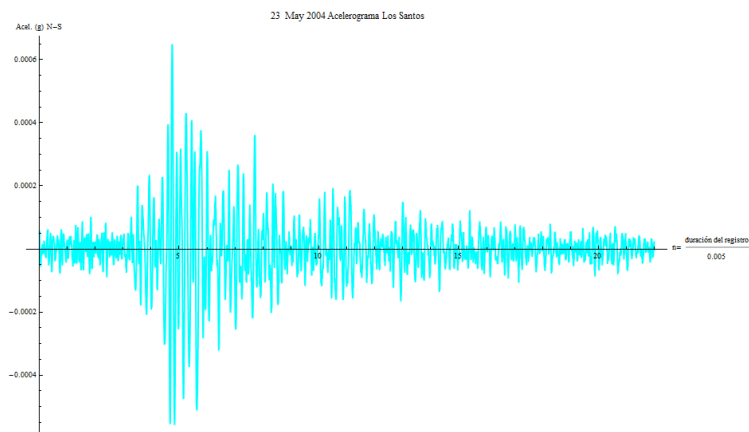


e. Transformada (Paul)

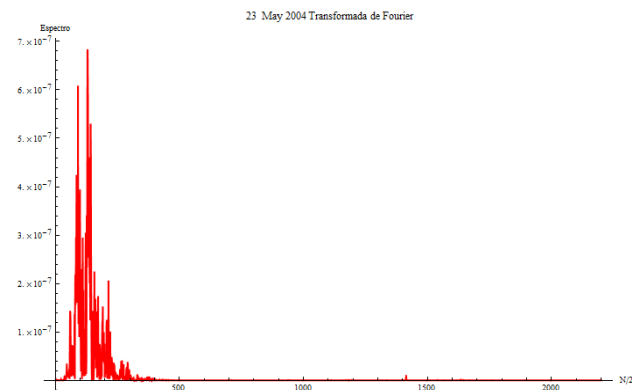
Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



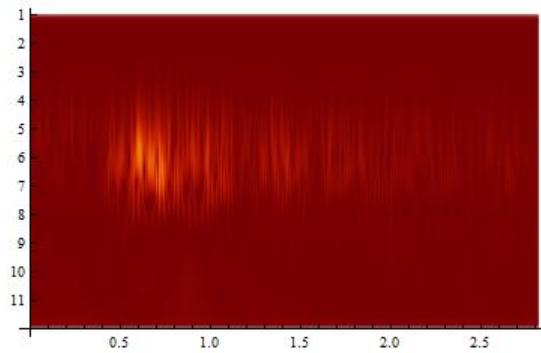
Registro de aceleración N-S



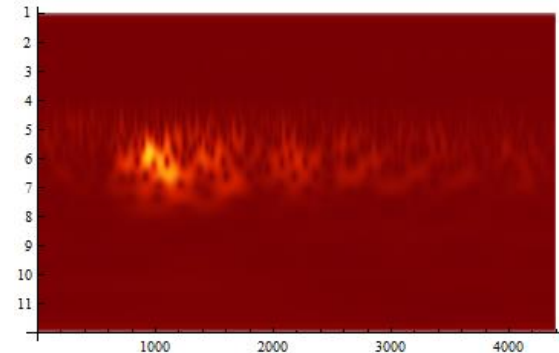
Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier



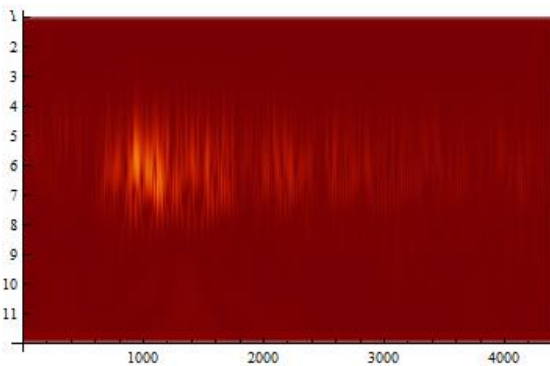
Trasformadas Wavelet Dirección N-S " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets



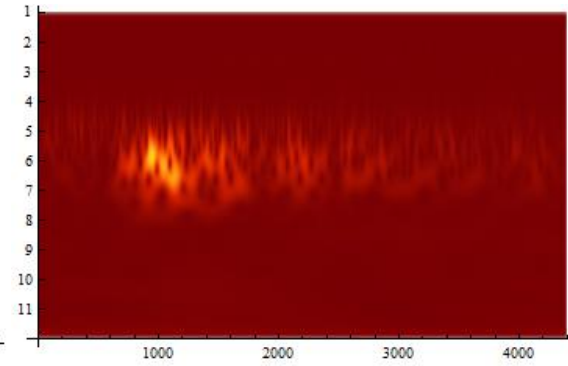
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)



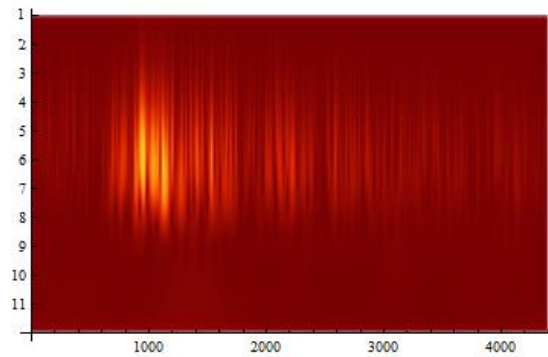
b. Transformada Wavelet (Morlet)



c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

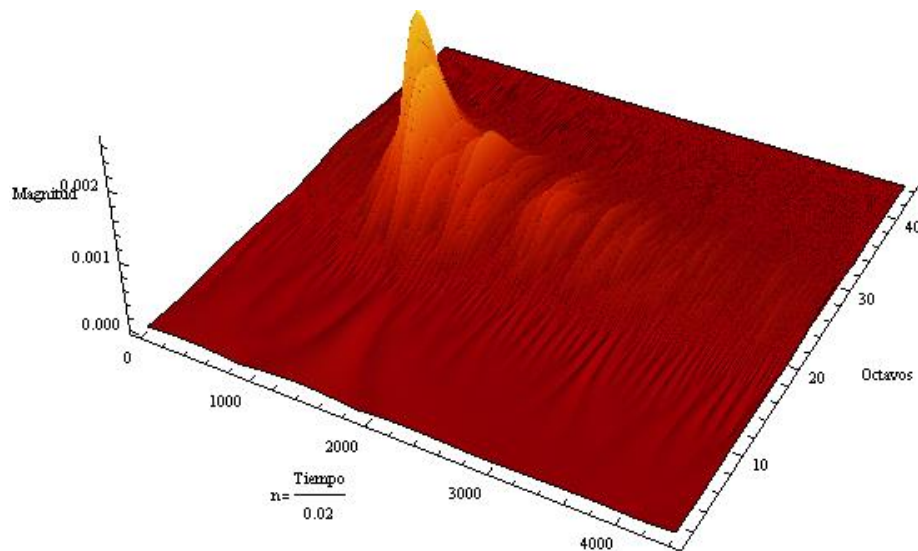


d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



Anexo 8 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 06/05/2004

Fecha: 05/06/2004

Hora: 02:36:49

Latitud del evento (grados): 6.81

Longitud del evento (grados): -73.086

Profundidad del evento (km): 156.7

Estación: embalse de Fuquene

Latitud de la estación (grados): 5.47

Longitud de la estación (grados): -73.738

Distancia epicentral: 165.412 km

Distancia hipo central: 227.851 km

Intervalo de muestreo (segundos): 0.005

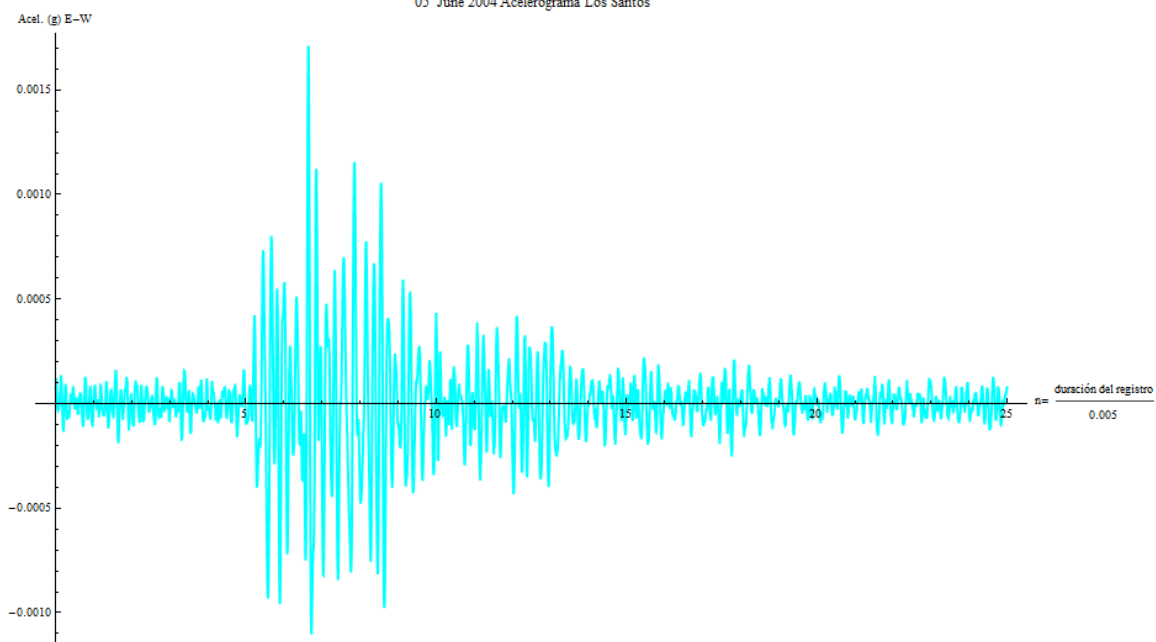
Numero de datos: 5000

Duración (segundos): 25

Unidades: cm/s²

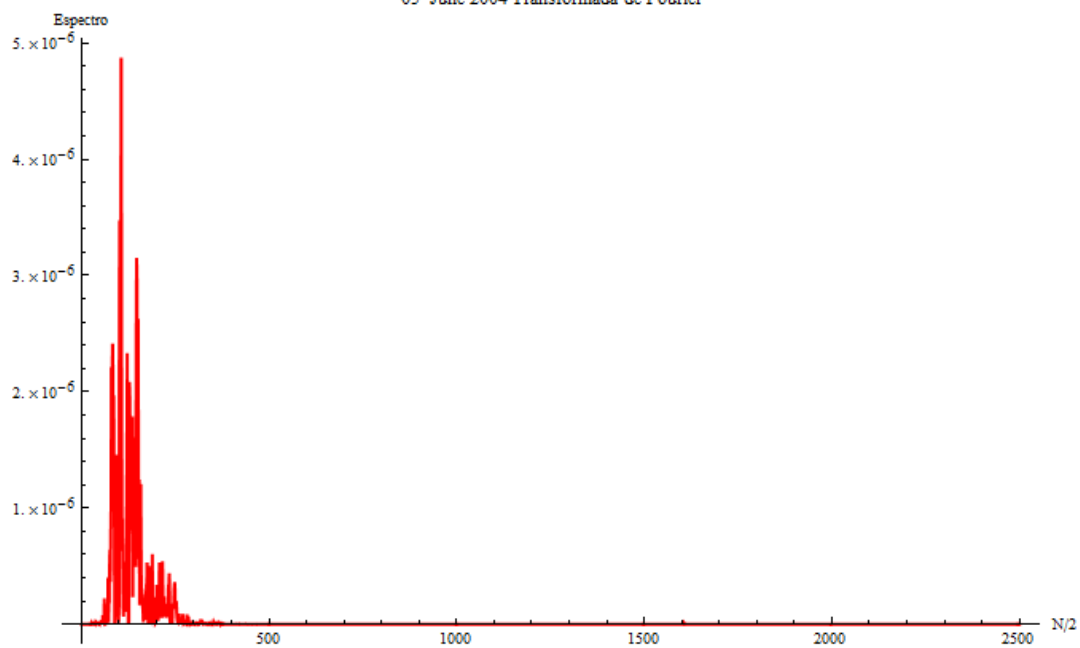
Registro de aceleración E-W

05 June 2004 Acelerograma Los Santos

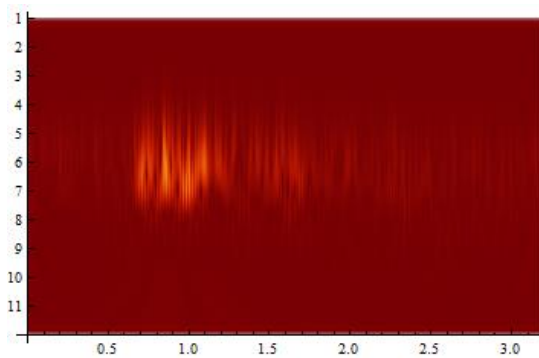


Espectro energético de la aceleración E-W Trasformada Fourier

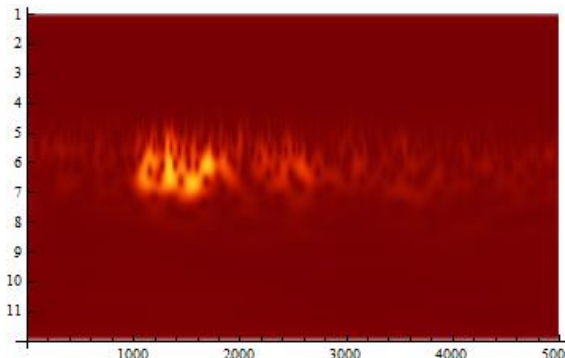
05 June 2004 Transformada de Fourier



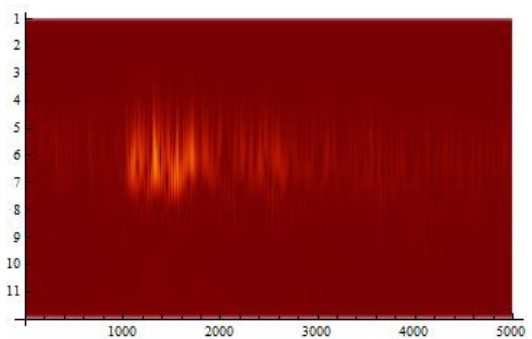
Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



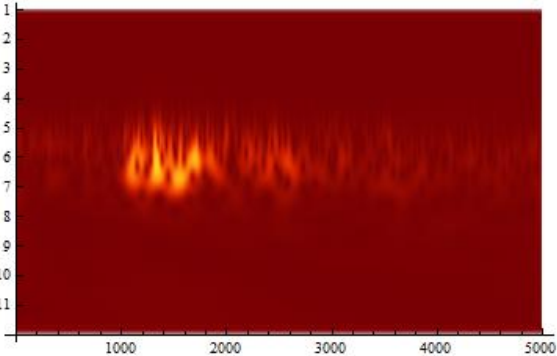
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat (Morlet))



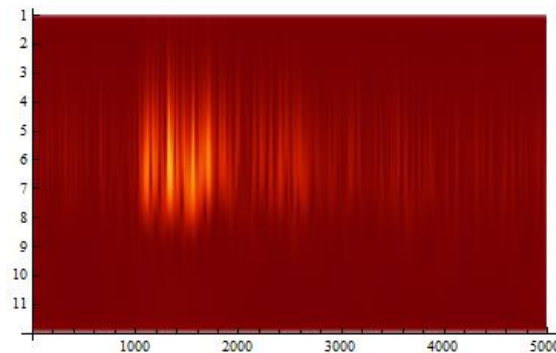
b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian ((Gabor))

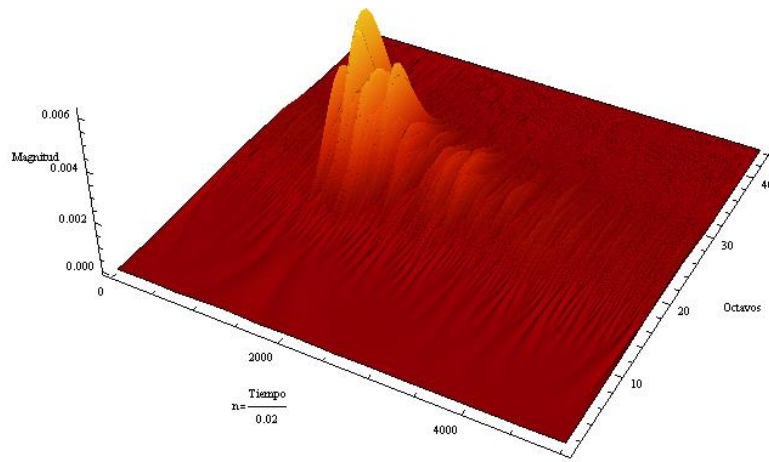


d. Transformada Wavelet

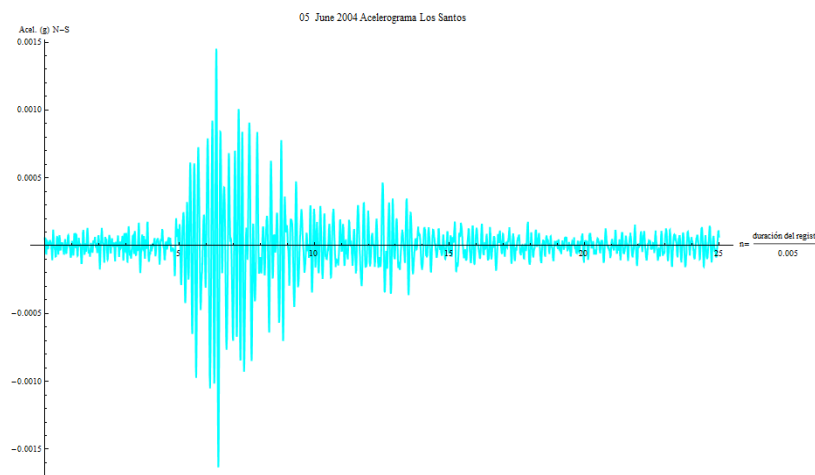


e. Transformada (Paul)

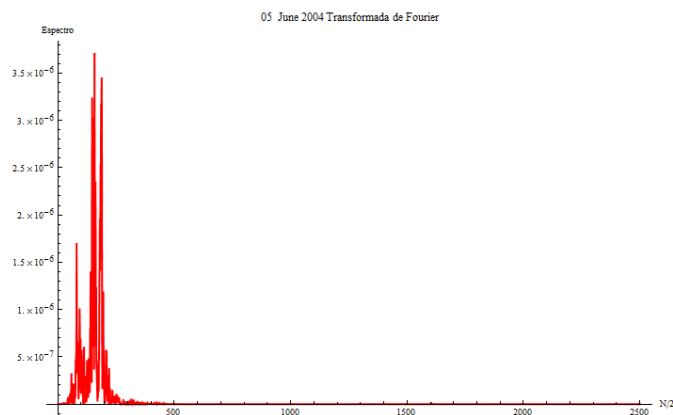
Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



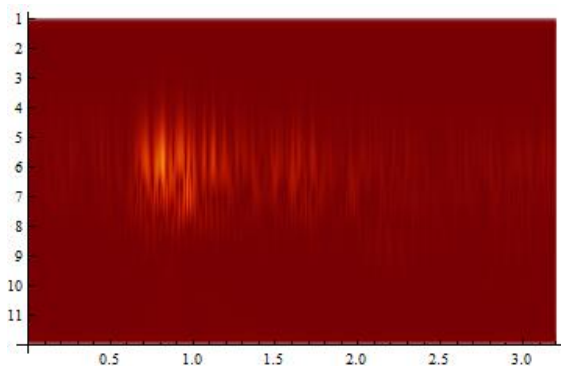
Registro de aceleración N-S



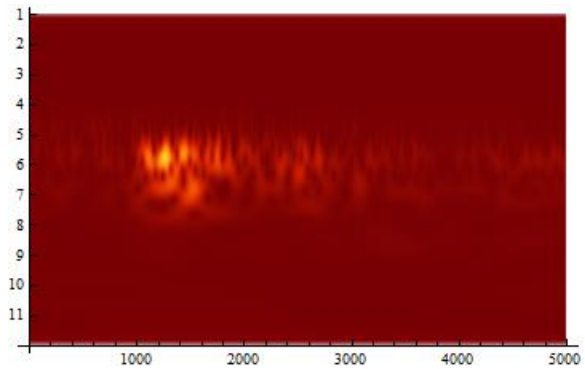
Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier



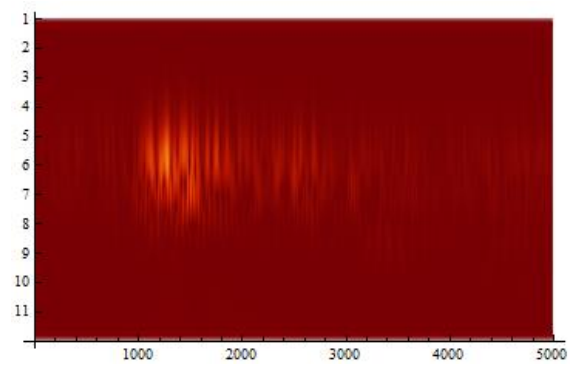
Trasformadas Wavelet Dirección N-S " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets



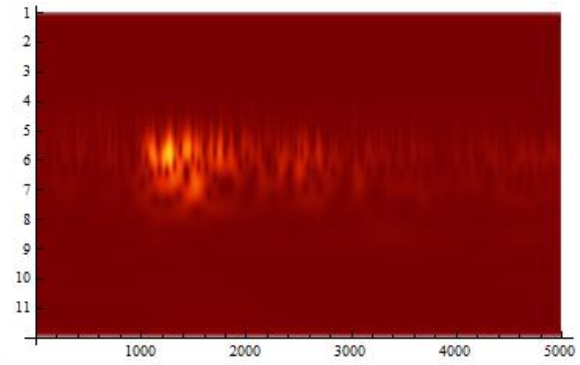
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)



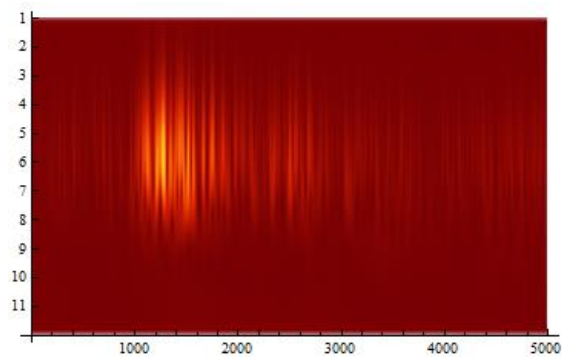
b. Transformada Wavelet (Morlet)



c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

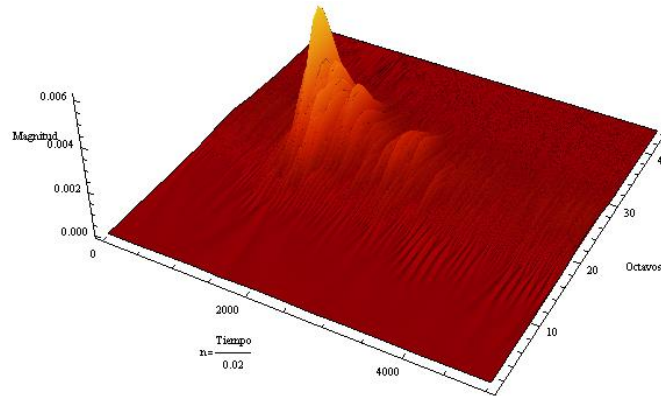


d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



Anexo 9 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 11/09/2004

Latitud del evento (grados): 6.803

Longitud del evento (grados): -73.106

Profundidad del evento (km): 152.4

Estación: embalse de Fuquene

Latitud de la estación (grados): 5.47

Longitud de la estación (grados): -73.738

Distancia epicentral: 163.751 km

Distancia hipo central: 223.697 km

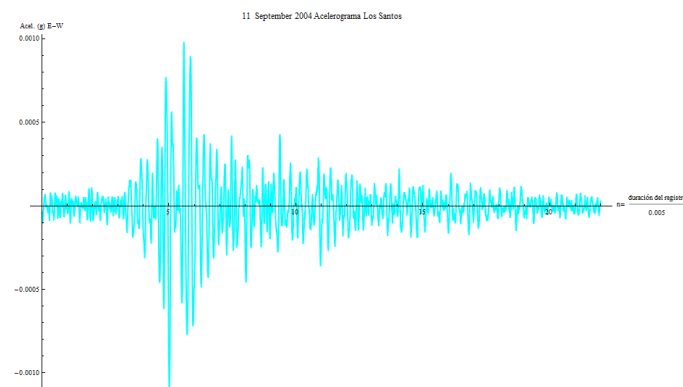
Intervalo de muestreo (segundos): 0.005

Numero de datos: 4400

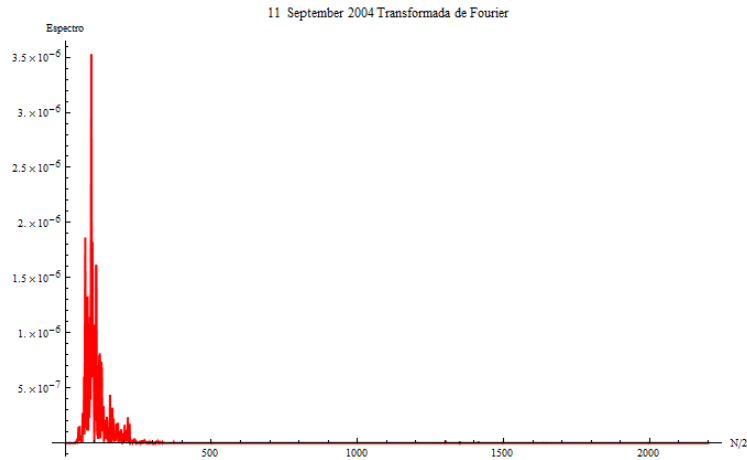
Duración (segundos): 22

Unidades: cm/s^2

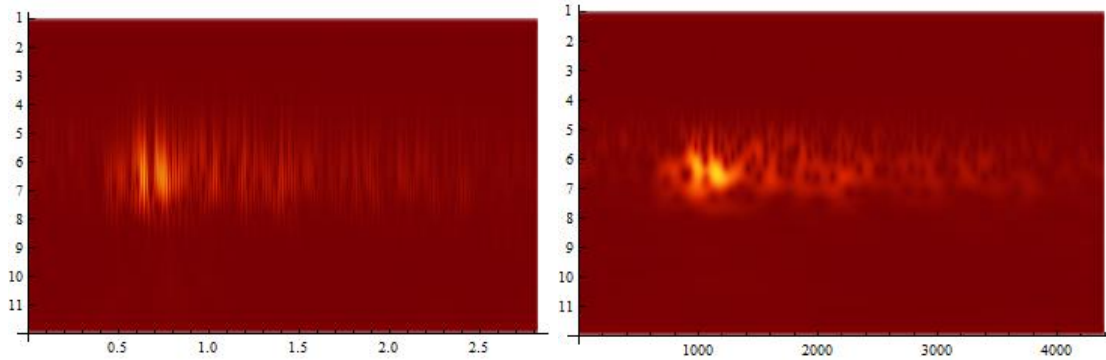
Registro de aceleración E-W



Espectro energético de la aceleración E-W Trasformada Fourier

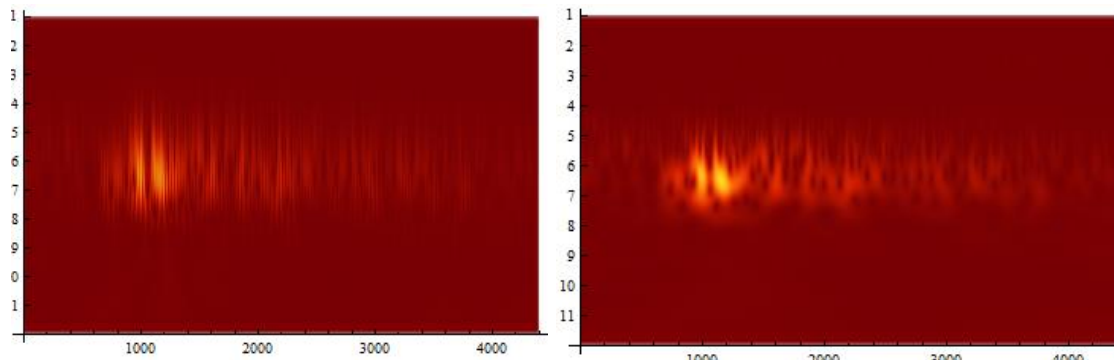


Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



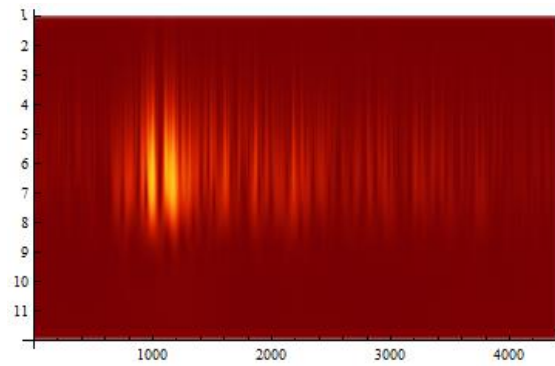
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)
(Morlet)

b. Transformada Wavelet



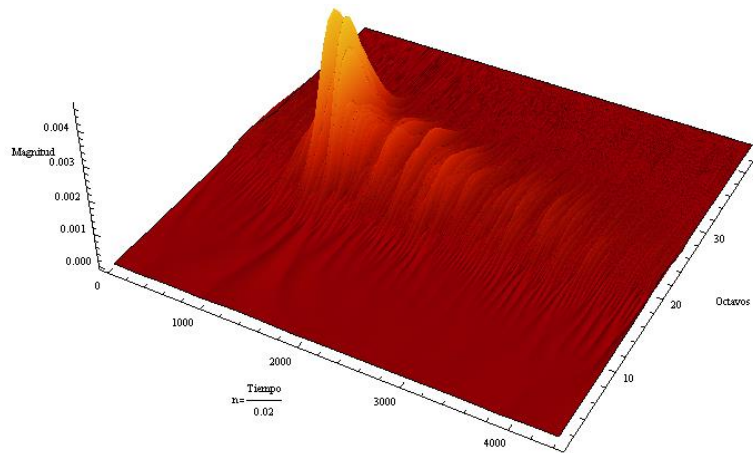
c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

d. Transformada Wavelet

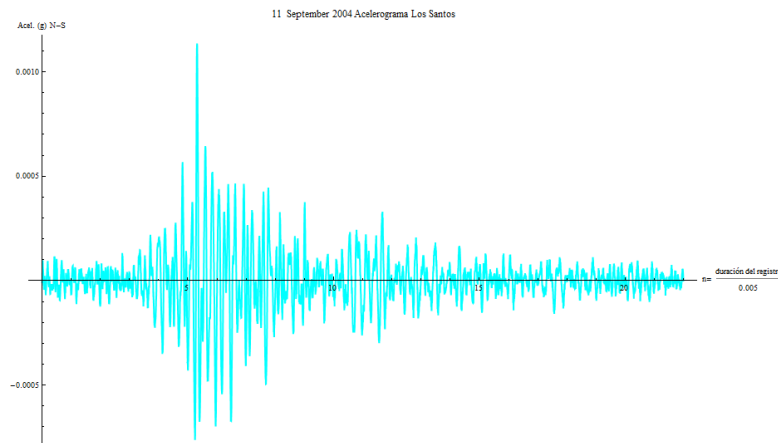


e. Transformada (Paul)

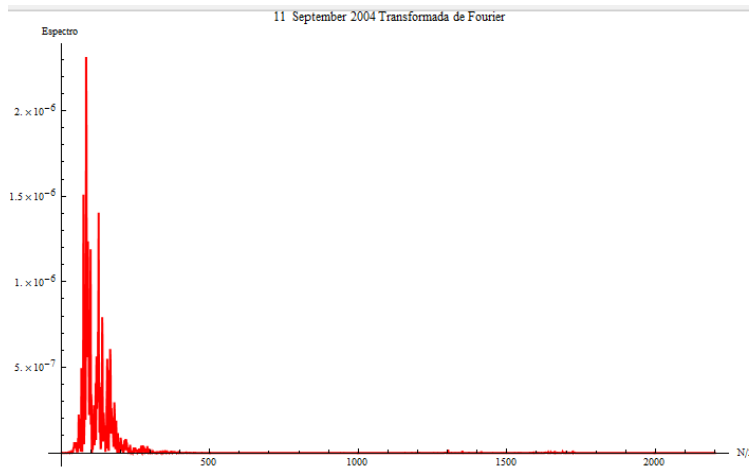
Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



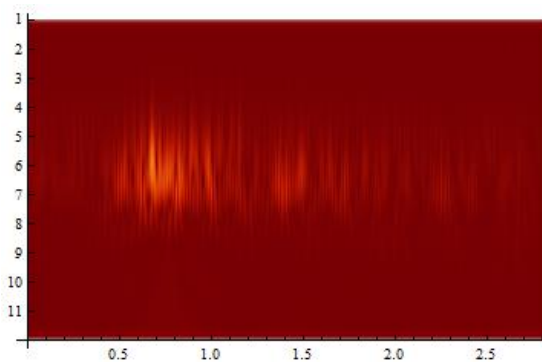
Registro de aceleración N-S



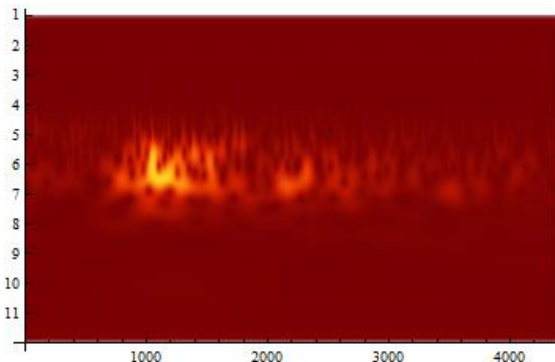
Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier



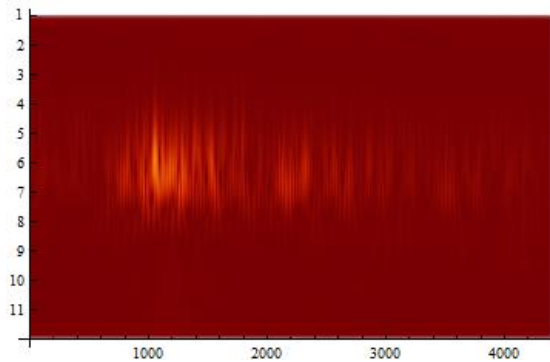
Trasformadas Wavelet Dirección N-S Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets



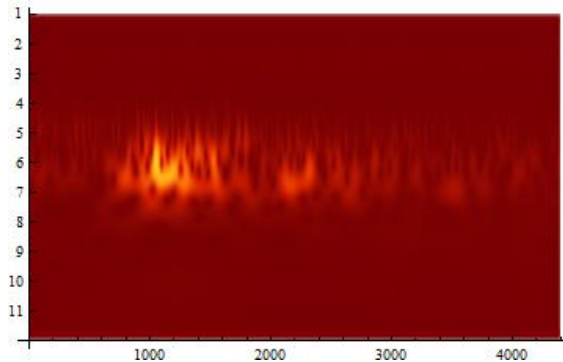
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)



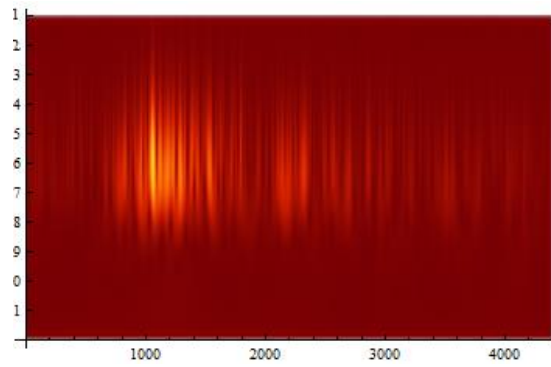
b. Transformada Wavelet (Morlet)



c. Transformada Wavelet (DGaussian) ((Gabor)

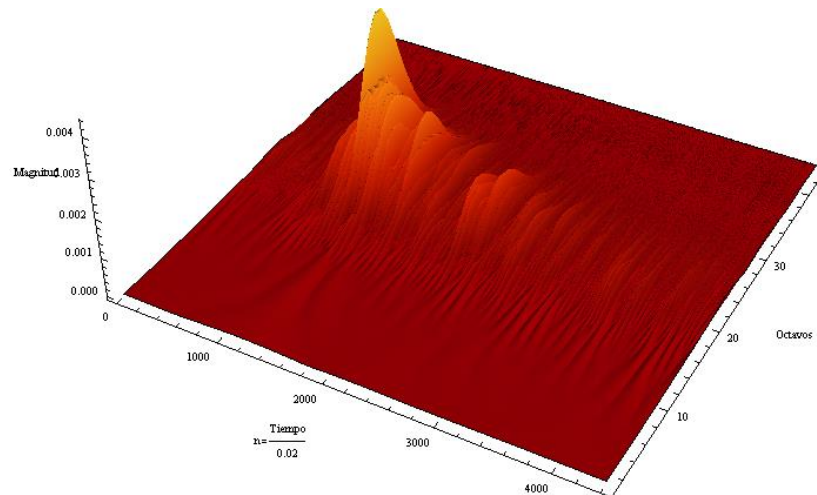


d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



Anexo 10 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 03/10/2004

Fecha: 2004/10/03

Hora: 08:30:31

Latitud del evento (grados): 6.838

Longitud del evento (grados): -73.044

Profundidad del evento (km): 157.9

Estación: embalse de Fuquene

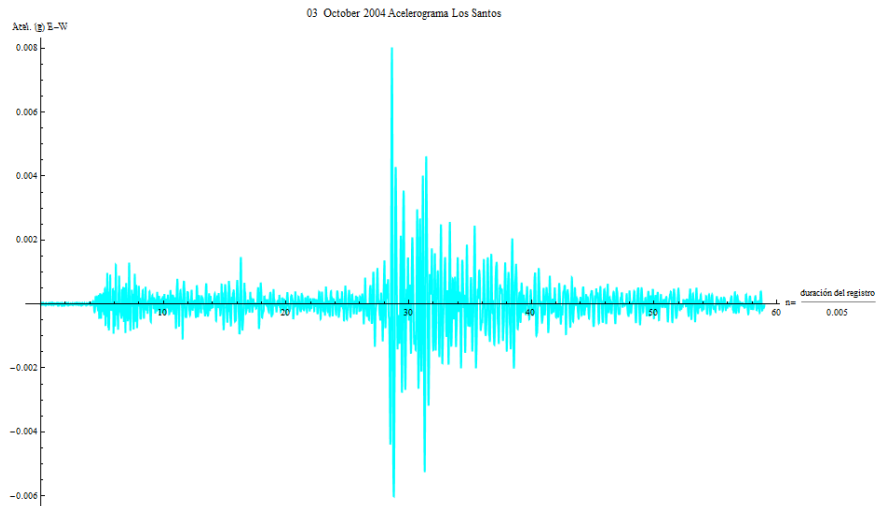
Latitud de la estación (grados): 5.47

Longitud de la estación (grados): -73.738

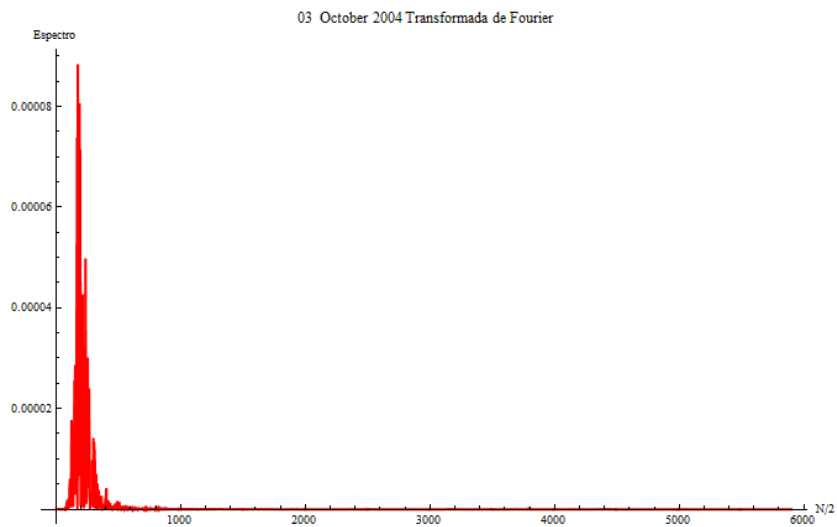
Distancia epicentral: 170.271 km

Distancia hipocentro: 232.217 km
Intervalo de muestreo (segundos): 0.005
Numero de datos: 11800
Duración (segundos): 59
Unidades: cm/s²

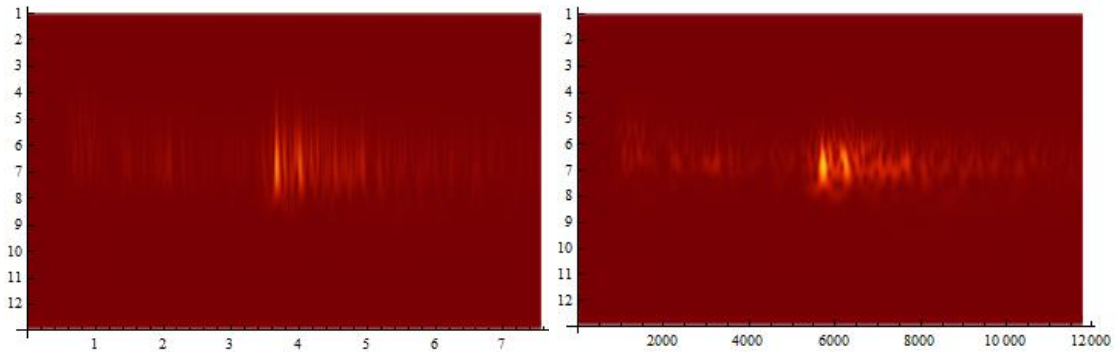
Registro de aceleración E-W



Espectro energético de la aceleración E-W Trasformada Fourier

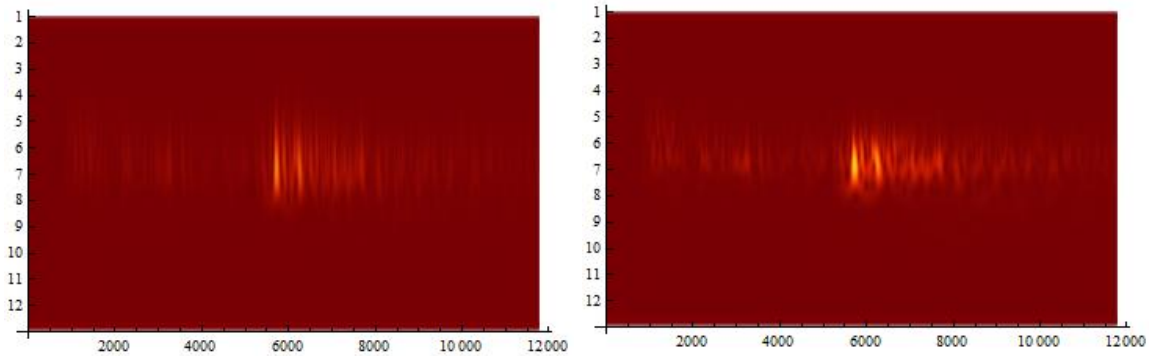


Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



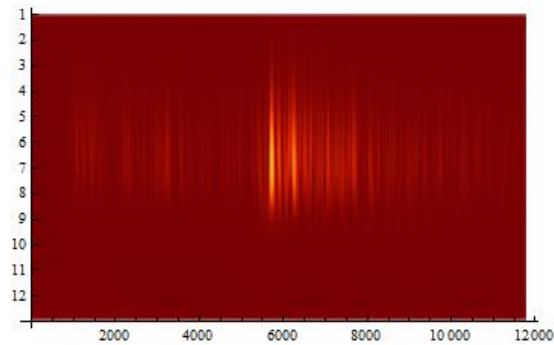
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)
(Morlet)

b. Transformada Wavelet



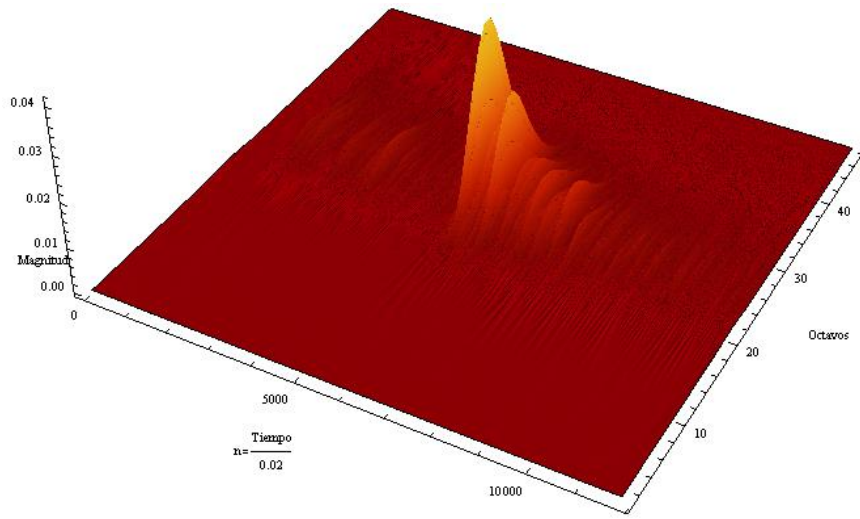
c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

d. Transformada Wavelet

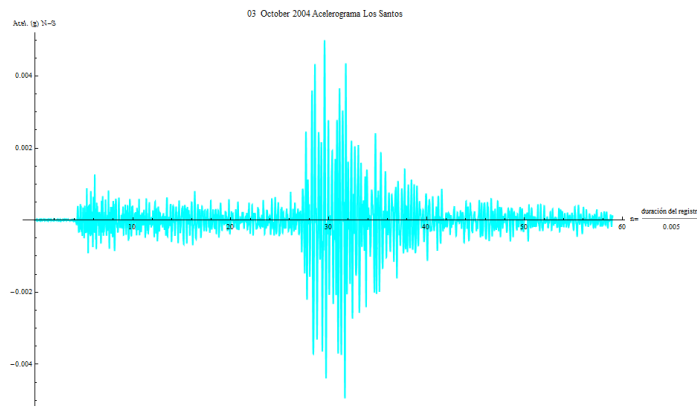


e. Transformada (Paul)

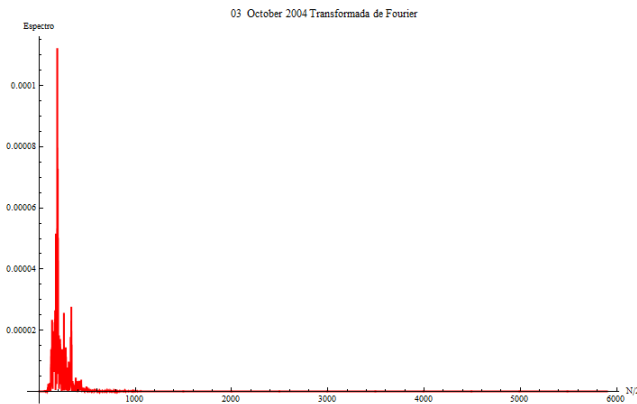
**Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial)
y tiempo**



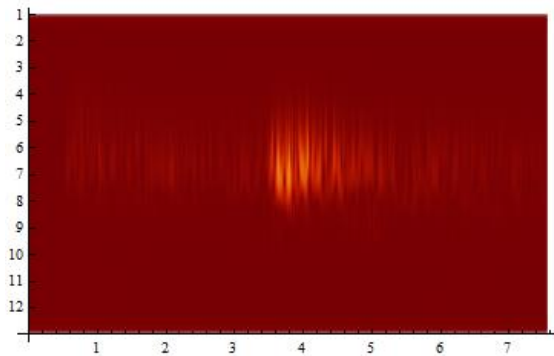
Registro de aceleración N-S



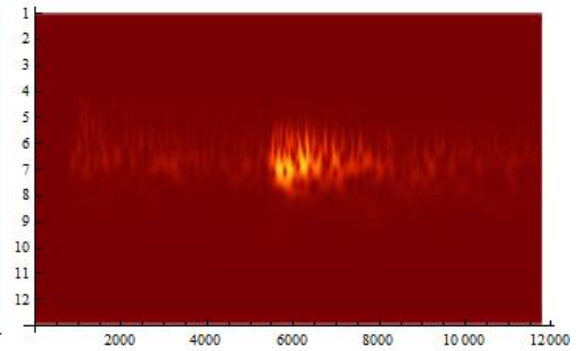
Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier



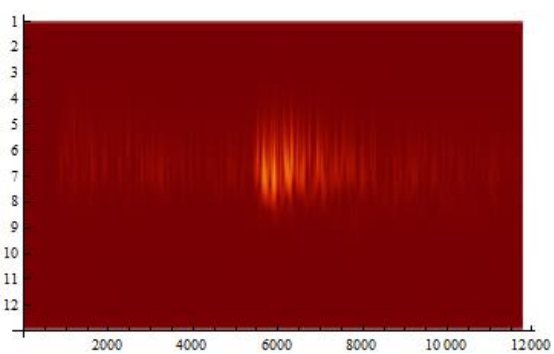
Trasformadas Wavelet Dirección N-S " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets



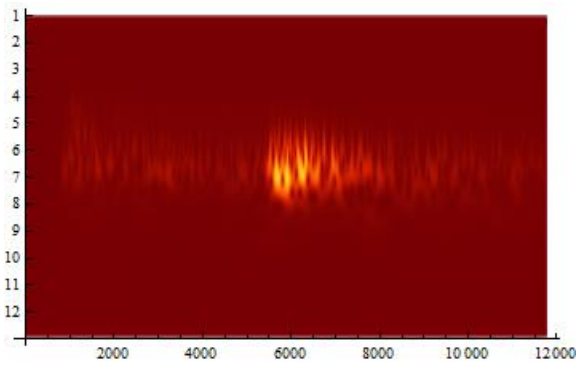
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)



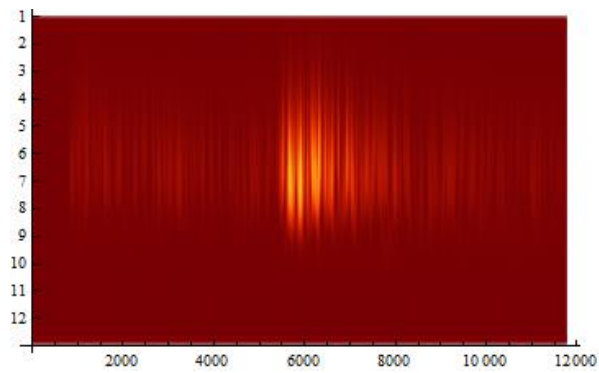
b. Transformada Wavelet (Morlet)



c. Transformada Wavelet (DGAussian)
(Gabor)

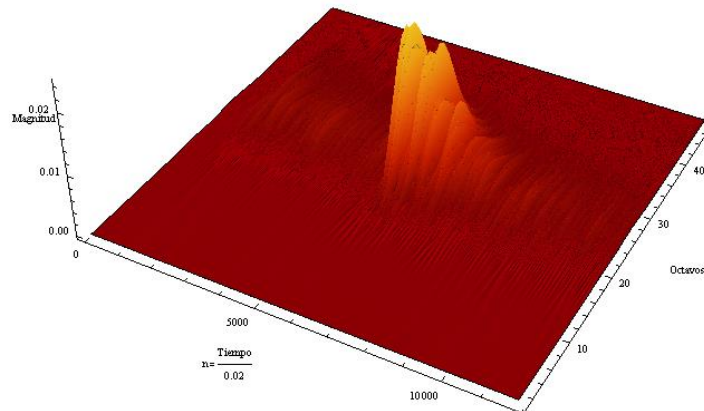


d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

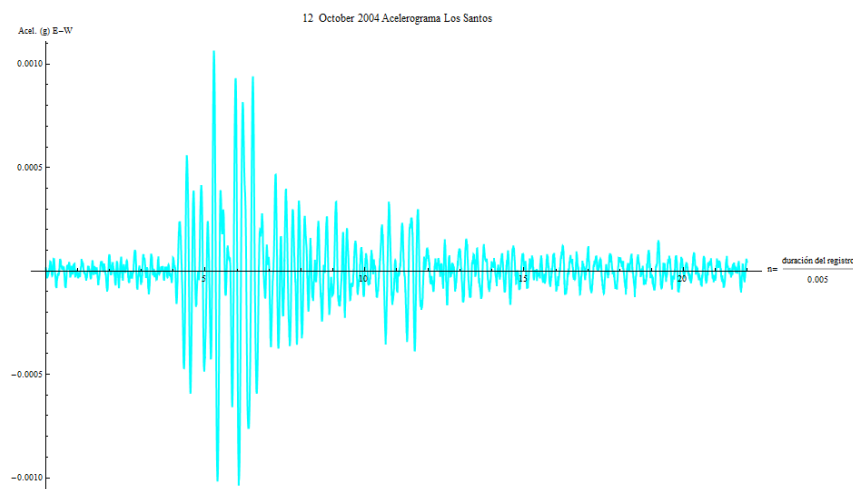
Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



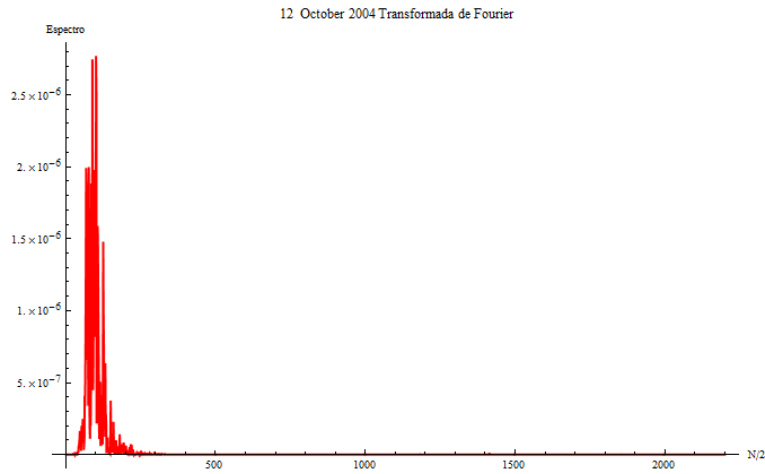
Anexo 11 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 12/10/2004

Latitud del evento (grados): 6.832
Longitud del evento (grados): -73.063
Profundidad del evento (km): 153.3
Estación: embalse de Fuquene
Latitud de la estación (grados): 5.47
Longitud de la estación (grados): -73.738
Distancia epicentral: 168.73 km
Distancia hipo central: 227.971 km
Intervalo de muestreo (segundos): 0.005
Numero de datos: 4400
Duración (segundos): 22

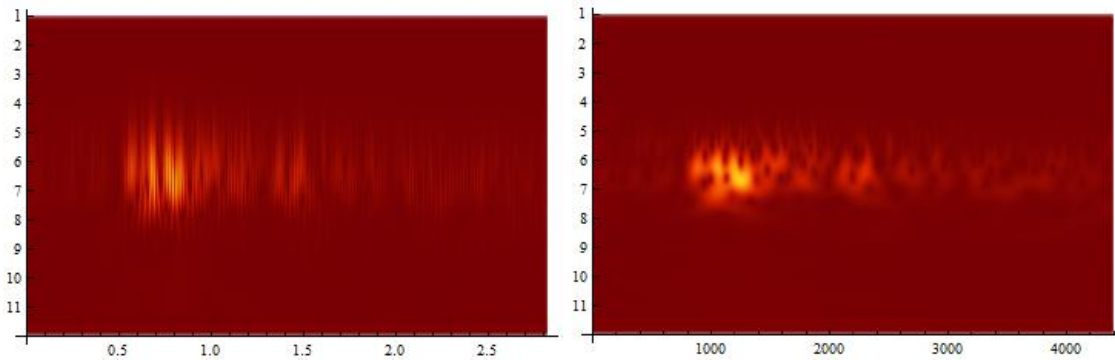
Registro de aceleración E-W



Espectro energético de la aceleración E-W Trasformada Fourier

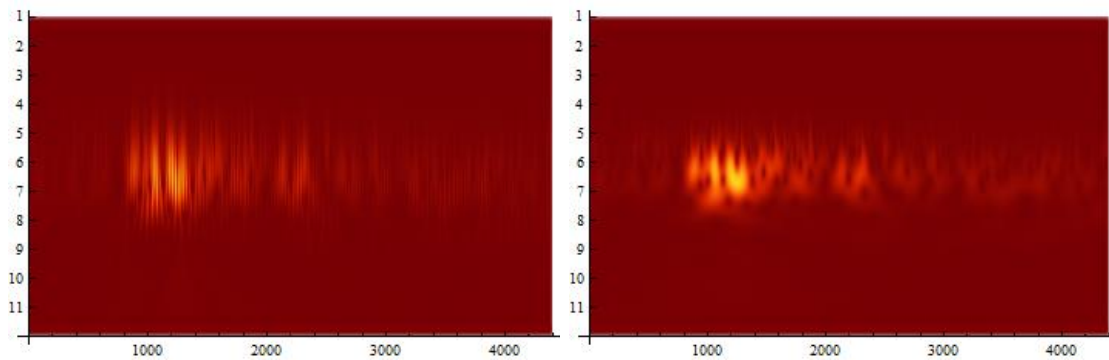


Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets"



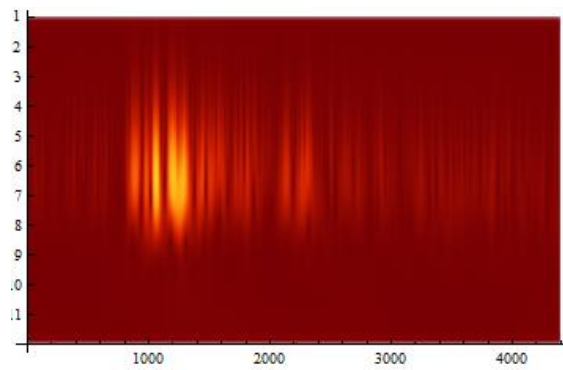
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)
(Morlet)

b. Transformada Wavelet



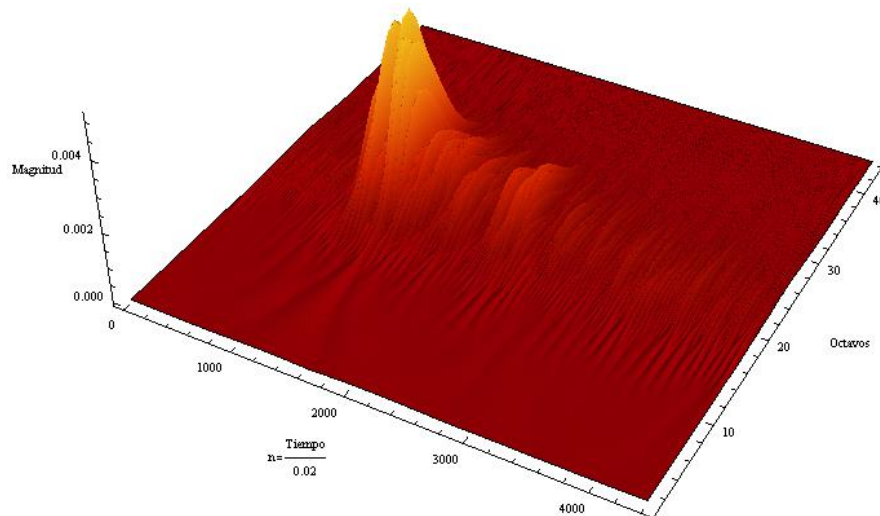
c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

d. Transformada Wavelet

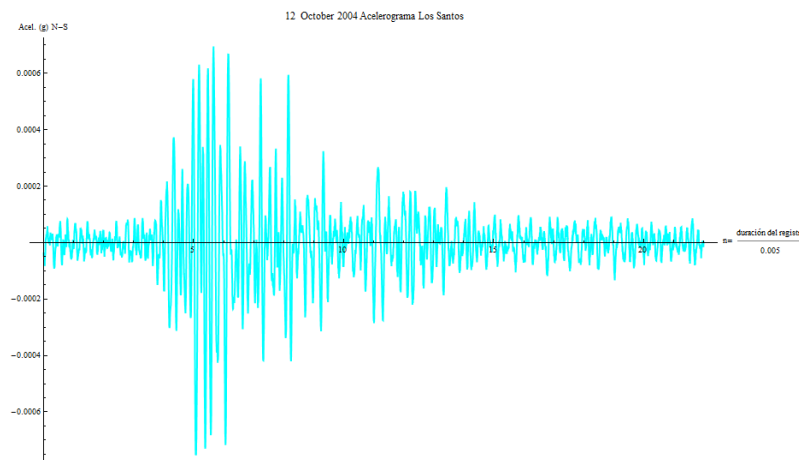


e. Transformada (Paul)

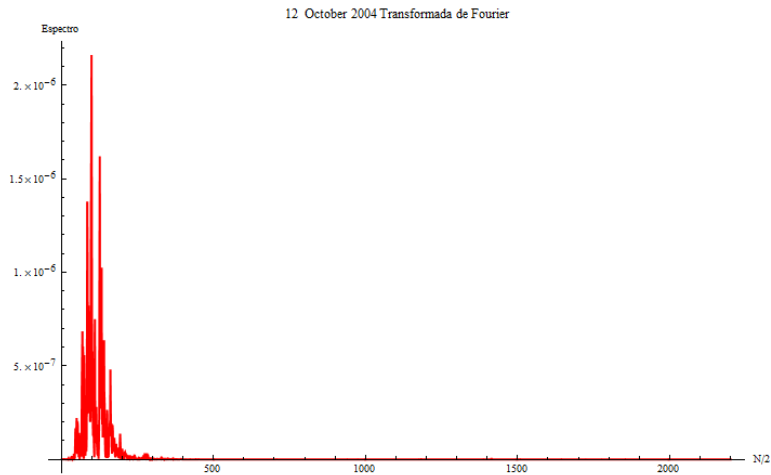
Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



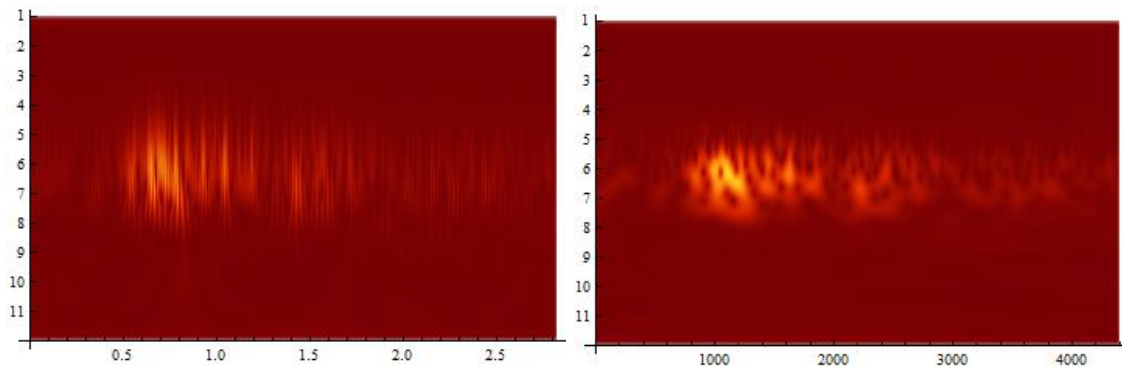
Registro de aceleración N-S



Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier

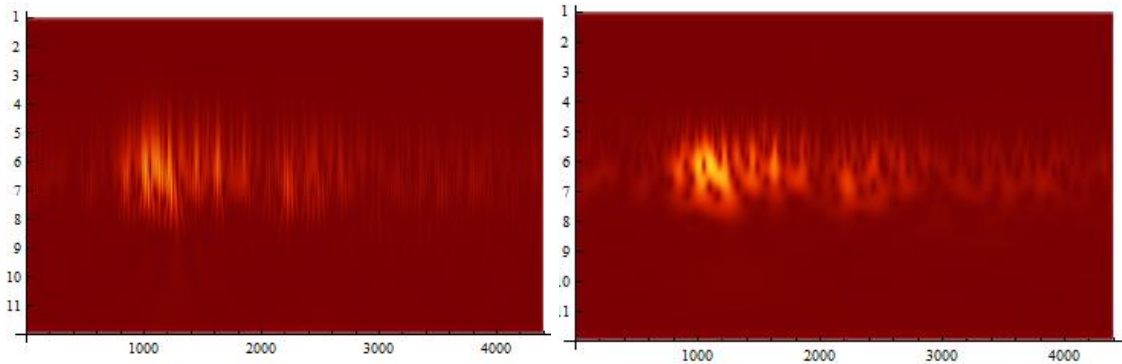


Trasformadas Wavelet Dirección N-S " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets



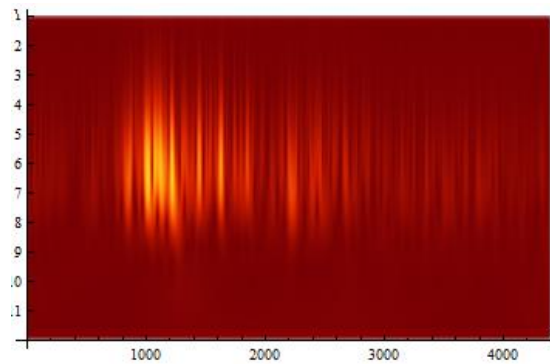
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)

b. Transformada Wavelet (Morlet)



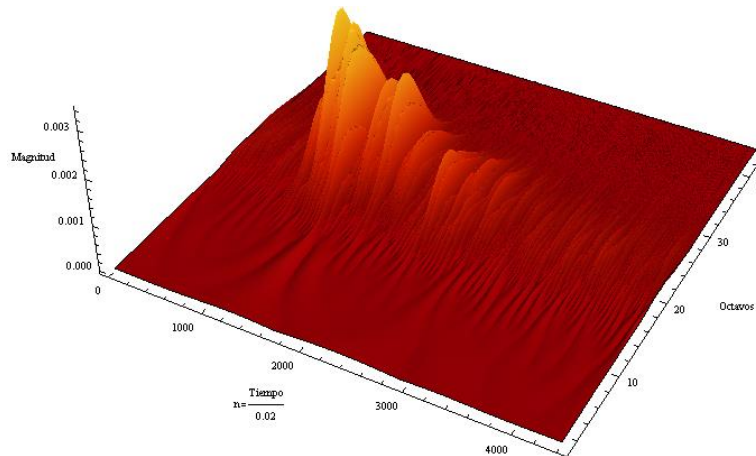
c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



Anexo 12 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 25/10/2004

Fecha: 25/10/2004

Hora: 14:55:41

Latitud del evento (grados): 6.822

Longitud del evento (grados): -73.122

Profundidad del evento (km): 154.7

Estación: embalse de Fuquene

Latitud de la estación (grados): 5.47

Longitud de la estación (grados): -73.738

Distancia epicentral: 164.915 km

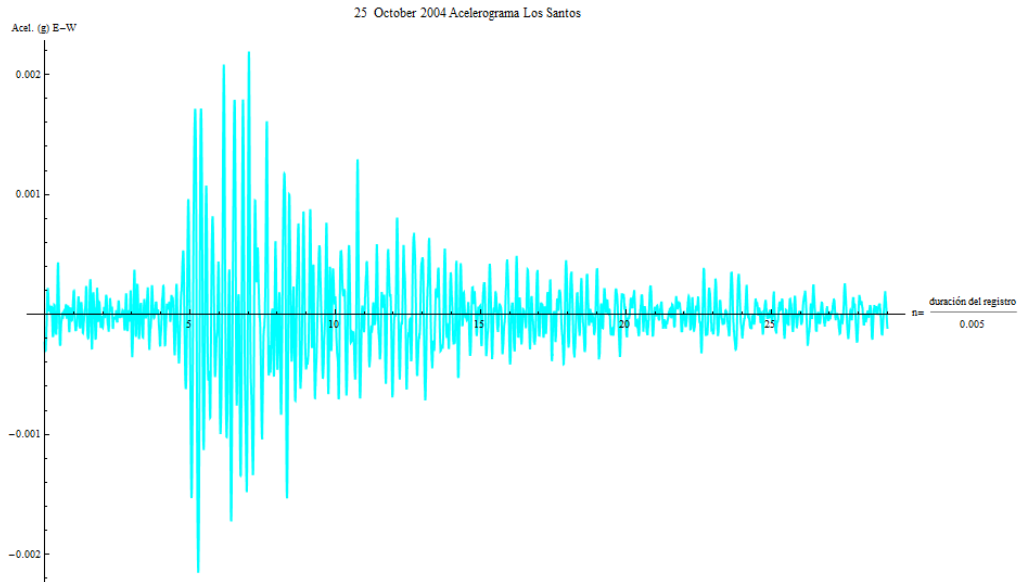
Distancia hipo central: 226.117 km

Intervalo de muestreo (segundos): 0.005

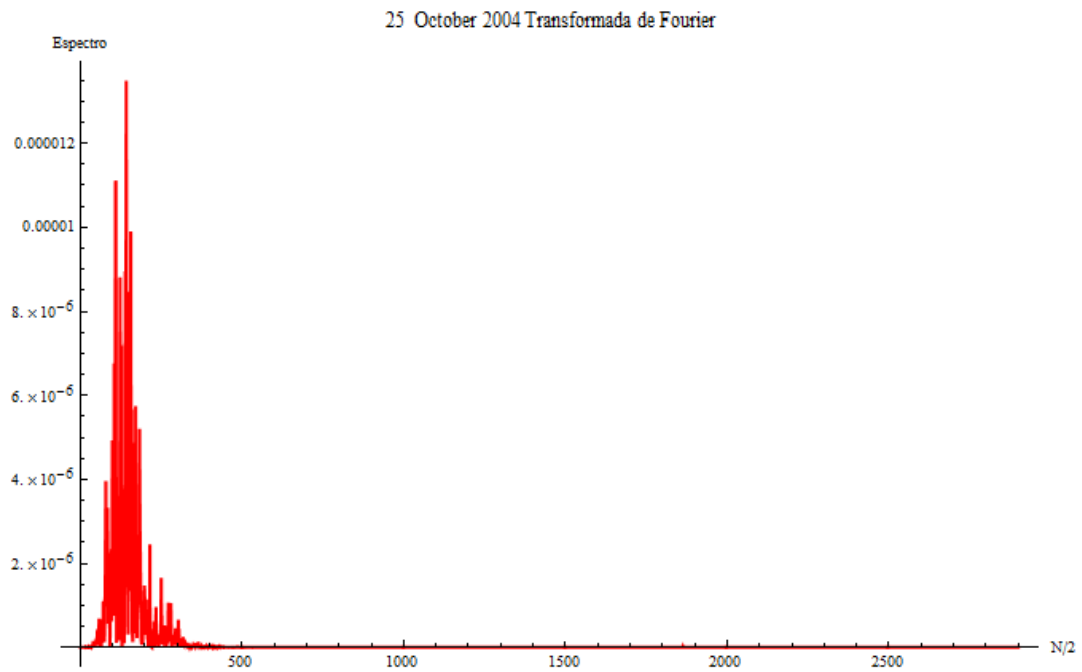
Numero de datos: 5800

Duración (segundos): 29
Unidades: cm/s²

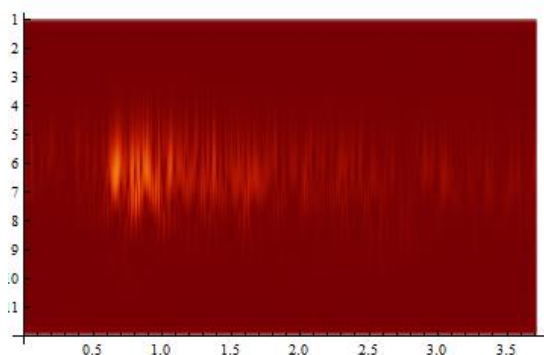
Registro de aceleración E-W



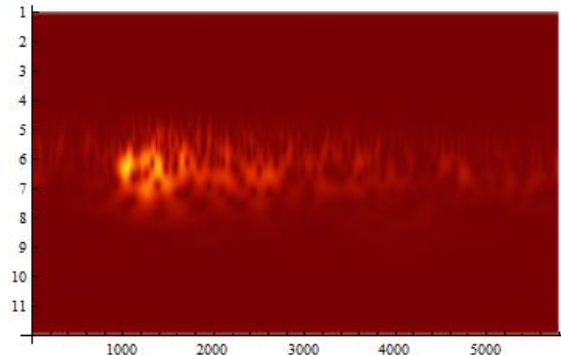
Espectro energético de la aceleración E-W Transformada Fourier



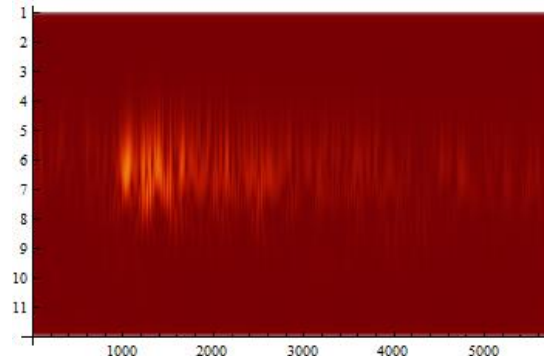
Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



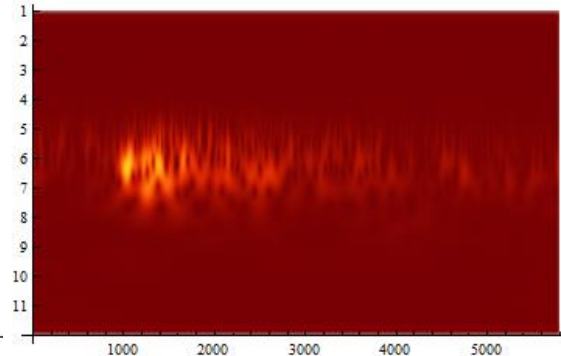
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)
(Morlet)



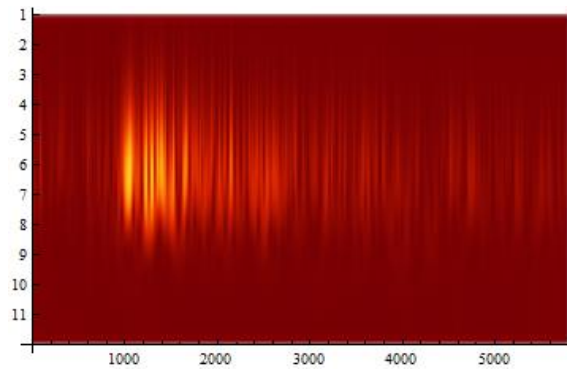
b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

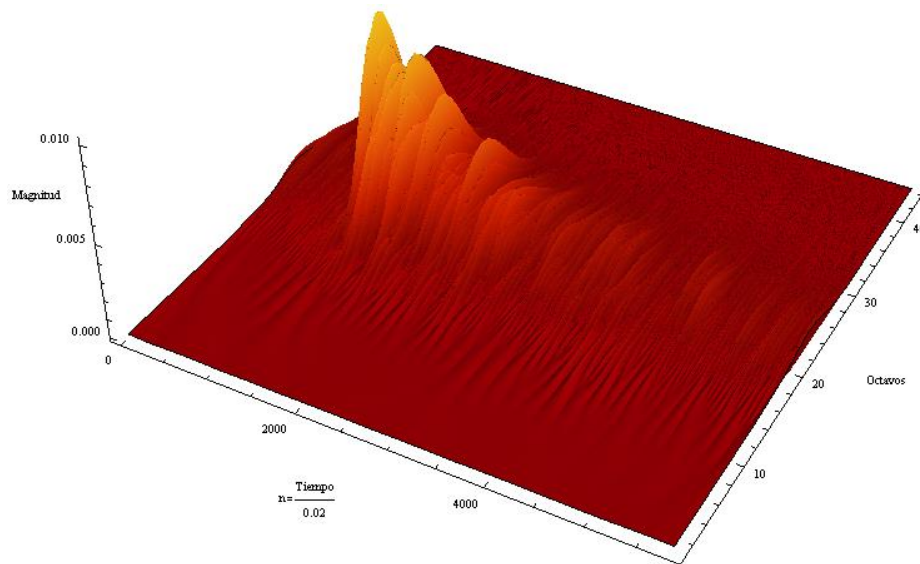


d. Transformada Wavelet

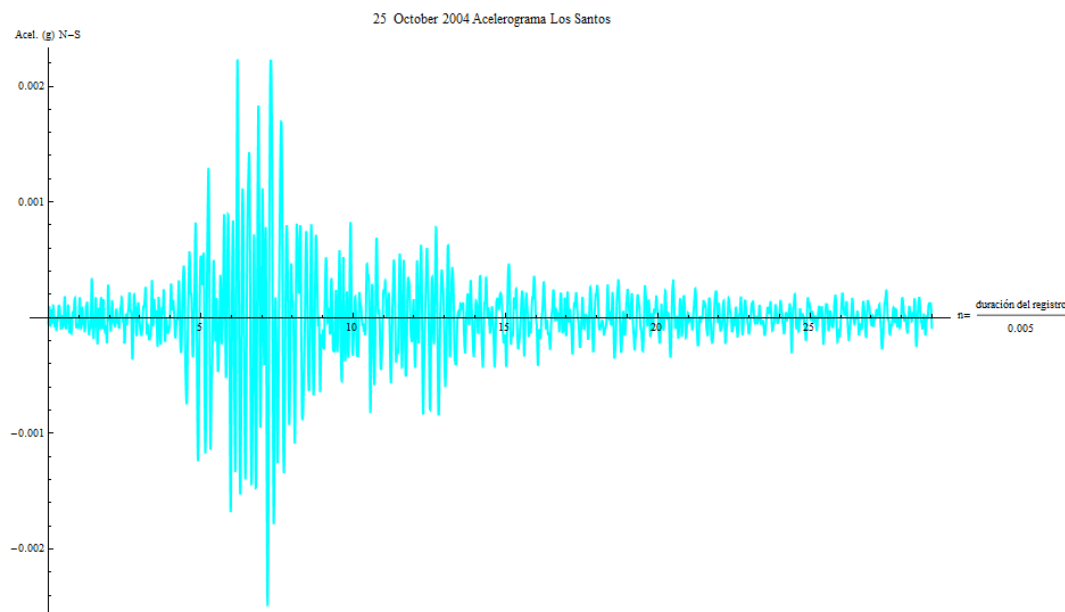


e. Transformada (Paul)

Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



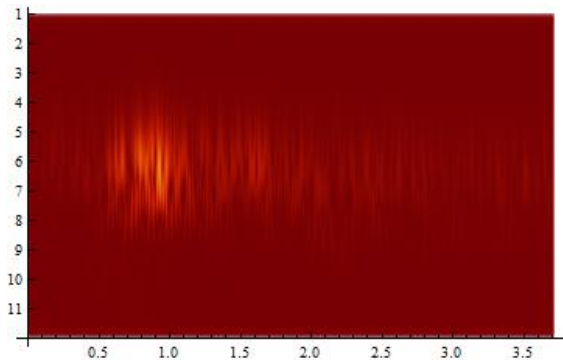
Registro de aceleración N-S



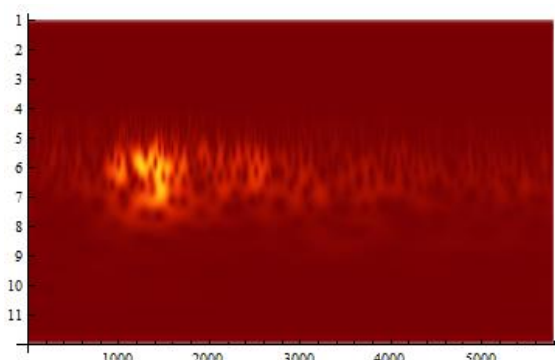
Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier



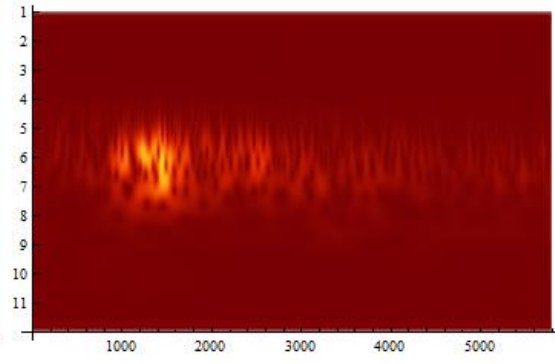
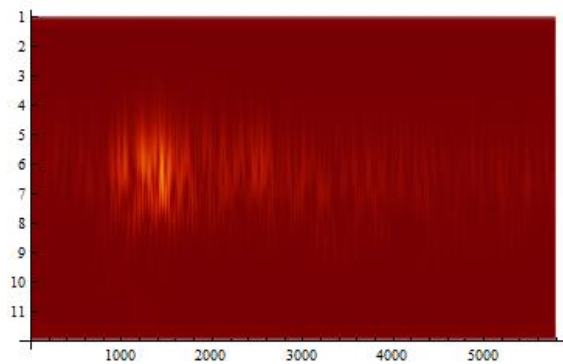
Trasformadas Wavelet Dirección N-S Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets



a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)

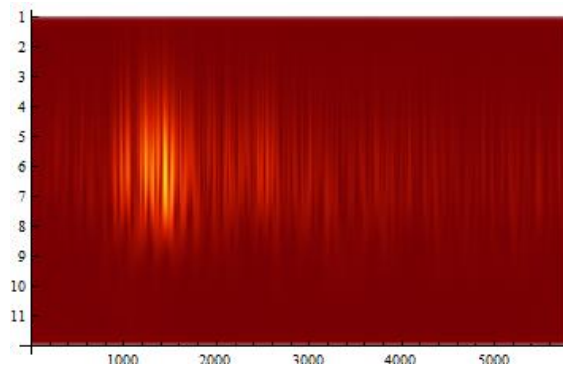


b. Transformada Wavelet (Morlet)



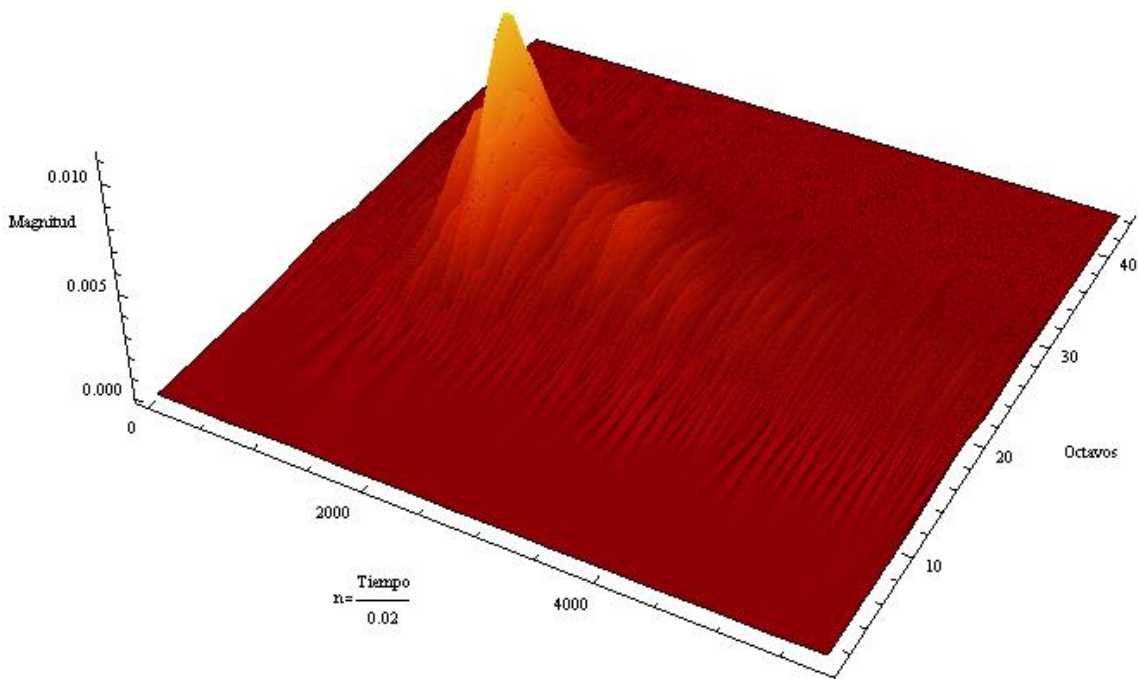
c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

**Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial)
y tiempo**



Anexo 13 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 04/11/2004

Fecha: 04/11/2004

Hora: 22:42:32

Latitud del evento (grados): 6.814

Longitud del evento (grados): -73.043

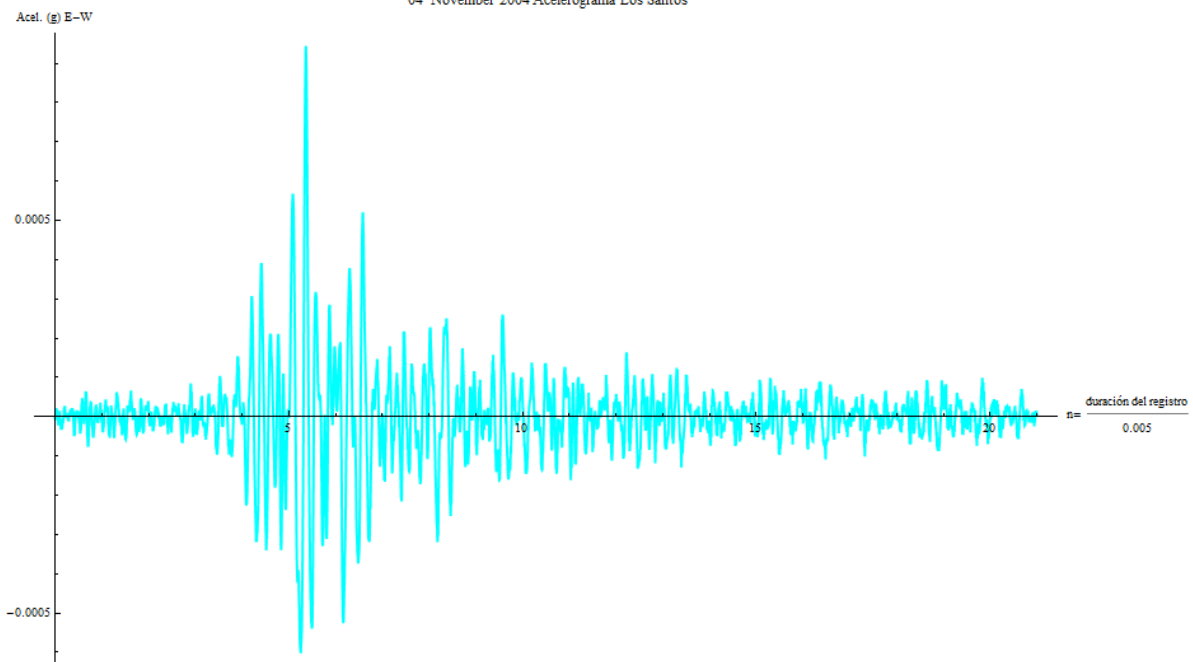
Profundidad del evento (km): 54.3

Estación: embalse de fuquene

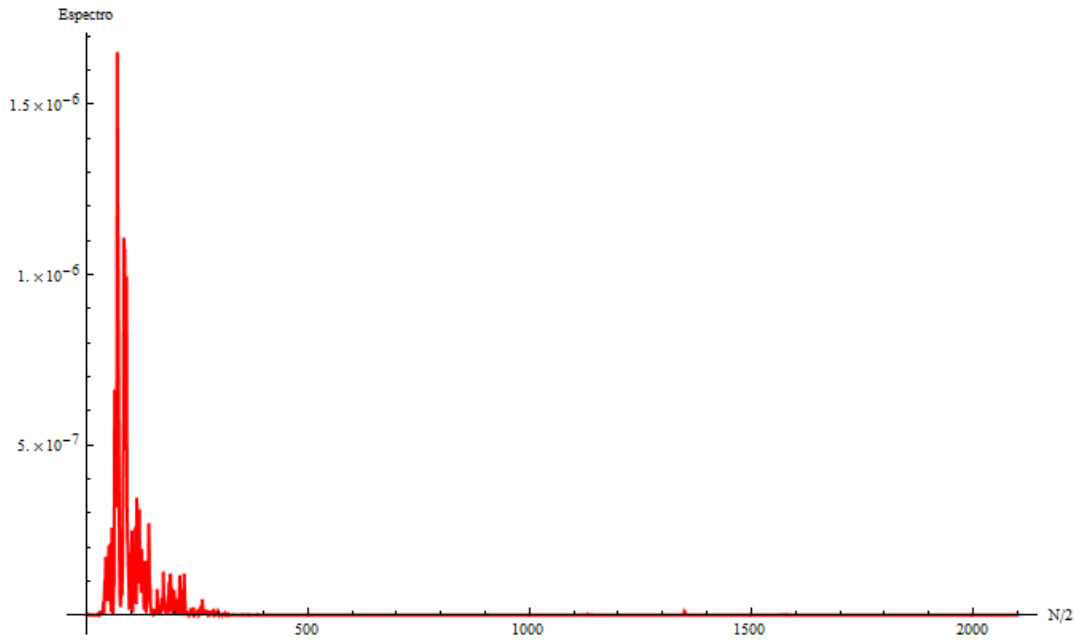
Latitud de la estación (grados): 5.47
Longitud de la estación (grados): -73.738
Distancia epicentral: 167.95 km
Distancia hipo central: 228.069 km
Intervalo de muestreo (segundos): 0.005
Numero de datos: 4200
Duración (segundos): 21
Unidades: cm/s²

Registro de aceleración E-W

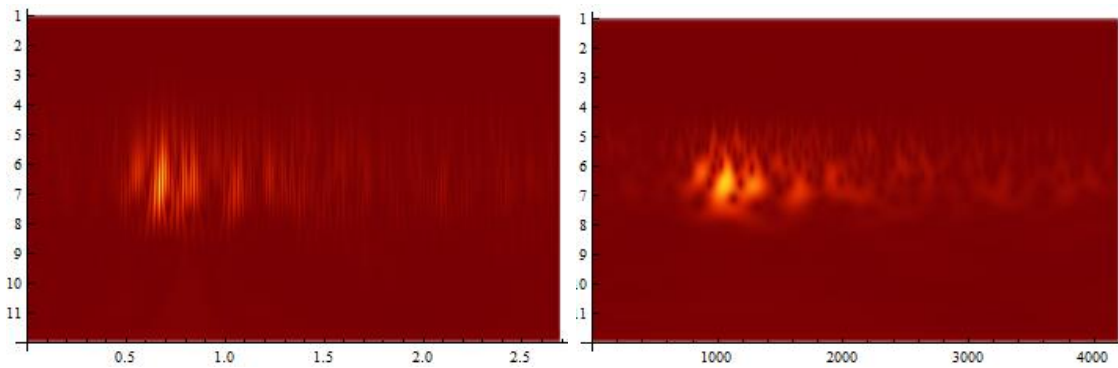
04 November 2004 Acelerograma Los Santos



Espectro energético de la aceleración E-W Trasformada Fourier

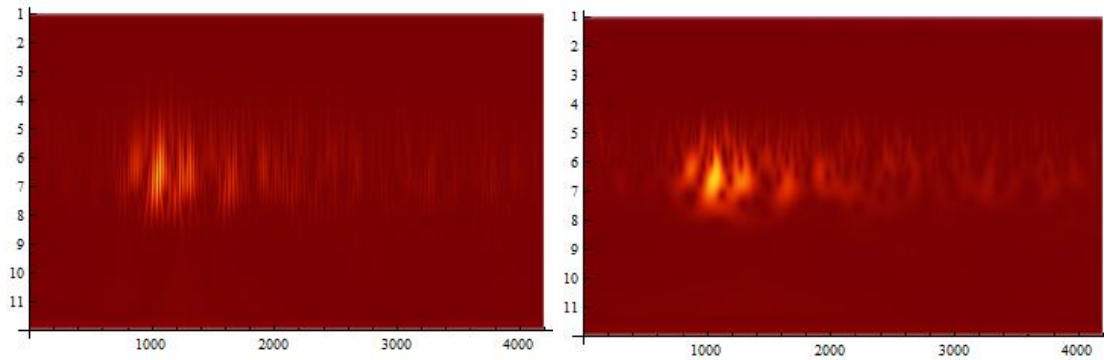


Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "

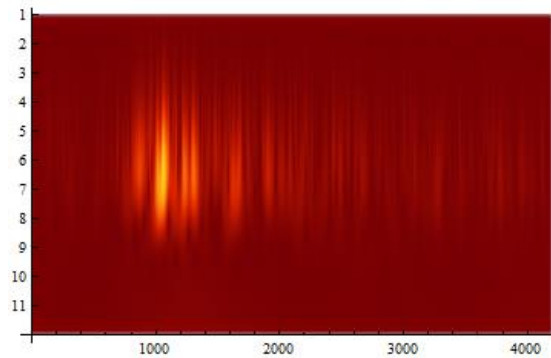


a. Transformada Wavelet (Mexican Hat) (Morlet)

b. Transformada Wavelet



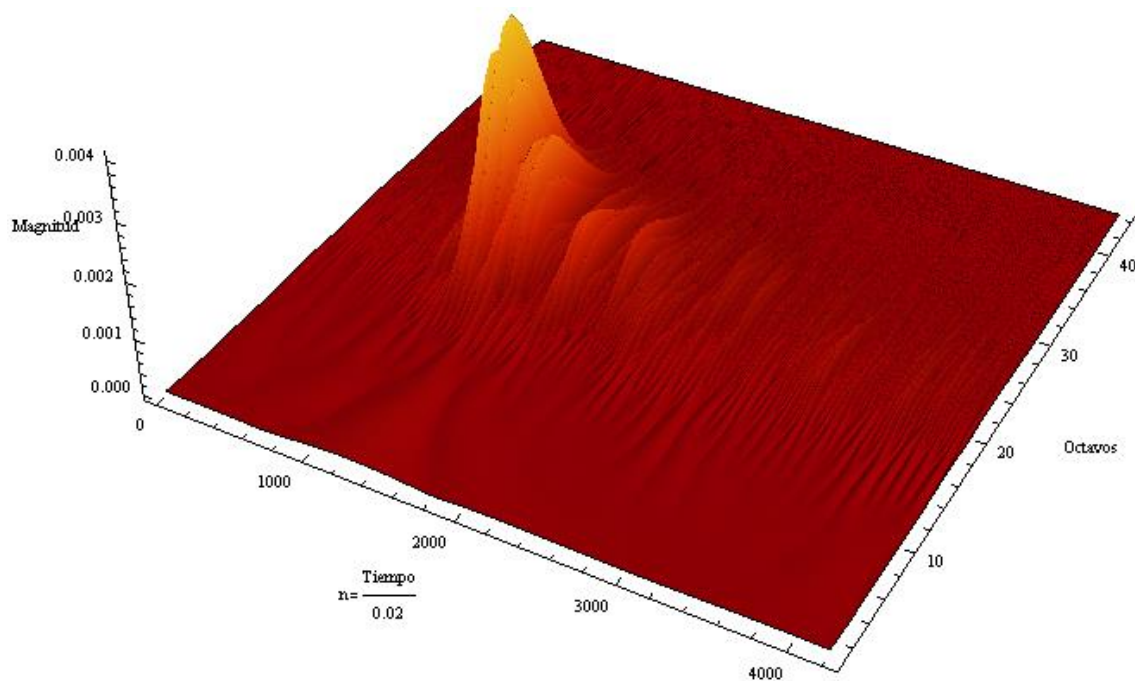
c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)



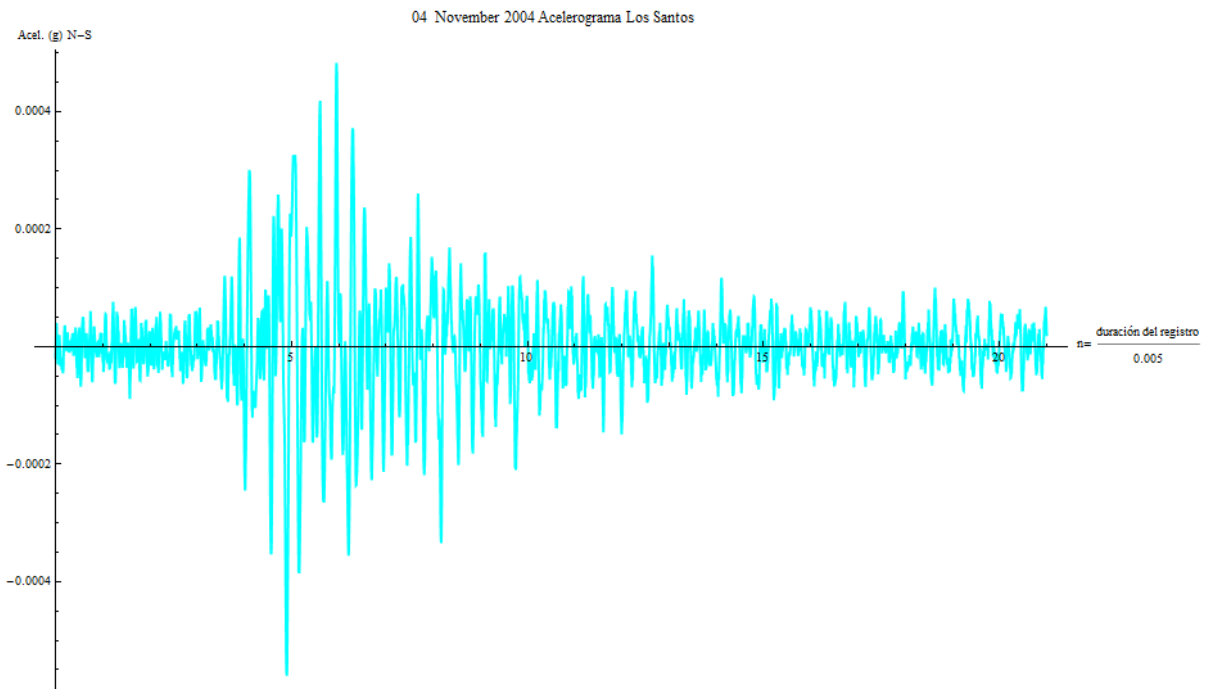
d. Transformada Wavelet

e. Transformada (Paul)

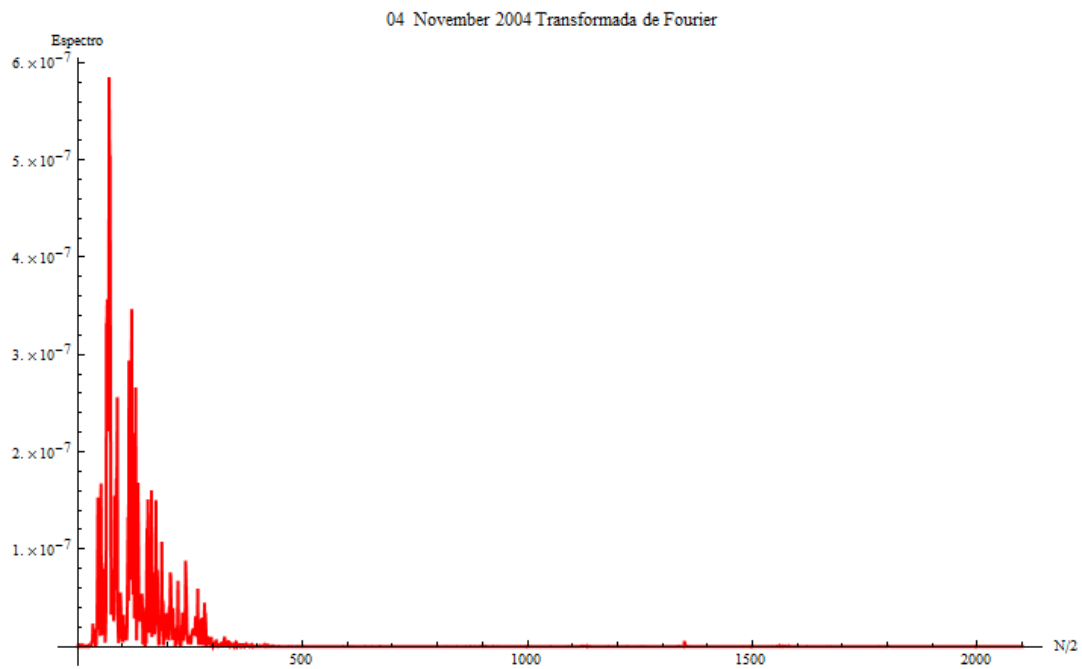
**Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial)
y tiempo**



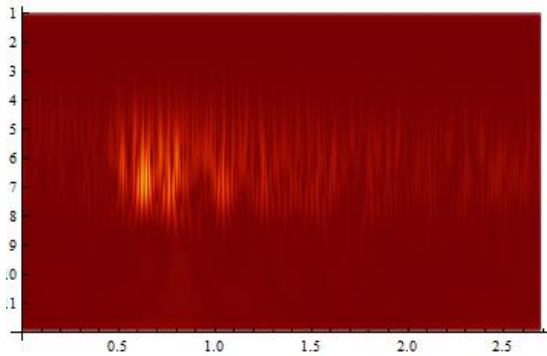
Registro de aceleración N-S



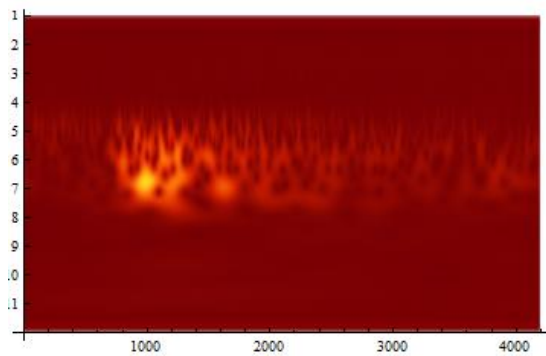
Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier



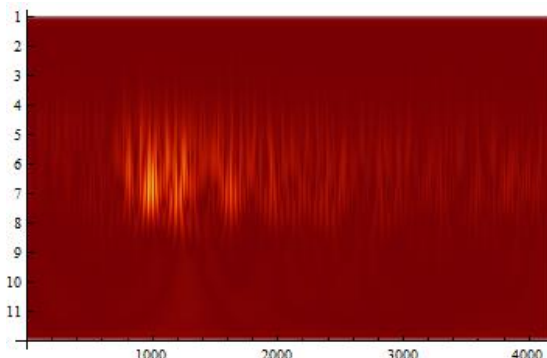
Trasformadas Wavelet Dirección N-S " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets



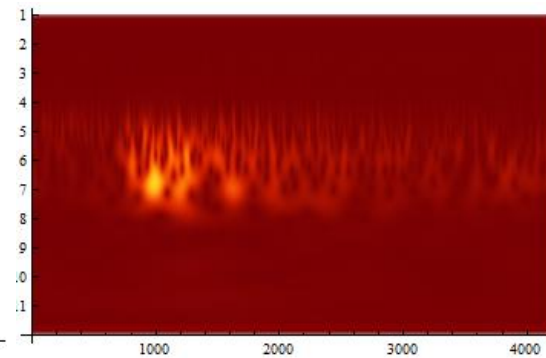
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)



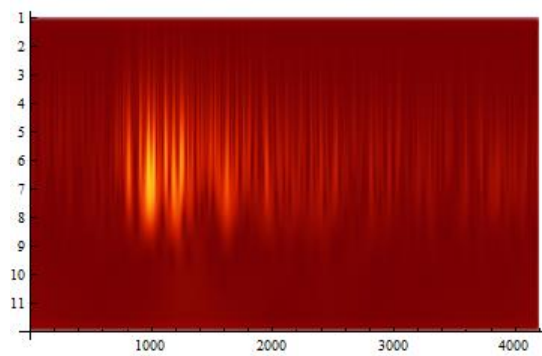
b. Transformada Wavelet (Morlet)



c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

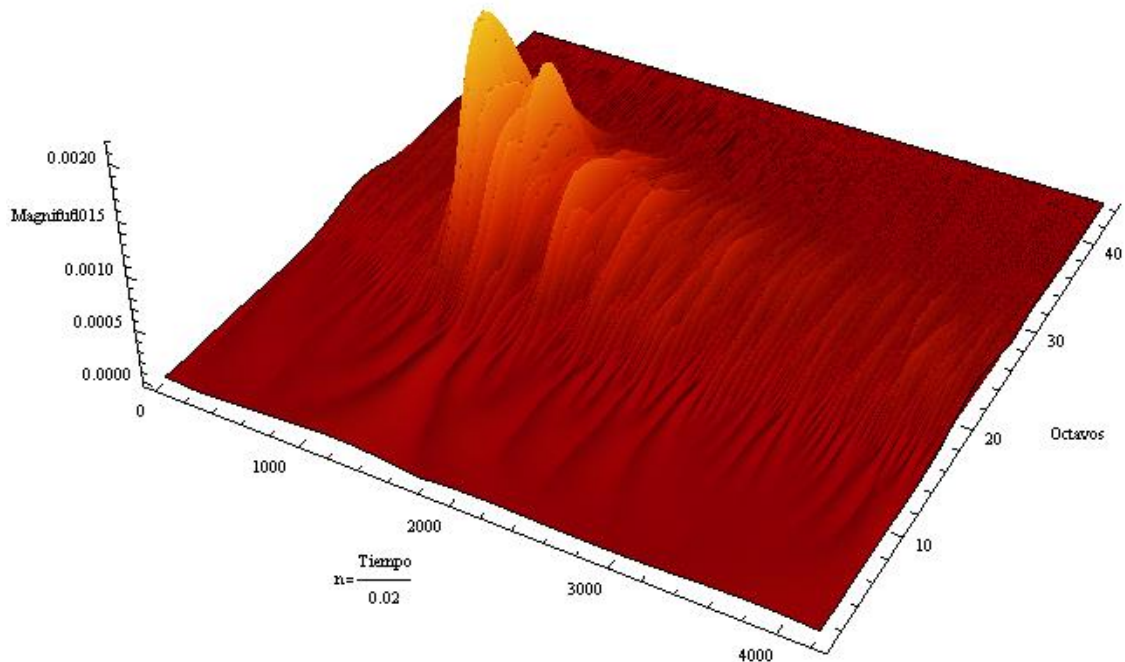


d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



Anexo 14 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 08/11/2004

Fecha: 08/11/2004

Hora: 12:37:14

Latitud del evento (grados): 6.852

Longitud del evento (grados): -73.055

Profundidad del evento (km): 148.3

Estación: embalse de fuquene

Latitud de la estación (grados): 5.47

Longitud de la estación (grados): -73.738

Distancia epicentral: 171.113 km

Distancia hipo central: 226.434 km

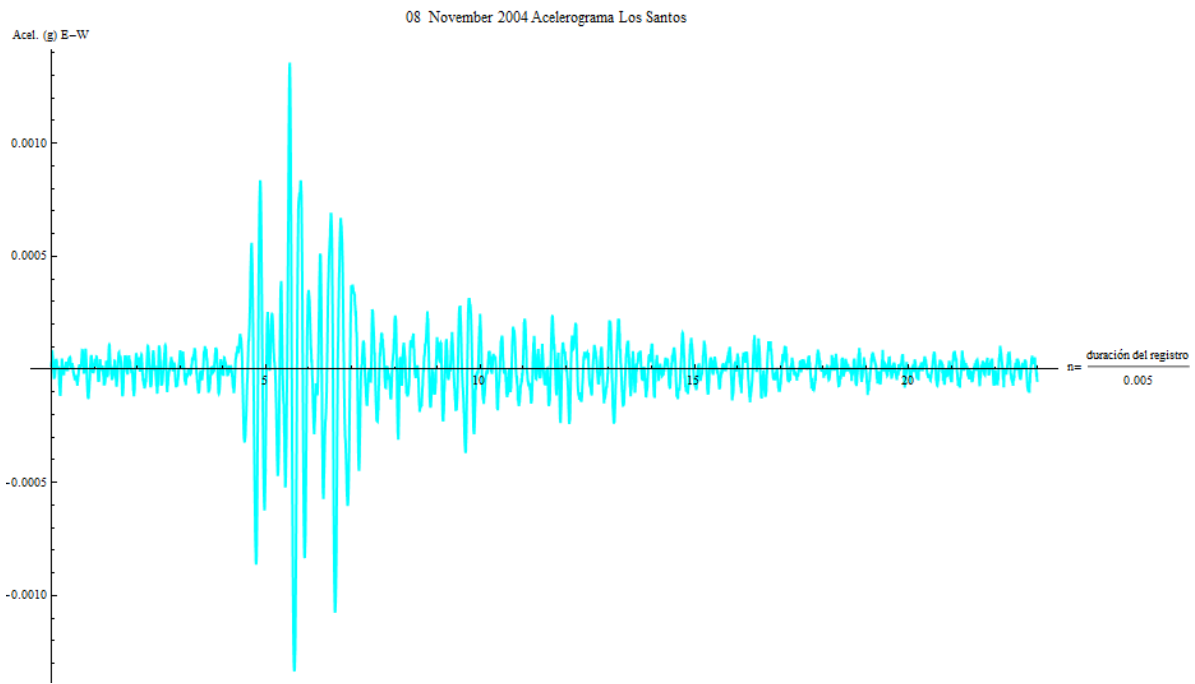
Intervalo de muestreo (segundos): 0.005

Numero de datos: 4600

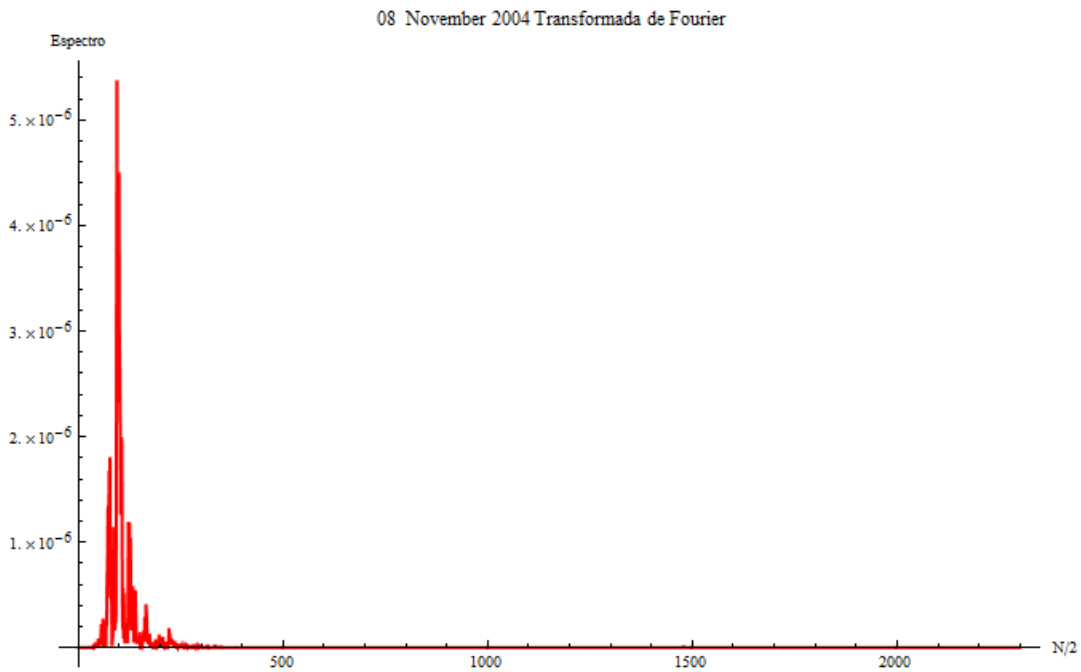
Duración (segundos): 23

Unidades: cm/s²

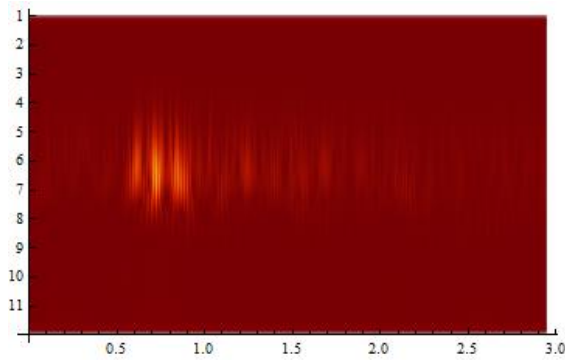
Registro de aceleración E-W



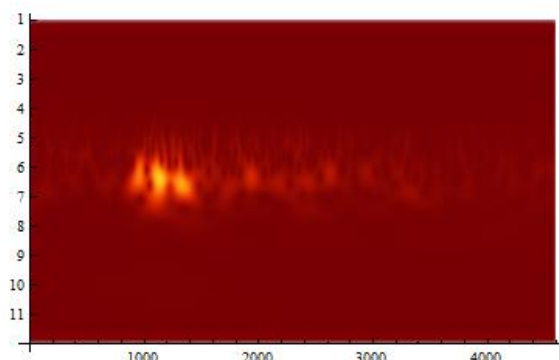
Espectro energético de la aceleración E-W Trasformada Fourier



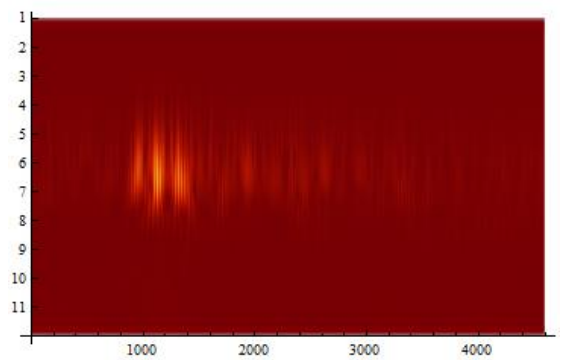
Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



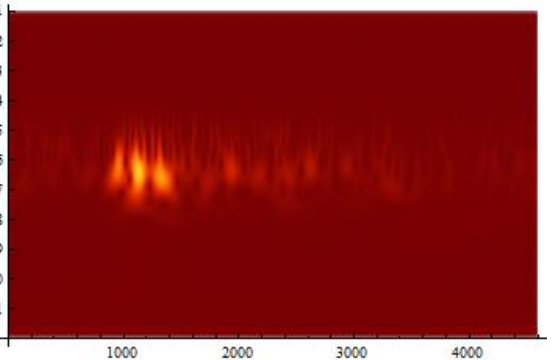
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat) (Morlet)



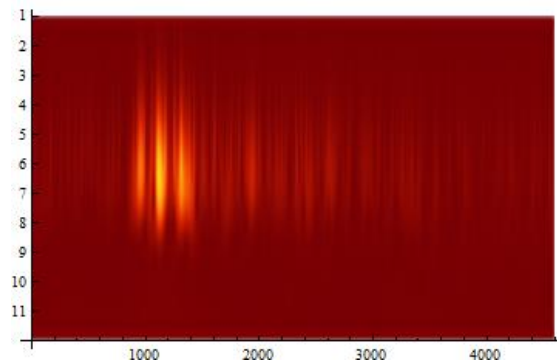
b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian) ((Gabor)

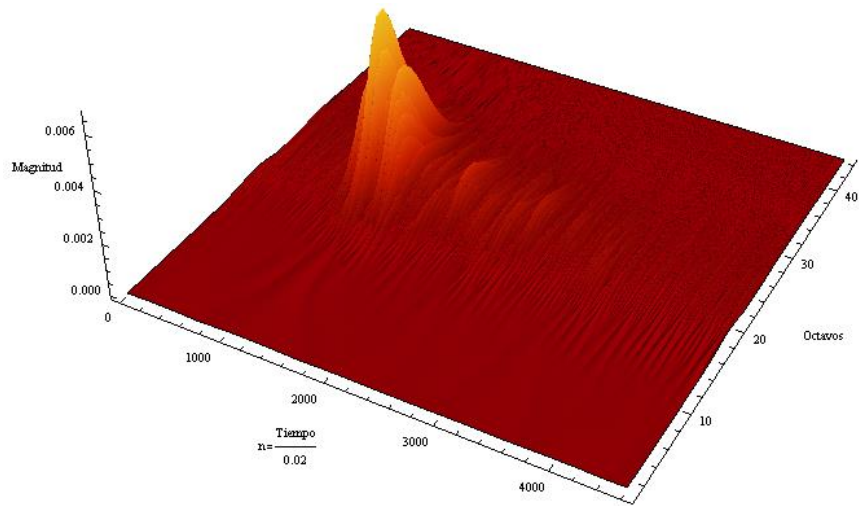


d. Transformada Wavelet

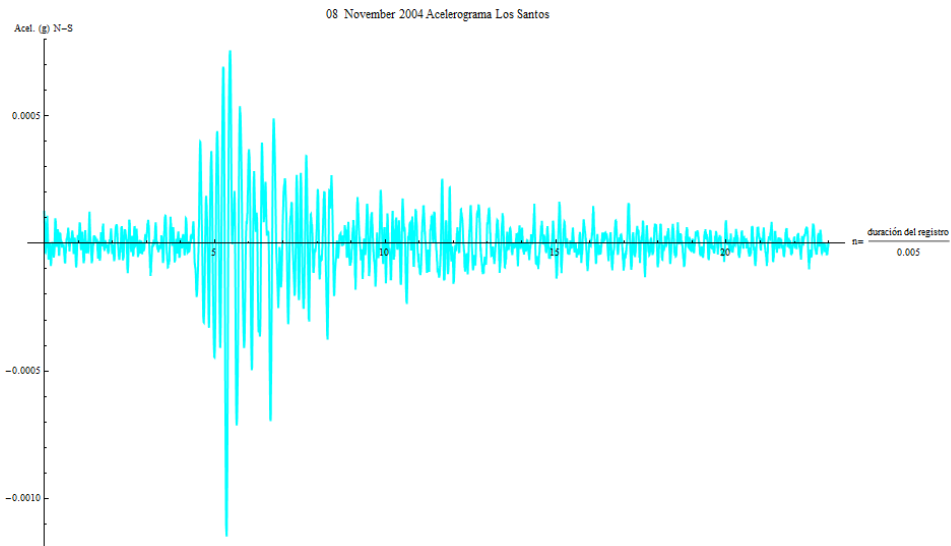


e. Transformada (Paul)

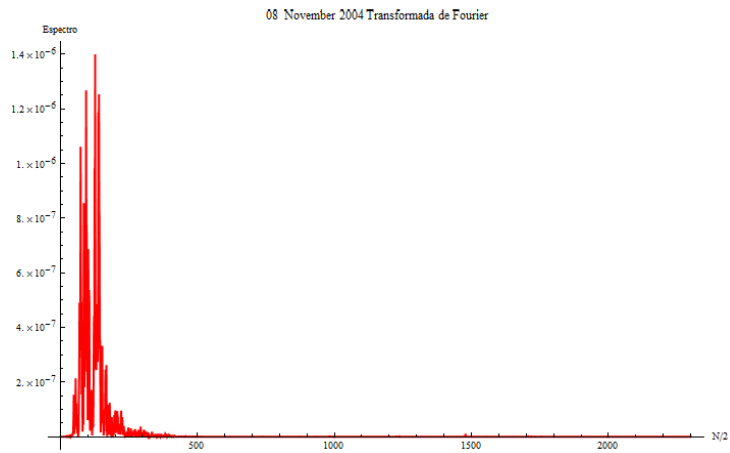
Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



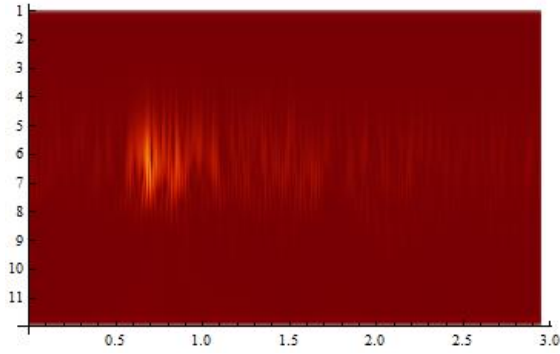
Registro de aceleración N-S



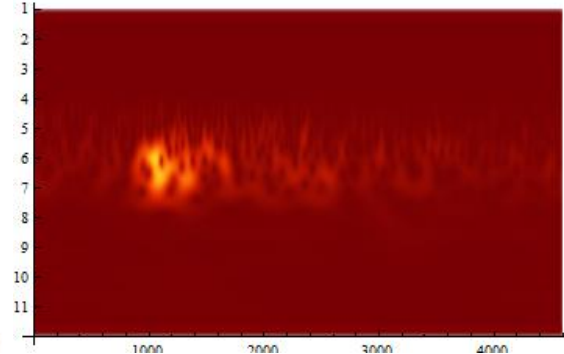
Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier



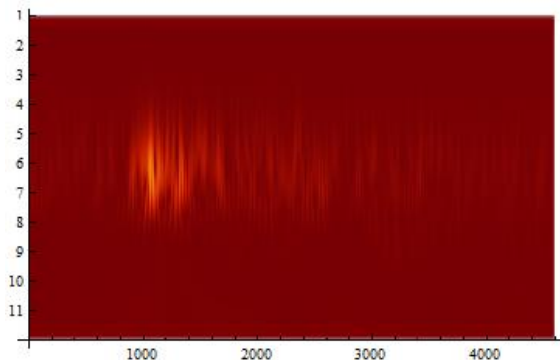
Trasformadas Wavelet Dirección N-S " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets



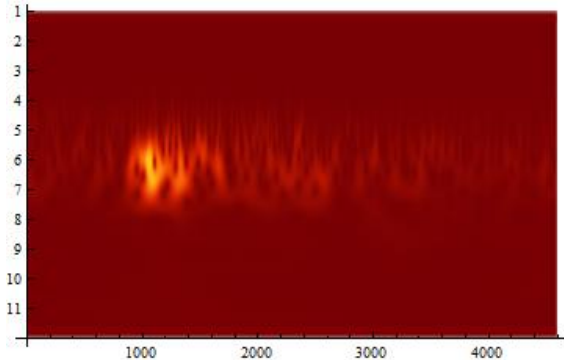
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)



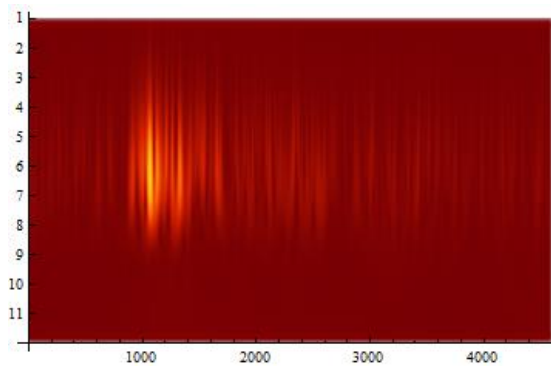
b. Transformada Wavelet (Morlet)



c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

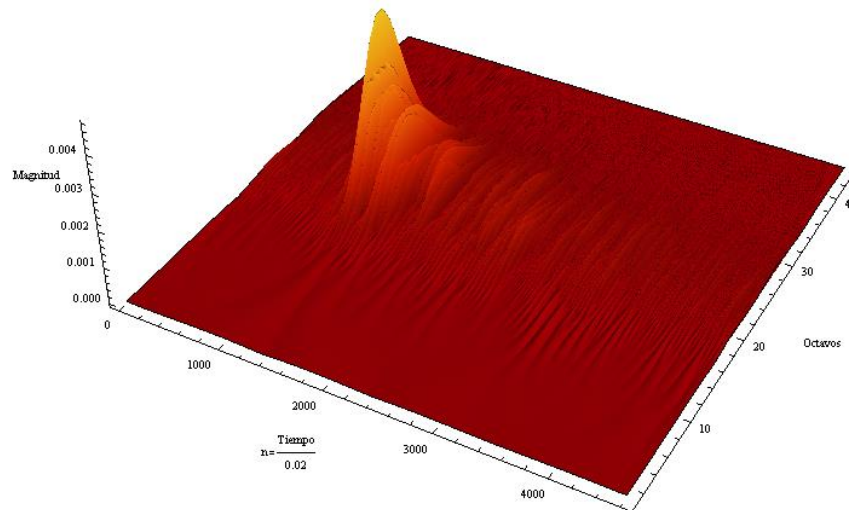


d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

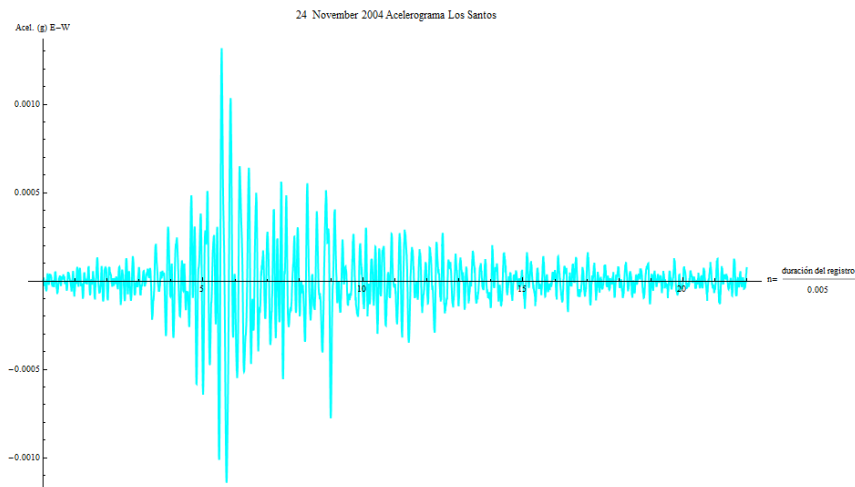
Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



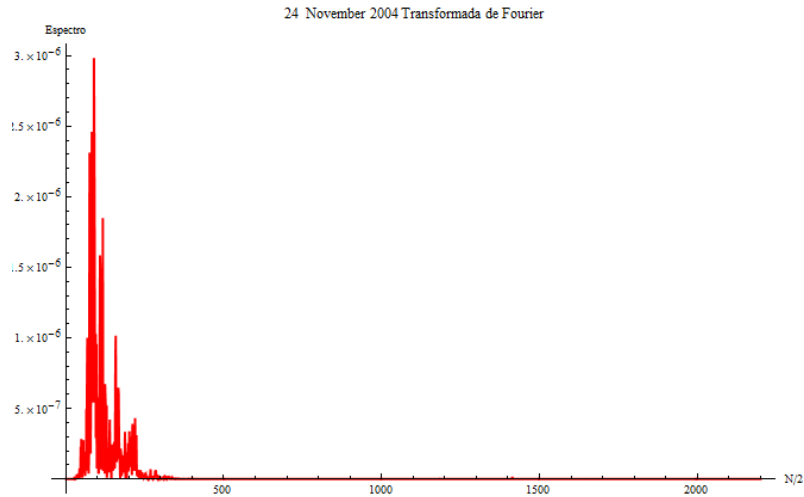
Anexo 15 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 24/11/2004

Latitud del evento (grados): 6.813
Longitud del evento (grados): -73.131
Profundidad del evento (km): 152
Distancia epicentral: 163.592 km
Distancia hipo central: 223.308 km
Intervalo de muestreo (segundos): 0.005
Numero de datos: 4400
Duración (segundos): 22

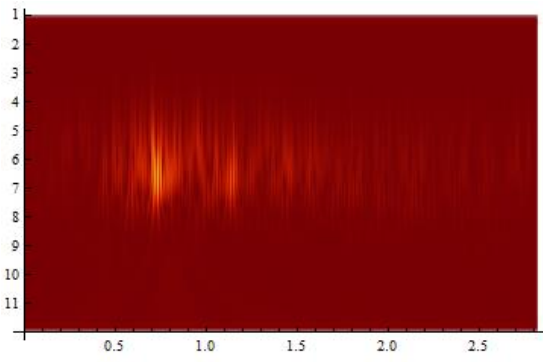
Registro de aceleración E-W



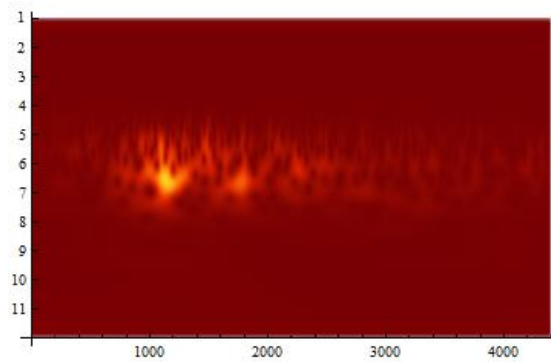
Espectro energético de la aceleración E-W Trasformada Fourier



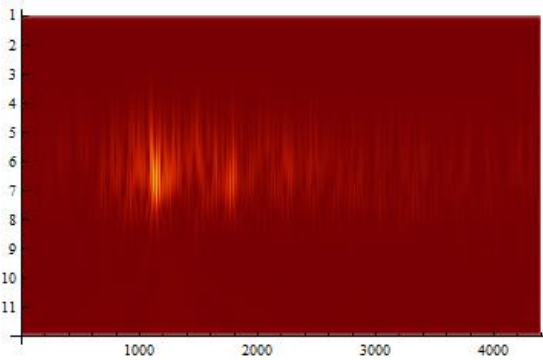
Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets"



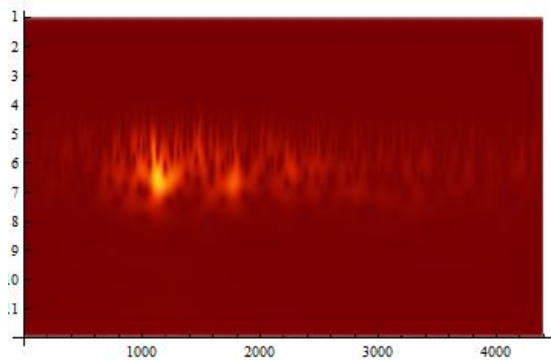
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)
(Morlet)



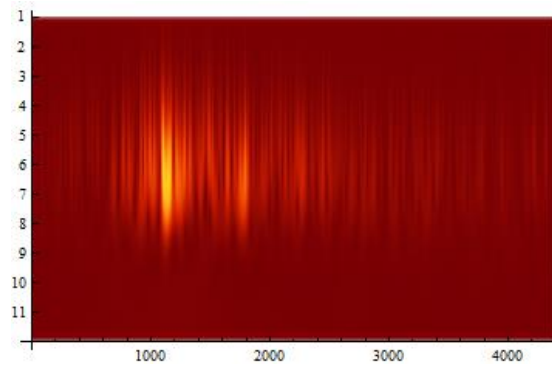
b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

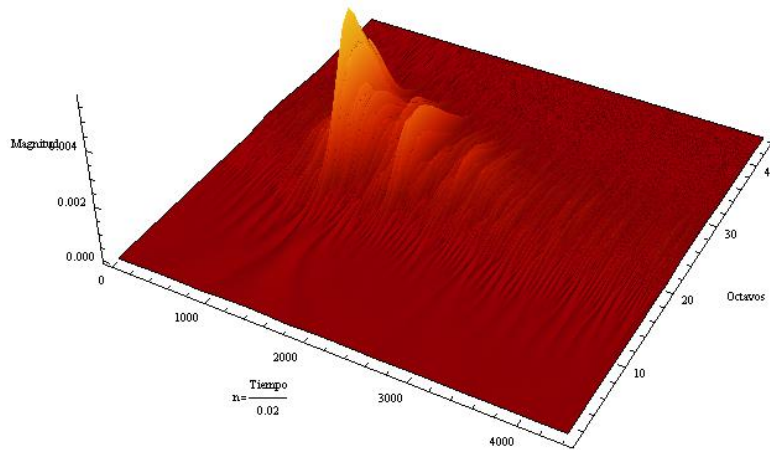


d. Transformada Wavelet

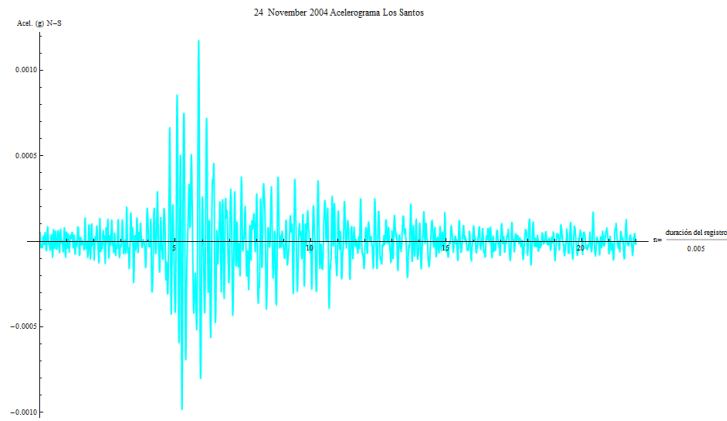


e. Transformada (Paul)

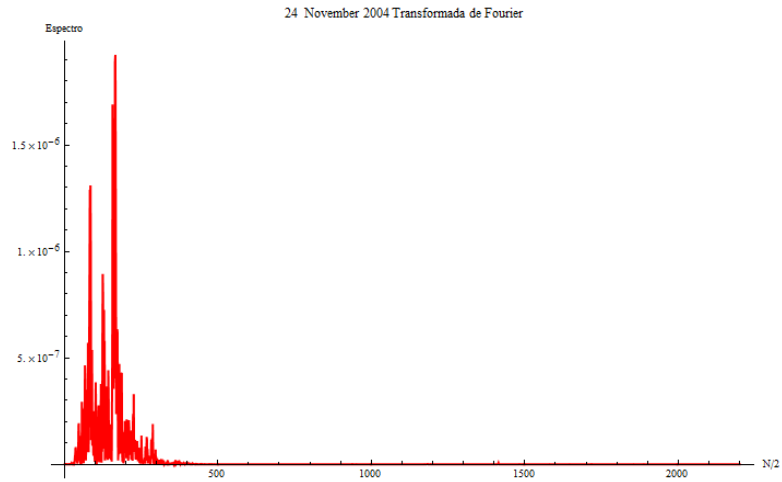
Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



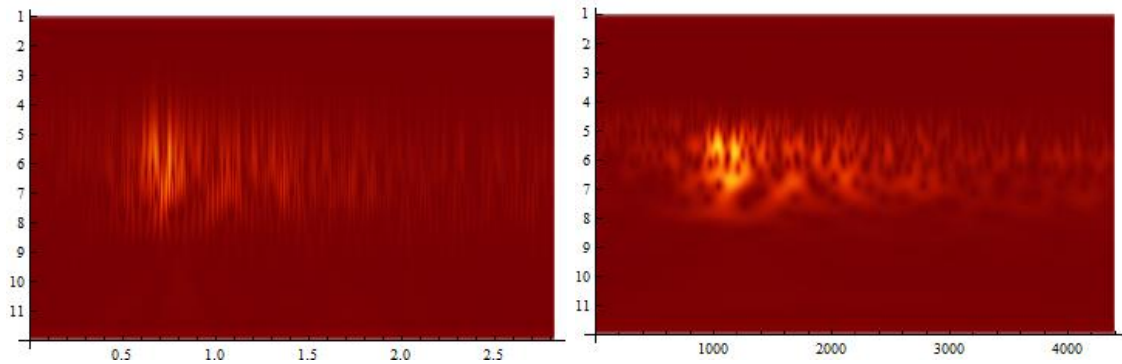
Registro de aceleración N-S



Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier

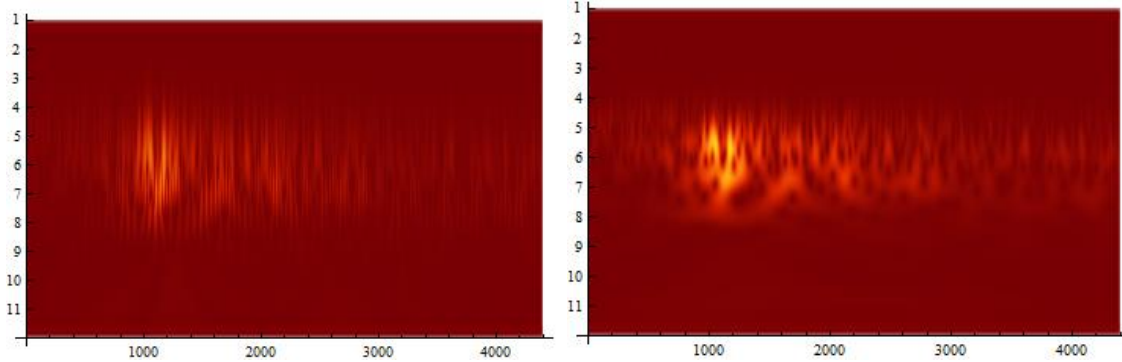


Trasformadas Wavelet Dirección N-S " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets



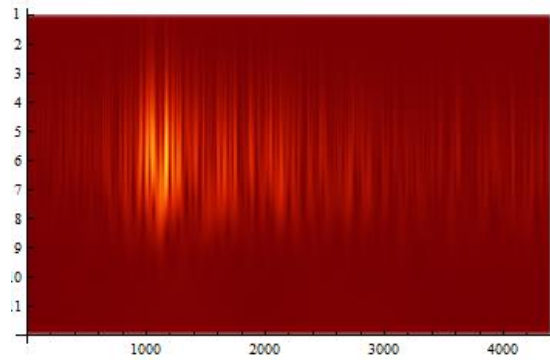
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)

b. Transformada Wavelet (Morlet)



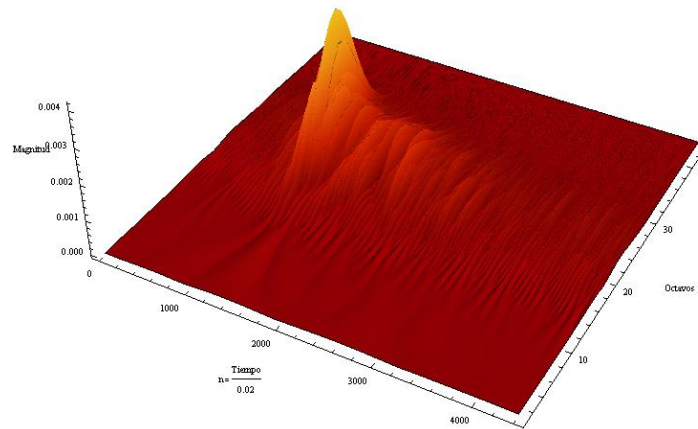
c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)

d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo

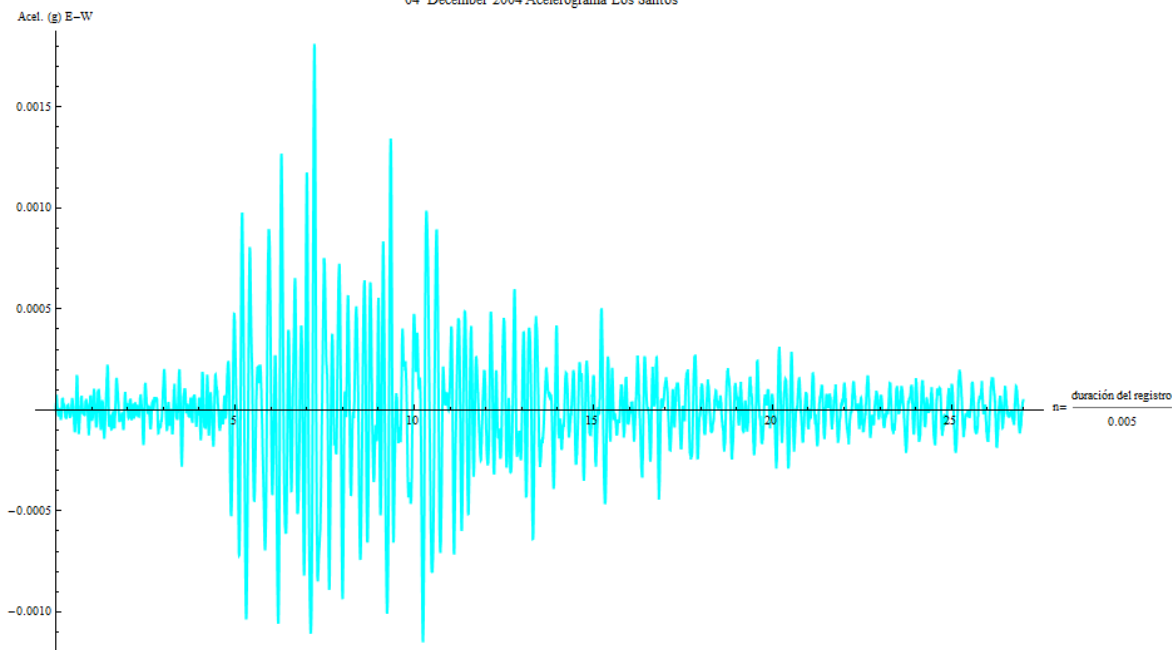


Anexo 16 Gráficas de Acelerograma y transformadas de Fourier y Wavelet 04/12/2004

Latitud del evento (GRADOS): 6.857
 Longitud del evento (GRADOS): -73.074
 Profundidad del evento (Km): 156
 Distancia epicentral: 170.69 km
 Distancia hipo central: 231.238 km
 Intervalo de muestreo (segundos): 0.005
 Numero de datos: 5400
 Duración (segundos): 27

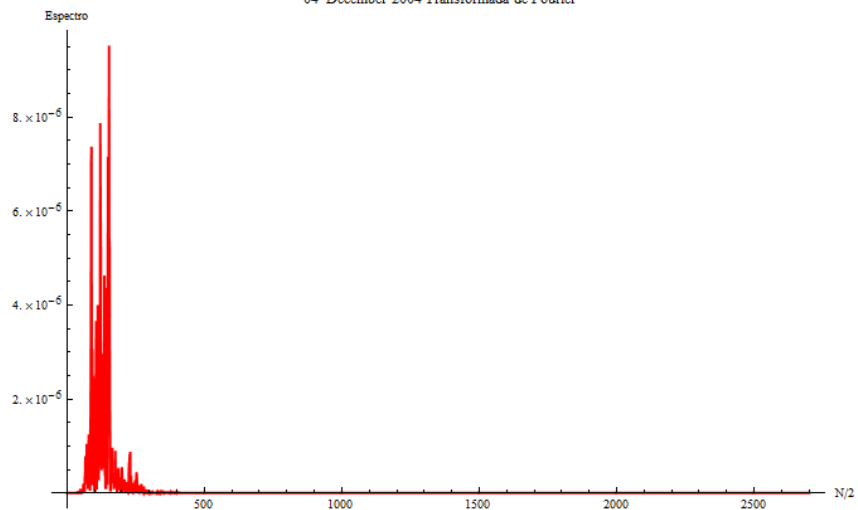
Registro de aceleración E-W

04 December 2004 Acelerograma Los Santos

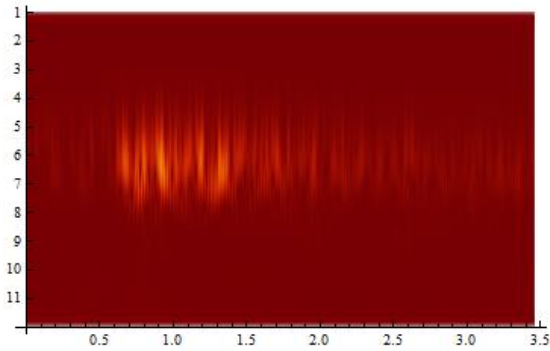


Espectro energético de la aceleración E-W Trasformada Fourier

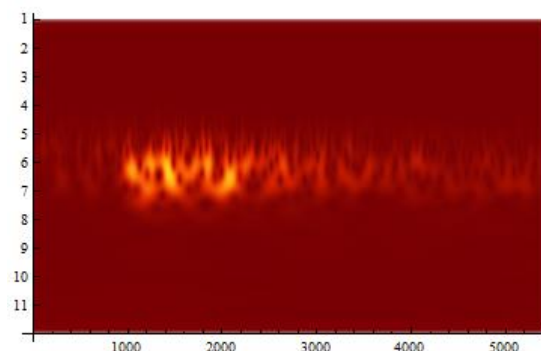
04 December 2004 Transformada de Fourier



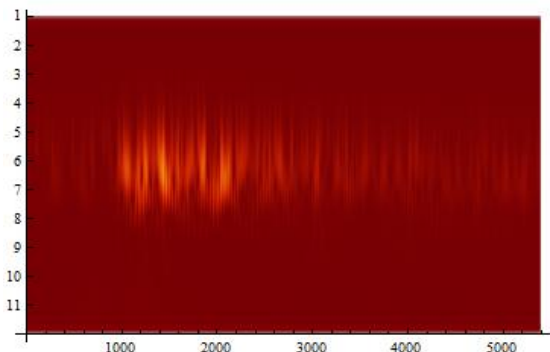
Trasformadas Wavelet Dirección EW " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets "



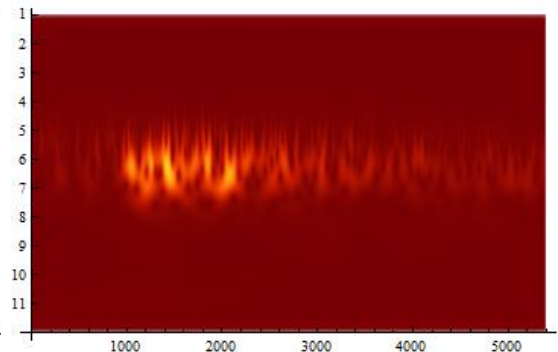
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat) (Morlet)



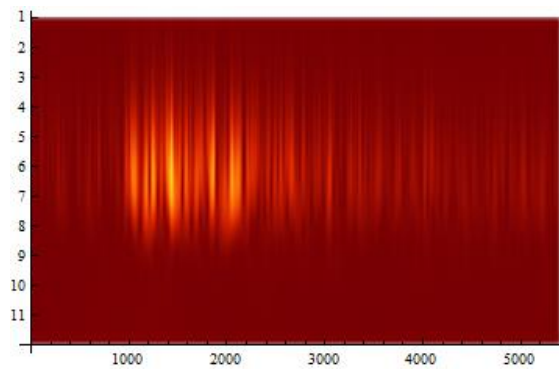
b. Transformada Wavelet



c. Transformada Wavelet (DGaussian) ((Gabor)

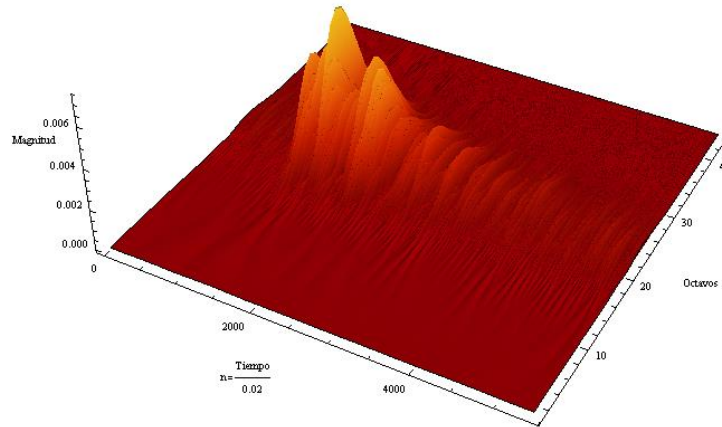


d. Transformada Wavelet

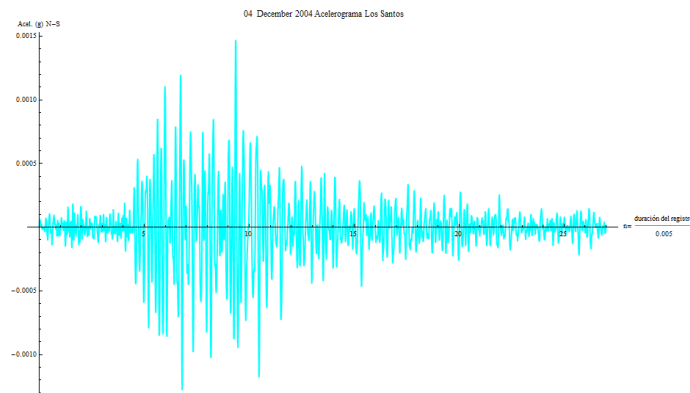


e. Transformada (Paul)

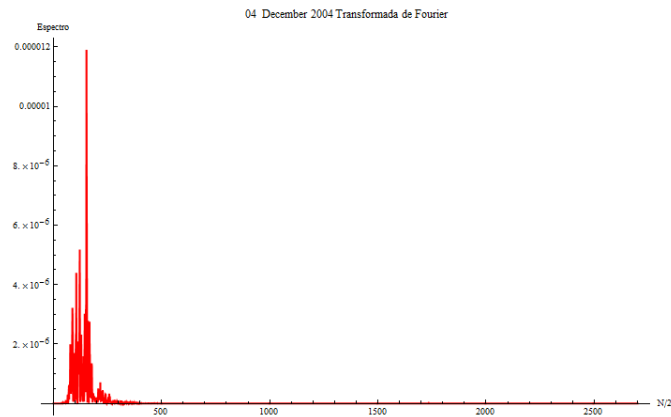
Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo



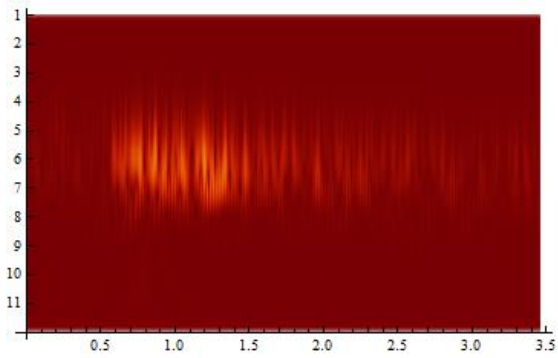
Registro de aceleración N-S



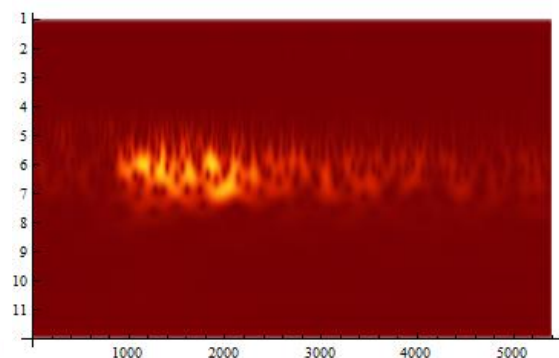
Espectro energético de la aceleración N-S Trasformada Fourier



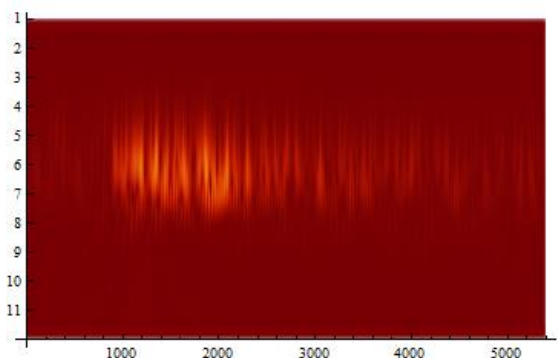
Trasformadas Wavelet Dirección N-S " Escalogramas de la señal sísmica con diversos Wavelets



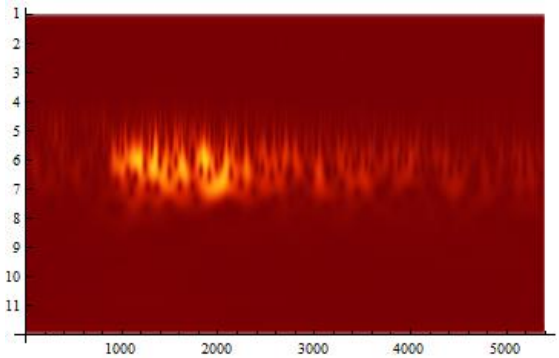
a. Transformada Wavelet (Mexican Hat)



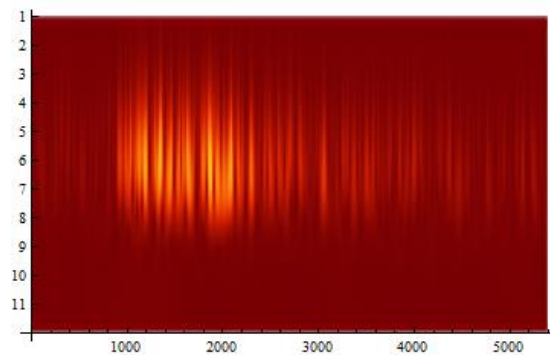
b. Transformada Wavelet (Morlet)



c. Transformada Wavelet (DGaussian)
(Gabor)



d. Transformada Wavelet



e. Transformada (Paul)

Escalograma en tres dimensiones: Magnitud, octavos (banda frecuencial) y tiempo

