



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**CONFORMACIÓN DE LA BASE DE DATOS SÍSMICOS PARA LOS  
REGISTROS DE LA ESTACIÓN JUR1, JURQUILLA QUERÉTARO**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Ingeniero Civil

Presenta:

**Edgardo Rocha Ugalde**

Dirigido por:

M. en C. Alejandro Clemente Chávez  
Director

M. en C. Ángel Gregorio Figueroa Soto  
Co- Director

Centro Universitario, Querétaro, Qro., Agosto del 2011.

## Resumen

En este trabajo se presenta la conformación de una base de datos sísmicos registrados en la estación sismológica JUR1, propiedad del Centro de Geociencias (CGEO) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Campus Juriquilla, Querétaro, la cual comprende una selección de registros de buena calidad de eventos ocurridos en diferentes zonas sismogénicas como el Eje Neovolcánico Mexicano (MVB), el norte de la República Mexicana y la zona de Subducción. Todos los registros de la base de datos, fueron previamente tratados mediante el proceso de deconvolución reportado por Figueroa *et al.*, (2010), específicamente para la estación JUR1. De lo anterior se obtuvieron acelerogramas y posteriormente se convirtieron a formato ASCII para su fácil manipulación con otros programas de procesamiento de datos para fines de estimación del peligro sísmico local.

Finalmente la base de datos fue almacenada en una rutina programada en el lenguaje Visual Basic 6.0 con carácter exclusivamente para visualización de los registros sísmicos, localización epicentral y sus amplitudes máximas de aceleración (PGA).

Los resultados de este trabajo permitieron conocer el orden de las aceleraciones máximas del terreno nunca antes reportadas, que se presentan en Querétaro ante eventos de diversas magnitudes y distintas fuentes sismogénicas, a excepción de la trayectoria Guerrero – Querétaro estudiada por Clemente (2010). El fácil acceso y la disponibilidad de información de esta base de datos, permitirá emprender el estudio de otras trayectorias.

**(Palabras Clave:** Base de datos, sismo, deconvolución, acelerograma, peligro sísmico)

## Summary

This paper presents the creation of a database of registered seismic events at JUR1 seismic station, owned by the Centro de Geociencias (CGEO) of the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Campus Juriquilla, Querétaro, which includes a selection of good quality records of events in different seismogenic zones as Neovolcanic Mexican Belt (MVB), northern Mexico and the subduction zone. All records in the database were previously treated with the deconvolution process reported by Figueroa *et al.* (2010), specifically for JUR1 station. As result of this process accelerograms were obtained and then converted to ASCII format for easy manipulation with other data processing programs for the purpose of estimating the local seismic hazard.

Finally the database was stored in a routine programmed in Visual Basic 6.0 with purely for visualization of seismic records, epicentral location and maximum amplitudes of acceleration (PGA).

The results of this study allowed to know the order of the peak ground accelerations ever reported, occurring in Queretaro to events of different magnitudes and different seismogenic sources, except the path Guerrero - Querétaro studied by Clemente (2010). Easy access and availability of information in this database, will undertake the study of other paths.

**(Key words:** Data base, earthquake, deconvolution, accelerogram, seismic hazard).

*A mis padres y hermana, son a quienes dedico esta tesis, por haber sido mi principal apoyo durante la carrera de Ingeniería Civil y por supuesto en el transcurso de la vida.*

*Gracias por confiar en mí y llevarme por el camino de la rectitud, sabiduría y honestidad.*

## **Agradecimientos**

**A la Universidad Autónoma de Querétaro**, es un gran orgullo ser egresado de esta destacada e importante institución.

**A la Facultad de Ingeniería**, por haberme permitido cursar mis estudios como ingeniero civil, y ayudar a mi formación como profesional y persona.

**Al Dr. Gilberto Herrera**, director de la Facultad de Ingeniería, porque siempre se mostró hacia los alumnos con confianza, amistad y orientación académica.

**Al M. en C. Alejandro Clemente**, director de esta tesis, por su apoyo, atinados comentarios y aporte de conocimientos, que hicieron posible la realización de este trabajo.

**Al M. en C. Ángel Figueroa**, co-director de esta tesis, por haberme orientado durante el proceso de este trabajo y por el tiempo que dedicó para compartir sus conocimientos.

**A los Dr's. Moisés Arroyo, Miguel Ángel Pérez-Lara y Enrique Rico**, por su comprensión, ayuda y formación que aportaron para poder realizar esta tesis.

**Al Centro de Geociencias de la UNAM, en particular al Dr. Ramón Zúñiga Dávila Madrid**, por proporcionar los sismogramas registrados en la estación JUR1 durante el periodo 2009-2010.

**Al Ing. Álvaro Ugalde**, por su valiosa enseñanza en diseño de estructuras y construcción, además de sus sabios consejos.

**A mis tíos y abuelita "Ballo"**, quienes estuvieron presentes en todo momento para ayudarme a superarme.

**A mis amigos Beto, Guillermo y Fernando**, amigos de siempre que me ayudaron en distintas actividades, así como brindarme su amistad.

**A los gatos Edgar y Valentín**, compañeros y amigos de la carrera, que en todo momento estuvieron conmigo.

## Índice

<b>Resumen .....</b>	<b><i>i</i></b>
<b>Summary.....</b>	<b><i>ii</i></b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b><i>iv</i></b>
<b>Índice .....</b>	<b><i>v</i></b>
<b>Índice de Tablas.....</b>	<b><i>vii</i></b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b><i>viii</i></b>
<b>1.- INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Hipótesis y Objetivos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Antecedentes .....</b>	<b>5</b>
<b>2.- CONCEPTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Clasificación de los tipos de Sismógrafos .....</b>	<b>7</b>
2.1.1 Sismómetros de la antigüedad.....	7
2.1.2 Sismógrafos mecánicos.....	8
2.1.3 Sismógrafos electromagnéticos.....	9
2.1.4 Sismógrafos de banda ancha.....	11
2.1.5 Acelerógrafos.....	12
<b>2.2 Registro de señales sísmicas utilizando sismógrafos de banda ancha.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Algunos conceptos sobre parámetros de la fuente y movimiento del terreno.....</b>	<b>14</b>
2.3.1 Clasificación y localización de sismos .....	14
2.3.2 Deconvolución de señales.....	18
2.3.3 Atenuación sísmica .....	19
2.3.4 Efectos de sitio.....	20
<b>2.4 Software utilizado para manipulación de datos sísmicos.....</b>	<b>21</b>
2.4.1 SEISAN: The Earthquake Analysis Software.....	21
2.4.2 SAC, Seismic Analysis Code.....	23
<b>3.- METODOLOGÍA.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Manual de instalación y operación del sismógrafo Trillium 120P instalado en la estación sísmológica de la UNAM.....</b>	<b>25</b>
3.1.1 Datos generales del sismógrafo Trillium 120P y ubicación de la estación JUR1.....	25
3.1.2 Selección del lugar.....	27
3.1.3 Instalación .....	27
3.1.4 Operación .....	28
<b>3.2 Determinación de la base de datos en función de los sismos registrados en la estación JUR1.....</b>	<b>30</b>
3.2.1 Rutina de comandos para visualizar un sismograma con el software SEISAN .....	31
3.2.2 Manejo de datos sísmicos en SAC .....	33
<b>3.3 Deconvolución de sismogramas.....</b>	<b>33</b>
<b>3.4 Conversión de datos a formato ASCII.....</b>	<b>38</b>

<b>4.- CONFORMACIÓN DE LOS REGISTROS EN UNA BASE DE DATOS .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Desarrollo del software.....</b>	<b>41</b>
4.1.1 Algoritmo de QUAKE v1.0.....	41
4.1.2 Diagrama de flujo .....	43
4.1.3 Corrida final del programa.....	44
<b>4.2 Manual de operación de la base de datos .....</b>	<b>44</b>
<b>4.3 Determinación de Máximas amplitudes. ....</b>	<b>47</b>
<b>5.- DISCUSIÓN Y RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO 1: Descripción del Código programa QUAKE v1.0 .....</b>	<b>53</b>
<b>Anexo 2: Datos Generales de los sismos ubicados en la base de datos para la estación JUR1 y contenidos en el software QUAKE v1.0. ....</b>	<b>63</b>

## Índice de Tablas

<i>Tabla 2.1 Principales aportes a la medición sismológica. (Zúñiga , Curso de sismometría, 2001)</i> .....	8
<i>Tabla 2.2 Clasificación de los sismos. (Zúñiga, 2005)</i> .....	14
<i>Tabla 2.3 Rango espectral sísmico (Udías &amp; Mezcuca, 1997)</i> .....	15
<i>Tabla 2.4 Clasificación de daño para estructuras de mampostería, (Grüntal , 1998)</i> .....	16
<i>Tabla 2.5 Clasificación de daño para estructuras de concreto reforzado, (Grüntal , 1998)</i>	17
<i>Tabla 2.6 Principales instrucciones de SEISAN (Havskov &amp; Ottemöller, 2005)</i> .....	22
<i>Tabla 2.7 Principales comandos para el software SAC, (SAC, 2011)</i> .....	23
<i>Tabla 3.1 Parámetros generales de ubicación de la estación JUR1</i> .....	25
<i>Tabla 3.2 Orientación de ejes XYZ y polaridades (Nanometrics, 2006)</i> .....	28
<i>Tabla 3.3 Amplitudes máximas para distintos eventos, registrados por la estación JUR1, UNAM, Campus Juriquilla (Figuroa et al., 2010)</i> .....	34
<i>Tabla 3.4 Polos, ceros y constantes del sismógrafo Trillium (Nanometrics, 2006)</i> .....	34
<i>Tabla 5.1 Resumen de los registros de en la base de datos en la estación JUR1 en el periodo 2009-2010</i> .....	49



## Índice de Figuras

<i>Figura 1.1 Registro acelerográfico en sus tres componentes en <math>m/s^2</math> (Sismo registrado el 30-06-2010, frente a las costas de Oaxaca).</i>	3
<i>Figura 2.1 Concepción artística del sismoscopio inventado por el sabio Chang Heng. (Figura tomada de Apuntes de Sismometría, Zúñiga , 2001).</i>	7
<i>Figura 2.2 Idealización de la Mesa vibratoria creada por Ewing, 1881.</i>	8
<i>Figura 2.3 a) Sismógrafo horizontal Bosch-Omori 1904, b) Sismógrafo horizontal Wiechert de, 1910, Estación Sismológica Central Tacubaya, México (Fotografías tomadas del SSN).</i>	9
<i>Figura 2.4 Sistema de registro sobre papel (Fotografía tomada del SSN).</i>	10
<i>Figura 2.5 Ejemplo de un registro analógico por medio de un sismógrafo de periodo largo (CRS, 2011).</i>	11
<i>Figura 2.6. a) Sismógrafo de Banda Ancha STS-2 y b) Sismógrafo de Banda Ancha Trillium 120P.</i>	11
<i>Figura 2.7 Acelerógrafo Kinematics K2, instalado en la UAQ, 2010.</i>	13
<i>Figura 2.8 Diagrama que muestra el proceso de analógico a digital (Stein &amp; Wyssession, 2003).</i>	13
<i>Figura 2.9. Registro de sismograma sin deconvolucionar (Izquierda) y después de deconvolucionar (Derecho). Evento Sísmico Magnitud 5.4, 33Km al sur de CD. Altamirano, Gro Fecha: 15-08-2009 Hora: 13:22:45 GMT .</i>	19
<i>Figura 3.1 a) Ubicación Estación JUR1, UNAM, Juriquilla, Qro; b) Caseta; c) Base de Concreto donde se halla el equipo, d) Equipo Sismometro Trillium 120P (Clemente, 2010).</i>	25
<i>Figura 3.2 Espectro de frecuencias sísmicas detectables por el Trillium T120 (Nanometrics, 2004).</i>	26
<i>Figura 3.3 Ruidos propios del Trillium 120 P, Nanometrics, 2006.</i>	29
<i>Figura 3.4 Visualización de un sismograma, en sus tres componentes (Z, NS y EW, de arriba hacia abajo, en ese orden) en SEISAN, sismo ocurrido el 04-04-2010 en Baja California Norte, Magnitud=7.2</i>	31
<i>Figura 3.5 Archivo de polos y ceros, trillium.v (Nanometrics, 2006).</i>	35
<i>Figura 3.6 Gráfica de respuesta nominal a las frecuencias del sismógrafo Trillium 120P (Nanometrics, 2006)</i>	36
<i>Figura 3.7 Acelerograma previamente tratado, sismo ocurrido el 04-04-2010 en Baja California Norte, Magnitud=7.2</i>	37
<i>Figura 3.8 Comparación entre un sismograma sin deconvolucionar (rojo) y uno ya procesado (azul), componente EW de un sismograma del evento ocurrido el 04-04-2010 en Baja California Norte, Magnitud=7.2.</i>	38

*Figura 3.9 Ejemplo de un acelerograma, convertido a ASCII y manipulado en MatLab, este acelerograma pertenece a la componente EW de un sismograma del evento ocurrido el 04-04-2010 en Baja California Norte, Magnitud=7.2. .... 40*

*Figura 4.1 Diagrama de flujo del programa QUAKE v1.0. .... 43*

*Figura 4.2 Ejemplo de corrida del programa QUAKE v1.0. .... 44*

*Figura 4.3 Interfaz QUAKE v1.0. .... 45*

*Figura 4.4 Información desplegada al realizar una búsqueda en QUAKE. .... 46*

*Figura 4.5 Visualización de acelerogramas e información de un sismo ocurrido el 17-04-2010 a las 07:03:29 GMT, en el estado de Hidalgo ..... 47*

## 1.- INTRODUCCIÓN

Para el diseño estructural de un edificio se debe tener en cuenta, durante todo el proceso, el diseño por sismo, por lo que la estructuración, el análisis y el dimensionamiento de elementos, e inclusive la supervisión de la obra se verán alterados a lo largo de éste proceso (Meli, 2007). De igual forma durante el diseño se tiene que cumplir con las reglamentaciones vigentes y correspondientes, como por ejemplo los reglamentos de construcción locales como el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF, 2004) y el Reglamento de Construcciones para el Municipio de Querétaro (RCMQ, 2004), o bien con el apoyo del Manual de Diseño Sísmico de la comisión Federal de Electricidad (CFE, 2008), que además de regular la planeación y proyección estructural, sirven como una guía de diseño.

El diseño sismorresistente de edificios se encuentra acotado por los distintos reglamentos, en particular en el caso del municipio de Querétaro por el RCMQ (2004), que en su capítulo VI, "Diseño por Sismo", se establece un coeficiente de acción sísmica o coeficiente sísmico "c", que representa el coeficiente de cortante basal, estima implícitamente la fuerza cortante horizontal que actuaría en un edificio, interpretada como una fracción del peso total del mismo (Bazán & Meli, 2008) y varía de acuerdo al tipo de suelo e importancia de la construcción.

El hecho de determinar espectros de diseño sísmicos y coeficientes sísmicos reales para la ciudad de Querétaro, requiere de una ardua y larga tarea de investigación, pero también se han hecho trabajos tales como microzonificación sísmica, que fuera realizada por Bustillos (2005) y una ley de atenuación de aceleración sísmica, propuesta por Clemente (2010); un caso más general, geográficamente hablando, una ley como la propuesta por García (2001), quien hace referencia a los movimientos fuertes producidos por sismos en la región central de México. Como se puede observar los tres casos anteriores basan sus planteamientos en la aceleración que sufre el terreno.

Para realizar investigaciones enfocadas a la ingeniería y relacionadas con la sismicidad que se registre en el estado de Querétaro, es necesario contar con un banco de datos sólido, que provea de datos sísmicos (acelerogramas) confiables y al mismo tiempo fáciles de visualizar y compartir, por lo que en este trabajo se propone el desarrollo de un software que cumpla con estos requisitos así como también establecer una metodología para el tratamiento de la señal. Dicho programa de cómputo ha sido desarrollado en este trabajo de tesis y lleva el nombre de **QUAKE v1.0**.

Cabe destacar que la base de datos que se ha realizado en esta tesis, ha sido alimentada con los datos proporcionados por el CGEO de la UNAM, quienes instalaron y operan la estación JUR1 ubicada en el campus Juriquilla, en el Municipio de Querétaro y que cuenta con un registro de casi dos años, desde 2009 a la fecha. Esta estación opera con un sismógrafo Trillium 120P y un digitalizador Taurus de Nanometrics, el cual es capaz de registrar casi cualquier movimiento sísmico fuerte en el mundo. También es importante señalar que éste sismógrafo ha registrado por primera vez sismogramas correspondientes a la zona de subducción ubicada en el Pacífico Mexicano (Figuroa *et al.*, 2010), la cual es la más activa del país. En este trabajo sólo se seleccionaron datos de sismos con epicentros dentro de la República Mexicana con una Magnitud  $M \geq 4.2$  y que hayan sido registrados en la estación JUR1.

El software que se ha desarrollado es capaz de mostrar acelerogramas, ya que para fines de ingeniería sísmica es de suma importancia identificar las aceleraciones del terreno como se muestra en la Figura 1.1.

Con la creación de un programa de cómputo para la visualización de datos sísmicos, se estará proporcionando por primera vez una base de datos para el estado de Querétaro y por otra parte, la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) contará con un banco de datos, el cual se podrá ir enriqueciendo con un mayor número de datos conforme ocurran eventos sísmicos, inclusive no únicamente delimitados al estado de Querétaro o a la estación JUR1 de la UNAM, ya que se podrá alimentar de datos que en un futuro se vayan recopilando de

alguna posterior red sísmica estatal, nacional o de la propia Universidad Autónoma de Querétaro.

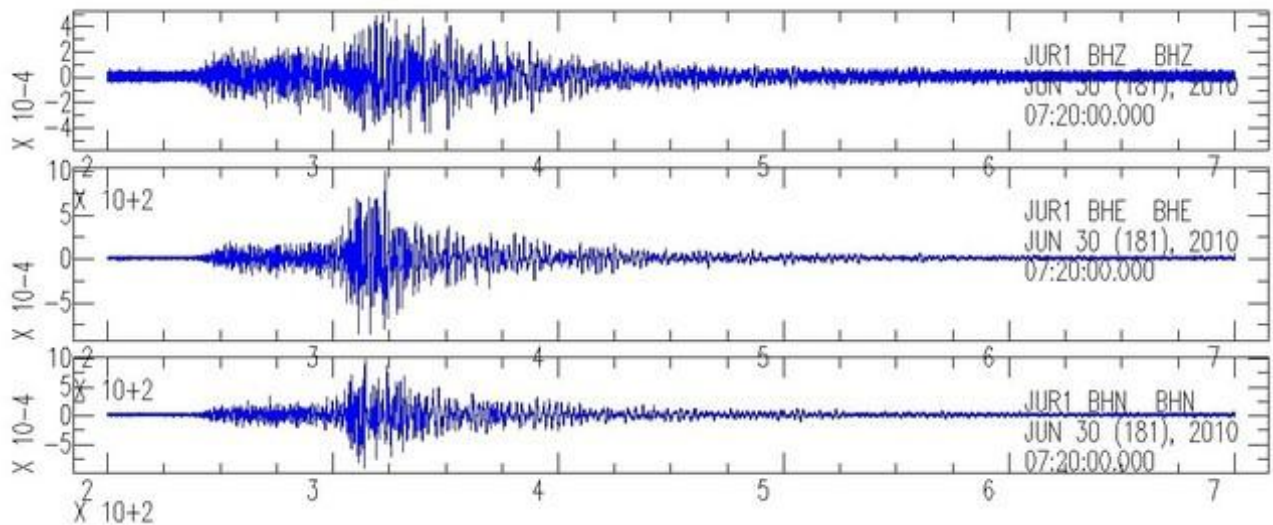


Figura 1.1 Registro acelerográfico en sus tres componentes en  $m/s^2$  (Sismo registrado el 30-06-2010, frente a las costas de Oaxaca).

Por otro lado, también será un punto de partida para el intercambio de datos sísmicos con otras instituciones y centros de investigación del país o extranjeros.

## **1.1 Hipótesis y Objetivos.**

### **Hipótesis**

Es probable que con la conformación de una base de datos local (para Querétaro) más fácil de manipular, que incluya un tratamiento previo de la señal, resulte en un primer paso para identificar, para cada fuente sísmica de tipo interplaca la cantidad de eventos mayores de magnitud  $M_w \geq 4.2$  y decidir si son suficientes para iniciar una delimitación del peligro sísmico en Querétaro con base a un análisis de atenuación por trayectoria (fuente sísmica – Querétaro).

Además de identificar, si es que existen en la base de datos de la estación JUR1, la cantidad de eventos registrados de tipo intraplaca, así como los eventos corticales dentro del Eje Neovolcánico Mexicano (MVB). Estos últimos poco estudiados hasta la fecha (por su comportamiento anormal), por lo que se piensa resultarán de interés dada la ubicación de la estación JUR1 dentro del MVB, además de intercambiar datos con otras instituciones con fines de investigación del fenómeno sísmico.

### **Objetivos generales:**

Conformar una base de datos sísmicos (acelerogramas) de la estación JUR1 de la UNAM Campus Juriquilla, para lo cual se desarrolla un software que facilite la disponibilidad de información de cada registro sísmico de interés como:

### **Objetivos particulares:**

- Trazas de cada registro por componentes EW, NS, y V.
- Valores pico, PGA's.
- Clasificación de sismos por fecha, hora y estado, lo que facilite una búsqueda rápida de los eventos.
- Archivos disponibles en formato ASCII.

- Entender el funcionamiento de un sismógrafo, en especial el Trillium 120P.
- Indicar una metodología que permita el tratamiento de la señal, dónde se aborden los siguientes puntos:
  - Manejo de procesamiento de datos sísmicos como lo son SEISAN (The Earthquake Analysis Software) y SAC (Seismic Analysis Code).
  - Cortar las trazas, comprender el proceso de deconvolución y aplicarlo.
  - Obtener los acelerogramas a partir de los registros sísmicos de velocidad.
- Elaborar un manual de operación e instalación del sismógrafo Trillium 120P.

## 1.2 Antecedentes

La adquisición y operación de instrumentación sísmica de la ciudad de Querétaro ha sido y sigue siendo, desde hace algunos años, preocupación de un grupo de investigadores de la Universidad Autónoma de Querétaro UAQ y la Universidad Autónoma de México, campus Juriquilla, con el objetivo de conocer la señal sísmica proveniente de las diferentes zonas generadoras de sismos e ir delimitando con datos locales el peligro y riesgo sísmico en Querétaro. Sin embargo ante la ausencia de tal referencia cuantitativa sísmica resultó muy difícil, en un principio la calibración y ubicación estratégica de algunos acelerógrafos de la Universidad Autónoma de Querétaro que actualmente se hallan en proceso de reubicación a partir de análisis cuantitativos de ruido sísmico (Figuroa *et al.*, 2010).

Hoy en día se cuenta con equipos capaces de efectuar mediciones locales sísmicas como los acelerógrafos y también algunos más sofisticados como lo son los sismógrafos de Banda Ancha, tecnología que podemos emplear en la instalación de una red sismológica local en Querétaro, para luego aportar aspectos reglamentarios de ingeniería sísmica local, como ha sucedido en otras partes del mundo (Rodríguez, 2005).

De igual forma instituciones importantes en el mundo han establecido sus propios catálogos y bases de datos, en relación a sus redes sismológicas; como por ejemplo la Red Europea de Investigación Sismológica (NERIES), que creó una base de datos histórica con sismos ocurridos en una ventana de tiempo bastante amplia, desde el año 1000 d.C hasta nuestros días, con la ayuda de la paleosismología (NEIRES, 2010). En Estados Unidos existe la Earthquake Data Base, del USGS (U.S Geological Survey), el cual está integrado por un amplio catálogo provisto de eventos sísmicos, gracias a la red sísmica con la que cuenta el USGS, que incluso tiene registros en Canadá, México, Centro América, Sudamérica y gran parte del Pacífico (Rinehart *et al.*, 1985), este catálogo cuenta con una línea de tiempo muy importante que va desde el año 2140 a.C hasta el presente (USGS, 2010).

Por lo anterior, es que se vuelve imprescindible la recopilación de información de registros sísmicos de buena calidad y fácil acceso, que coadyuven el proceso de estimación de parámetros en el acotamiento del peligro sísmico local, como se pretende en el desarrollo de este trabajo.



## 2.- CONCEPTOS TEÓRICOS

### 2.1 Clasificación de los tipos de Sismógrafos

**2.1.1 Sismómetros de la antigüedad.** El conocimiento acerca de los movimientos que sufre el terreno a causa de un sismo, ha sido motivo de investigación desde los primeros años del siglo I y para responder a las diversas preguntas que puedan surgir acerca del movimiento del suelo, se han creado sismoscopios, los cuales miden a detalle el desplazamiento del suelo en sus distintas direcciones.

Tomando en cuenta que entre más cerca se esté del epicentro del sismo, en general, el movimiento será mayor, se ha buscado que los instrumentos usados para registrar terremotos sean capaces de medir las ondas sísmicas pero al mismo tiempo los sismógrafos no se saturan (Bolt, 1981).

El primer registrador de terremotos, lo realizó el sabio chino Chang Heng en el año 132 d.C. (figura 2.1), dicho instrumento era un sismoscopio que no se parecía en nada a un sismógrafo y no proporcionaba información completa acerca del fenómeno, sin embargo indicaba la dirección del primer impulso del terremoto.



Figura 2.1 Concepción artística del sismoscopio inventado por el sabio Chang Heng. (Figura tomada de Apuntes de Sismometría, Zúñiga , 2001).

Éste sismógrafo era parecido a una vasija y constaba de bolas metálicas que se mantenían dentro de la boca de unos dragones y éstos estaban

conectados por palancas a un péndulo vertical. El sismo hacía que cayeran las esferas dependiendo de la dirección de dónde provenía la onda.

Pasaron casi 1600 años para que apareciera un nuevo sismoscopio, a principio del siglo XVIII, en Europa se crearon diversos sismómetros como los que se enumeran a continuación:

Tabla 2.1 Principales aportes a la medición sismológica. (Zúñiga , Curso de sismometría, 2001)

Año	Creador	Descripción
1707	De la Haute Feuille (Francia)	Un tazón de mercurio, que se derramaba, el instrumento no fue hecho con el propósito de medir sismos.
1731	Cirillo (Nápoles, Italia)	Un simple péndulo para observar la amplitud.
1784	Cavalli (Italia)	Re- inventó el tazón creado por De la Haute
1799	Laplace (Francia)	Determinó la planez de la Tierra como 1:330.
1828	Gauss (Alemania)	Sugiere que usando la superficie equipotencial al nivel del mar se puede describir la figura de la Tierra.
1881	Ewing	Crea una mesa vibratoria para pruebas, creía que el impulso sísmico era producido por un impulso longitudinal (figura 2.2).
1883	Milne, Gray	Descubren la propagación de ondas elásticas debido a fuentes artificiales (explosiones de dinamita).
1903	Galitzin (Rusia)	Crea el sismógrafo electromagnético, basado en las ideas de Gray y Milne

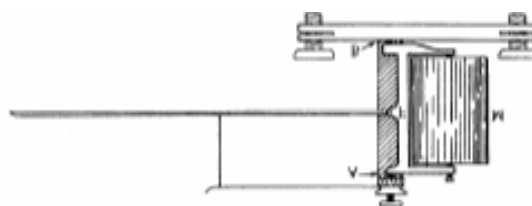


Figura 2.2 Idealización de la Mesa vibratoria creada por Ewing, 1881.

**2.1.2 Sismógrafos mecánicos.** El principio físico del sismógrafo se basa en las propiedades de un péndulo o masa suspendida de un bastidor, que al producirse un movimiento del suelo se desplaza relativo a este, en virtud de su inercia. De esta forma, se pueden medir los movimientos relativos del suelo con respecto a la masa. Estos movimientos, detectados mediante transductores y

convenientemente amplificadas, se registran en función del tiempo. El sismógrafo mecánico (figura 2.3) está compuesto por un elemento detector del movimiento (o sismómetro) y un sistema de palancas, que sirve para amplificar el movimiento. El registro se realiza sobre un papel ahumado adosado a un tambor que gira a velocidad fija (SSN, 2010).

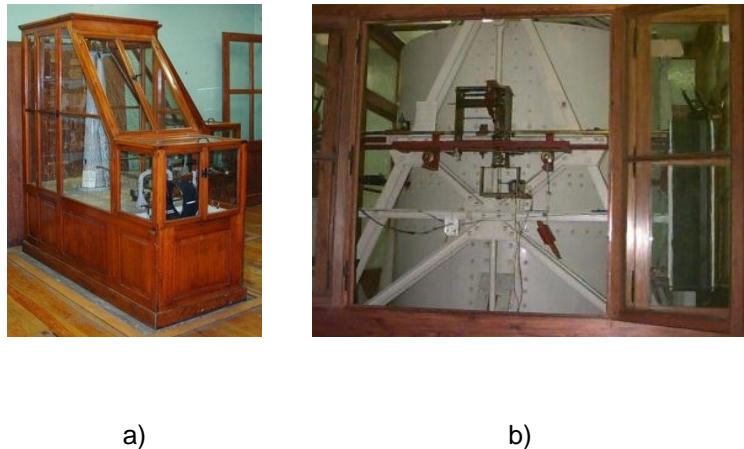


Figura 2.3 a) Sismógrafo horizontal Bosch-Omori 1904, b) Sismógrafo horizontal Wiechert de, 1910, Estación Sismológica Central Tacubaya, México (Fotografías tomadas del SSN).

**2.1.3 Sismógrafos electromagnéticos.** La única variación de este sismógrafo en relación al mecánico, es que el desplazamiento de la masa genera electricidad al mover una bobina dentro de un campo magnético de un imán. Al producirse el movimiento del suelo se genera corriente proporcional a la velocidad de movimiento del suelo. Un galvanómetro sirve de amplificador del movimiento. Ahora, si se ha hecho incidir un haz de luz sobre el espejo unido al hilo del galvanómetro, éste sufrirá una desviación, que recogida en un papel fotográfico proporciona el movimiento del sismómetro (García & Suárez, 1994). Este sismógrafo fue desarrollado por el príncipe B.Galitzin en 1906, sin embargo los sismógrafos electromagnéticos fueron utilizados frecuentemente a partir de los años de 1950 con sistema de registro en papel (figura 2.4).



Figura 2.4 Sistema de registro sobre papel (Fotografía tomada del SSN).

Tiempo después aparecieron dos instrumentos clásicos de un sismógrafo electromagnético son los de corto periodo y largo periodo. Los instrumentos de periodo largo (LP) tienen un péndulo de 15s de periodo (30 en algunos aparatos antiguos) y un galvanómetro con un periodo de 100s. Los instrumentos de periodo corto (SP) tienen un péndulo de 1s y un galvanómetro de 0.75s. Cada estación sismológica tenía tres aparatos LP y tres SP, orientados de forma perpendicular cada uno del otro para registrar las tres distintas componentes de un sismo, Norte-Sur (NS), Este-Oeste (EW) y Vertical (Z o V).

El registro que describían estos sismógrafos se hacía de manera analógica (figura 2.5) y se registraban en grandes rollos de papel (Stein & Wysession, 2003) y desde luego hay que tomar que como todo aparato de exactitud necesitaba una calibración previa, la cual resultaba muy tardada y efectuada por unos pocos que conocían el funcionamiento de éstos aparatos, posteriormente se emplearon micro registros que facilitaron el almacenamiento de datos (IASPEI, 2004). Éste tipo de sismógrafos fueron de los más usados hasta los años 70's, posteriormente se cambiaría de los aparatos análogos a digitales.

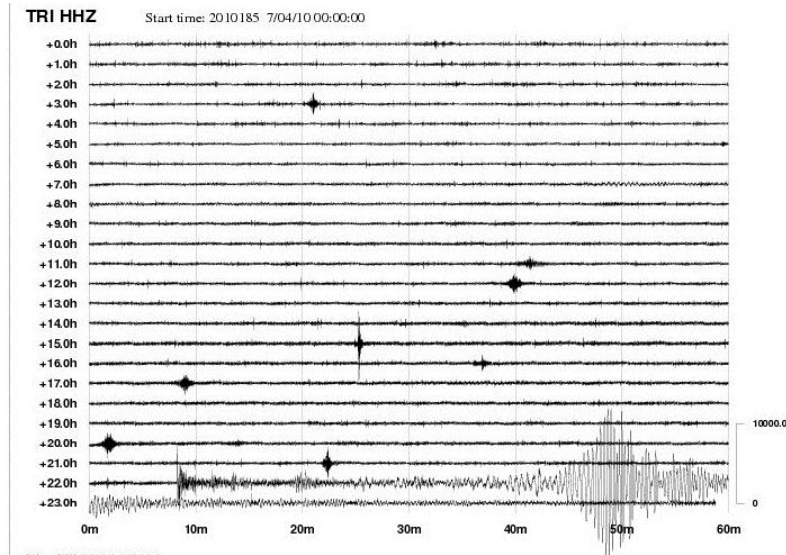


Figura 2.5 Ejemplo de un registro analógico por medio de un sismógrafo de periodo largo (CRS, 2011).

**2.1.4 Sismógrafos de banda ancha.** Los sismógrafos analógicos fueron remplazados por instrumentos de registro digital y banda ancha (figura 2.6), éstos sismómetros dieron como resultado, mejores datos sobre una determinada frecuencia. Los registros digitales de este tipo de instrumento, pueden ser almacenados en memorias portátiles, discos duros, discos compactos (CD's, DVD'S y Blue-ray) y también en internet, además las computadoras son quienes realizan el análisis haciendo un proceso más preciso pero al mismo tiempo eficaz y sencillo.



a)



b)

Figura 2.6. a) Sismógrafo de Banda Ancha STS-2 y b) Sismógrafo de Banda Ancha Trillium 120P.

La mayoría de los sensores sísmicos actuales utilizan el sistema de fuerza de retroalimentación o sistemas de fuerza balanceada. Este sistema consiste de un circuito de retroalimentación negativo, el cual ejerce una fuerza proporcional al desplazamiento de la masa inercial para cancelar el movimiento relativo. Un transductor eléctrico convierte el movimiento de la masa en una señal eléctrica, la cual es una estimación de la fuerza de retroalimentación que debe ejercerse para anular el movimiento. La cantidad de fuerza que se debe ejercer para anular el movimiento del péndulo corresponde a la aceleración del suelo. Este sistema permite extender el ancho de banda y la linealidad de los sismómetros, porque no permite grandes movimientos de la masa que doblen los resortes o los niveles. La señal de salida de estos sistemas posee un gran rango dinámico debido a que los transductores electromagnéticos tienen un amplio rango dinámico (SSN, 2010).

**2.1.5 Acelerógrafos.** Paralelo a la sismología se desarrolló un campo de la ingeniería que estudia las fuerzas que actúan sobre los edificios durante un sismo. Este campo se denomina Ingeniería Sísmica. Para entender estas fuerzas se desarrollaron los acelerógrafos (figura 2.7), que miden la aceleración del suelo para determinar la fuerza que actúa sobre los edificios. Actualmente, con los avances tecnológicos y los sensores de banda ancha, no hay diferencia significativa en las mediciones de amplitud de un mismo evento, entre los sismógrafos y los acelerógrafos.

La mayoría de los acelerógrafos están diseñados para activarse al ser excitado por una onda sísmica. Durante el registro de la aceleración de un sismo, paralelamente se realiza el registro del tiempo y a partir de esta información puede obtenerse mediante la integración de la señal de registros en velocidad y desplazamiento en el campo próximo (SSN, 2010).



Figura 2.7 Acelerógrafo Kinemetrics K2, instalado en la UAQ, 2010.

## 2.2 Registro de señales sísmicas utilizando sismógrafos de banda ancha

A pesar de que los datos sísmico que se encuentran en forma digital son más fáciles de usar que los análogos, la conversión de movimiento continuo del suelo a un sismograma no es cosa sencilla. La figura 2.8 muestra cómo se hace, el movimiento del terreno está representado por la onda sísmica a la izquierda, después es detectado por el sismógrafo a través del movimiento de masa. El movimiento es convertido en una señal eléctrica analógica y posteriormente es amplificada. Para evitar señales falsas debidas al Aliasing<sup>1</sup>, se usa una combinación de filtros que evite este problema (Stein & Wysession, 2003).

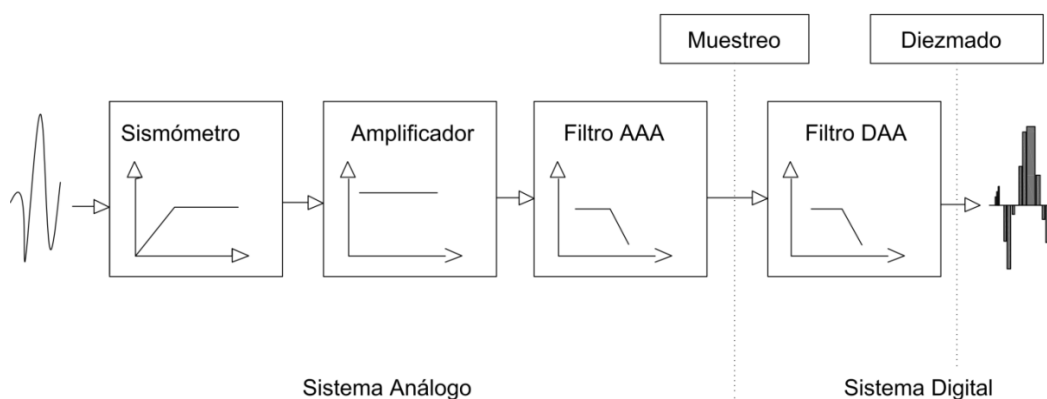


Figura 2.8 Diagrama que muestra el proceso de analógico a digital (Stein & Wysession, 2003)

<sup>1</sup>Aliasing: En estadística, procesamiento de señales, computación gráfica y disciplinas relacionadas, el aliasing es el efecto que causa que señales continuas distintas se tornen indistinguibles cuando se muestrean digitalmente (Princen & Bradley, 1986).

## 2.3 Algunos conceptos sobre parámetros de la fuente y movimiento del terreno.

**2.3.1 Clasificación y localización de sismos.** Los sismos se definen como un proceso de ruptura y deformación elástica del material de la litósfera, y bajo esas condiciones todos los sismos serían iguales, sin embargo, se ha visto que dependiendo del tipo de falla o mecanismo causal, así como el medio de propagación, los sismos pueden tener consecuencias diferentes en la superficie. Por lo tanto, se pueden clasificar a los sismos según su zona de generación y profundidad (Zúñiga, 2005).

De acuerdo a lo acotado en el párrafo anterior, se tiene:

Tabla 2.2 Clasificación de los sismos. (Zúñiga, 2005)

Clasificación	Descripción
Sismos de subducción someros	Aquellos que se generan en las fronteras de este tipo y ocurren a profundidades no mayores a 40 km.
Sismos de subducción profundos	Aquellos que ocurren debido a la interacción de subducción y en la zona de fricción (interplaca), pero a profundidades mayores a los 40 km.
Sismos intraplaca de profundidad intermedia	Sismos que se presentan en la placa subducida, pero no ocasionados por la fricción entre las placas sino por la fractura de la placa que ha penetrado, sus profundidades son mayores a los 80 km., y generalmente menos de 500 en México.
Sismos de zonas de acreción	Sismos que se presentan en este tipo de fronteras, por lo general con profundidades que no exceden a los 20 km.
Sismos de fallas de transurrencia	Los que se presentan en este tipo de fronteras, sus profundidades no exceden los 30 km., por lo común.
Sismos corticales	Sismos que se presentan en fallas no directamente relacionadas con los procesos de interacción entre las placas, sino al interior de una placa. Sus profundidades son menores al grosor de la placa.

Para tener idea de la clasificación de sismos referidos a la distancia de registro y conocer de qué rangos de frecuencias y/o periodos se tienen asociados al tipo de onda de propagación así como el alcance de registro de cada uno de los instrumentos, se muestra la siguiente tabla:



Tabla 2.3 Rango espectral sísmico (Udías & Mezcua, 1997).

Tipo de sismos	Distancias	Rango de frecuencias	Tipo de ondas
Locales	<10° ó <1000Km aprox.	<= 1Hz ó 1seg	Ondas de transmisión y reflexión en la corteza y manto superior.
Telesísmicos	10°-105° ó 1000Km - 10500Km aprox.	1Hz-0.07Hz ó 1seg-15seg	Ondas superficiales Rayleigh y Love.
Telesísmicos	105°-180° ó 10500Km -18000Km aprox.	>10seg	Ondas que penetran el núcleo, refractadas y reflejadas.

Una característica propia de cada fuente son los valores de los coeficientes de la relación propuesta por Gutenberg y Richter (1944):

$$\log N = a - bM \quad \text{Ec. 2.3.1}$$

donde N es el número de terremotos de magnitud igual o mayor que M. El coeficiente a recibe el nombre de productividad sísmica y el coeficiente b es indicativo de la proporción que hay entre terremotos grandes y pequeños en la zona (Zúñiga & Wyss, 1995).

Los sismos se pueden clasificar por el grado de daño que ocasionan a los edificios, a continuación se detallan estos niveles, tanto para estructuras de mampostería como para concreto reforzado, definidos por la escala Europea de Macrosismos (1998):

Tabla 2.4 Clasificación de daño para estructuras de mampostería, (Grüntal , 1998)






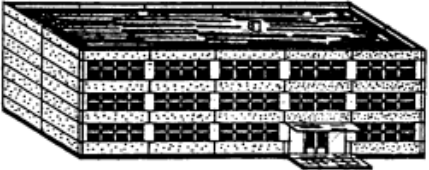

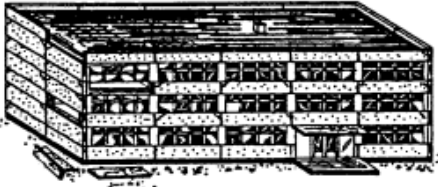


<b>Clasificación de daño para estructuras de mampostería</b>	
	<p>Grado 1: Daño insignificante a escaso (No hay daño estructural, y daño escaso a elementos no estructurales)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grietas muy delgadas en muros</li> <li>• Desprendimiento de algunos pequeños pedazos de acabados</li> <li>• Desprendimiento de piedra, en algunos pocos casos</li> </ul>
	<p>Grado 2: Daño moderado (daño estructural escaso, daño moderado en elementos no estructurales)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grietas en varios muros</li> <li>• Desprendimiento de pedazos grandes de acabados</li> <li>• Colapso parcial de chimeneas</li> </ul>
	<p>Grado 3: Daño esencial a grave (daño estructural moderado, daño grave en elementos no estructurales)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grandes grietas en mayoría de muros</li> <li>• Desprendimiento de partes del techo</li> <li>• Colapso total de chimeneas</li> </ul>
	<p>Grado 4: Daño muy grave ( Daño estructural grave, daño muy grave a elementos no estructurales)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallas significativas de muros y colapso parcial de techos y entrepisos</li> </ul>
	<p>Grado 5: Destrucción (daño muy grave a elementos estructurales)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Colapso casi total o total</li> </ul>

Tabla 2.5 Clasificación de daño para estructuras de concreto reforzado, (Grüntal , 1998)

<b>Clasificación de daño para estructuras de concreto reforzado</b>	
	<p>Grado 1: Daño insignificante a escaso (No hay daño estructural, y daño escaso a elementos no estructurales)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grietas muy delgadas en acabados de algunos marcos</li> <li>• Grietas muy finas en uniones y anclajes</li> </ul>
	<p>Grado 2: Daño moderado (daño estructural escaso, daño moderado en elementos no estructurales)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grietas en columnas y vigas de marcos y en muros estructurales</li> <li>• Grietas en uniones de elementos y desprendimiento de acabados</li> </ul>
	<p>Grado 3: Daño esencial a grave (daño estructural moderado, daño grave en elementos no estructurales)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grietas en columnas y vigas</li> <li>• Grietas en unión de marcos con muros.</li> <li>• Grandes grietas en muros y paneles</li> </ul>
	<p>Grado 4: Daño muy grave ( Daño estructural grave, daño muy grave a elementos no estructurales)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grandes grietas en elementos estructurales, falla del concreto a compresión y falla del refuerzo.</li> <li>• Colapso de algunas columnas</li> </ul>
	<p>Grado 5: Destrucción (daño muy grave a elementos estructurales)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Colapso de entrepisos, columnas y vigas</li> </ul>

Otros dos parámetros asociados a cada fuente son la tasa y el límite superior que se obtienen a partir de la relación anterior. La tasa está asociada al límite inferior de intensidad para el que se evalúa el riesgo y viene determinada por el número de terremotos de intensidad mayor o igual a ese límite por año. Para la construcción antisísmica, el rango de intensidades que interesa es a partir del grado V, que es cuando aparecen daños apreciables en los edificios, aunque este límite también viene impuesto por la completitud del catálogo. El límite superior presenta la dificultad de estimar cuál es el mayor terremoto que es capaz de producir una región determinada. Este valor tiene gran influencia en el cálculo de probabilidades anuales bajas o períodos de retorno muy largos, que son los exigidos para ciertas obras de ingeniería como puentes, grandes presas, centrales nucleares. Una manera periodos de retorno, es extrapolando el ajuste lineal de la relación de Gutenberg y Richter (Zöller *et al.*, 2008).

**2.3.2 Deconvolución de señales.** El tratamiento de señal sísmica se define registro en tiempo o frecuencia, con el fin de entender la información requerida para cualquier estudio de investigación.

A menudo, para determinar la información de interés, se aplican filtros al dominio de frecuencias, si se desea extraer información y obtener el movimiento real del terreno, se realiza el proceso inverso conocido como deconvolución (Ordoñez, 2005).

Un sismograma es la convolución entre la respuesta instrumental del aparato que se expresa como  $\dot{r}_i(t)$  y la velocidad del suelo como  $\dot{x}(t)$ . Dicho sismograma,  $s(t)$  se expresa como:

$$s(t) = \dot{x}(t) * \dot{r}_i(t) \quad \text{Ec .2.3.2}$$

Donde  $\dot{r}_i(t)$  está expresado en velocidad [cuentas/m/seg] y  $s(t)$  se encuentra en unidades de cuentas. El símbolo “\*” representa la operación matemática de convolución.

Al conocerse la respuesta del aparato, es posible realizar la deconvolución de cualquier sismograma (e.g. ver figura 2.9 para obtener la velocidad (Figuroa *et al.*, 2010) y posteriormente la aceleración del terreno, éste último dato es fundamental en el estudio del diseño sismorresistente de edificios (ver Capítulo 3, subcapítulo 3.3).

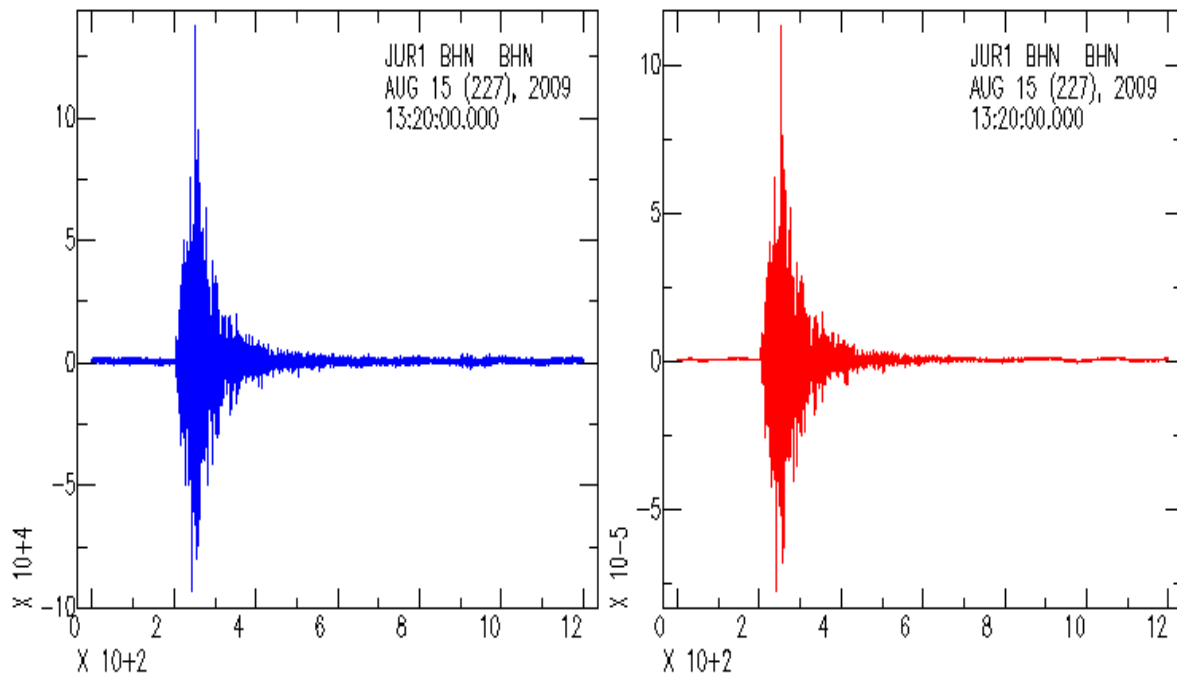


Figura 2.9. Registro de sismograma sin deconvolucionar (Izquierda) y después de deconvolucionar (Derecho). Evento Sísmico Magnitud 5.4, 33Km al sur de CD. Altamirano, Gro Fecha: 15-08-2009 Hora: 13:22:45 GMT .

**2.3.3 Atenuación sísmica.** Éste concepto puede ser definido como el decaimiento de las amplitudes de la señal sísmica conforme la señal sísmica se aleja de la fuente (Zúñiga, 2005). Esto se debe a la pérdida de energía por absorción en los materiales por los que han atravesado las ondas sísmicas.

Este fenómeno puede variar de acuerdo a diversos factores como son el tipo de sismo, su profundidad y las condiciones del medio por las que han viajado las ondas. A la descripción de la atenuación con la distancia por medio de una curva se conoce como Leyes de Atenuación y son una herramienta indispensable para determinar el peligro sísmico de una zona en particular (García, 2001). En

general dichas curvas son el resultado de observaciones (registros a diferentes distancias, para diferentes sismos y en diferentes regiones), así como inferencias físicas o estadísticas (e. g. Clemente, 2010).

Para conocer los efectos de la atenuación en algún sitio de interés sobre las aceleraciones producidas por una fuente de un tipo dado, es necesario estimar, de acuerdo a la distancia a la que se localiza el sitio, el efecto de todas las fuentes potenciales. Esto nos proporciona los valores de aceleración máxima esperada en el sitio (García, 2001).

**2.3.4 Efectos de sitio.** Una vez conocido el movimiento esperado para una distancia de las fuentes correspondiente al sitio en cuestión, es necesario hacer correcciones que tomen en cuenta los factores de amplificación o atenuación adicional producto de los estratos locales en la zona. Es común que las leyes de atenuación estén especificadas para dos tipos de suelo: duro y blando. El suelo duro corresponde a aquellos sitios en los que la cimentación se efectúa sobre roca. El suelo blando corresponde a cimentación en suelos como: aluviales, depósitos sedimentarios y volcánicos no cementados, entre otros (Zúñiga, 2005).

De ésta forma estas leyes se pueden tomar como aproximaciones a los efectos extremos posibles. Sin embargo, en muchos casos se requiere conocer las condiciones exactas del sitio ya que se pueden experimentar efectos particulares como es el caso de la licuefacción, o de las amplificaciones locales (ejemplo: algunas zonas de la Cd. de México).

Se pueden hacer las siguientes inferencias básicas con base en lo expuesto anteriormente:

1. Las amplitudes de las ondas sísmicas varían de acuerdo a la distancia, y su frecuencia también varía (Zúñiga, 2005).
2. Las ondas P no son las más enérgicas, y dadas sus características de dirección de vibración no es de esperar que afecten a las estructuras

en la dirección vertical (ya que por lo general el sismo ocurre lo suficientemente lejos para que las ondas lleguen con una incidencia casi vertical) (Zúñiga, 2005).

3. Los movimientos más energéticos corresponden a las ondas S y superficiales. Si se hacen las mismas consideraciones que en el caso anterior en cuanto a la distancia, se puede esperar que dichas ondas estén polarizadas en una dirección horizontal (excepto para el caso de las ondas Rayleigh), es decir transversales a la dirección de propagación. Esto nos sugiere que los mayores movimientos en el sitio durante el sismo serían horizontales (Zúñiga, 2005).

El punto 1 da respuesta a la noción o idea común que se tiene que existen sismos “trepidatorios” y sismos “oscilatorios”. Esto es debido a la experiencia que tienen aquellos que perciben las ondas de un sismo cercano (las altas frecuencias se atenúan más rápidamente con la distancia que las bajas frecuencias) contra los que los perciben más alejados. En el primer caso se perciben altas frecuencias con claridad (sismos trepidatorios) mientras que en el segundo caso son las ondas de menor frecuencia (en particular las superficiales) las que son más claramente percibidas (sismos oscilatorios) (Zúñiga, 2005).

## **2.4 Software utilizado para manipulación de datos sísmicos.**

Para el manejo de datos sísmicos, fue necesario el uso de dos programas de cómputo que permitirán visualizar los sismos, cortar las trazas, deconvolucionar y obtener aceleraciones para cada evento. Estos programas de análisis sísmico son SEISAN (Havskov & Ottemöller, 1999) y SAC (Seismic Analysis Code, IRIS).

Para esto se describirán los puntos generales de cada software así como la explicación de las rutinas necesarias para llevar a cabo el tratamiento de la señal.

**2.4.1 SEISAN: The Earthquake Analysis Software.** Es un software de uso libre, para cuestiones no comerciales, éste programa de cómputo permite

analizar información analógica y digital, en este caso se analiza información digital. Con SEISAN, se pueden visualizar sismos tanto locales como globales de forma manual o seleccionarlos con el cursor, además se pueden editar dichos eventos, obtener parámetros espectrales, momento sísmico y determinar epicentros. El sistema consta de una serie de programas relacionados a la misma base de datos (Havskov & Ottemöller, 2005).

La información en este software está organizada en una base de datos, dónde la unidad más pequeña de almacenamiento es un archivo que contiene los datos originales del evento registrado (tiempo de llegada, amplitud, periodo, azimut y velocidad aparente).

El nombre de este archivo es también el ID del evento, el cual es la llave para toda la información acerca del sismo en la base de datos de SEISAN. Es posible acoplar ciertas subrutinas al SEISAN, mayormente escritas en el lenguaje de programación Fortran y unas pocas en C. SEISAN se puede instalar en diversos sistemas operativos, Solaris, Windows o Linux, para éste trabajo el software SEISAN fue compilado en Linux, en el sistema operativo Ubuntu 10.1 (Havskov & Ottemöller, 2005).

Una vez debidamente compilado el software dentro del ambiente Linux, y antes de empezar a trabajar con SEISAN hay que comprobar que en el sistema operativo existan el shell csh y la librería y libg2c.so.0, las cuales se pueden obtener directamente desde el gestor de paquetes Synaptic.

El manejo de SEISAN se hace por medio de la consola de Linux, también llamada Terminal. A continuación se muestran los principales comandos para la visualización de sismogramas:

Tabla 2.6 Principales instrucciones de SEISAN (Havskov & Ottemöller, 2005).

<b>Comando</b>	<b>Función</b>
csh	Permite ingresar al shell csh, donde trabaja el entorno SEISAN. Desde la Terminal, debe ejecutarse dentro de la carpeta COM.
source .SEISAN	Inicia las variables de entorno del programa SEISAN.



mulplt	Visualiza las señales sísmicas, tiene dos opciones: 1.- Imprime las trazas y 2.- Aplica filtros.
sacsei	Genera archivos de SEISAN a SAC y viceversa.
append	Une dos o más trazas en SEISAN, se debe contar con un archivo que permita al programa identificar los sismogramas que se van a concatenar, este archivo se llama filenr.lis.

**2.4.2 SAC, Seismic Analysis Code.** El programa de cómputo SAC es un software diseñado para el estudio de señales sísmicas, especialmente en series de tiempo. El análisis con el que cuenta éste software permite hacer operaciones aritméticas en general, obtener transformadas de Fourier, tres técnicas de estimación espectral, filtros al impulso de respuesta infinita (IIR) y filtros al impulso de respuesta finita (FIR), almacenamiento de señales, interpolación, correlación y poder escoger la fase del sismo requerida. Éste software es autoría de Lawrence Livermore National Laboratory y los derechos de autor son de la Universidad de California (SAC, 2011).

El código de SAC está escrito en C, y el programa puede ser instalado en los siguientes sistemas operativos: Linux, Mac OS X, Solaris y Windows.

Para ésta tesis, se instaló el software SAC, en el sistema operativo Ubuntu 10.1 Linux. Al igual que SEISAN, el programa SAC debe ser operado desde la Terminal de Linux, aunque cabe mencionar que el uso de SAC es más amigable, en términos gráficos, para el usuario que el paquete de programas SEISAN, aunque la definición gráfica de las trazas resulta de menor calidad. En la tabla que sigue se muestran los comandos de principal utilidad para el manejo de datos sísmicos, su visualización, tratado de la señal y almacenamiento:

Tabla 2.7 Principales comandos para el software SAC, (SAC, 2011).

Comando	Función
r	Lee un archivo en formato SAC.
p	Imprime la traza del evento sísmico.
cut off	Cierra el comando de cortar.
cutb	Corta un registro sísmico en un tiempo determinado, por ejemplo cut b 200 400, corta el evento desde el segundo 200 hasta el 400.
w	Guarda una traza en formato SAC.

trans from polezero subtype <i>nom_archivo freq x to none</i>	Deconvoluciona una señal sísmica, se debe tener previamente realizado un archivo de polos y zeros, dependiendo del sismógrafo.
dif	Deriva una señal.
int	Integra una señal.
bd x	Muestra la ventana con el sismograma.
lh DEPMAX	Muestra el valor máximo de un registro.
lh DEPMIN	Muestra el valor mínimo de un registro

### 3.- METODOLOGÍA

#### 3.1 Manual de instalación y operación del sismógrafo Trillium 120P instalado en la estación sismológica de la UNAM.

##### 3.1.1 Datos generales del sismógrafo Trillium 120P y ubicación de la estación JUR1.

Para el caso en estudio se usó un sismógrafo de banda ancha Trillium 120P con un digitalizador Taurus, instalado en el Centro de Geociencias de la UNAM (ver figura 3.1), por lo que sería importante señalar algunos puntos generales sobre la cobertura, instalación y funcionamiento.

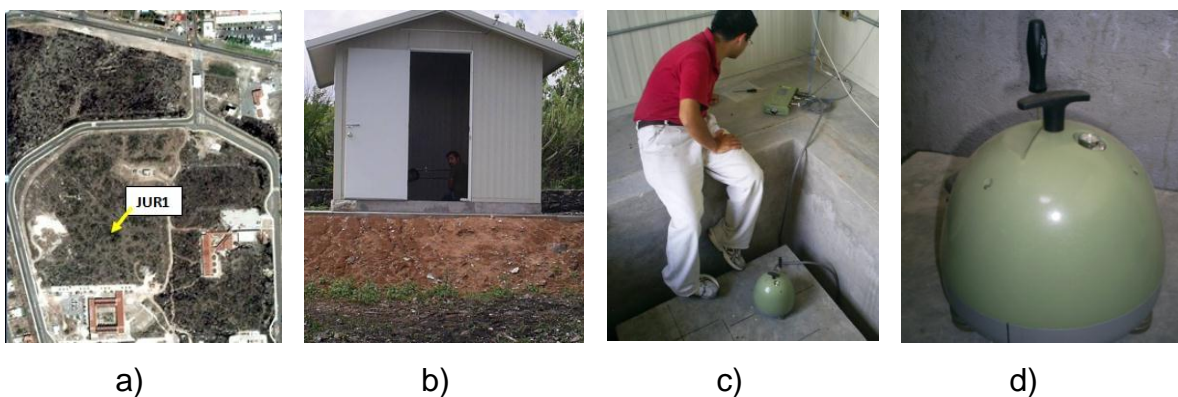


Figura 3.1 a) Ubicación Estación JUR1, UNAM, Juriquilla, Qro; b) Caseta; c) Base de Concreto donde se halla el equipo, d) Equipo Sismometro Trillium 120P (Clemente, 2010).

Tabla 3.1 Parámetros generales de ubicación de la estación JUR1.

<b>Latitud</b>	20°42'12" N
<b>Longitud</b>	100°26'50" O
<b>Altitud</b>	1944 m.s.n.m

El sismógrafo utilizado en este trabajo registra velocidades en términos de variación de voltaje por lo que sus registros se hallan unidades de Cuentas/seg., además como el equipo es de rango banda ancha el efecto por ruido comienza a afectar los registros sísmicos con contenido de frecuencias bajas, dado que la señal sísmica está convolucionada con la respuesta del sismómetro, lo que implica la necesidad de retirarle esta respuesta para obtener el verdadero movimiento del suelo. Este procedimiento es posible con ayuda de la transformada de Fourier dentro del proceso de deconvolución (Figuroa, *et al.*, 2010) (ver subcapítulo 3.3).

De igual forma existe un rango de frecuencias que el aparato es capaz de detectar (Figura 3.2), dónde se puede observar que el aparato tiene un gran desempeño para registrar eventos telesísmicos y regionales, pero un limitado barrido para sismos locales con una magnitud  $M > 5.5$ .

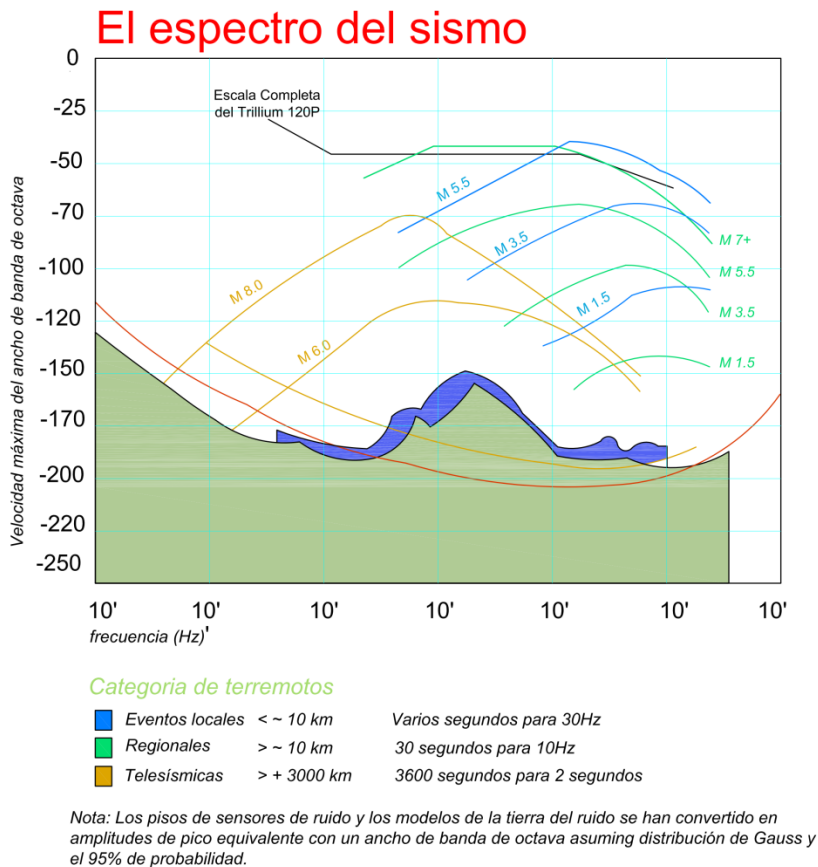


Figura 3.2 Espectro de frecuencias sísmicas detectables por el Trillium T120 (Nanometrics, 2004).

A continuación se dará una explicación general de los pasos a seguir para la instalación de un sismógrafo Trillium 120P y cómo operarlo de forma básica, para mayor información se puede consultar el Manual de Usuario del Trillium 120P, de Nanometrics (2006).

**3.1.2 Selección del lugar.** Para lograr el mejor funcionamiento de un sismógrafo como este es importante proveer de un sitio adecuado para colocarlo. Se recomienda un lugar con una porosidad baja, ya que el agua en los poros puede causar alteraciones en la onda sísmica, y si es posible, colocar el sismógrafo sobre un estrato de roca sólido y lo más alejado que se pueda de carreteras, alcantarillas y estructuras metálicas de gran tamaño (Nanometrics, 2006).

También se recomienda hacer un registro rectangular de concreto, con una cama de hasta 20 cm. de altura y separada 5 cm. de las paredes del registro, la superficie debe ser lisa y estar nivelada. El firme de concreto del registro **no** debe tener acero, ya que afecta las polaridades del aparato. Por supuesto, el aparato debe encontrarse dentro de un lugar protegido de la intemperie, dentro de una caseta que cuente con electricidad y servicio de Internet o radio transmisión a una estación cercana.

**3.1.3 Instalación.** Para evitar daños al sismógrafo hay que evitar sacarlo de su caja, hasta que esté correctamente terminado el lugar donde se colocará.

El siguiente paso la orientación y nivelado, para esto, en el suelo se pueden hacer unas marcas indicando el norte geográfico, el este y el oeste, y así alinear estas marcas con las propias del sismógrafo. Para nivelarlo se pueden usar las tres patas desatornillables que posee el sensor, de tal forma que la burbuja que tiene en la parte superior quede nivelada.

Ya que el instrumento esté nivelado y orientado, se deben ajustar las masas, para esto la posición de cada masa debe estar en un rango de  $\pm 0.3$  V.

Para lograr lo anterior se deben seguir los siguientes pasos:

1. Instalar y nivelar lo más posible el Trillium 120.
2. Esperar al menos 4 horas, para que la temperatura del sensor esté en equilibrio con la temperatura de la plancha de concreto.
3. Revisar las lecturas de voltaje en la posición de las masas para cada uno de los canales del sensor, debe ser  $\pm 3.5$  V.
4. Preparar el sensor en respuesta a periodos cortos. En caso de que la posición de las masas no se encuentre en el rango de voltajes permitidos, ver instrucciones de calibración en el manual (Nanometrics, 2006).

**3.1.4 Operación.** El Trillium 120P tiene 5 controles de entrada digital: SP/RX, UVW/TX, U\_CALEN, V\_CALEN y W\_CALEN.

Todas estas entradas están aisladas ópticamente tanto en la entrada de voltaje como en la salida de señales de calibración. La salida natural del sensor es UVW; lo que representa el movimiento real de las masas en cada una de sus tres componentes. La salida convencional es la XYZ, la cual representa movimiento horizontal y vertical, y tiene las siguientes polaridades:

Tabla 3.2 Orientación de ejes XYZ y polaridades (Nanometrics, 2006).

Eje	Orientación	Voltaje positivo representa...
X	Este-oeste	... movimiento del aparato hacia el este
Y	Norte-sur	... movimiento de aparato hacia el norte
Z	vertical	... movimiento del aparato hacia arriba

Hay que tener en cuenta que el Trillium por si solo genera ruido, como se muestra en la figura 3.3, dónde se hacen las siguientes referencias; Modelo nuevo de ruido bajo de Peterson (1993), (NLNM) y modelo nuevo de ruido alto (NHNM), y el modelo de McNamara y Buland (2003) de Modo PDF de ruido bajo (MLNM).

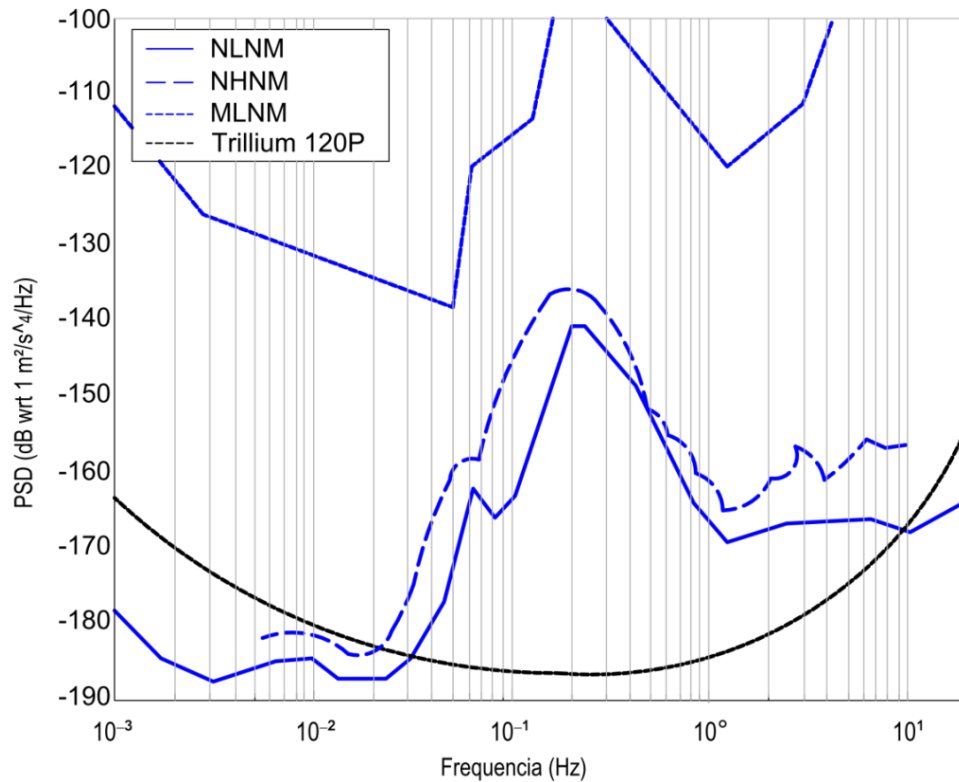


Figura 3.3 Ruidos propios del Trillium 120 P, Nanometrics, 2006.

Para conectar el sismógrafo al puerto serial se deben seguir los siguientes pasos:

1. Conectar un dispositivo RS-232 apropiado, como un puerto serial de PC, para comunicar el digitalizador Taurus.
2. El puerto serial debe tener las siguientes características:
  - a) Velocidad: 9600 baud
  - b) Bits: 8
  - c) Paridad: ninguna
  - d) Bits de parada: 1
  - e) Control de flujo: Xon/Xoff
3. Se puede operar el digitalizador Taurus desde una consola o Terminal. Una vez ahí se escribe `Tx<CR>`, y después de 3 segundos el sensor el sensor

permitirá las salida *UVW/TX* y aparecerá en la pantalla *Serial Transmit Enabled<LFz<CR>*.

4. Para mostrar el menú de ayuda en la consola, teclear *Help<CR>*.

### **3.2 Determinación de la base de datos en función de los sismos registrados en la estación JUR1.**

Para el primer paso de la creación de la base de datos sísmicos de la estación JUR1, se recurrió al catálogo de sismos del Servicio Sismológico Nacional (SSN, 2010), el cual se encuentra a consulta libre en la red.

La selección de registros sísmicos de este trabajo corresponde únicamente a eventos sísmicos que han ocurrido dentro del territorio mexicano y sólo se tomaron en cuenta aquellos eventos con una magnitud mayor o igual a 4.2, considerando que la estación JUR1 cuenta con registros desde el año 2009 a la fecha.

Al ingresar los filtros en el catálogo del SSN, la búsqueda arrojó un total de **538 eventos** con las características antes mencionadas.

Es importante señalar que los registros del SSN, están en hora y fecha del centro de México, y para efectos de investigación y estudios de sismicidad, es necesario convertir el horario a GMT (Greenwich Meridian Time) dado que, los registros de la estación JUR1 también se encuentran indizados de acuerdo al horario GMT. Para realizar lo anterior se le sumó a cada evento **5 horas** de diferencia si la fecha correspondía al lapso de tiempo dentro del horario de verano en México y **6 horas** si era en horario normal.

Una vez normalizados los horarios de los datos, se procedió a visualizarlos con el software SEISAN (Figura 3.4), se escogieron y separaron los sismos que se encontraban tanto en los registros del SSN como en los de la estación JUR1 y para esto se utilizó la siguiente rutina ambientada en la terminal de Linux:



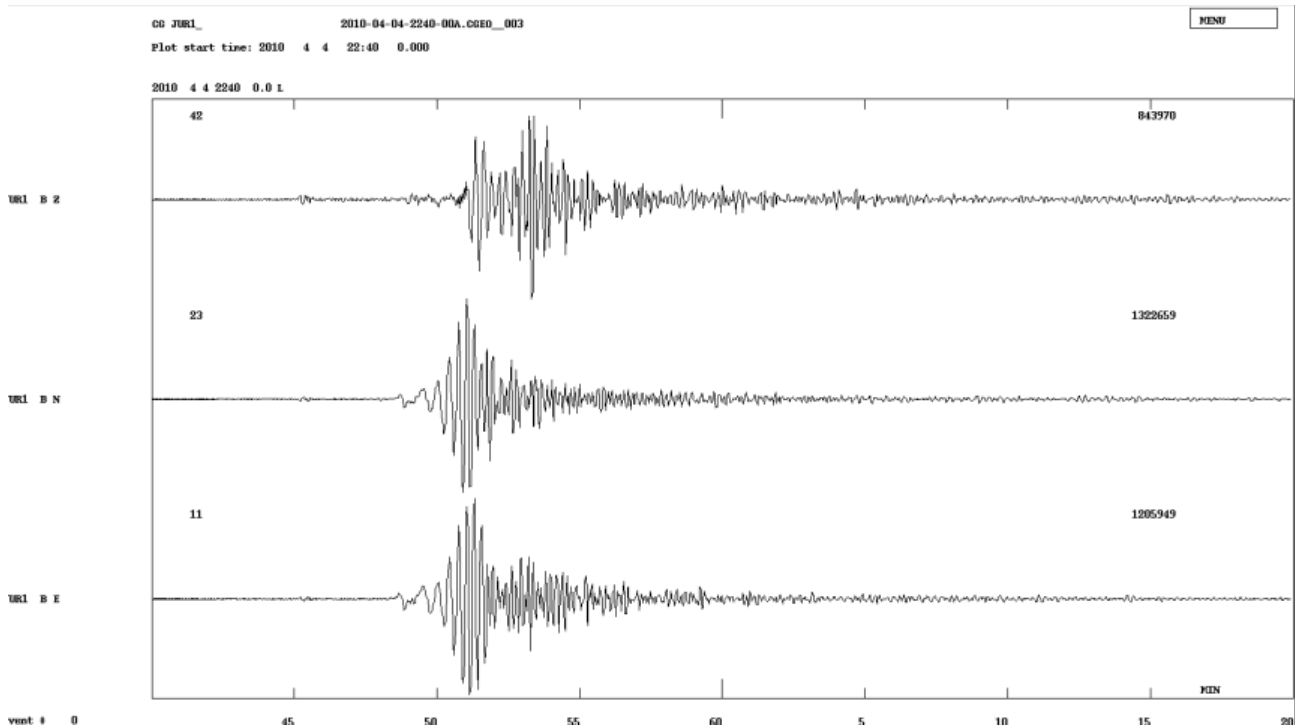


Figura 3.4 Visualización de un sismograma, en sus tres componentes (Z,NS y EW, de arriba hacia abajo, en ese orden) en SEISAN, sismo ocurrido el 04-04-2010 en Baja California Norte, Magnitud=7.2

**3.2.1 Rutina de comandos para visualizar un sismograma con el software SEISAN.** Para buscar un evento sísmico dentro de los registros de la estación JUR1, hay que tomar en cuenta que las trazas están grabadas en líneas de tiempo de 20 minutos, es decir hay tres registros por cada hora del día y su nomenclatura la siguiente:

año-mes-día-hora-minuto-segundos.nombre\_de\_estación.

Ejemplo: 2010-04-04-2240-00.JUR1\_\_3

Se procede a la visualización de sismogramas en SEISAN con la siguiente rutina de instrucciones:

- 1) Abrir la terminal en Linux.
- 2) Dirigirse a la carpeta COM. ( /seisan/COM)
- 3) Escribir los siguientes comandos:
  - csh
  - source .SEISAN

- 4) Ir a la carpeta dónde se encuentran los registros a visualizarse, y escribir lo siguiente:
  - `mulplt` .....(Imprime traza del sismo)
  - `nombre_del_archivo_que_contiene_el_registro_sísmico`
  - `0` ..... (Ésta instrucción es para NO aplicar filtro)
- 5) Con estos comandos se puede ver en la pantalla la traza, para salir basta con escribir `exit` o cerrar la ventana.

Como se comentó anteriormente, cada uno de los registros tienen una duración de 20 minutos, por lo cual puede ser que un sismo ocurriera en un intervalo de tiempo que abarque dos archivos, por ejemplo que el sismo comience en los minutos finales de un registro y finalice en los iniciales del siguiente, por lo que es necesario unir ambos archivos.

Para esto se siguen los siguientes pasos:

- 1) Crear un archivo llamado `filenr.lis` dentro de la carpeta contenedora del evento en estudio y editarlo (se puede modificar con el editor de textos) escribiendo los nombres de los registros a pegarse, de la siguiente forma:
  - a. `# 1 nombre archivo 1`
  - b. `# 2 nombre archivo 2`
- 2) Entrar a la consola de Linux y dirigirse a la ruta de la carpeta que contiene el archivo `filenr.lis` y los registros que se desean pegar, una vez ahí escribir los siguientes comandos:
  - `append filenr.lis` .....(Concatena dos registros)
  - Nombre de la base de datos: CGEO

De ésta forma se puede visualizar un sismo que se encuentra dividido en dos archivos, como algunos casos de sismogramas cortados o sismogramas que corresponden a telesismos.

Con el procedimiento anterior se revisó dentro de los registros de la estación JUR1 cada uno de los 538 eventos proporcionados por el SSN, esto con

la finalidad de encontrar todos los eventos registrados en Querétaro. De los 538 eventos identificaron **120** sismos (ver Anexo 2) que fueron detectados por el sismógrafo de la estación JUR1 y reportados por el Servicio Sismológico Nacional.

**3.2.2 Manejo de datos sísmicos en SAC.** Una vez delimitados los registros se procede con la deconvolución de la señal. Para esto se utilizó el software SAC.

Los archivos hasta este momento se encuentran en formato SEISAN, para convertirlos a SAC es necesario aplicar las siguientes instrucciones:

- Entrar a SEISAN.
- Dirigirse a la carpeta dónde se encuentra el archivo a convertir.
- Una vez ahí escribir el comando `sacsei`.
- Teclar nombre del archivo a convertir.
- Escoger la opción (2), que convierte de `seisan` → `sac`.

Una vez hecho esto, el software creará tres nuevos archivos, uno por cada componente del sismograma, en un formato de lectura que es manipulable con SAC, más adelante se mostrará como convertirlo a ASCII.

### **3.3 Deconvolución de sismogramas.**

La deconvolución de sismogramas es un trabajo esencial para conocer el movimiento real del suelo. En este trabajo se utilizaron los datos del sismógrafo ubicado en la estación JUR1, por lo cual se explicará el proceso de deconvolución de sismogramas digitales para este instrumento, utilizando software para procesamiento de datos sísmicos como son SAC, SEISAN y Matlab. Este proceso fue desarrollado por Figueroa, *et al.*,(2010), el cual permite conocer las velocidades y aceleraciones máximas en Juriquilla Querétaro.

Cabe mencionar, que el nivel de ruido en la estación JUR1, es mayor al PGA (Aceleración Máxima del Terreno) de algunos registros, por lo que aquí se muestra una tabla con los niveles de ruido en la estación sismológica, dónde se proporcionan algunas amplitudes de diversas fuentes:

Tabla 3.3 Amplitudes máximas para distintos eventos, registrados por la estación JUR1, UNAM, Campus Juriquilla (Figueroa *et al.*, 2010).

Evento	Aceleración	Velocidad	Desplazamiento
Ruido ambiental	$4 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$	$1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$	$3 \times 10^{-8} \text{ m}$
Pasos humanos	$5 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$	$2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	$1 \times 10^{-7} \text{ m}$
Golpes a aparato	$5 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$	0.0026 mm/s	0.44 mm
Sismo M6.2	$2.8 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ , 0.028 gales	0.17 mm/s	0.22 mm

Retomando el tema de deconvolución de sismogramas, es conocido (Nanometrics, 2006) que la respuesta instrumental del sismógrafo Trillium 120P, tiene unidades de velocidad. Con ayuda de sus correspondientes polos y ceros se retira la respuesta del aparato ante movimientos del terreno (Nanometrics, 2006). Para realizar la deconvolución de sismogramas digitales se usa el software SAC, como ya se vio en el subcapítulo anterior. Para lograr el proceso es indispensable la creación de un archivo que contenga los polos y ceros del instrumento y una constante total de sensibilidad. Los siguientes datos fueron tomados del manual del sismógrafo Trillium 120P:

Tabla 3.4 Polos, ceros y constantes del sismógrafo Trillium (Nanometrics, 2006).

Parámetro		Valores	Unidades
$z_n$	Ceros	0	Rad/s
		0	
		-106	
		-158	
$p_n$	Polos	$-0.03859 \pm 0.03649i$	Rad/s
		-190	
		$-158 \pm 193i$	
		$-639 \pm 1418i$	
$k$	Factor normalizador	$1.695 \times 10^9$	
$S_{\text{sensor}}$	Sensibilidad de banda a 1Hz	1201.0	V·s/m
$f_0$	Frecuencia de normalización	1	Hz

La constante total de sensibilidad se determina como la sensibilidad del sismómetro y del digitalizador, multiplicada por un factor de normalización (Figuroa *et al.*, 2010), esta constante se expresa:

$$CONSTANT = A_0 * SensorGain * Digitizer Gain \quad \text{Ec. 3.3.1}$$

Para el Trillium, del manual se obtuvieron los siguientes valores:

$$A_0=1.695 \times 10^9,$$

$$SensorGain= 1201 \frac{V}{s/m},$$

$$Digitizer Gain: 1/(1 \times 10^{-6} \text{ cuentas/volt}),$$

De esta forma, la constante de sensibilidad resulta:

$$CONSTANT = (1.695 \times 10^{-6}) * \left( 1201 V \cdot \frac{s}{m} \right) * \left( \frac{1}{1 \times 10^{-6} \frac{\text{cuentas}}{\text{Volt}}} \right)$$

Después se prosigue a crear el archivo de polos y ceros, que se va a usar en el software SAC, el cual queda así:

<b>ZERS 4</b>	
-1.060000E+02	0.000000E+00
-1.580000E+02	0.000000E+00
<b>POLES 7</b>	
-0.038590E+00	0.036490E+00
-0.038590E++00	-0.036490E+00
-1.900000E+02	0.000000E+00
-1.580000E+02	1.930000E+02
-1.580000E+02	-1.930000E+02
-6.390000E+02	1.418000E+03
-6.390000E+02	-1.418000E+03
<b>CONSTANT 2.035695E+18</b>	

Figura 3.5 Archivo de polos y ceros, trillium.v (Nanometrics, 2006).

Las frecuencias de esquina que se consideraron para crear el archivo anterior se determinaron de la región plana de la respuesta instrumental y es mostrada en la figura 3.6:

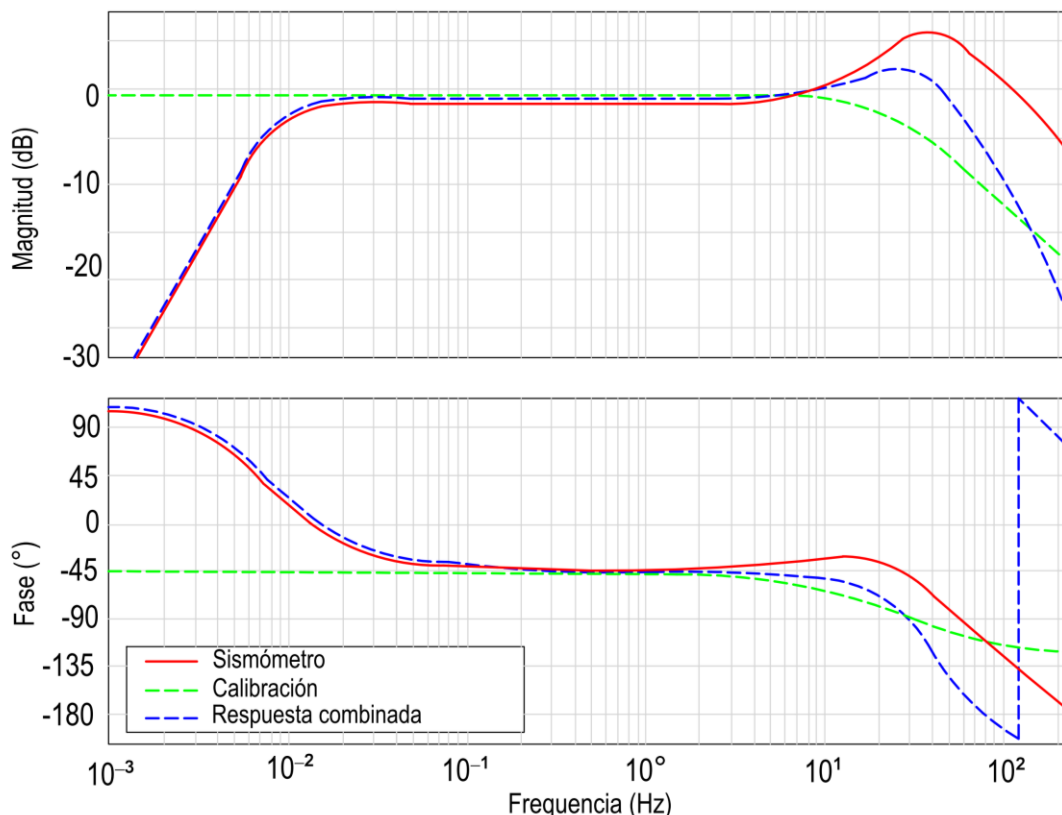


Figura 3.6 Gráfica de respuesta nominal a las frecuencias del sismógrafo Trillium 120P (Nanometrics, 2006)

Para deconvolucionar señal se desarrolló una serie de pasos, que se muestran a continuación. Estas instrucciones deben ser aplicadas a cada una de las componentes sísmicas:

- 1) Copiar el archivo de polos y zeros a cada carpeta contenedora de un registro sísmico, en este caso el nombre del archivo fue trillium.v.
- 2) Abrir una terminal y escribir sac, lo que dará inicio a éste software.
- 3) Dirigirse, por medio de la consola, a la carpeta que contiene el archivo a modificarse, y una vez ahí escribir las siguientes instrucciones:
  - `r nombre_archivo` .....(Lee la traza)
  - `p` .....(Imprime la traza)

- `cut b t1 t2` .....(Corta un registro en un intervalo de tiempo determinado)
- `r` .....(Lee la traza cortada)
- `p` .....(Imprime la traza)
- `w nombre_archivo_c` .....(Guarda la nueva traza, ya cortada)
- `r nombre_archivo_c` .....(Lee la traza)
- `p` .....(Imprime la traza)
- `trans from polezero subtype trillium.v freq 0.0015 0.007 80 100 to none` .....(deconvolucionada el sismograma)
- `w nombre_archivo_c_dcv` .....(Guarda la traza deconvolucionada)
- `r nombre_archivo_c_dcv`..... (Lee la traza)
- `p` .....(Imprime la traza)
- `dif` .....(Deriva la función descrita por el sismograma)
- `w nombre_archivo_c_dc_acel` .....(Guarda el acelerograma)

Así se obtienen los archivos ya deconvolucionados, cortados en el intervalo de tiempo necesario. Con el comando `dif` se deriva la función del sismograma y así se obtiene el acelerograma, como se muestra a continuación:

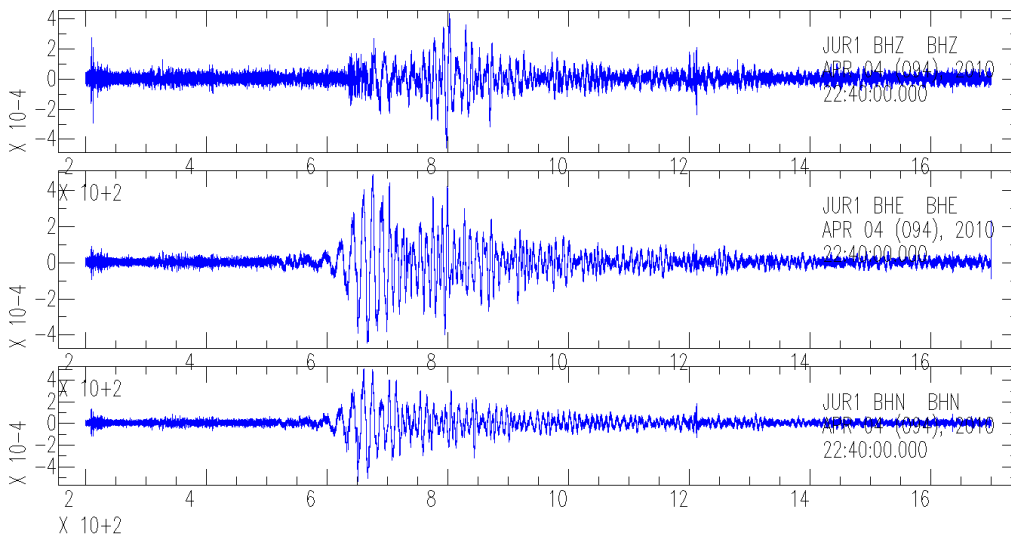


Figura 3.7 Acelerograma previamente tratado, sismo ocurrido el 04-04-2010 en Baja California Norte, Magnitud=7.2

A continuación se muestra en la figura 3.8 un sismograma sin deconvolucionar y uno ya tratado, nótese la diferencia en el orden de magnitud ( $m/s^2$ ) de las velocidades (eje y) y la correlación de periodos de la traza original y deconvolucionada una vez retirada la respuesta instrumental:

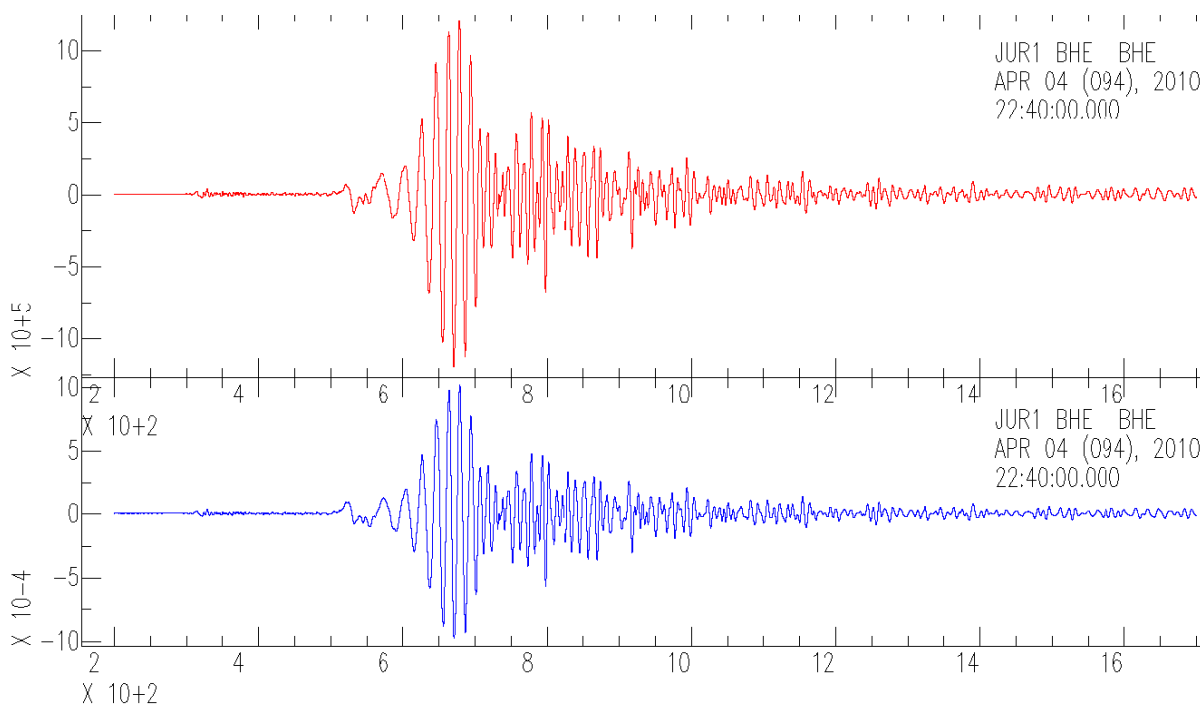


Figura 3.8 Comparación entre un sismograma sin deconvolucionar (rojo) y uno ya procesado (azul), componente EW de un sismograma del evento ocurrido el 04-04-2010 en Baja California Norte, Magnitud=7.2.

### 3.4 Conversión de datos a formato ASCII

La manipulación de datos sísmicos puede realizarse con mayor facilidad si los datos se encuentran en formato ASCII, ya que permite ver los archivos como documento de texto, con extensión .txt, que pueden manipularse desde software matemáticos como MatLab o desde una hoja de cálculo.

Sin embargo, los archivos arrojados después del proceso de datos, como se plantea anteriormente en este trabajo, están en código binario y con la ayuda del software MatLab y una rutina llamada MatSAC (Peng &Huang, 2009), es



posible convertir los registros de los acelerogramas a formato ASCII. La rutina MatSac está disponible en la página de internet: <http://geophysics.eas.gatech.edu/classes/SAC> (2009).

A continuación se detallan los pasos a seguir para convertir los registros acelerográficos de código binario a ASCII:

- 1) Iniciar MatLab.
- 2) Una vez ahí, se escribe la ruta de acceso a la carpeta que contiene los acelerogramas, y se escriben las siguientes instrucciones:
  - `[t,data,SAChdr]=fget_sac('nombre_archivo_c_dcv_ace1');`  
.....(Convierte el archivo de código binario de SAC a uno en formato ASCII, dividido en un vector de tiempo *t*, un vector de amplitudes *data* y el encabezado del sismograma)
  - `SISMO=[t,data];` .....(Genera una matriz a partir de los dos vectores *t* y *data*)
  - `plot(SISMO(:,1),SISMO(:,2))` .....(Imprime el sismograma)
  - `save nombre_archivo_c_dcv_ace1.txt` .....(Guarda el sismograma con extensión .txt)
  - `clear` .....(Limpia datos)

**Nota:** El comando `clear` es de suma importancia, ya que limpia las columnas de datos generadas por MatSAC, si no se ejecuta esta instrucción, se irán sumando los datos.

Con los comandos anteriores se obtiene el acelerograma en formato ASCII, este procedimiento se debe hacer para cada una de las componentes.

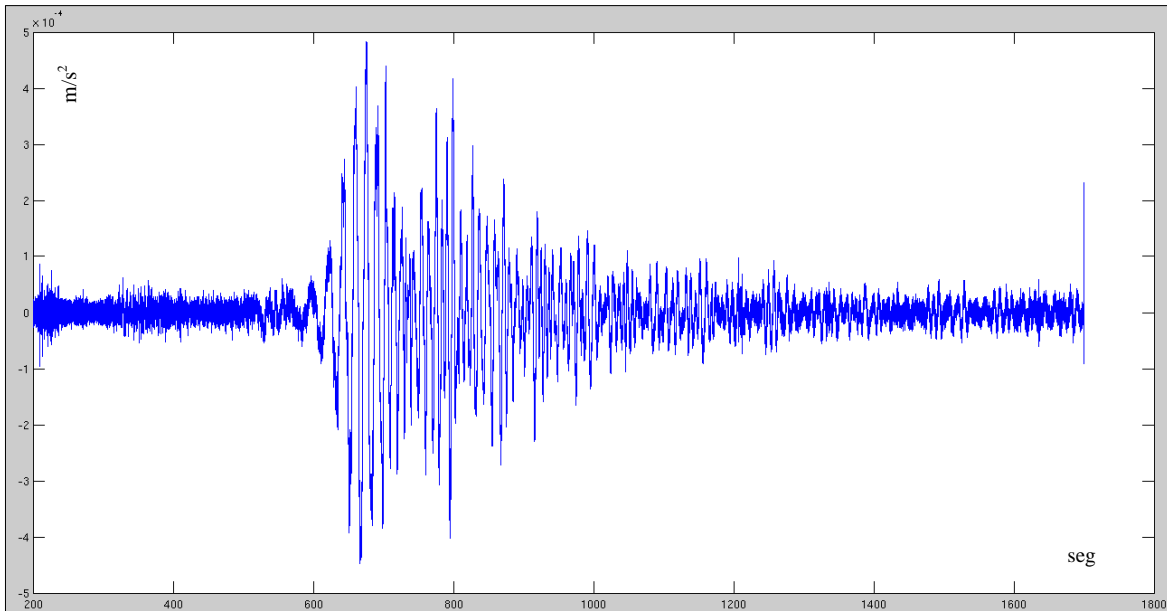


Figura 3.9 Ejemplo de un acelerograma, convertido a ASCII y manipulado en MatLab, este acelerograma pertenece a la componente EW de un sismograma del evento ocurrido el 04-04-2010 en Baja California Norte, Magnitud=7.2.

## 4.- CONFORMACIÓN DE LOS REGISTROS EN UNA BASE DE DATOS

### 4.1 Desarrollo del software

Como se mencionó al inicio, los archivos en ASCII sólo están disponibles para consulta. Se creó un software en el lenguaje Visual Basic que permite visualizar los eventos graficando los acelerogramas y algunos datos generales como localización del SSN, amplitudes máximas (PGA), tiempo origen del sismo, etc.

#### 4.1.1 Algoritmo de QUAKE v1.0

Espera acción del usuario

MIENTRAS ENTRADA HACER

SI ENTRADA = BUSCAR ENTONCES

Lee las opciones de búsqueda del usuario

Busca en la BD los registros de sismo con las opciones de búsqueda del usuario

Muestra todas las coincidencias de búsqueda en una lista

SI NO

SI ENTRADA = LISTA ENTONCES

Busca en la BD el registro de sismo

Imprime las características del sismo

Muestra acelerograma del sismo

Grafica el punto con la latitud y longitud del sismo en el mapa

SI NO

SI ENTRADA = SALIR ENTONCES

Termina la ejecución del programa

FIN SI

FIN SI

FIN SI

FIN MIENTRAS

**Nota:** El software que se desarrolló en ésta tesis es de código abierto y la consulta del mismo está disponible dentro de éste texto en el **ANEXO 1**.

### 4.1.2 Diagrama de flujo

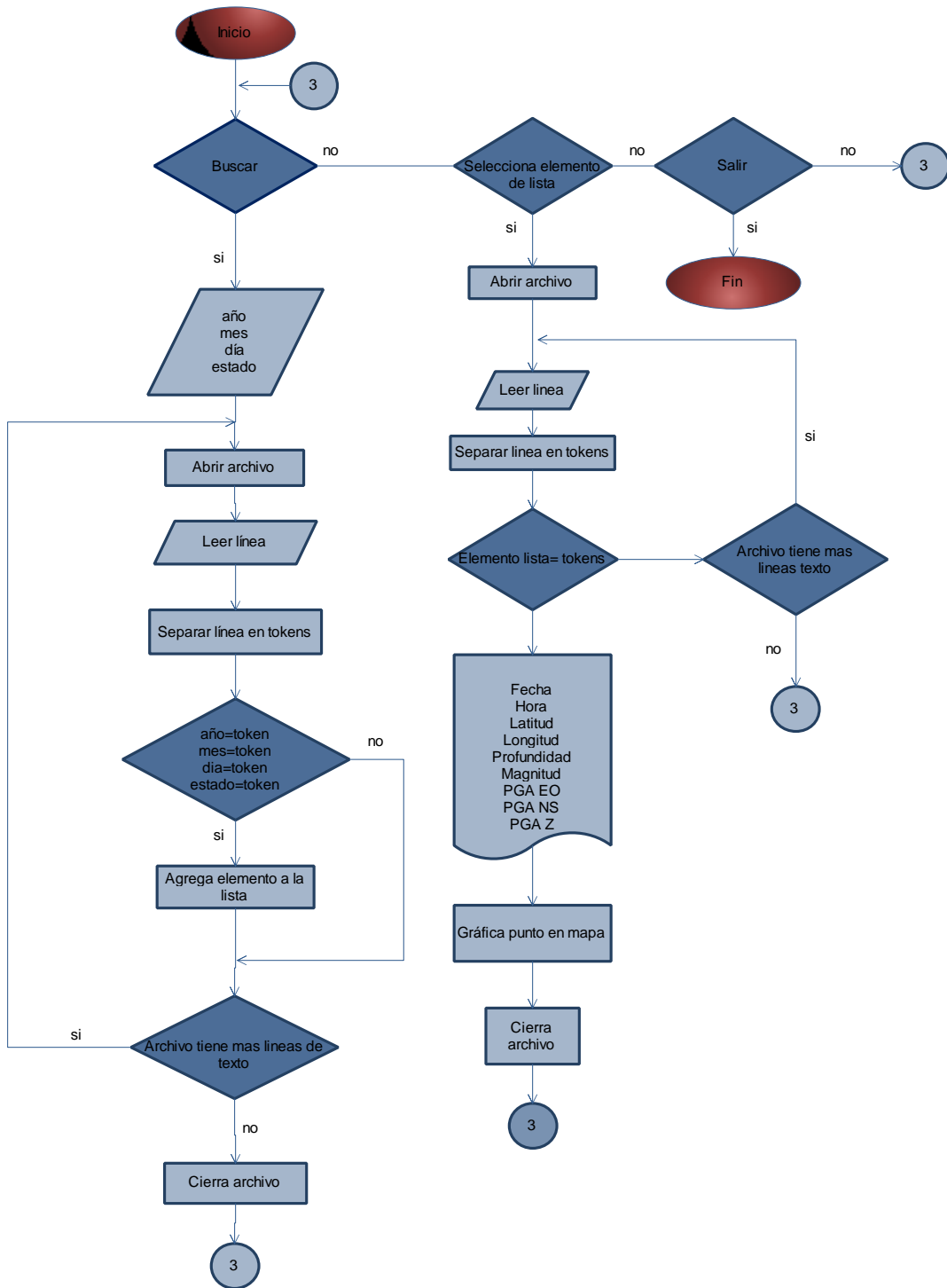


Figura 4.1 Diagrama de flujo del programa QUAKE v1.0.

### 4.1.3 Corrida final del programa.

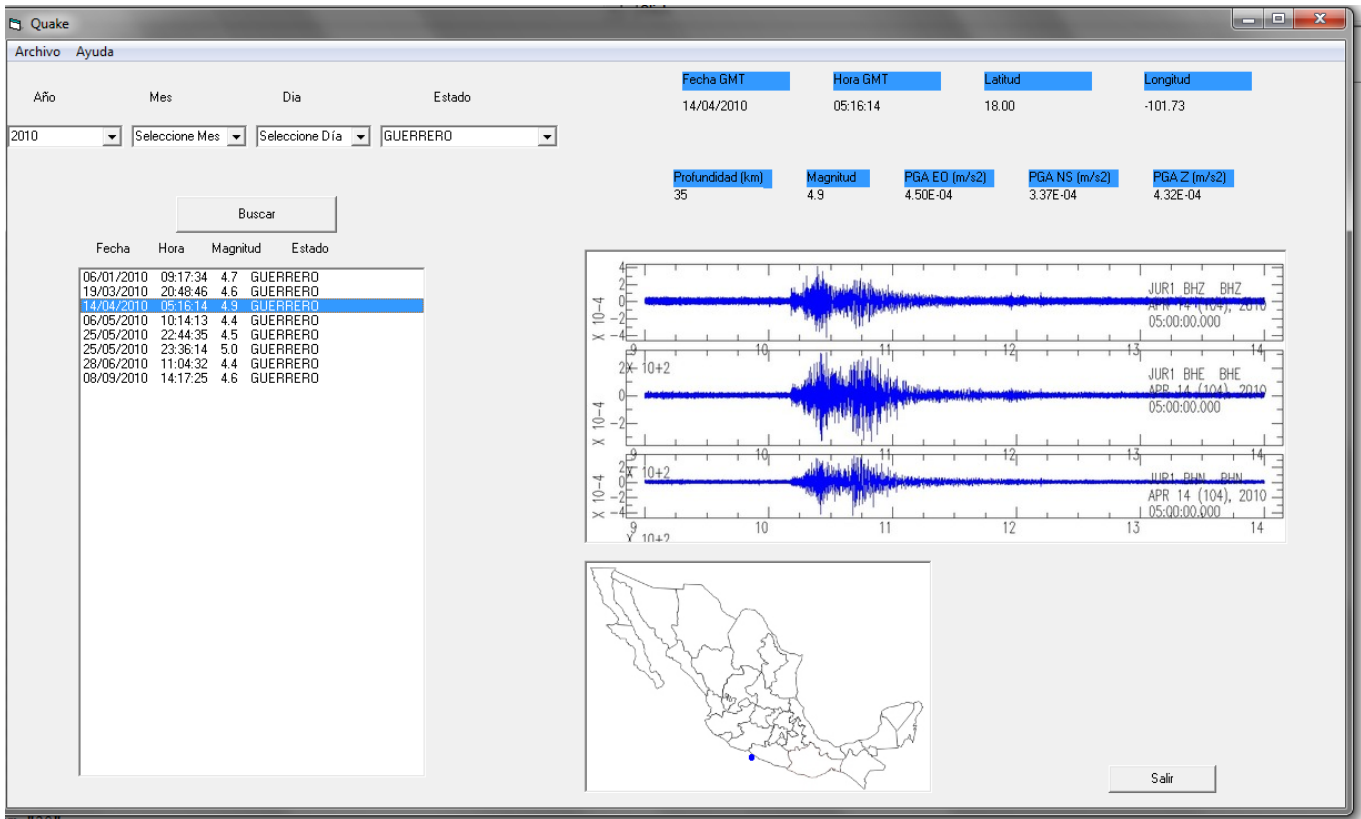


Figura 4.2 Ejemplo de corrida del programa QUAKE v1.0.

## 4.2 Manual de operación de la base de datos

El programa QUAKE v1.0, tiene un archivo ejecutable llamado QUAKE.exe, con el que se puede acceder a la a base de datos y además para operar el software se debe contar con la carpeta completa que tiene el nombre de QUAKE v1.0. Los pasos generales a seguir son:

- 1) Al abrir el archivo ejecutable se muestra la interfaz de la base de datos, dónde el usuario podrá consultar los registros de JUR1 (Figura 4.3).

Figura 4.3 Interfaz QUAKE v1.0.

2) Una vez ahí se inicia la búsqueda de algún sismo ocurrido en México entre 2009 y 2010, y que haya sido registrado por la estación JUR1 de la UNAM, para esto basta con seleccionar algún dato de las listas desplegadas donde se rotulan año, mes, día o estado de la república donde está proyectado el epicentro. De igual forma se puede ingresar cualquier combinación de información conocida, ejemplo:

- Año: 2011
- Estado: Hidalgo

3) Una vez seleccionados los campos necesarios, se da click en el botón buscar y aparecerá una lista con una descripción básica (fecha, hora, magnitud y estado) de los sismos que coincidan con la información ingresada (Figura 4.4). Si no coincide ningún dato se desplegará un

mensaje: “No hay ningún elemento en la base de datos con esas características”.

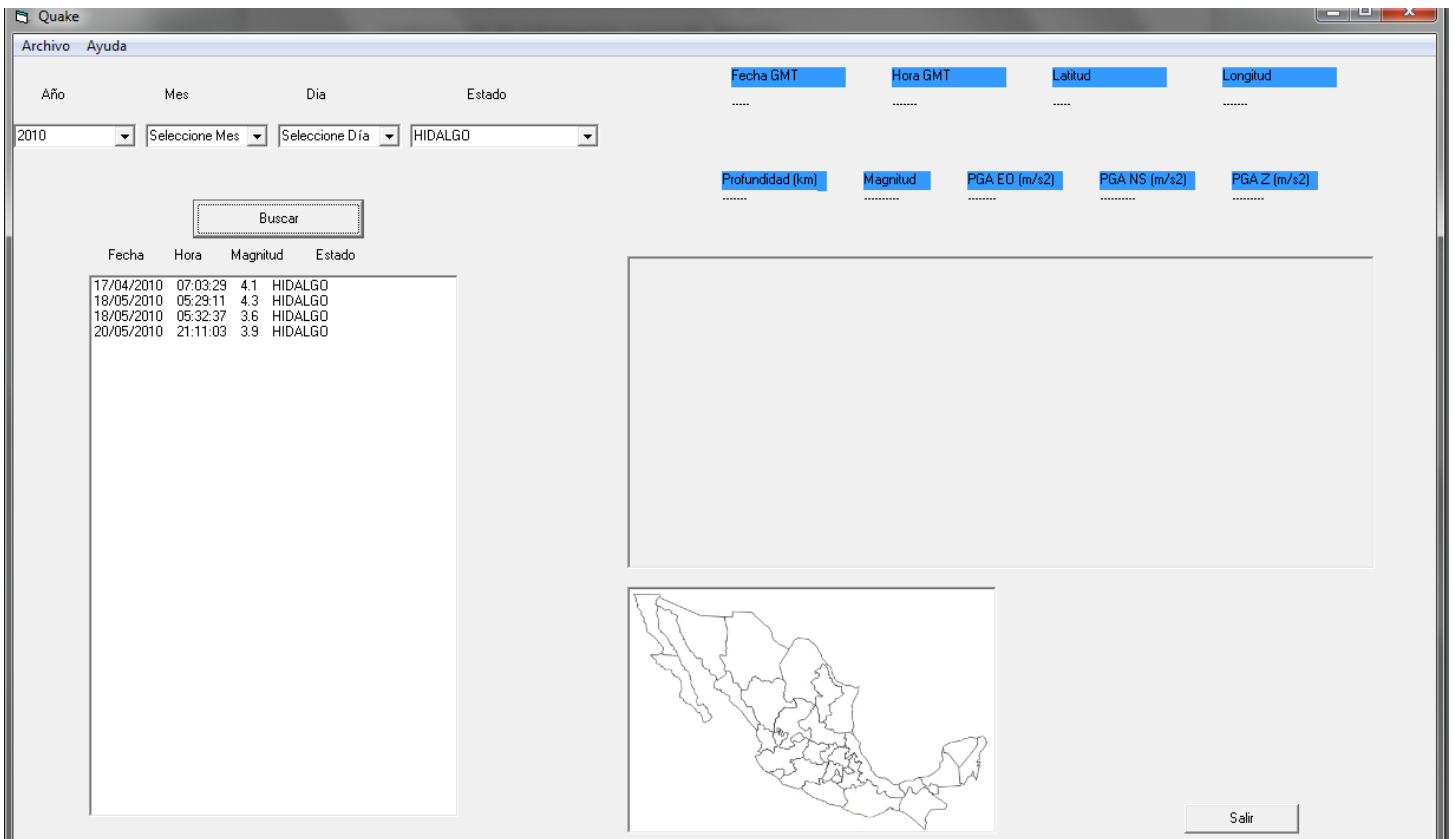


Figura 4.4 Información desplegada al realizar una búsqueda en QUAKE.

- 4) Se busca el sismo que se quiere consultar de la lista y se selecciona dando click en el renglón dónde se encuentra el evento que se requiere visualizar. Aparecerán las trazas y ubicación del evento seleccionado dentro del mapa República Mexicana, además de los parámetros focales, tiempo origen, PGA's y magnitud (Figura 4.5).



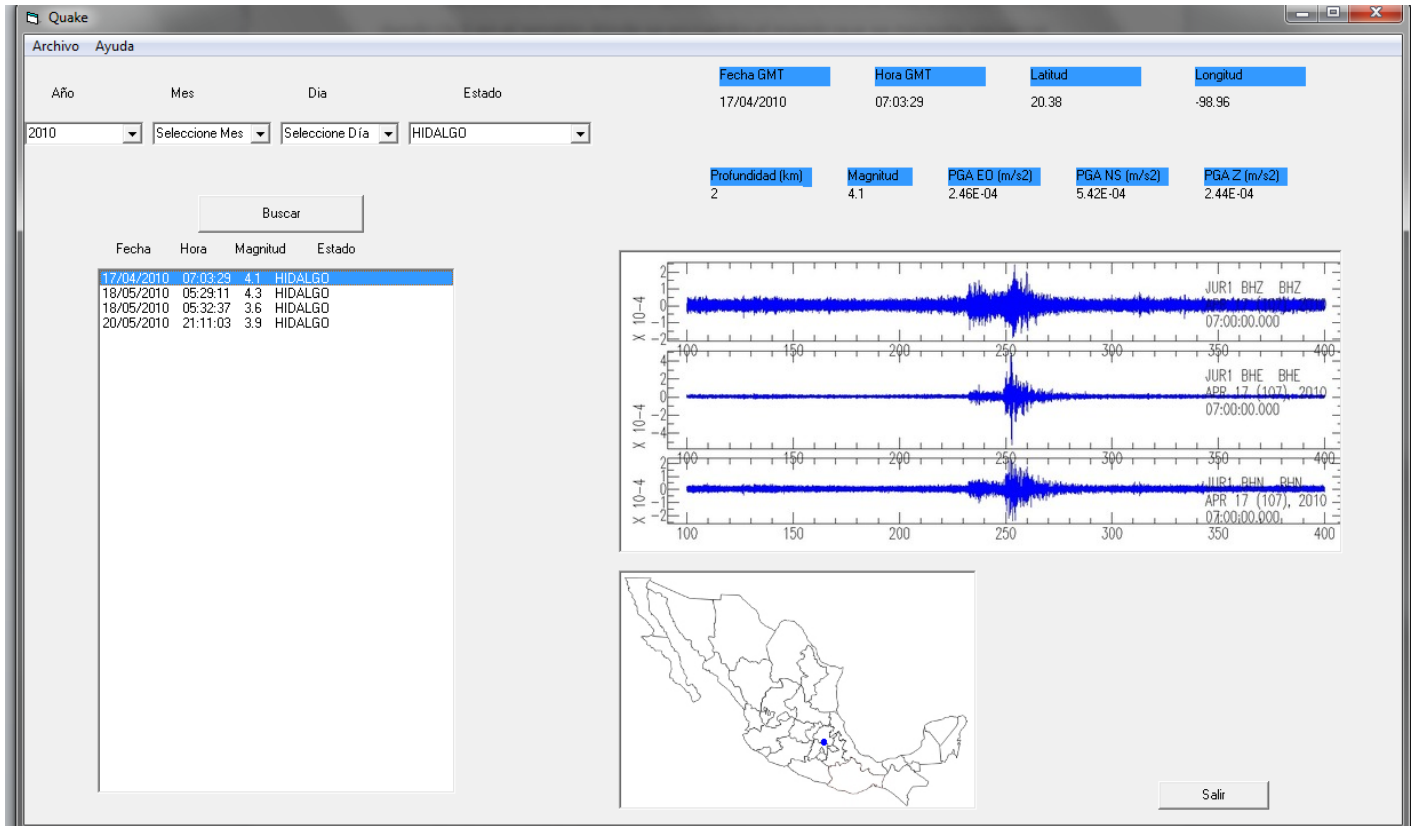


Figura 4.5 Visualización de acelerogramas e información de un sismo ocurrido el 17-04-2010 a las 07:03:29 GMT, en el estado de Hidalgo

- 5) En el menú de ayuda se encuentra información acerca de los desarrolladores de este software y con el botón salir se cierra el programa.

### 4.3 Determinación de Máximas amplitudes.

Para conocer las amplitudes máximas se usó el software SAC ejecutando los comandos *Ih DEPMAX* y *Ih DEPMIN*. Todas las amplitudes máximas fueron consideradas en valor absoluto (en el Anexo 2, se incluye en las tablas, la amplitud máxima para cada evento).

## 5.- DISCUSIÓN Y RESULTADOS.

El software que se desarrolló en este trabajo resulta de gran utilidad para el estudio de la sismología y del diseño sísmico de edificios, al proporcionar datos reales de amplitudes de aceleraciones del suelo en Querétaro para distintos eventos regionales.

Se ha desarrollado un programa de cómputo fácil de entender con un acceso sencillo al usuario, que permite visualizar acelerogramas y al mismo tiempo observar datos de relevancia acerca de cada sismo. Además se creó una metodología para el procesamiento de una señal sísmica, desde el aplicar filtros a los datos para seleccionarlos, hasta la deconvolución sismogramas y la obtención acelerogramas. También se abordaron temas básicos generales de relevancia en la sismología, por otro lado se destacaron puntos importantes acerca de la operación de software que permite la manipulación de datos sísmicos.

Entre algunos datos relevantes se identificó que las aceleraciones del terreno para Querétaro son muy bajas, del orden de  $0.006 \text{ cm/s}^2$  para el sismo ocurrido en Sinaloa de magnitud  $M=6.0$ , por otro lado, para el sismo de mayor magnitud ( $M=7.2$ ), que tuvo lugar en Baja California Norte en abril del 2010, se registró una aceleración del suelo de  $0.053 \text{ cm/s}^2$ . Finalmente se identificó la amplitud límite en dónde la señal se confunde o es del orden del ruido ambiental, que corresponde a un evento de magnitud  $M \geq 4.2$  de distancias de al menos 400 km, siendo esta un PGA del orden de  $0.0001 \text{ cm/s}^2$ .

También como resultado de este trabajo, hubo un intercambio de información del Centro de Geociencias de la UNAM y la Facultad de Ingeniería de la UAQ, que beneficia a ambas instituciones, por lo que ahora se tienen identificados que sismos han sido registrados en la estación JUR1, como se resume a continuación (Tabla 5.1):

Tabla 5.1 Resumen de los registros de en la base de datos en la estación JUR1 en el periodo 2009-2010

<b>Zona Sismogénica</b>	<b>Estado</b>	<b>Número de sismos registrados en la base de datos</b>	<b>Orden de Magnitudes</b>
<b>Eje Neovolcánico</b>	Hidalgo	4	3.9-4.3
	Puebla	1	4.7
	Veracruz	3	4.4-5.5
<b>Zona de Subducción</b>	Nayarit	5	4.8-5.5
	Jalisco	13	4.5-5.6
	Colima	2	4.3-4.6
	Michoacán	4	4.3-4.5
	Guerrero	13	4.4-5.7
	Oaxaca	14	4.3-6.0
	Chiapas	30	4.7-6.1
<b>Norte de México</b>	Baja California Norte	12	4.6-7.2
	Baja California Sur	8	4.6-5.5
	Nuevo León	1	4.4
	Sonora	6	4.6-5.5
	Sinaloa	4	4.3-6.0

La base de datos servirá a la Facultad de Ingeniería de la UAQ y al Centro de Geociencias de la UNAM, para continuar almacenando futuros eventos no sólo de México, sino de cualquier parte del mundo, además de la posibilidad de compartir información con otras instituciones y centros de investigación.

## REFERENCIAS

- Bazán, E., & Meli, R. (2008). *Diseño Sísmico de Edificios*. Limusa, 1a Ed., México.
- Bolt, B. A. (1981). *Earthquakes*. W.H Freeman & Company, USA.
- Bustillos, J. M. (2005). *Microzonificación Sísmica del Valle de Querétaro*. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UAQ.
- CFE. (2008). *Manual de Diseño de Obras Civiles, Sección C. Estructuras, Tema 1, Capítulo 3: Diseño por Sismo*. Comisión Federal de Electricidad, México.
- Clemente, A. (2010). *Ley de Atenuación (PGA) y Escalamiento de Forma Espectral Sísmica para Querétaro, Deducidos por Análisis de Trayectorias: Aplicada a Guerrero-Querétaro*. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UAQ.
- CRS. (2011). *Centro di Ricerche Sismologiche*. Obtenido de <http://www.crs.inogs.it/>
- Figuroa, A., Clemente, A., & Zúñiga, R. (2010). *Deconvolución de Sismogramas Digitales y Determinación del Ruido Sísmico para el Sismógrafo Trillium 120 Instalado en el Campus Juriquilla de la UNAM*. Bol-e (Órgano de Comunicación Electrónica del Centro de Geociencias de la UNAM), Vol. 6, No. 1.
- García, J. D. (2001). *Atenuación Sísmica. Aplicación a Terremotos Intraplaca en México Central*. Trabajo de Investigación para obtener el grado de doctorado, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, España.
- García, V., & Suárez, G. (1994). *Los Sismos en la Historia de México*. Edición científica Universitaria, SSN, UNAM, México.
- Grüntal, G. (1998). *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)*. Chaiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, 99 pp.
- Gutenberg, B., & Richter, C. F. (1944). *Frequency of earthquakes in California*. Bull. Seism. Soc. Am. 34, 185-188.
- Havskov, J., & Ottemöller, L. (1999). *SEISAN: The Earthquake Analysis Software, verdion 8.0*. Institute of Solid Earth Physics, University of Bergen, Norway.
- Havskov, J., & Ottemöller, L. (2005). *SEISAN Version 1.8 Introductory Training Course*. Bergen University, Norway.

- IASPEI. (2004). *Preservation of WWSSN and Historical Seismograms*. IASPEI Committee for Preservation of WWSSN and Historical Seismograms, United States.
- Knopoff, L., & Gardner, J. (1972). *Higher seismic activity during local night on the raw worldwide earthquake catalogue*. *Geophys.J. Intl.*, 28(3):311–313.
- McNamara, D., & Buland, R. P. (2003). *Ambient Noise Levels in the Continental United States*. U.S. Geological Survey, Bulletin of the Seismological Society of America, v. 94, No. 4, pp. 1517-1527.
- Meli, P. R. (2007). *Diseño Estructural*. Limusa, 2a. Ed., México.
- Nanometrics. (2004). *Trillium 120P Self Noise Performance*. Nanometrics Seismological Instruments.
- Nanometrics. (2006). *Trillium 120P Seismometer User Guide*. Nanometrics, Inc, Ontario, Canada.
- NEIRES. (2010). *European Archive of Historical Earthquake Data (AHEAD)*. Sixth Framework Programme, EC: 026130.
- Ordoñez, J. (2005). *Cálculo de la Energía Liberada por Sismos a Distancias Telesísmicas Mediante el Método de la Integral del Espectro de Potencia de las Ondas de Volumen*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú.
- Peng, Z. (2009). *Introduction to Seismic Analysis Code (SAC)*. Obtenido de <http://geophysics.eas.gatech.edu/classes/SAC/>
- Peng, Z., & Huang, X. (2009). *MatSAC Open SAC file with MatLab*.
- Peterson, J. (1993). *Observations and Modeling of Seismic Background Noise*. U.S. Department of Interior, Geological Survey, Albuquerque, New Mexico.
- Princen, J. P., & Bradley, A. B. (1986). *Analysis/Synthesis Filter Bank Design Based on Time Domain Aliasing Cancellation*. IEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. SSP-34, No.5.
- RCDF. (2004). *Reglamento de Construcciones del Distrito Federal: Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo*. Gaceta Oficial del Distrito Federal, Décima Cuarta Época, Tomo II, No. 103-Bis.
- RCMQ. (2004). *Reglamento de Construcción para el Municipio de Querétaro: Capítulo VI Diseño por Sismo*. Gaceta Municipal No. 12, Querétaro.
- Rinehart, Wilbur, Meyers, Herbert, von Hake, & Carl, A. (1985). *Summary of Earthquake Data Base*. Key to Geophysical Records Documentation No.21, U.S Department of Commerce, United States.

- Rodríguez, E. (2005). *Aportes de los Estudios de Respuesta Sísmica Local a la Actualización de la Microzonificación Sísmica de Bogotá*. Revista de la Facultad de Ingeniería, UPTC, 14(19), Colombia.
- SAC. (2011). *SAC User's Guide*. Obtenido de <http://www.iris.edu/software/sac/manual/intro.html>
- SSN. (2010). *Catálogo de sismos, SSN*. Obtenido de <http://www.ssn.unam.mx/>
- SSN. (2010). *Cien años de Instrumentación Sísmica en México*. Obtenido de <http://secre.ssn.unam.mx/SSN/instrumentacion3.html>
- Stein, S., & Wysession, M. (2003). *An introduction to Seismology, Earthquakes & Earth Structure*. Blackwell Publishing, United States.
- Udías, V., & Mezcuca, J. (1997). *Fundamentos de Geofísica*. Alianza editorial S. A., Madrid, España.
- USGS. (2010). *Earthquake Epic Catalog*. Obtenido de [http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/code\\_catalog.php](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/code_catalog.php)
- Zöller, G., Hainzl, S., & Holschneider, M. (2008). *Recurrent Large Earthquakes in a Fault Region: What Can Be Inferred from Small and Intermediate Events?* Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 98, No. 6, PP2641-2651.
- Zúñiga, F. R., & Wyss, M. (1995). *Inadvertent Changes in Magnitude Reported in Earthquake Catalogs: Influence on b-value estimates*. Bulletin of the Seismological Society of America, 85, 1858-1866.
- Zúñiga, R. (2001). *Sismometría*. Apuntes de Sismometría, Centro de Geociencias, UNAM Campus Juriquilla.
- Zúñiga, R. (2005). *Notas Introductorias a la Sismología*. Posgrado en Ciencias de la Tierra, Centro de Geociencias, UNAM Campus Juriquilla.

## ANEXOS

### ANEXO 1: Descripción del Código programa QUAKE v1.0

**Método privado que maneja el evento al dar click en el menú de ayuda:**

```
Private Sub Ayuda_Click()
    Muestra cuadro de dialogo con la información del programa
    MsgBox "Desarrollador:" & vbCrLf & "Edgardo Rocha Ugalde" & vbCrLf & vbCrLf & "Colaboradores: & vbCrLf & "Alejandro Clemente Chávez" & vbCrLf & "Angel Figueroa Soto& vbCrLf & "
End Sub
```

**Método privado que maneja el evento al dar click en el botón de Buscar:**

```
Private Sub Buscar_Click()

    Lista.Clear →Deja en blanco el objeto Lista
    ruta = App.Path & "\BD.txt" → Guarda la ruta de la BD en la variable ruta
```

**Método para leer un archivo de texto por líneas como la entrada número 2:**

Open ruta For Input As #2 →**Método para leer un archivo de texto por líneas como la entrada número**

```
año = ComboAño →Guarda el valor del objeto ComboAño en la variable año
mes = ComboMes →Guarda el valor del objeto ComboMes en la variable mes
dia = ComboDia →Guarda el valor del objeto Combodia en la variable dia
estado = ComboEdo →Guarda el valor del objeto ComboEdo en la variable estado
opcion = GetData() →Guarda el valor devuelto por la función GetData()
contador = 0 →Inicializa el contador de los elementos de la lista en 0
```

Do Until EOF(2) →**Ciclo que finaliza hasta que ya no haya más líneas de texto**

```
Line Input #2, Linea →Guarda la línea de texto en la variable Línea
palabras = Split(Linea, " ") →Corta la línea en tokens divididos por " " y los guarda en el vector palabras
dato0 = Left$(palabras(0), 4) →Subtrae los primeros 4 caracteres del objeto palabras(0) y los guarda en la variable dato0
dato1 = Mid(palabras(0), 5, 2) →Subtrae del 2 caracteres empezando del carácter 5 del objeto palabras(0) y los guarda en la variable dato1
dato2 = Mid(palabras(0), 7, 2) →Subtrae del 2 caracteres empezando del carácter 7 del objeto palabras(0) y los guarda en la variable dato2
dato3 = Mid(palabras(0), 9, 2) →Subtrae del 2 caracteres empezando del carácter 9 del objeto palabras(0) y los guarda en la variable dato3
dato4 = Mid(palabras(0), 11, 2) →Subtrae del 2 caracteres empezando del carácter 11 del objeto palabras(0) y los guarda en la variable dato4
```

**Verifica la variable opción y dependiendo su valor realiza la acción:**

```
Select Case opcion
    Case 1 →Si opcion = 1
```

**Verifica si el año, mes, día y estado coinciden con los seleccionados en los combos:**

If dato0 = año And dato1 = mes And dato2 = dia And palabras(9) = estado Then

**Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud, estado):**

texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " + palabras(9) '

contador = contador + 1 → **Incrementa el contador de elementos en 1**

Lista.AddItem texto → **Agrega el elemento texto a la lista**

End If

**Case 2 → Si opcion = 2**

**Verifica si el año, mes y dia coinciden con los seleccionados en los combos**

If dato0 = año And dato1 = mes And dato2 = dia Then

**Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud, estado)**

texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " + palabras(9)

contador = contador + 1 → **Incrementa el contador de elementos en 1**

Lista.AddItem texto → **Agrega el elemento texto a la lista**

End If

**Case 3 → Si opcion = 3**

**Verifica si el año, mes y estado coinciden con los seleccionados en los combos**

If dato0 = año And dato1 = mes And palabras(9) = estado Then

**Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud, estado)**

texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " + palabras(9)

contador = contador + 1 → **Incrementa el contador de elementos en 1**

Lista.AddItem texto → **Agrega el elemento texto a la lista**

End If

**Case 4 → Si opcion = 4**

**Verifica si el año y mes coinciden con los seleccionados en los combos**

If dato0 = año And dato1 = mes Then

**Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud, estado)**

texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " + palabras(9)

contador = contador + 1 → **Incrementa el contador de elementos en 1**

Lista.AddItem texto → **Agrega el elemento texto a la lista**

End If

**Case 5 → Si opcion = 5**

**Verifica si el año, dia y estado coinciden con los seleccionados en los combos**

If dato0 = año And dato2 = dia And palabras(9) = estado Then

**Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud, estado)**

texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " + palabras(9)

contador = contador + 1 → **Incrementa el contador de elementos en 1**



```

        Lista.AddItem texto →Agrega el elemento texto a la lista
    End If
    Case 6 →Si opcion = 6
        Verifica si el año y día coinciden con los seleccionados en los combos
        If dato0 = año And dato2 = día Then
            Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud,
estado)
            texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " +
palabras(9)
            contador = contador + 1 →Incrementa el contador de elementos en 1
            Lista.AddItem texto →Agrega el elemento texto a la lista
        End If
    Case 7 →Si opcion = 7
        Verifica si el año y estado coinciden con los seleccionados en los combos
        If dato0 = año And palabras(9) = estado Then
            Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud,
estado)
            texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " +
palabras(9)
            contador = contador + 1 →Incrementa el contador de elementos en 1
            Lista.AddItem texto →Agrega el elemento texto a la lista
        End If
    Case 8 →Si opcion = 8
        Verifica si el año coincide con el seleccionado en el combo
        If dato0 = año Then
            Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud,
estado)
            texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " +
palabras(9)
            contador = contador + 1 →Incrementa el contador de elementos en 1
            Lista.AddItem texto →Agrega el elemento texto a la lista
        End If
    Case 9 →Si opcion = 9
        Verifica si el mes, día y estado coinciden con los seleccionados en los combos
        If dato1 = mes And dato2 = día And palabras(9) = estado Then
            Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud,
estado)
            texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " +
palabras(9)
            contador = contador + 1 →Incrementa el contador de elementos en 1
            Lista.AddItem texto →Agrega el elemento texto a la lista
        End If
    Case 10 →Si opcion = 10
        Verifica si el mes y día coinciden con los seleccionados en los combos
        If dato1 = mes And dato2 = día Then
            Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud,
estado)
            texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " +
palabras(9)

```

```

        contador = contador + 1 '→Incrementa el contador de elementos en 1
        Lista.AddItem texto →Agrega el elemento texto a la lista
    End If
    Case 11 →Si opcion = 11
        Verifica si el mes y estado coinciden con los seleccionados en los combos
        If dato1 = mes And palabras(9) = estado Then
            Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud,
estado)
            texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " +
palabras(9)
            contador = contador + 1 →Incrementa el contador de elementos en 1
            Lista.AddItem texto →Agrega el elemento texto a la lista
        End If
    Case 12 →Si opcion = 12
        Verifica si el mes coincide con el seleccionado en el combo
        If dato1 = mes Then
            Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud,
estado)
            texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " +
palabras(9)
            contador = contador + 1 →Incrementa el contador de elementos en 1
            Lista.AddItem texto →Agrega el elemento texto a la lista
        End If
    Case 13 →Si opcion = 13
        Verifica si el día y estado coinciden con los seleccionados en los combos
        If dato2 = dia And palabras(9) = estado Then
            Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud,
estado)
            texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " +
palabras(9)
            contador = contador + 1 →Incrementa el contador de elementos en 1
            Lista.AddItem texto →Agrega el elemento texto a la lista
        End If
    Case 14 →Si opcion = 14
        Verifica si el día coincide con el seleccionado en el combo
        If dato2 = dia Then
            Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud,
estado)
            texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " +
palabras(9)
            contador = contador + 1 →Incrementa el contador de elementos en 1
            Lista.AddItem texto →Agrega el elemento texto a la lista
        End If
    Case 15 →Si opcion = 15
        Verifica si el estado coincide con el seleccionado en el combo
        If palabras(9) = estado Then
            Guarda el nombre del objeto de la lista con formato (año, hora, magnitud,
estado)

```

```

        texto = palabras(1) + " " + palabras(3) + " " + palabras(7) + " " +
palabras(9)
        contador = contador + 1 →Incrementa el contador de elementos en 1
        Lista.AddItem texto →Agrega el elemento texto a la lista
    End If
End Select
Loop
Verifica si el contador de elementos de la lista es igual a 0
If contador = 0 Then
    Muestra cuadro de dialogo ya que no se encontró algún elemento relacionado
    MsgBox "No hay ningún elemento en la Base de Datos con esas
características"
End If
Close #2 →Cierra el archivo de texto de la BD

```

End Sub

**Método privado que maneja el evento al dar click en algún elemento de la Lista**

Private Sub Lista\_Click()

```

    ruta = App.Path & "\BD.txt" →Guarda la ruta de la BD en la variable ruta
    Open ruta For Input As #3 →Método para leer un archivo de texto por líneas como la
entrada número 3

    Do Until EOF(3) →Ciclo que finaliza hasta que ya no haya más líneas de texto
        Line Input #3, Renglon →Guarda la línea de texto en la variable Línea
        palabras = Split(Renglon, " ") →Corta la línea en tokens divididos por " " y los
guarda en el vector palabras
        datos = Split(Lista.Text, " ") →Corta el elemento seleccionado en tokens divididos
por " " y los guarda en el vector datos
        Verifica si el elemento seleccionado coincide con la línea actual de texto
        If datos(0) = palabras(1) And datos(1) = palabras(3) And datos(2) =
palabras(7) And datos(3) = palabras(9) Then
            GoSub Details →Realiza el submétodo Details
        End If
    Loop
    Details: →Submétodo privado
        Fecha.Caption = palabras(1) →Muestra la fecha de la línea actual de texto en el
Label Fecha
        Hora.Caption = palabras(3) →Muestra la hora de la línea actual de texto en el Label
hora
        Latitud.Caption = palabras(4) →Muestra la latitud de la línea actual de texto en el
Label Latitud
        Longitud.Caption = palabras(5) →Muestra la longitud de la línea actual de texto en
el Label Longitud
        Profundidad.Caption = palabras(6) →Muestra la profundidad de la línea actual de
texto en el Label Profundidad
        Magnitud.Caption = palabras(7) →Muestra la magnitud de la línea actual de texto
en el Label Magnitud

```

PGAEO.Caption = palabras(10) →Muestra el PGAEO de la línea actual de texto en el Label PGAEO

PGANS.Caption = palabras(11) →Muestra el PGANS de la línea actual de texto en el Label PGANZ

PGAZ.Caption = palabras(12) →Muestra el PGAZ de la línea actual de texto en el Label PGAZ

Proceso que utiliza Picture1 para ejecutar las siguientes instrucciones

With Picture1

Path = App.Path & "\imag\" + palabras(0) + ".jpg" →Guarda la ruta de la imagen en la variable Path

.Picture = LoadPicture(Path) →Carga la imagen en el objeto Picture1

End With

Picture2.Cls →Borra el cuadro Picture2

Picture2.DrawWidth = 5 →Define el tamaño del lápiz para dibujar

X = (palabras(17) + 116) \* 156 →Guarda la escala de la longitud en la variable X

Y = 3135 - (palabras(16) - 15) \* 174 →Guarda la escala de la latitud en la variable

Y

Picture2.PSet (X, Y), vbBlue →Dibuja un punto con las coordenadas (X,Y) en el objeto Picture2 de color Azul

Close #3 →Cierra el documento de texto de la BD

End Sub

**Método privado que maneja el evento al dar click en el menú Salir**

Private Sub menuSalir\_Click()

End →Termina la ejecución del programa

End Sub

**Método privado que maneja el evento al dar click en el botón de Salir**

Private Sub Salir\_Click()

End →Termina la ejecución del programa

End Sub

**Método privado que carga al iniciar el formulario**

Private Sub Form\_Load()

**Agrega los elementos al ComboAño**

ComboAño.AddItem "Seleccione Año"

ComboAño.AddItem "2009"

ComboAño.AddItem "2010"

**Agrega los elementos al ComboMes**

ComboMes.AddItem "Seleccione Mes"

ComboMes.AddItem "01"

ComboMes.AddItem "02"

ComboMes.AddItem "03"

ComboMes.AddItem "04"

ComboMes.AddItem "05"

ComboMes.AddItem "06"

ComboMes.AddItem "07"

ComboMes.AddItem "08"  
ComboMes.AddItem "09"  
ComboMes.AddItem "10"  
ComboMes.AddItem "11"  
ComboMes.AddItem "12"

**Agrega los elementos al ComboDia**

ComboDia.AddItem "Seleccione Día"  
ComboDia.AddItem "01"  
ComboDia.AddItem "02"  
ComboDia.AddItem "03"  
ComboDia.AddItem "04"  
ComboDia.AddItem "05"  
ComboDia.AddItem "06"  
ComboDia.AddItem "07"  
ComboDia.AddItem "08"  
ComboDia.AddItem "09"  
ComboDia.AddItem "10"  
ComboDia.AddItem "11"  
ComboDia.AddItem "12"  
ComboDia.AddItem "13"  
ComboDia.AddItem "14"  
ComboDia.AddItem "15"  
ComboDia.AddItem "16"  
ComboDia.AddItem "17"  
ComboDia.AddItem "18"  
ComboDia.AddItem "19"  
ComboDia.AddItem "20"  
ComboDia.AddItem "21"  
ComboDia.AddItem "22"  
ComboDia.AddItem "23"  
ComboDia.AddItem "24"  
ComboDia.AddItem "25"  
ComboDia.AddItem "26"  
ComboDia.AddItem "27"  
ComboDia.AddItem "28"  
ComboDia.AddItem "29"  
ComboDia.AddItem "30"  
ComboDia.AddItem "31"

**Agrega los elementos al ComboEdo**

ComboEdo.AddItem "Seleccione Estado"  
ComboEdo.AddItem "AGUASCALIENTES"  
ComboEdo.AddItem "BAJA CALIFORNIA NORTE"  
ComboEdo.AddItem "BAJA CALIFORNIA SUR"  
ComboEdo.AddItem "CAMPECHE"  
ComboEdo.AddItem "COAHUILA"

```

ComboEdo.AddItem "CHIAPAS"
ComboEdo.AddItem "CHIHUAHUA"
ComboEdo.AddItem "DURANGO"
ComboEdo.AddItem "ESTADO DE MEXICO"
ComboEdo.AddItem "GUANAJUATO"
ComboEdo.AddItem "GUERRERO"
ComboEdo.AddItem "HIDALGO"
ComboEdo.AddItem "JALISCO"
ComboEdo.AddItem "MICHOACAN"
ComboEdo.AddItem "MORELOS"
ComboEdo.AddItem "DISTRITO FEDERAL"
ComboEdo.AddItem "NAYARIT"
ComboEdo.AddItem "NUEVO LEON"
ComboEdo.AddItem "OAXACA"
ComboEdo.AddItem "PACIFICO"
ComboEdo.AddItem "PUEBLA"
ComboEdo.AddItem "QUERETARO"
ComboEdo.AddItem "QUINTANA ROO"
ComboEdo.AddItem "SAN LUIS POTOSI"
ComboEdo.AddItem "SINALOA"
ComboEdo.AddItem "SONORA"
ComboEdo.AddItem "TABASCO"
ComboEdo.AddItem "TAMAULIPAS"
ComboEdo.AddItem "TLAXCALA"
ComboEdo.AddItem "VERACRUZ"
ComboEdo.AddItem "YUCATAN"
ComboEdo.AddItem "ZACATECAS"

```

End Sub

**Funcion que devuelve un valor Entero**

Function GetData() As Integer

```

    año = ComboAño →Guarda el valor del objeto ComboAño en la variable año
    mes = ComboMes →Guarda el valor del objeto ComboMes en la variable mes
    día = ComboDia →Guarda el valor del objeto Combodia en la variable día
    estado = ComboEdo →Guarda el valor del objeto ComboEdo en la variable estado

```

**Verifica si se seleccionó un año**

```

If año <> "Seleccione Año" Then
    Verifica si se seleccionó un mes
    If mes <> "Seleccione Mes" Then
        Verifica si se seleccionó un día
        If dia <> "Seleccione Día" Then
            Verifica si se seleccionó un estado
            If estado <> "Seleccione Estado" Then
                GetData = 1 →Iguala la función a 1
            Exit Function →Finaliza la función
        End If
    End If
End If

```

```

Else →Si no se seleccionó un estado
    GetData = 2 →Iguala la función a 2
    Exit Function →Finaliza la función
End If
Else →Si no se seleccionó un día
    Verifica si se seleccionó un estado
    If estado <> "Seleccione Estado" Then
        GetData = 3 →Iguala la función a 3
        Exit Function →Finaliza la función
    Else →Si no se seleccionó un estado
        GetData = 4 →Iguala la función a 4
        Exit Function →Finaliza la función
    End If
End If
Else →Si no se seleccionó un mes
    Verifica si se selecciono un día
    If dia <> "Seleccione Día" Then
        Verifica si se seleccionó un estado
        If estado <> "Seleccione Estado" Then
            GetData = 5 →Iguala la función a 5
            Exit Function →Finaliza la función
        Else →Si no se seleccionó un estado
            GetData = 6 →Iguala la función a 6
            Exit Function →Finaliza la función
        End If
    Else →Si no se seleccionó un día
        Verifica si se seleccionó un estado
        If estado <> "Seleccione Estado" Then
            GetData = 7 →Iguala la función a 7
            Exit Function →Finaliza la función
        Else →Si no se seleccionó un estado
            GetData = 8 →Iguala la función a 8
            Exit Function →Finaliza la función
        End If
    End If
End If
Else →Si no se seleccionó un año
    Verifica si se seleccionó un mes
    If mes <> "Seleccione Mes" Then
        Verifica si se seleccionó un día
        If dia <> "Seleccione Día" Then
            Verifica si se seleccionó un estado
            If estado <> "Seleccione Estado" Then
                GetData = 9 →Iguala la función a 9
                Exit Function →Finaliza la función
            Else →Si no se seleccionó un estado
                GetData = 10 →Iguala la función a 10
                Exit Function →Finaliza la función
            End If
        End If
    End If
End If

```

```
End If
Else →Si no se seleccionó un día
  Verifica si se seleccionó un estado
  If estado <> "Seleccione Estado" Then
    GetData = 11 →Iguala la función a 11
    Exit Function →Finaliza la función
  Else →Si no se seleccionó un estado
    GetData = 12 →Iguala la función a 12
    Exit Function →Finaliza la función
  End If
End If
Else →Si no se seleccionó un mes
  Verifica si se selecciono un día
  If dia <> "Seleccione Día" Then
    Si no se seleccionó un estado
    If estado <> "Seleccione estado" Then
      GetData = 13 →Iguala la función a 13
      Exit Function →Finaliza la función
    Else →Si no se seleccionó un estado
      GetData = 14 →Iguala la función a 14
      Exit Function →Finaliza la función
    End If
  Else →Si no se seleccionó día
    Verifica si se seleccionó estado
    If estado <> "Seleccione Estado" Then
      GetData = 15 →Iguala la función a 15
      Exit Function →Finaliza la función
    Else →Si no se seleccionó estado
      Muestra cuadro de dialogo para pedir alguna opción de búsqueda
      MsgBox "Debe seleccionar al menos una opción de búsqueda"
    End If
  End If
End If
End If
End Function
```

**ÉSTE CÓDIGO ES AUTORÍA DE:**

**EDGARDO ROCHA UGALDE, FACULTAD DE INGENIERÍA, UAQ**

**CON LA COLABORACIÓN DE:**

**ALEJANDRO CLEMENTE CHÁVEZ , FACULTAD DE INGENIERÍA, UAQ**

**ÁNGEL FIGUEROA SOTO, CENTRO DE GEOCIENCIAS, UNAM CAMPUS JURQUILLA**



**Anexo 2: Datos Generales de los sismos ubicados en la base de datos para la estación JUR1 y contenidos en el software QUAKE v1.0.**

ID	Fecha (GMT)	Hora (GMT)	Latitud	Longitud	Prof. (km)	Mag.	Zona	Estado	PGA_NS (cm/s <sup>2</sup> )	PGA_EW (cm/s <sup>2</sup> )	PGA_Z (cm/s <sup>2</sup> )
200901051059	05/01/2009	10:59:30	23.82	-108.94	18	5.5	115 km al NORESTE de SAN JOSE DEL CABO, BCS	BAJA CALIFORNIA SUR	0.00209	0.00192	0.00196
200901141704	14/01/2009	17:04:35	18.10	-100.07	51	4.4	32 km al SURESTE de ARCELIA, GRO	GUERRERO	0.00415	0.00451	0.00546
200903100036	10/03/2009	00:36:44	16.46	-93.65	147	5.0	27 km al SURESTE de CINTALAPA, CHIS	CHIAPAS	0.00171	0.00169	0.00324
200904070235	07/04/2009	02:35:35	25.54	-110.06	4	4.7	98 km al SUROESTE de AHOME, SIN	SINALOA	0.01684	0.00889	0.01288
200904072149	07/04/2009	21:49:27	15.82	-96.72	18	4.5	28 km al NOROESTE de S PEDRO POCHUTLA, OAX	OAXACA	0.01537	0.00698	0.01739
200904081629	08/04/2009	16:29:34	17.94	-103.19	10	4.3	92 km al OESTE de LA MIRA, MICH	MICHOACAN	0.00967	0.00666	0.01182
200904271646	27/04/2009	16:46:27	16.88	-99.62	5	5.7	26 km al NOROESTE de SAN MARCOS, GRO	GUERRERO	0.13681	0.10701	0.09537
200905012338	01/05/2009	23:38:40	17.04	-99.68	44	4.7	30 km al NORESTE de ACAPULCO, GRO	GUERRERO	0.02409	0.01785	0.02007
200905031621	03/05/2009	16:21:51	14.53	-91.89	77	5.9	33 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS	CHIAPAS	0.00960	0.00639	0.00973
200905081454	08/05/2009	14:54:51	19.08	-105.42	23	4.5	91 km al OESTE de CIHUATLAN, JAL	JALISCO	0.02054	0.01223	0.01965
200906032137	03/06/2009	21:37:37	19.72	-109.22	7	5.6	358 km al SUR de CABO SAN LUCAS, BCS	BAJA CALIFORNIA SUR	0.06779	0.02803	0.04052
200906141104	14/06/2009	11:04:06	25.30	-99.33	20	4.4	51 km al ESTE de MONTEMORELOS, NL	NUEVO LEON	0.00802	0.00303	0.00580
200906242236	24/06/2009	22:36:30	17.39	-93.96	195	4.8	59 km al SUR de LAS CHOAPAS, VER	VERACRUZ	0.01756	0.01172	0.01850
200907031100	03/07/2009	11:00:11	25.20	-109.44	10	6.0	80 km al SUROESTE de LOS MOCHIS, SIN	SINALOA	0.00954	0.00375	0.00684
200907032030	03/07/2009	20:30:40	24.88	-109.76	5	4.8	99 km al NORESTE de LA PAZ, BCS	BAJA CALIFORNIA SUR	0.02523	0.02598	0.03780
200907050115	05/07/2009	01:15:41	17.07	-95.00	130	4.3	23 km al NORTE de MATIAS ROMERO, OAX	OAXACA	0.00746	0.00515	0.00834

ID	Fecha (GMT)	Hora (GMT)	Latitud	Longitud	Prof. (km)	Mag.	Zona	Estado	PGA_NS (cm/s <sup>2</sup> )	PGA_EW (cm/s <sup>2</sup> )	PGA_Z (cm/s <sup>2</sup> )
200907090842	09/07/2009	08:42:23	17.19	-100.49	21	4.6	7 km al SUROESTE de ATOYAC DE ALVAREZ, GRO	GUERRERO	0.00965	0.00646	0.00685
200907171433	17/07/2009	14:33:42	15.50	-98.99	30	4.3	137 km al SUROESTE de PINOTEPA NACIONAL, OAX	OAXACA	0.01500	0.00827	0.01651
200907192319	19/07/2009	23:19:13	24.57	-110.19	15	4.6	49 km al NORTE de LA PAZ, BCS	BAJA CALIFORNIA SUR	0.01089	0.00490	0.01298
200907201045	20/07/2009	10:45:05	19.70	-108.54	17	4.6	361 km al SUROESTE de PUERTO VALLARTA, JAL	JALISCO	0.00756	0.00399	0.00725
200908011934	01/08/2009	19:34:20	20.76	-106.05	20	4.5	87 km al OESTE de PUERTO VALLARTA, JAL	JALISCO	0.01518	0.01230	0.02162
200908031800	03/08/2009	18:00:02	28.48	-112.24	10	5.1	84 km al SUROESTE de M ALEMAN(LA DOCE), SON	SONORA	0.02634	0.02864	0.03144
200908031840	03/08/2009	18:40:54	29.42	-113.50	10	5.0	171 km al NORESTE de GUERRERO NEGRO, BCS	BAJA CALIFORNIA SUR	0.01822	0.01125	0.02140
200908050913	05/08/2009	09:13:33	29.15	-112.15	15	5.5	74 km al NOROESTE de M ALEMAN(LA DOCE), SON	SONORA	0.00778	0.00508	0.00778
200908120025	12/08/2009	00:25:45	14.00	-93.33	20	4.4	147 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS	CHIAPAS	0.01396	0.00694	0.01441
200908262243	26/08/2009	22:43:55	14.53	-94.02	6	4.8	154 km al SUROESTE de PIJIAPAN, CHIS	CHIAPAS	0.01334	0.00960	0.01962
200908291042	29/08/2009	10:42:46	14.41	-94.12	16	5.2	172 km al SUROESTE de PIJIAPAN, CHIS	CHIAPAS	0.00690	0.00444	0.01043
200908300919	30/08/2009	09:19:44	14.36	-94.05	16	5.0	172 km al SUROESTE de PIJIAPAN, CHIS	CHIAPAS	0.00832	0.00734	0.01183
200909130706	13/09/2009	07:06:19	29.51	-113.61	5	4.9	177 km al NORTE de GUERRERO NEGRO, BCS	BAJA CALIFORNIA SUR	0.00755	0.00873	0.00952
200909181846	18/09/2009	18:46:07	19.20	-108.53	10	5.6	379 km al SUROESTE de PUERTO VALLARTA, JAL	JALISCO	0.01854	0.01380	0.03040
200909182135	18/09/2009	21:35:25	15.60	-97.50	16	4.6	46 km al SUR de RIO GRANDE, OAX	OAXACA	0.01393	0.00894	0.02262
200909192255	19/09/2009	22:55:16	32.58	-115.06	10	5.1	30 km al NOROESTE de S LUIS R COLORADO, SON	SONORA	0.00784	0.00472	0.01327
200909240716	24/09/2009	07:16:24	18.77	-107.01	20	5.3	262 km al OESTE de CIHUATLAN, JAL	JALISCO	0.01906	0.01253	0.01281

ID	Fecha (GMT)	Hora (GMT)	Latitud	Longitud	Prof. (km)	Mag.	Zona	Estado	PGA_NS (cm/s <sup>2</sup> )	PGA_EW (cm/s <sup>2</sup> )	PGA_Z (cm/s <sup>2</sup> )
200909260101	26/09/2009	01:02:56	14.83	-94.42	15	4.4	156 km al SUROESTE de TONALA, CHIS	CHIAPAS	0.00880	0.00946	0.01281
200909260403	26/09/2009	04:03:45	14.69	-94.40	33	4.5	169 km al SUROESTE de PIJIAPAN, CHIS	CHIAPAS	0.00925	0.00573	0.01742
200910020442	02/10/2009	04:42:07	14.78	-91.37	188	4.8	85 km al ESTE de CD HIDALGO, CHIS	CHIAPAS	0.00998	0.00999	0.01839
200910061722	06/10/2009	17:22:50	18.69	-107.68	32	5.4	333 km al SUROESTE de PUERTO VALLARTA, JAL	JALISCO	0.01154	0.00879	0.02166
200910080601	08/10/2009	06:01:07	30.46	-113.97	20	4.6	104 km al SUROESTE de PUERTO PENASCO, SON	SONORA	0.00609	0.00405	0.00990
200910080723	08/10/2009	07:23:35	16.04	-96.88	21	4.3	27 km al NORESTE de PUERTO ESCONDIDO, OAX	OAXACA	0.00743	0.00748	0.01988
200910122003	12/10/2009	20:03:52	16.56	-104.44	16	5.1	267 km al SUR de TECOMAN, COL	CHIAPAS	0.01879	0.01342	0.02169
200910130735	13/10/2009	07:35:41	14.54	-93.48	14	4.6	118 km al SUROESTE de MAPASTEPEC, CHIS	CHIAPAS	0.00543	0.00451	0.01091
200910140253	14/10/2009	02:53:15	30.16	-114.37	10	4.6	106 km al SURESTE de SAN FELIPE, BC	BAJA CALIFORNIA NORTE	0.00938	0.00479	0.01349
200910161027	16/10/2009	10:27:14	30.10	-114.04	14	4.6	128 km al SURESTE de SAN FELIPE, BC	BAJA CALIFORNIA NORTE	0.01461	0.01155	0.02044
200910220851	22/10/2009	08:51:20	18.81	-104.44	5	4.6	29 km al SUROESTE de MANZANILLO, COL	COLIMA	0.01102	0.00857	0.00853
200910240802	24/10/2009	08:02:23	19.25	-108.52	5	4.5	376 km al SUROESTE de PUERTO VALLARTA, JAL	JALISCO	0.00854	0.00502	0.01266
200910241458	24/10/2009	14:58:32	15.95	-106.57	10	4.3	418 km al SUROESTE de MANZANILLO, COL	COLIMA	0.00870	0.00536	0.01221
200910282333	28/10/2009	23:33:52	17.75	-103.08	12	4.3	86 km al SUROESTE de LA MIRA, MICH	MICHOACAN	0.02125	0.01777	0.01747
200910291052	29/10/2009	10:52:58	18.95	-95.69	20	5.5	21 km al NORESTE de ALVARADO, VER	VERACRUZ	0.00831	0.00810	0.00549
200911061755	06/11/2009	17:55:03	23.96	-108.68	3	4.5	133 km al SUROESTE de NAVOLATO, SIN	SINALOA	0.01882	0.00930	0.03354
200911212118	21/11/2009	21:18:45	14.05	-92.67	28	4.8	89 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS	CHIAPAS	0.00913	0.00901	0.01382
200911230156	23/11/2009	01:56:48	17.45	-101.72	10	4.6	28 km al SUROESTE de ZIHUATANEJO, GRO	GUERRERO	0.02942	0.02638	0.02065
200911230608	23/11/2009	06:08:34	18.05	-105.88	30	5.1	192 km al SUROESTE de CIHUATLAN, JAL	JALISCO	0.01077	0.00548	0.01443
200911240021	24/11/2009	00:21:04	13.57	-92.74	30	4.7	138 km al SUROESTE de CD	CHIAPAS	0.01254	0.00910	0.02256

ID	Fecha (GMT)	Hora (GMT)	Latitud	Longitud	Prof. (km)	Mag.	Zona	Estado	PGA_NS (cm/s <sup>2</sup> )	PGA_EW (cm/s <sup>2</sup> )	PGA_Z (cm/s <sup>2</sup> )
							HIDALGO, CHIS				
200911261908	26/11/2009	19:08:16	13.51	-90.40	40	5.7	229 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS	CHIAPAS	0.01533	0.01296	0.02389
200912021146	02/12/2009	11:46:18	13.53	-90.77	87	4.7	196 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS	CHIAPAS	0.01013	0.00837	0.01362
200912070202	07/12/2009	02:02:38	14.40	-92.89	30	5.0	85 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS	CHIAPAS	0.00940	0.01004	0.01613
200912081823	08/12/2009	18:23:59	18.92	-105.53	4	5.1	108 km al SUROESTE de CIHUATLAN, JAL	JALISCO	0.01241	0.01126	0.01840
200912081933	08/12/2009	19:33:56	18.97	-105.31	7	5.2	84 km al SUROESTE de CIHUATLAN, JAL	JALISCO	0.01365	0.01058	0.02418
200912121705	12/12/2009	17:05:15	18.99	-105.38	10	5.2	90 km al SUROESTE de CIHUATLAN, JAL	JALISCO	0.01105	0.01056	0.01384
200912131659	13/12/2009	16:59:11	26.44	-110.74	10	4.5	77 km al NORESTE de LORETO, BCS	BAJA CALIFORNIA SUR	0.00970	0.00837	0.01400
200912252255	25/12/2009	22:55:35	18.85	-105.43	5	4.7	100 km al SUROESTE de CIHUATLAN, JAL	JALISCO	0.00821	0.00767	0.01557
200912301848	30/12/2009	18:48:57	32.47	-115.19	6	5.7	22 km al NOROESTE de GPE VICTORIA(KM.43),BC(GS)	BAJA CALIFORNIA NORTE	0.01267	0.01535	0.02281
201001021609	02/01/2010	16:09:17	13.84	-92.68	26	4.6	109 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS	CHIAPAS	0.00902	0.00571	0.01011
201001041429	04/01/2010	14:29:47	18.70	-106.88	10	4.3	251 km al OESTE de CIHUATLAN, JAL	JALISCO	0.00782	0.00555	0.01054
201001060028	06/01/2010	00:28:29	13.89	-92.45	20	4.9	92 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS	CHIAPAS	0.00997	0.00990	0.01855
201001060917	06/01/2010	09:17:34	17.02	-100.85	24	4.7	32 km al SUROESTE de TECPAN, GRO	GUERRERO	0.01305	0.01386	0.00885
201001080850	08/01/2010	08:50:40	16.87	-94.11	147	4.6	45 km al NOROESTE de CINTALAPA, CHIS	CHIAPAS	0.00836	0.00986	0.01593
201001132230	13/01/2010	22:30:42	14.72	-94.39	16	4.5	166 km al SUROESTE de TONALA, CHIS	CHIAPAS	0.01222	0.00899	0.01596
201001181540	18/01/2010	15:40:31	13.79	-90.63	113	5.6	191 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS	CHIAPAS	0.02112	0.01291	0.02857
201001200932	20/01/2010	09:32:30	16.53	-94.86	93	4.7	7 km al NOROESTE de UNION HIDALGO, OAX	OAXACA	0.00470	0.00330	0.00851
201002010947	01/02/2010	09:47:44	16.27	-96.20	14	4.3	42 km al ESTE de MIAHUATLAN, OAX	OAXACA	0.00714	0.00585	0.00799
201003020459	03/02/2010	04:59:42	18.00	-98.21	55	4.7	29 km al SUROESTE de ACATLAN DE OSORIO, PUE	PUEBLA	0.00717	0.00678	0.01644

ID	Fecha (GMT)	Hora (GMT)	Latitud	Longitud	Prof. (km)	Mag.	Zona	Estado	PGA_NS (cm/s <sup>2</sup> )	PGA_EW (cm/s <sup>2</sup> )	PGA_Z (cm/s <sup>2</sup> )
201002090047	09/02/2010	00:47:40	15.89	-96.86	39	5.8	22 km al ESTE de PUERTO ESCONDIDO, OAX	OAXACA	0.02920	0.03396	0.02836
201002231052	23/02/2010	10:52:15	15.93	-91.11	25	5.5	103 km al SURESTE de LAS MARGARITAS, CHIS	CHIAPAS	0.00297	0.00307	0.00642
201002231516	23/02/2010	15:16:03	15.99	-91.22	26	5.4	89 km al SURESTE de LAS MARGARITAS, CHIS	CHIAPAS	0.01014	0.00995	0.01740
201002260152	26/02/2010	01:52:14	15.82	-96.91	9	4.4	17 km al SURESTE de PUERTO ESCONDIDO, OAX	OAXACA	0.00680	0.00530	0.01304
201003041923	04/03/2010	19:23:21	14.61	-94.37	16	4.6	172 km al SUROESTE de PIJIAPAN, CHIS	CHIAPAS	0.01588	0.01380	0.01999
201003192048	19/03/2010	20:48:46	17.23	-101.19	16	4.6	35 km al SURESTE de PETATLAN, GRO	GUERRERO	0.02063	0.02299	0.02198
201003212141	21/03/2010	21:41:20	15.43	-94.71	16	4.4	98 km al SURESTE de SALINA CRUZ, OAX	OAXACA	0.01015	0.00725	0.01302
201003241708	24/03/2010	17:08:29	13.75	-91.89	43	4.9	107 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS	CHIAPAS	0.01189	0.00616	0.01674
201003300914	30/03/2010	09:14:07	31.98	-113.59	10	4.8	74 km al NORTE de PUERTO PEÑASCO, SON	SONORA	0.00422	0.00313	0.00624
201004041214	04/04/2010	12:14:56	14.66	-94.44	15	4.7	174 km al SUROESTE de TONALA, CHIS	CHIAPAS	0.00483	0.00475	0.00726
201004042240	04/04/2010	22:40:42	32.48	-115.37	10	7.2	23 km al SURESTE de MEXICALI, BC	BAJA CALIFORNIA NORTE	0.05387	0.04837	0.04621
201004050007	05/04/2010	00:07:06	32.11	-114.51	28	4.9	47 km al SURESTE de S LUIS R COLORADO, SON	SONORA	0.01049	0.00809	0.01893
201004051114	05/04/2010	11:14:11	32.94	-116.29	10	5.1	53 km al NORESTE de TECATE, BC	BAJA CALIFORNIA NORTE	0.00979	0.00738	0.01610
201004051333	05/04/2010	13:33:06	32.80	-115.73	14	5.1	23 km al NOROESTE de SANTA ISABEL, BC	BAJA CALIFORNIA NORTE	0.01542	0.01059	0.01770
201004081644	08/04/2010	16:44:27	32.36	-115.33	20	5.4	23 km al NOROESTE de GPE VICTORIA(KM.43), BC	BAJA CALIFORNIA NORTE	0.01319	0.01119	0.02570
201004092305	09/04/2010	23:05:43	32.25	-115.17	11	5.0	8 km al SUROESTE de GPE VICTORIA(KM.43), BC	BAJA CALIFORNIA NORTE	0.02060	0.01923	0.02835
201004140516	14/04/2010	05:16:14	18.00	-101.73	35	4.9	43 km al NOROESTE de ZIHUATANEJO, GRO	GUERRERO	0.04496	0.03372	0.04322

ID	Fecha (GMT)	Hora (GMT)	Latitud	Longitud	Prof. (km)	Mag.	Zona	Estado	PGA_NS (cm/s <sup>2</sup> )	PGA_EW (cm/s <sup>2</sup> )	PGA_Z (cm/s <sup>2</sup> )
201004161001	16/04/2010	10:01:07	16.14	-98.41	10	5.1	45 km al SUROESTE de PINOTEPA NACIONAL, OAX	OAXACA	0.01841	0.01569	0.01408
201004170703	17/04/2010	07:03:29	20.38	-98.96	2	4.1	13 KM al N de ACTOPAN,HGO	HIDALGO	0.02455	0.05419	0.02441
201004181330	18/04/2010	13:30:58	14.21	-92.46	25	5.5	62 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS	CHIAPAS	0.00944	0.00754	0.01407
201004200228	20/04/2010	02:28:54	16.08	-98.37	4	5.0	44 km al SUROESTE de PINOTEPA NACIONAL, OAX	OAXACA	0.01127	0.01085	0.01828
201004210338	21/04/2010	03:38:18	14.21	-92.54	28	4.5	67 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS	CHIAPAS	0.01365	0.01030	0.01405
201005061014	06/05/2010	10:14:13	16.32	-98.46	11	4.4	COSTA GUERRERO-OAXACA	GUERRERO	0.00517	0.00376	0.00742
201005092046	09/05/2010	20:46:28	18.50	-103.02	5	4.3	COSTA DE MICHOACAN	MICHOACAN	0.00611	0.00559	0.00998
201005180529	18/05/2010	05:29:11	20.27	-99.04	5	4.3	11 KM al O de ACTOPAN,HGO	HIDALGO	0.05988	0.08473	0.05894
201005180532	18/05/2010	05:32:37	20.35	-98.92	5	3.6	10 KM al N de ACTOPAN,HGO	HIDALGO	0.03358	0.03331	0.03460
201005190039	19/05/2010	00:39:00	32.83	-115.81	14	4.8	MEXICALI, B C N	BAJA CALIFORNIA NORTE	0.00980	0.00746	0.01886
201005202111	20/05/2010	21:11:03	20.34	98.89	2	3.9	ESTADO DE HGO	HIDALGO	0.02310	0.02275	0.02712
201005252244	25/05/2010	22:44:35	17.09	-100.57	22	4.5	GUERRERO	GUERRERO	0.01149	0.01047	0.01376
201005252336	25/05/2010	23:36:14	17.15	-101.16	4	5.0	COSTA DE GUERRERO	GUERRERO	0.01763	0.01692	0.01703
201005312220	31/05/2010	22:20:18	17.47	-95.52	113	4.4	VERACRUZ-OAXACA	VERACRUZ	0.01032	0.00778	0.01354
201006060033	06/06/2010	00:33:23	18.39	-103.07	53	4.5	COSTA DE MICHOACAN	MICHOACAN	0.01988	0.01261	0.01561
201006080749	08/06/2010	07:49:32	15.26	-96.67	35	4.6	COSTA DE OAXACA	OAXACA	0.00849	0.00453	0.01638
201006130748	13/06/2010	07:48:47	22.76	-108.13	16	4.7	CORD. PACIFICO ORIENTAL	PACIFICO	0.01018	0.00701	0.01510
201006130841	13/06/2010	08:41:19	23.36	-107.91	15	4.3	COSTA DE SINALOA	SINALOA	0.00818	0.00769	0.01227
201006150426	15/06/2010	04:26:59	32.87	-115.82	16	5.7	MEXICALI, B C N	BAJA CALIFORNIA NORTE	0.01429	0.01236	0.02420
201006170712	17/06/2010	07:12:38	24.21	-109.15	10	4.9	GOLFO DE CALIFORNIA SUR	BAJA CALIFORNIA	0.01232	0.00934	0.01447

ID	Fecha (GMT)	Hora (GMT)	Latitud	Longitud	Prof. (km)	Mag.	Zona	Estado	PGA_NS (cm/s <sup>2</sup> )	PGA_EW (cm/s <sup>2</sup> )	PGA_Z (cm/s <sup>2</sup> )
								SUR			
201006281104	28/06/2010	11:04:32	17.89	-102.01	5	4.4	COSTA GUERRERO-MICH	GUERRERO	0.02580	0.01765	0.02011
201006300722	30/06/2010	07:22:27	16.24	-98.00	8	6.0	OAXACA	OAXACA	0.09580	0.09938	0.05405
201008192213	19/08/2010	22:13:11	14.31	-91.95	40	5.2	FRONTERA CON GUATEMALA	CHIAPAS	0.00025	0.00954	0.02164
201008240211	24/08/2010	02:11:55	18.44	-107.27	14	6.1	OCEANO PACIFICO	PACIFICO	0.00030	0.01038	0.01844
201008281846	28/08/2010	18:46:24	18.58	-107.24	15	5.0	OCEANO PACIFICO	PACIFICO	0.00024	0.00891	0.01512
201009081417	08/09/2010	14:17:25	18.51	-101.59	49	4.6	RIO BALSAS INFERIOR	GUERRERO	0.00145	0.11186	0.13200
201009141052	14/09/2010	10:52:20	32.17	-115.07	10	5.0	MEXICALI, B C N	BAJA CALIFORNIA NORTE	0.00028	0.00674	0.01457
201009142332	14/09/2010	23:32:01	21.46	-105.96	14	5.5	COSTA DE NAYARIT	NAYARIT	0.00031	0.01978	0.03800
201009150605	15/09/2010	06:05:46	15.58	-93.50	95	5.1	COSTA DE CHIAPAS	CHIAPAS	0.00030	0.00721	0.01389
201009150750	15/09/2010	07:50:07	29.90	-114.18	10	5.1	BAJA CALIFORNIA NORTE	BAJA CALIFORNIA NORTE	0.00034	0.01207	0.03445
201009151229	15/09/2010	12:29:27	21.38	-106.27	10	4.8	ISLAS MARIAS	NAYARIT	0.00031	0.00934	0.01205