



## INDICE GENERAL

<b>CAPITULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>CONSIDERACIONES GENERALES .....</b>	<b>1</b>
1.1.- INTRODUCCION .....	1
1.2.- ANTECEDENTES .....	5
1.3.- OBJETIVO GENERAL .....	5
1.4.- ALCANCE Y LIMITACIONES .....	5
<b>CAPITULO 2.....</b>	<b>6</b>
<b>GEOLOGIA DE LA REGION.....</b>	<b>6</b>
2.1._INTRODUCCIÓN. ....	6
2.2.- TIPOS DE FALLAS .....	6
2.3.-SÍNTESIS DE LA GEOLOGÍA DE VENEZUELA. ....	9
2.4.- MARCO SISMOTECTÓNICO REGIONAL .....	9
<b>CAPITULO 3.....</b>	<b>16</b>
<b>SISMICIDAD DE LA REGION. ....</b>	<b>16</b>
3.1.- BASE DE DATOS .....	16
3.2.- SISMOS QUE HAN AFECTADO LA REGIÓN OCCIDENTAL DEL PAÍS.....	16
3.3.-SISMOS REGISTRADOS INSTRUMENTALMENTE .....	23
3.4.-SISMICIDAD DE BAJA MAGNITUD .....	24
3.5.-SISMOS CON MAGNITUDES EN EXCESO DE 4.0 .....	24
3.6.- TASAS MEDIAS DE EXCEDENCIA.....	26
<b>CAPITULO 4.....</b>	<b>29</b>
<b>MODELO SISMOTECTÓNICO.....</b>	<b>29</b>
4.1.- CARACTERIZACIÓN DE FUENTES SÍSMICAS .....	29
4.2.- SISMO MÁXIMO PROBABLE .....	30
4.3.- MODELO ESTUDIADO .....	30
<b>CAPITULO 5.....</b>	<b>33</b>
<b>PROGRAMA CRISIS 2007.....</b>	<b>33</b>
5.1.-INTRODUCCIÓN .....	33
5.2.-MODELOS DE SISMICIDAD UTILIZADOS .....	34
5.2.1.-MODELO DE MODIFICACIÓN DE GUTENBERG-RICHTER .....	34
5.2.2.- MODELO CARACTERÍSTICO .....	34
5.3.-INTERPRETACIÓN PROBABILÍSTICA DE LAS RELACIONES DE ATENUACIÓN .....	35
5.4.- PROCEDIMIENTO DE INTEGRACIÓN ESPACIAL .....	36
5.5.- DISTANCIA A LA FUENTE .....	36
5.6.- LÍMITES DEL PROGRAMA. ....	37
5.7.- DATOS DE ENTRADA .....	38



ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

5.8.- EJECUCIÓN DEL PROGRAMA .....	39
5.9.- RESULTADOS.....	40
5.10.- LEYES DE ATENUACIÓN UTILIZADAS.....	40
5.11.- METODO PARA INTRODUCIR UNA LEY DE ATENUACIÓN .....	42
<b>CAPITULO 6.....</b>	<b>44</b>
<b>EVALUACION DEL PELIGRO SÍSMICO .....</b>	<b>44</b>
6.1.-INTRODUCCIÓN .....	44
6.2.-RESULTADOS OBTENIDOS .....	44
<b>CAPITULO 7.....</b>	<b>48</b>
<b>ESPECTROS DE RESPUESTA .....</b>	<b>48</b>
7.1.- INTRODUCCIÓN .....	48
7.2.- ESPECTROS DE RESPUESTA DE LA NORMA COVENIN 1756-2001.....	48
7.2.1.- <i>ESPECTRO ELÁSTICO</i> .....	48
7.2.2.- <i>ESPECTRO DE DISEÑO</i> .....	49
7.3.- ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICO DEL PROGRAMA CRISIS 2007.....	52
7.4.- ESPECTRO DE LA NORMA COVENIN 1756-2001 Y EL PROGRAMA CRISIS 2007.....	52
<b>CAPITULO 8.....</b>	<b>56</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>56</b>
8.1.- CONCLUSIONES .....	56
8.2.-RECOMENDACIONES.....	57
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO 3 .....</b>	<b>78</b>



## **AGRADECIMIENTOS**

### **ANDRY J. BLANCO RUIZ**

Gracias al Profesor Ing. Alfonso Malaver por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo especial de grado junto a él, impartirme sus valiosos conocimientos, brindarme formación tanto intelectual como personal con gran paciencia y mucha capacidad pedagógica.

Gracias al Profesor Ing. José Grases por su ayuda y consejos a lo largo de la realización de este trabajo, así como el excelente trato y disposición para mi persona.

Gracias al Profesor Ing. Oscar López por toda su ayuda, consultas y conocimientos que me brindó durante la realización de este trabajo.

Gracias a mis Padres: Jesús A. Blanco R. y Nelly M. Ruiz de Blanco por su apoyo permanente, a mis Hermanos Jesús y Andrés por sus consejos y ayudas en todo sentido, a mi Abuela Carlota por sus sabios consejos, a mi Tía Zolana por su ayuda y desinteresada colaboración, y en especial a mi Tío Pedro Duque que supo darme muy buenos consejos a lo largo de la carrera.

Y, finalmente gracias a mi compañero de tesis, gran amigo Antonio Matheus por su paciencia, constancia y gran dedicación; deseándole el mejor de los éxitos profesionales y personales; fue un gran placer y orgullo realizar este trabajo especial de grado junto a él.



## **ANTONIO J. MATHEUS FELIPE**

Agradecido con el Prof. Ing. Alfonso Malaver por el apoyo brindado durante la elaboración de este trabajo, por la enseñanza profesional y personal aportada.

Gracias al Prof. Ing. José Grases por su ayuda, aportando sus conocimientos y consejos.

Gracias al Prof. Ing. Oscar López por recibimos varias veces en su oficina y aclarar nuestras dudas.

Gracias a Adriana Bustamante, por estar siempre pendiente, ayudando, ofreciendo su apoyo incondicional y porque siempre tuvo la frase perfecta para dar ánimos durante los tiempos difíciles de la carrera y de este trabajo.

Gracias a Andry Blanco, compañero de trabajo y gran amigo por el apoyo durante la carrera y la elaboración del trabajo. Agradecido por su constancia y ánimo, le deseo el mejor desempeño en el campo laboral y personal y se mantenga siempre cerca, fue un placer contar con esta gran persona en la elaboración de este trabajo especial de grado.

Gracias a mis padres Antonio Matheus y Ana Felipe por su gran apoyo y constante preocupación durante la carrera y la vida en general, a mis hermanos Eduardo Matheus y Luisana Matheus por estar siempre pendientes aportando alegría y bienestar familiar.

Muy agradecido con los buenos amigos hechos dentro y fuera de la universidad, por formar parte del camino realizado en esta etapa universitaria.

Agradecido con FUNVISIS por permitirnos asistir al curso de amenaza Sísmica y brindarnos información de gran importancia para la elaboración de este trabajo.

Y, finalmente muy agradecido con la Universidad Católica Andrés Bello por servirme de casa de estudio y permitirme conocer a tanta gente importante, hacer los mejores amigos, madurar como persona y por absorber tantos conocimientos tanto académicos como de la vida.



## RESUMEN

En este Trabajo Especial de Grado se presenta el estudio de la amenaza sísmica para la ciudad de Guanare, estado Portuguesa, utilizando el programa de cálculo automatizado CRISIS elaborado en la Universidad Autónoma de México en el año 2007.

En la primera parte del trabajo se presenta una síntesis de la geología, la tectónica y la sismicidad de la región centro – occidental del país.

En la segunda parte se presenta la caracterización de las fuentes sísmicas y se define el modulo sismotectónico de la región en estudio.

En la tercera parte se presenta una descripción del programa de cálculo automatizado CRISIS 2007, el cual permite determinar la aceleración horizontal para el sitio en estudio, así como el espectro de respuesta para suelo tipo roca para cada una de las tres leyes de atenuación de aceleración utilizadas en este estudio. Los resultados de la evaluación de peligro sísmico para la ciudad de Guanare arrojaron una aceleración horizontal  $A_0=0,21g$  para un periodo medio de retorno de 475 años, el cual es inferior al  $A_0=0,25g$  prescrito por la norma COVENIN 1756:2001. Igualmente, se encontró, que las fallas que más contribuyen a la amenaza sísmica son las de Boconó Central y el Piedemonte Sur.

En la última parte del estudio, se presenta una figura donde se comparan el espectro de respuesta para suelos S1 de la norma COVENIN 1756:2001 y el arrojado por el programa CRISIS 2007, en la cual se puede apreciar que el espectro de la referida norma es más conservador que el obtenido con el programa CRISIS 2007. Así mismo, se presenta las conclusiones y recomendaciones derivadas de este estudio, entre las cuales se destacan: que el espectro de la norma COVENIN es conservador y que se debe incrementar el número de estaciones acelerográficas en el país para obtener en una cantidad adecuada de registros que permitan en el futuro elaborar una ley de atenuación de aceleraciones adaptada a las características sismotectónicas de nuestro país.



## CAPITULO 1 CONSIDERACIONES GENERALES

### 1.1.- INTRODUCCION

Aproximadamente el 70% de la población Venezolana habita en regiones sísmicamente activas con un nivel de peligro sísmico elevado y/o intermedio de acuerdo al mapa de zonificación con fines de Ingeniería de la norma COVENIN 1756-2001.

Este fenómeno ocurre a lo largo y ancho de las siguientes fallas que muestran actividad y sismicidad recientes (FIGURA 1.1):

- El sistema de fallas de Boconó y subsidiarias en el occidente de Venezuela, tiene una longitud de unos 600 km de largo y 100 km de ancho de los andes Venezolanos. Este sistema está conformado por una serie de fallas subparalelas rumbodeslizantes dextrales de orientación Noreste. También cuenta con una serie de fallas inversas con la misma orientación en los piedemontes andinos (Stephan, 1982; Aggarwal, 1983; Soulas, 1986, Beltrán & Giraldo, 1989).
- El sistema de fallas rumbodeslizantes dextrales de San Sebastián-La Victoria en el centro-norte de Venezuela, de orientación cercana a la Este-Oeste, con 400 km de longitud y un ancho de 70 km, coexistiendo con una serie de fallas subsidiarias rumbodeslizantes dextrales de orientación Noroeste-Sureste.
- El sistema de fallas rumbodeslizantes dextrales de El Pilar-Casanay en el Noreste de Venezuela, de orientación Este-Oeste, cuenta con una longitud de 400 km y 70 km de ancho, coexistiendo con una serie de fallas inversas de rumbo Noreste-Sureste, y con una serie de fallas rumbo deslizantes dextrales de orientación Noroeste. Entre estas fallas están la de El Soldado y Los Bajos en el Golfo de Paria entre el Noreste de Venezuela y Trinidad. Adicionalmente, una porción de litosfera de la placa Sur Americana esta subduciendo en sentido Noroeste por debajo de Trinidad y la Península de Paria en el extremo Noreste de Venezuela, alcanzando profundidades en el orden de los 150 km. En el Noroeste de Venezuela y Norte de Colombia, la placa del Caribe esta subduciendo en sentido Sureste bajo esos territorios, alcanzando profundidades similares.



ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

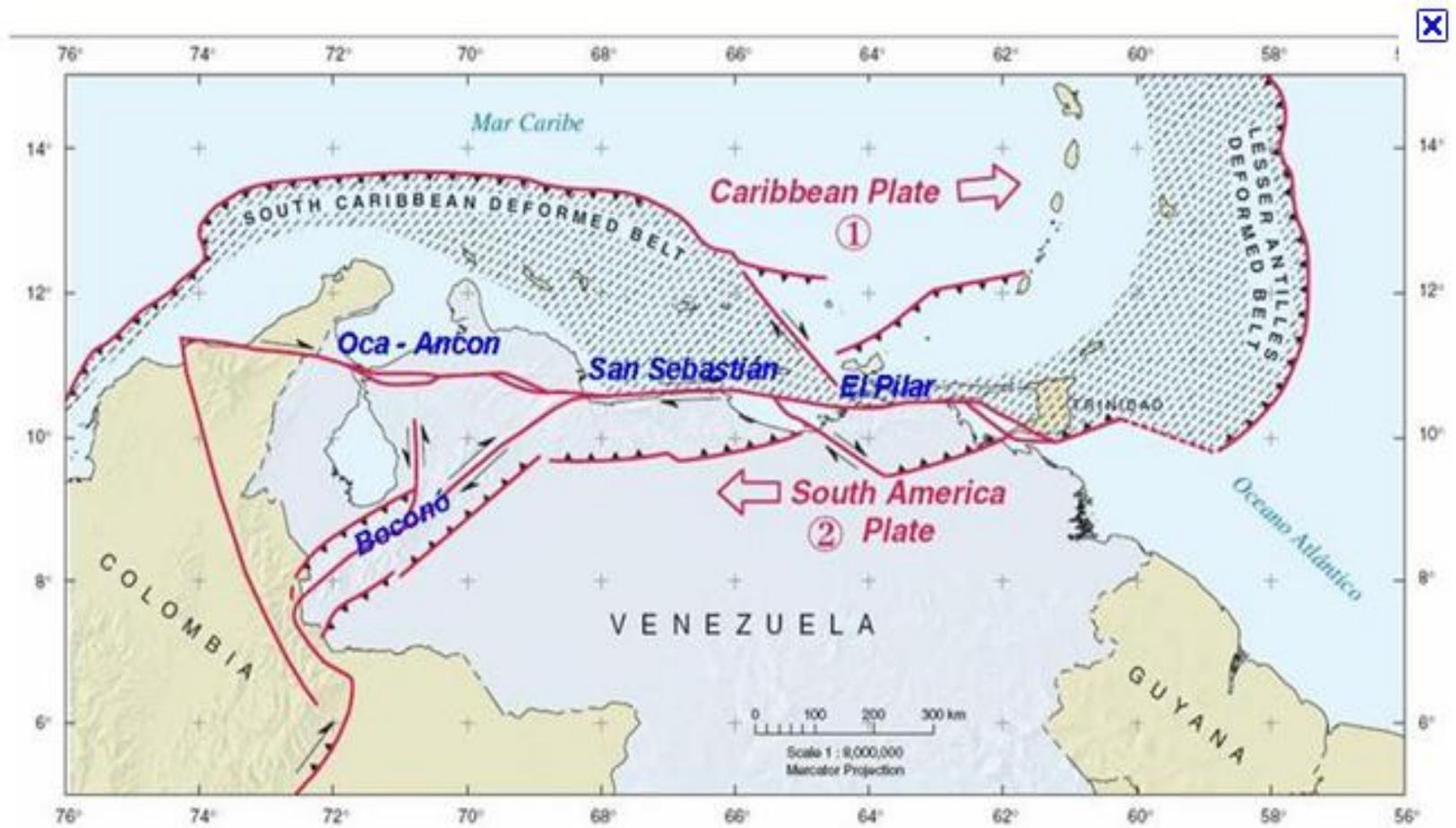


FIGURA 1.1 ESQUEMA DE LÍMITES DE PLACAS PARA VENEZUELA (Audemard et al, 2000)



Para poder predecir o determinar la forma en que va a vibrar el terreno durante un sismo, que intensidad tendrá el movimiento y su duración, es preciso conocer las características de las ondas sísmicas y la forma en que la energía es irradiada a través del medio sólido de la tierra.

La roca de la corteza terrestre tiene propiedades físicas que hacen que esta se deforme y vibre elásticamente cuando fuerzas externas actúan sobre ella. Cuando la roca se fractura debido a la deformación de la corteza, se libera energía acumulada en el material que se disipa principalmente en forma de calor; una menor parte se libera en forma de ondas sísmicas que se propagan a través del medio sólido. Las ondas sísmicas se propagan a partir de la zona donde se inició la ruptura, llamada foco o hipocentro, en todas las direcciones, hacen vibrar la superficie de la tierra o son percibidas por los seres vivos como temblores.

Existen principalmente dos tipos de ondas, las que se propagan a través del medio sólido de la tierra denominadas ondas internas y las ondas que se propagan por la superficie terrestre denominadas ondas de superficie (FIGURA 1.2).

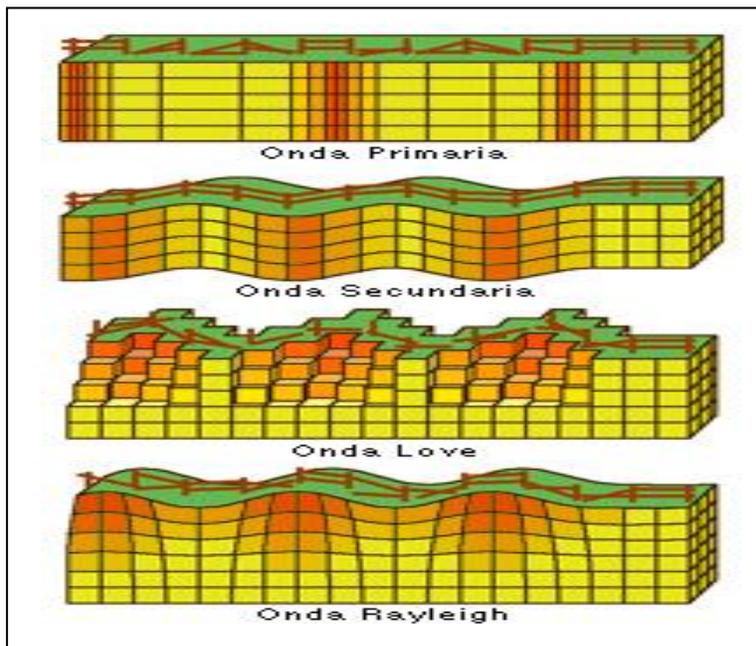
Las ondas de internas se dividen en dos tipos:

- **Ondas Primarias:** Este tipo de ondas hacen vibrar las partículas en el sentido de la propagación de las ondas; a este tipo de ondas también se le denomina ondas longitudinales o de compresión.
- **Ondas Secundarias:** Este tipo de ondas hacen vibrar las partículas en sentido perpendicular a la trayectoria de las ondas, produciendo esfuerzos de cizallamiento en el medio sólido que se propagan; a estas ondas también se les denomina ondas transversales o de corte.

Las ondas de superficie, se propagan por la superficie terrestre en forma análoga a como se propagan las ondas en el agua. El movimiento producido por las ondas de superficie está restringido a la parte superior de la corteza, a una profundidad de unos 30 km.

Este tipo de ondas se dividen en dos tipos:

- **Ondas Love u Ondas L:** presentan un movimiento similar al de las ondas secundarias, haciendo vibrar la partícula horizontalmente en sentido perpendicular a la dirección de propagación
- **Ondas Rayleigh u Ondas R:** Presentan un comportamiento similar al de las ondas de la superficie del agua, haciendo vibrar una partícula sobre un plano que apunta en dirección de la trayectoria de las ondas, con movimiento elíptico horizontal y vertical simultáneamente



**FIGURA 1.2 TIPOS DE ONDAS SÍSMICAS**

Las ondas Primarias tienen la capacidad de propagarse a través de un medio sólido así como también en un medio líquido. Debido al parecido que tienen con las ondas sonoras, cuando las ondas P emergen a la superficie desde el interior de la tierra, una pequeña fracción se transmite de manera sonora a la superficie, las cuales pueden ser percibidas por animales y por personas.

Las ondas primarias se transmiten a una mayor velocidad que las ondas secundarias, por esta razón las ondas P se perciben primero en la superficie. Cerca de la fuente (falla) las ondas P tienen una componente vertical mayor, pocos segundos después llegan las ondas S.

A medida que las ondas sísmicas viajan a través de la corteza, son reflejadas y refractadas en las zonas de contacto entre los distintos estratos de roca y suelo que atraviesan; cuando ocurre esto parte de la energía se convierte en otro tipo de onda. De esta manera cuando una onda P toca el fondo de un estrato de sedimentos, parte de su energía se transmite a la superficie como ondas P y otra parte se propaga a través de los sedimentos como ondas S.

A medida que las ondas se van alejando de la fuente (falla) causativa los distintos tipos de ondas se van separando entre sí, lo cual permite ser percibidas y diferenciadas fácilmente en el sismograma. Pero en el foco todas las ondas estarán mezcladas dando lugar a un sismograma complicado y difícil de interpretar.

En Venezuela, casi todos los sismos destructores han sido de origen superficial; entre los más recientes se encuentran, el terremoto de Cariaco del 9 de julio de 1997 y el de Caracas del 29 de julio de 1967.

Se realizara un estudio de amenaza sísmica para la ciudad de Guanare, estado Portuguesa, la cual de acuerdo a la zonificación sísmica de la norma COVENIN 1756-2001, está ubicada en la zona sísmica 4 por lo que le corresponde una aceleración  $A_0=0,25g$  y por ende tiene un peligro sísmico intermedio.



## **1.2.- ANTECEDENTES**

Actualmente para el estudio de la amenaza sísmica en nuestro país, se utilizan programas comerciales basados en métodos probabilísticos elaborados en los Estados Unidos. La idea de este trabajo de grado es utilizar el Programa CRISIS 2007 elaborado en la Universidad Autónoma Nacional de México (UNAM) por los investigadores M. Ordaz, A. Aguilar y J. Arboleda y a fin de tener en nuestro medio una herramienta similar a los programas comerciales pero sin costo, ya que el mismo es de uso libre. En la Escuela de Ingeniería Civil, se han realizado trabajos especiales de grado con objetivo similar a este, pero usando programas comerciales.

## **1.3.- OBJETIVO GENERAL**

Realizar la evaluación de la amenaza sísmica para la ciudad de Guanare ubicada en el estado Portuguesa, utilizando el programa de cálculo automatizado CRISIS 2007. Así que al culminar nuestro trabajo Especial de Grado, el programa de cálculo automatizado CRISIS quedara a disposición de la universidad para ser usado por los estudiantes de pregrado y postgrado en sus trabajos de investigación. En ese sentido se ha elaborado un manual de uso para el programa CRISIS 2007.

## **1.4.- ALCANCE Y LIMITACIONES**

El trabajo está limitado a evaluar la amenaza sísmica para la ciudad de Guanare, estado Portuguesa, usando el programa CRISIS 2007. Los resultados del estudio en términos de aceleraciones se compararan con los indicados en la norma COVENIN 1756-2001.



## CAPITULO 2 GEOLOGIA DE LA REGION

### 2.1.-INTRODUCCIÓN.

Una falla es una discontinuidad que se forma en un estrato cuando se produce una fractura en las rocas superficiales de la tierra, es decir cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de la roca.

Se denominan fallas activas aquellas en que han ocurrido desplazamientos durante los últimos 10.000 a 30.000 años. Las fallas inactivas son aquellas en que no se observa actividad sísmica ni rasgos morfoneotectónicos y en las que se puede determinar que no han ocurrido desplazamientos durante los últimos 40.000 años.

### 2.2.- TIPOS DE FALLAS

- **Inversas:** generadas por fuerzas de compresión perpendiculares a la falla, de movimiento horizontal preferentemente respecto al plano de falla, el cual típicamente forma 30 grados con la horizontal, el bloque superior es forzado a deslizarse hacia arriba y asciende respecto al bloque inferior (FIGURA 2.1).
- **Normales:** generadas por tracción, el movimiento es generalmente vertical respecto al plano de falla el cual típicamente forma 60 grados con la horizontal es decir es oblicuo. En este tipo de fallas el bloque superior desciende respecto al inferior o piso y se desliza hacia abajo siguiendo el ángulo de buzamiento de la falla (FIGURA 2.2).
- **Transcurrentes:** En este tipo de fallas la componente vertical del salto es despreciable y el movimiento predominante es horizontal. Se distinguen dos tipos de fallas: dextral y siniestral, dextrales son aquellas fallas donde el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha, mientras que las siniéstrales el movimiento que se describe es hacia la izquierda. También denominan falla transcurrente lateral derecha (right lateral strike slip fault) o falla transcurrente lateral izquierda (left lateral strike slip fault) según su movimiento relativo (FIGURA 2.3).

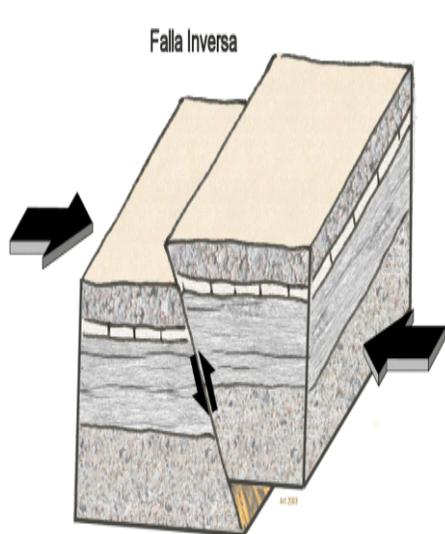


FIGURA 2.1 FALLA DE TIPO INVERSA

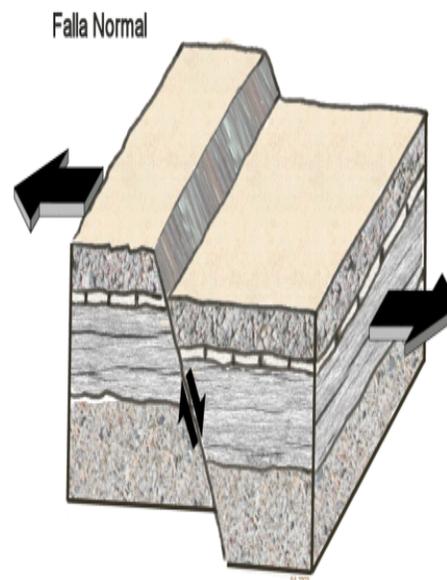


FIGURA 2.2 FALLA DE TIPO NORMAL

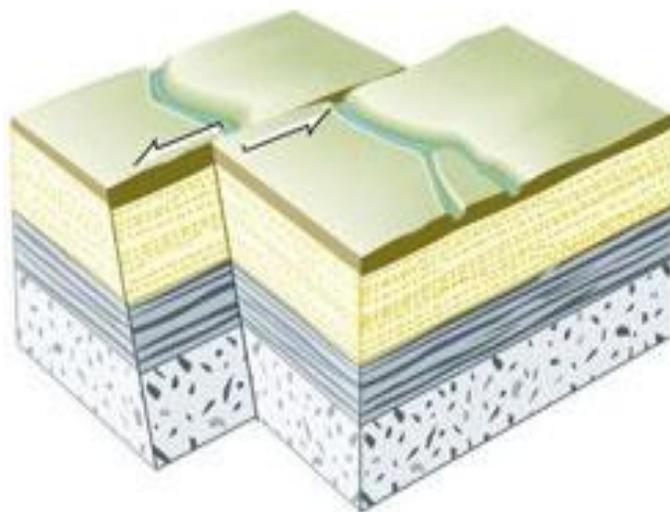


FIGURA 2.3 FALLA DE TIPO TRANSCURRENTE



**TABLA 2.1**  
**FALLAS ACTIVAS DE LA REGIÓN CENTRO-OCCIDENTAL DEL PAÍS**

Nº	FALLA	MAGNITUD MÁXIMA PROBABLE (Ms)	PROFUNDIDAD (H)	PERIODO DE RETORNO(AÑOS)
1	SAN BOCONÓ	7.2	15	300
2	EL TOCUYO	7.1	15	≥ 4100
3	TUÑAME	6.9	15	≥ 700
4	HUMOCARO	6.9	15	≥ 1700
5	PIE DE MONTE S.	7.1	15	5300
6	BOCONÓ NORTE	7	15	230
7	AROA	6.7	10	8000
8	BARQUISIMETO	7	10	≥ 6900
9	RIO GUARICO	7	15	≥ 3000
10	RIO EL TOCUYO	6.8	15	≥ 5000
11	HATO VIEJO	7.3	15	≥ 5000
12	LOS ARANGUES	7.1	10	≥ 4800
13	BURBUSAY	6.9	15	5000
14	VALERA SUR	6.7	15	≥ 1100
15	VALERA NORTE	6.9	15	> 1000
16	PIEDEMONTES N.	7	10	5700
17	ICOTEA	7.1	15	> 1500
18	OCA OCCIDENTAL	7.3	15	1000
19	BOCONÓ	7	10	> 1000
20	CORRIMIENTO F.	6.9	15	9750
21	DUACA	6.6	15	670
22	GUACAMAYA 2	6.8	15	1500
23	GUACAMAYA 1	6.8	15	1800
24	BOCONÓ C.	7.9	15	≥ 345
25	OCA ORIENTAL	7.5	15	≥ 1000
26	PICHAO	6.8	15	1500
27	MORÓN	7.2	15	300
28	ARAGUITA	7	15	≥ 6700
29	TACATA	7	15	2000
30	SANTA ROSA	7.1	15	≥ 2000



### **2.3.-SÍNTESIS DE LA GEOLOGÍA DE VENEZUELA.**

En Venezuela la sismicidad se reparte principalmente a lo largo de una ancha franja de unos 100 km aproximadamente definida por los sistemas montañosos andinos, centrales y orientales. Los sismos de la referida franja son superficiales, ya que profundidad es menor de 70 km.

Desde el punto de vista geodinámico, los tres sistemas orográficos mencionados corresponden al afrontamiento de dos placas tectónicas diferentes, estas son la Placa del Caribe al Norte y la Placa de América del Sur al Sur.

El límite principal entre estas dos placas se efectúa a través del sistema de fallas dextrales de Boconó (región occidental), San Sebastián (región nor-central) y El Pilar (región oriental); la velocidad del movimiento relativo es aproximadamente 1 cm/año (Soulas 1986). Como consecuencia del funcionamiento dextral de este sistema de fallas, la Placa del Caribe se desplaza hacia el este con respecto a la Placa de América del Sur.

### **2.4.- MARCO SISMOTECTÓNICO REGIONAL**

En la TABLA 2.1 se presentan los parámetros sismogénicos de las fallas activas o potencialmente activas a considerar en la evaluación del peligro sísmico en la ciudad de Guanare, Edo Portuguesa. Esta información proviene de trabajos publicados y sintetizados en el Mapa Neotectónico de Venezuela elaborado por FUNVISIS en el año 1993 (FIGURAS 2.4 y 2.5) y en el Mapa de Fallas Cuaternarias elaborado por Audermard et al. En el año 2000 (FIGURA 2.6). A continuación se presenta una síntesis de las características más resaltantes de las fallas más importantes anotadas en la TABLA 2.1.

#### **• FALLA DE BOCONÓ**

La falla activa dextral de Boconó es de orientación general N45 E, constituye el tramo principal del límite de las placas del Caribe y América del Sur.

En el estado Lara su trazado es bastante rectilíneo, a excepción del tramo Barquisimeto-Yaritagua (al norte de Cabudare), donde sufre una importante inflexión y adquiere una dirección aproximada "este-oeste, noreste-sureste" (EO-NE-SO). A partir de Yaritagua, esta falla recobra su orientación original, pero al norte de San Felipe se curva hacia el este y de esta manera se une con el sistema de fallas de San Sebastián.

El tipo de movimiento de la falla de Boconó es transcurrente dextral, por lo que la componente horizontal de dicho movimiento es predominante (la componente vertical es casi nula). La velocidad del desplazamiento dextral de la falla de Boconó, para el segmento Mérida-Puerto Cabello, es de 9mm/año (Schubert, 1982). El sismo máximo posible para esta falla es de 7.8 (Ms) con un periodo de retorno entre 300 y 400 años (Giraldo, 1993). Basándose en la geometría de la falla, en esta se pueden considerar tres posibles segmentos sismogénicos independientes, siendo de norte a sur:



- Tramos Sur: Mérida-La Grita: numerosos criterios neomórficos establecen la presencia y la actividad de la falla de Boconó entre Mérida y la frontera Colombo-Venezolana. Sin embargo, la existencia de un cambio de dirección de 90° en el trazado de la falla a nivel de la frontera implica una desaceleración del sistema y un problema para la libre propagación de la ruptura.
- Tramo Central: Barquisimeto-Mérida: corresponde al sector central de la falla, donde los mayores esfuerzos de estudios han sido realizados y por ende es el más conocido. La falla se reconoce en base a diferentes criterios geomórficos: escarpes de fallas, lomos de presión y obturación, valles lineales, drenajes y lagunas de fallas que han permitido establecer en primer lugar la actividad cuaternaria de la falla y en segundo lugar, su tipo de desplazamiento y velocidad.
- Tramo Norte: Barquisimeto-Morón: la falla en este tramo es bastante rectilínea y se encuentra flanqueando en casi 200 kilómetros por la Sierra de Aroa en el sur. En cercanías a Marín-Farriar, la falla cambia paulatinamente su orientación hasta hacerse E-W, en Morón, donde se une a la falla San Sebastián.

#### • FALLA SAN SEBASTIÁN

Esta falla presenta un accidente que ha sido reconocido a todo lo largo de la costa del litoral Central en base a levantamientos geofísicos obtenidos en lo esencial por Silver, et al. (1972 y 1975), por MARAVEN, y en perfiles sísmicos más superficiales efectuados cerca de la costa por Rial (1979) y Planesa (1975). Al este de Maiquetía, la falla de San Sebastián se extiende bajo el Mar Caribe en dirección Cabo Codera donde se conecta con la falla de El Pilar, y al Oeste en dirección de Morón para unirse con la falla de Boconó.

La falla de San Sebastián es responsable de la linealidad del trazado de la costa del Litoral Central y de la ausencia de plataforma continental a lo largo de la cordillera de la costa entre Cabo Codera y Morón, como respuesta a la transcurrancia dextral de la falla y al hundimiento del bloque norte,

Esta falla constituye el límite principal entre las placas del Caribe y Sudamérica; por lo tanto, se puede extrapolar para la velocidad de la falla de Boconó de 9 mm/año determinada en base a datos geológicos de superficie (Soulas, 1986b). Se estima para esta falla un sismo máximo probable de magnitud 7.8 con periodo de retorno de unos 320 años (Giraldo, 1993).

#### • FALLA DE GUACAMAYA

Esta falla constituye la traza Nor-Occidental del sistema de La Victoria. En ella se observa cortando rocas metamórficas desde el NE de Tinaquillo, donde se une con el corrimiento de Manrique, hasta la Fila de Guacamaya, al oeste de Valencia, donde fue definida como transcurrente dextral y normal. La prolongación de la falla Guacamaya hacia el este, puede extenderse hasta Mariara de acuerdo a la información geofísica. La evidencia más reciente a favor de su actividad tectónica, la constituye la sismicidad de baja magnitud



ocurrida, bajo forma de un pequeño enjambre de sismos someros, a lo largo de esta traza entre los años 1989 y 1990. A esta falla se le atribuye una velocidad de movimiento del orden de 0.5 mm/año, con un sismo máximo probable de 6.8 y periodo medio de retorno de 1500 años

- **FALLA RIO TOCUYO**

Esta falla es paralela a la de Boconó, y fue cartografiada por Stephan (1982) y estudiada con detenimiento por Giraldo (1985); la probabilidad de que esta falla intercepte la vía Barquisimeto- El Tocuyo es alta y se ubicaría en los kilómetros iniciales hacia el lado de Barquisimeto.

Según Giraldo, la falla de Rio Tocuyo aflora entre la localidad de Berlín y el kilómetro 50 de la carretera de Barquisimeto- El Tocuyo, según una dirección N 45°E siendo subparalela a la de Boconó. Esta falla pierde su identidad geomorfológica a la depresión de Quibor, pero reaparece al norte de Barquisimeto en la región de Duaca, y se prolonga hacia la localidad de Aroa. Entre las evidencias más importantes están las deformaciones cuaternarias asociadas a esta falla en las localidades de Berlín donde la falla corta un cono de deyección cuaternario en sentido dextral con desplazamientos en el orden de 40 a 70 metros.

- **FALLA DE BURBUSAY**

La falla de Burbusay, como la falla de Valera y de Humocaró, pertenece a un conjunto de fallas transcurrentes sinestrales de orientación N-S, que tuercen en su extremidad sur hacia el SW, hasta paralelizarse a la falla de Boconó. Este conjunto de fallas están ubicadas al norte de la falla de Boconó, entre la costa oriental del lago de Maracaibo y la ciudad de Barquisimeto.

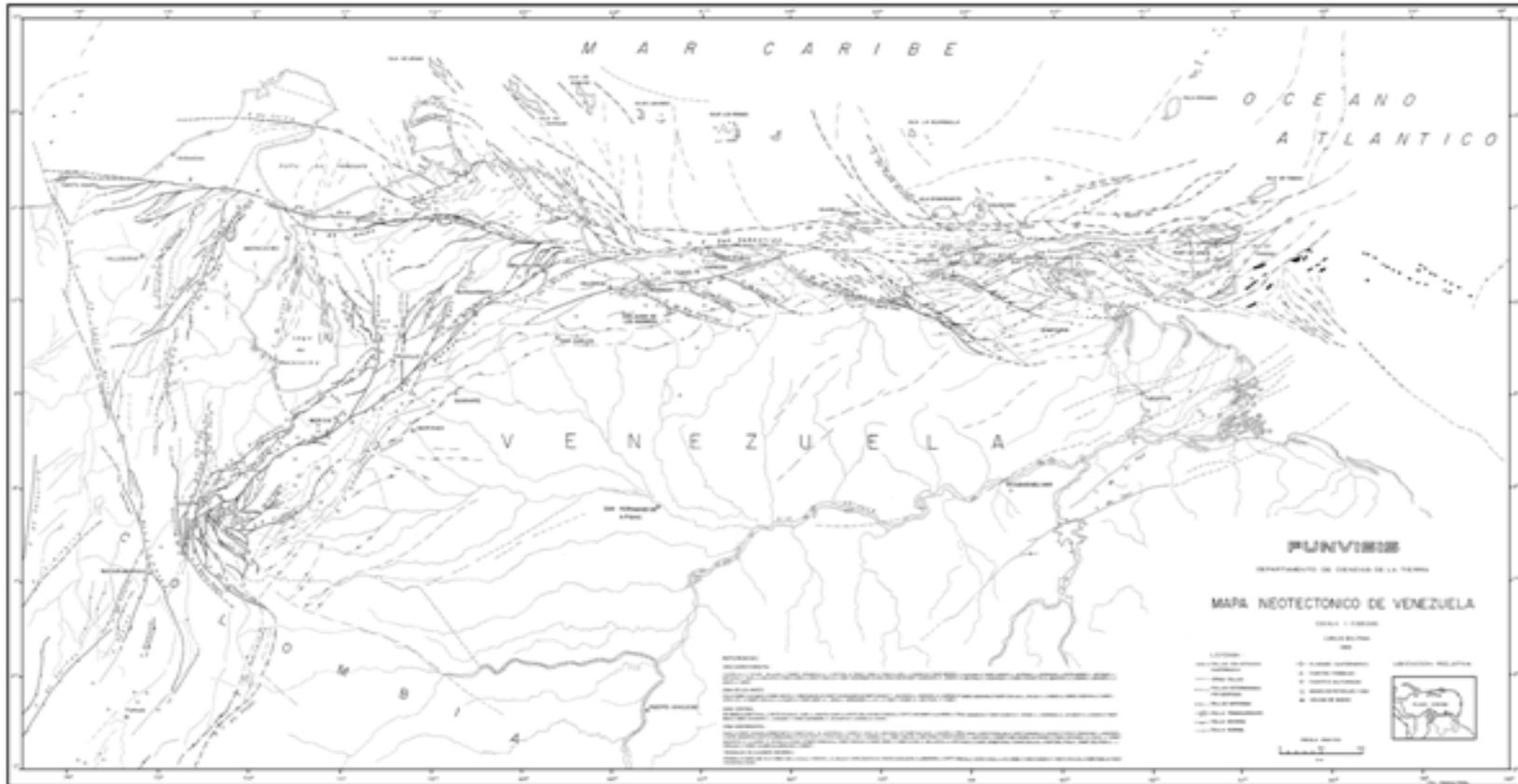
La velocidad de estas fallas se estima en el orden de 0.1 mm/año y la ocurrencia probable de un sismo máximo de 6.9 cada 5000 años. Esto debido a una ruptura de superficie de unos 40 km de longitud

- **FALLA HATO VIEJO**

Esta falla se presenta en el mapa neotectónico de Venezuela como de actividad cuaternaria con una longitud de más de 150 kilómetros de actividad dextral. Esta falla, estudiada por primera vez por Stephan (1982), se extiende en dirección NE, entre las poblaciones de Carache y San Pablo. A nivel de Carache se amortigua con la falla de Burbusay; en su extremidad NE se une con otras fallas en las cercanías de San Pablo corriendo paralela por los últimos 12 kilómetros desde el sur del embalse Atarigua. Audemard et al. (1998) mencionan que la falla de Hato Viejo desplaza las napas de la formación Barquisimeto de manera dextral, en aproximada 2.5 kilómetros; lo cual permite atribuirles una velocidad de desplazamiento muy inferior a 1 mm/año.



ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA



**FIGURA 2.4 MAPA NEOTECTÓNICO DE VENEZUELA (Funvisis, 1993)**



ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

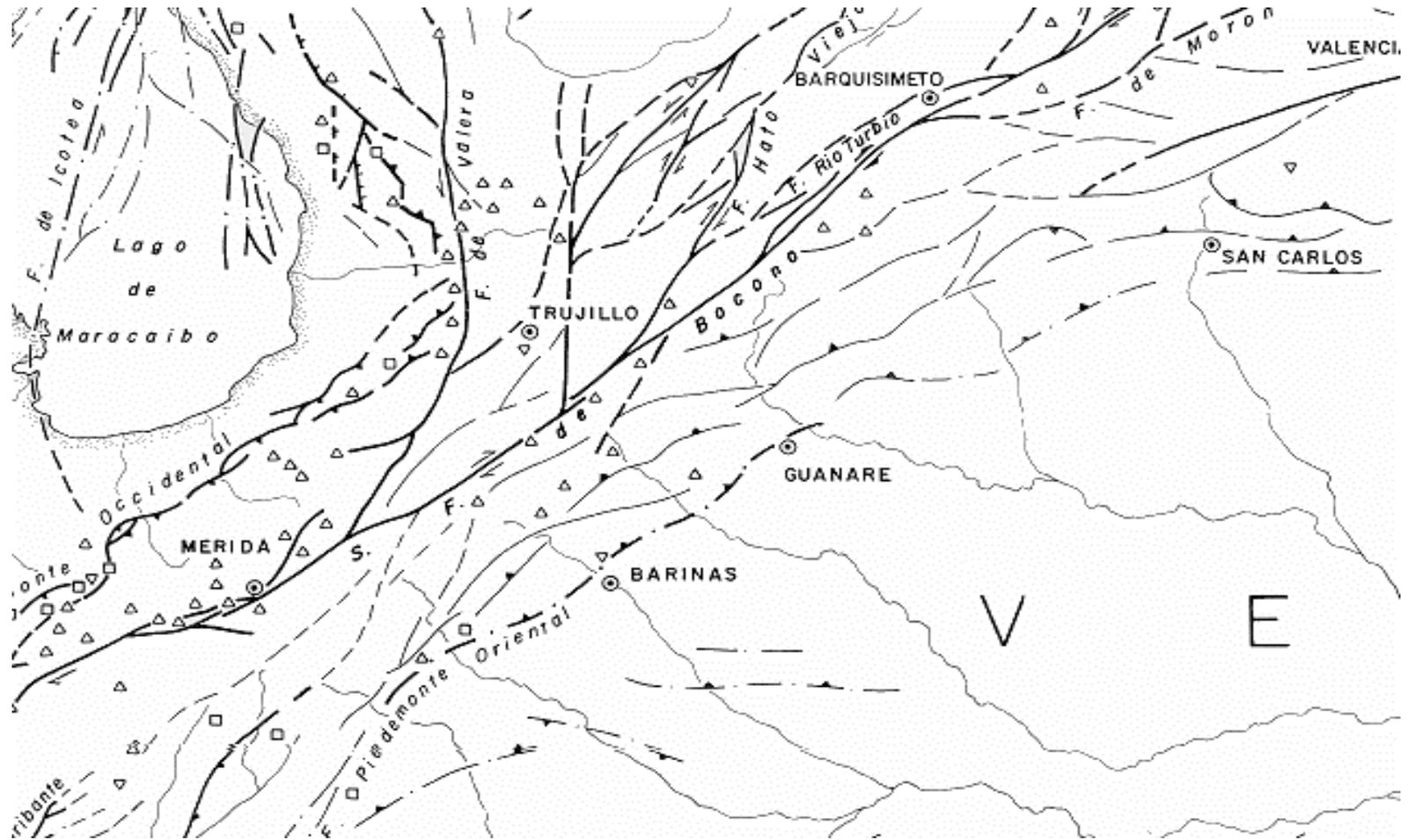


FIGURA 2.5 FALLAS ACTIVAS DE LA REGION ANDINA DE VENEZUELA (FUNVISIS, 1993)



ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

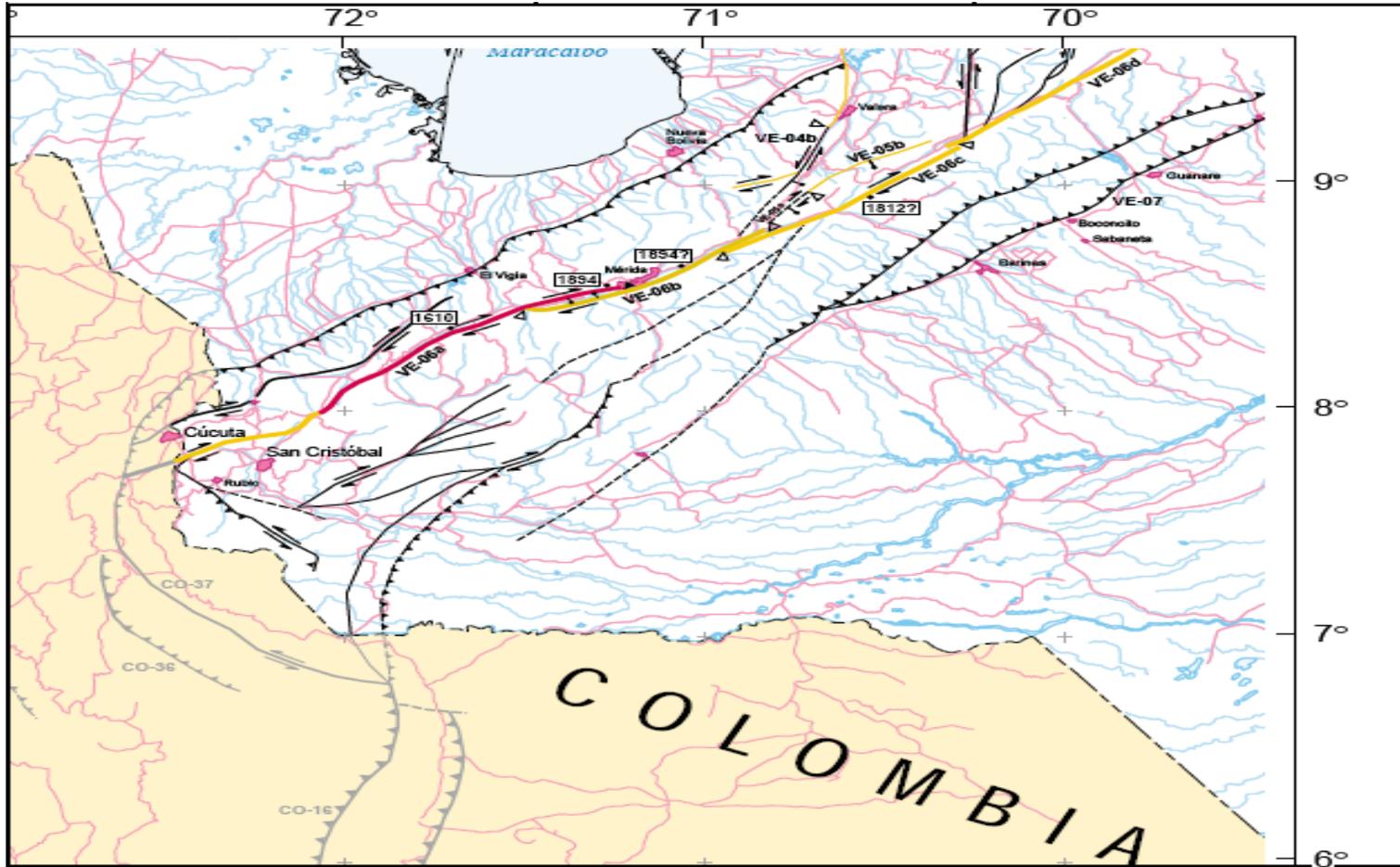


FIGURA 2.6 PRINCIPALES FALLAS ACTIVAS DE LA REGIÓN ANDINA DE VENEZUELA (Audemard, et al 2000)



### • FALLA TUÑAME

La falla de Tuñame es una antigua falla inversa, de buzamiento SE, que sitúa el Precámbrico encima del Paleozoico en la mayor parte de su trazado. Se extiende sobre unos 50 kilómetros, desde la región del Páramo Chorro Blanco, hasta la zona de Apartaderos donde tiende a unirse con la falla de Boconó. Está constituida por dos segmentos de orientaciones distintas, cada uno reactivado con características propias de la tectónica cuaternaria, por lo cual se consideran por separado en la evaluación de sus parámetros sismogénicos.

El segmento Sur, de orientación promedia NO30E, sigue el flanco derecho del valle del río Motatan, sobre una distancia de 20 kilómetros, entre Timotes y el picacho El Gavilán. Tiene un movimiento cuaternario, cuya componente vertical, de tipo normal, levanta el bloque Oeste. La componente horizontal es probablemente dextral, y podría ser dominante. La velocidad de deformación cuaternaria en este tramo de la falla no se ha podido calcular en ausencia de depósitos cuaternarios fallados; sin embargo, debe ser muy pequeña, ya que la falla se encuentra localmente sellada por depósitos relativamente antiguos. El segmento Norte, de orientación N065E y de buzamiento 60° a 80° SE, se extiende sobre unos 30 kilómetros, entre Timotes y la zona del Páramo Chorro Blanco. Corta oblicuamente una sucesión de quebradas con depósitos cuaternarios ampliamente desarrollados, por lo cual su actividad reciente es relativamente bien conocida. Este segmento presenta también una muy clara morfología diagnóstica de fallamiento activo.

Se trata de una falla de desplazamiento esencialmente normal (bloque Oeste levantado), con una muy pequeña componente dextral. Su velocidad se puede estimar entre 0,5 y 1 mm/año y se espera un sismo máximo probable de magnitud 6.9 en la misma terraza fallada de Tuñame.

### • FALLA DE HUMOCARO

Esta falla presenta características en estilo tectónico transcurrentes sinestrales de orientación N-S. Esta falla se encuentra cercana a la ciudad de Barquisimeto extendiéndose entre Humocaro y Atarigua. Se estimas muy preliminarmente, la ocurrencia probable de un sismo de magnitud Ms 6.8 con periodo de retorno superior a 1700 años.



### **CAPITULO 3. SISMICIDAD DE LA REGION.**

#### **3.1.- BASE DE DATOS**

Para el análisis de la información sismológica de la ciudad en estudio se ha tomado información de catálogos actualizados citados a continuación:

- a. FUNVISIS (2010). Boletines Sismológicos de Venezuela (1950-2009), Caracas.
- b. GRASES, J., ALTEZ, R. y LUGO, M. (1999). Catálogo de Sismos Sentidos o Destruidores en Venezuela, 1530-1998. Editorial Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería, UCV. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Vol. XXXVII - Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- c. FUNVISIS-INTEVEP (1989). Catálogo de Sismos basados en registros instrumentales, 1900-1988. Caracas.
- d. CERESIS (1985). Catálogo de Terremotos para América del Sur. Datos de hipocentros e intensidades. Venezuela. Volumen 8. Proyecto SISRA. Lima. Perú.
- e. CENTENO-GRAU, M. (1969). Estudios Sismológicos. Caracas.

#### **3.2.- SISMOS QUE HAN AFECTADO LA REGIÓN OCCIDENTAL DEL PAÍS.**

Debido a la violenta sacudida del terreno ciudades enteras han sido devastadas y reducidas a escombros además de pérdidas humanas. Los terremotos son catástrofes naturales que han provocado destrucción, desamparo y muerte a la humanidad desde tiempos históricos.

Los terremotos, que son producto de la dislocación o ruptura de la roca, han causado daños a nivel de catástrofe como la ocurrida en Tangshan, China en 1976 que causó la muerte a más de 300.000 personas y numerosas pérdidas materiales.

En nuestro país ocurrió un evento destructivo el 26 de Marzo de 1812 que afectó fuertemente a ciudades lejanas como Mérida, Barquisimeto, San Felipe y Caracas; además causó 4.000 pérdidas humanas.

Se procedió a una revisión de la información conocida sobre la descripción de sismos que han afectado a la región Occidental del país en tiempos históricos. A continuación se presenta una síntesis de los eventos sísmicos conocidos en tiempos históricos, cuyos efectos en el área de estudio la ciudad de Guanare, Edo. Portuguesa han alcanzado intensidades de Mercalli en exceso al grado III a IV.

A continuación se presenta una síntesis de los sismos más importantes que han ocurrido en el occidente del país.



### • TERREMOTO DEL 26 DE MARZO DE 1812

El día 26 de Marzo de 1812, a las cuatro de la tarde, un sismo de gran extensión estremeció buena parte del norte-central y occidental de Venezuela, arruinando las principales ciudades desde Caracas hasta Mérida.

Se asocian un numero alto de muertes para este sismo, destacándose las 10.000 de Caracas, las 3000 de la Guaira, las 5000 de Mérida, las 4000 de Barquisimeto y las 3000 de San Felipe; algunas de estas cifras han sido cuestionadas por parecer exageraciones del momento.

De acuerdo con Fiedler (1961) por lo extenso de los daños, debe haberse tratado de tres terremotos con epicentros en: Caracas, San Felipe-Barquisimeto y Mérida.

En un estudio posterior sobre la región de Caracas, Fiedler (1968) ubica el epicentro del evento más cercano al área de interés en la ciudad de Mérida, en las coordenadas  $8.5^{\circ}\text{N}$  -  $71.3^{\circ}\text{W}$  y se le asigna magnitud 6.4. Por la intensidad de daños conocidos otros autores asignan magnitudes mayores. Grases y Rodríguez (2001) asignan como más probable el rango de magnitudes 6.9 a 7.2 a este evento. En la FIGURA 3.9 se presenta el mapa de isosistas elaborado por Grases (1990), según el cual la ciudad de Guanare, cercana al área de interés, alcanzó una intensidad MM entre grado V y VI. Es importante señalar que en el mapa de isosistas elaborado por Altez (2005) de este sismo para la región andina, asigna a la ciudad de Guanare una intensidad MM entre grado III y IV.

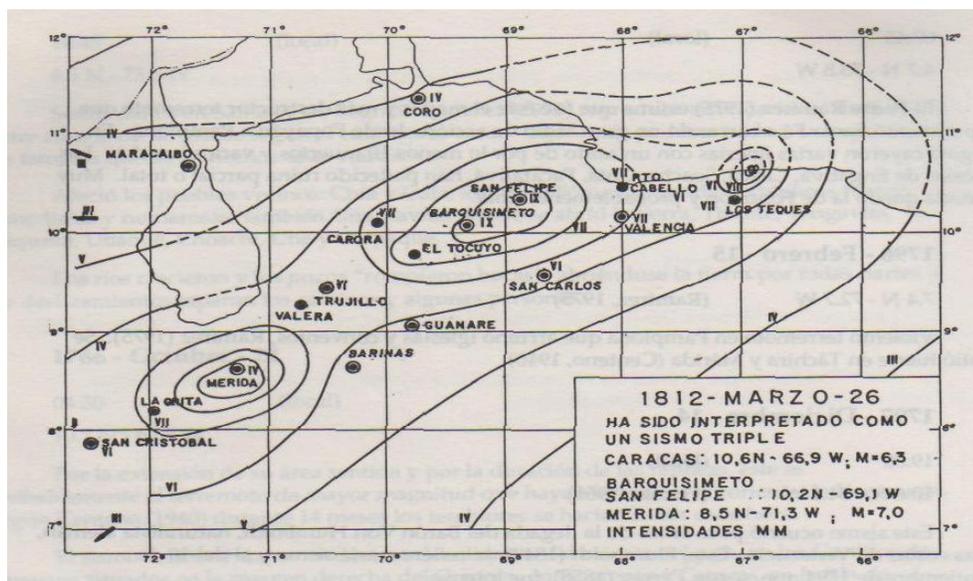


FIGURA 3.1 MAPA DE ISOSISTAS DEL TERREMOTO DEL 26 DE MARZO DE 1812



- **EL GRAN TERREMOTO DE LOS ANDES DEL 28 DE ABRIL DE 1894**

También conocido como el terremoto de Santa Cruz de Mora, es uno de los sismos más importantes de la historia sísmica de Venezuela.

Este sismo causó la destrucción de las poblaciones Merideñas de Santa Cruz de Mora y Zea. Así mismo, ocasionó más de 300 muertos y daños severos en muchas poblaciones de Mérida y Táchira

Este terremoto causó una gran cantidad de efectos locales en suelos, entre los cuales destacan: deslizamientos en tierra, caída de rocas, polvaredas y hundimiento de tierra en los valles de los ríos Chama y Mocoties; humaredas, caída de grandes árboles y eyecciones de agua y arena (licuación de suelos) en la llanura aluvial de la zona del sur del lago de Maracaibo, en las cercanías de El Vigía. En particular, resultan de sumo interés los daños a obras civiles y los efectos geológicos observados entre los kilómetros 28 y 60 de la vía férrea Santa Bárbara – El Vigía, donde la intensidad asignada fue de grado de VIII. En la ciudad de Mérida se registraron daños de nivel 8MM de intensidad y en la ciudad de Barinas la intensidad asignada fue de VII. El epicentro fue ubicado en la coordenada 71.7°W y 8.5°N y se corresponde aproximadamente con la traza principal de la falla de Boconó.

Para la ciudad de Guanare se asigna una intensidad de VI según la escala de Mercalli, a este evento se le asignó también una magnitud de 7.1 y una profundidad de 20 km (Fiedler, 1961)

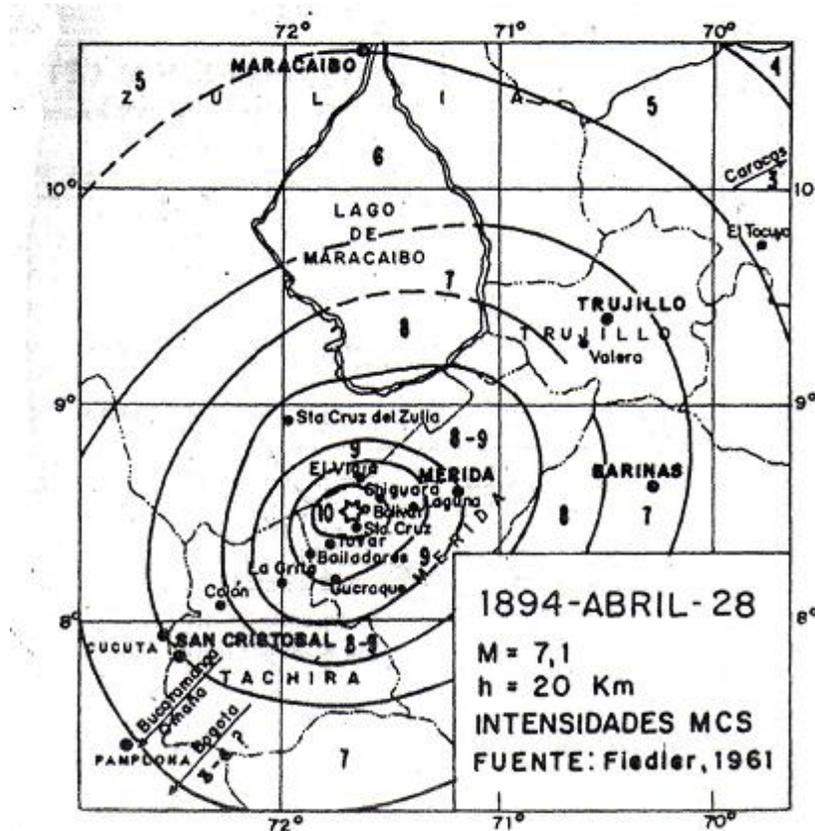


FIGURA 3.2 MAPA DE ISOSISTAS DEL GRAN TERREMOTO DE LOS ANDES DEL 28 DE ABRIL DE 1894

#### • EL TERREMOTO DE LA GRITA DEL 14 DE MARZO DE 1932

Este sismo ocurrió el día 14 del mes de marzo del año 1932, a las 5:40 p.m. causó estragos en varias poblaciones de los Estados Mérida y Táchira. La zona de daños se centro en La Grita, donde la mayoría de las edificaciones sufrieron averías, algunas con colapso parcial. En La Grita muchas edificaciones sufrieron daños estructurales importantes, especialmente la Iglesia. La intensidad máxima se registro en esta ciudad, con una asignación de grado IX. Los pueblos vecinos: Pueblo Hondo, Serobuco, Queniquea, San José de Bolívar, Pregonero, Tovar y Zea, sufrieron daños correspondientes a la intensidad VIII.

Daños menores se registraron en las poblaciones de Santa Cruz de Mora, Mesa Bolívar, Estanques, Lobatera, San Pedro del Rio, San Juan de Colón e independencia, para los cuales corresponde una intensidad de grado VII. En Mérida, San Cristóbal y Santa Ana, los efectos fueron más leves, correspondientes al grado VI, en la mayoría de estas localidades las edificaciones que más daño sufrieron fueron las iglesias, probablemente



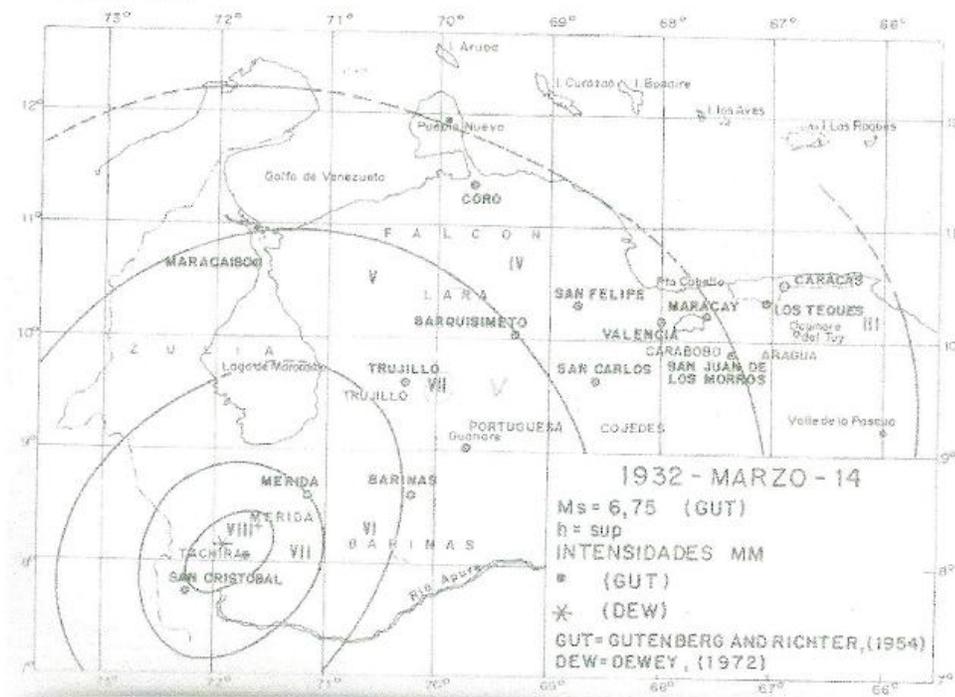
debido al hecho de que presentan mayor altura. En las ciudades de Barinas y Guanare la intensidad asignada fue de V.

Se reportaron numerosos casos de efectos geológicos: hundimientos de terreno, caídas de rocas, grietas de gran extensión, manifestaciones geotermales y fenómenos probables de licuefacción. En varios puntos salió vapor de agua y lodo; en un lugar llamado San Diego, al este de Serobuco se dijo que se abrió una grieta en la cual al ser introducida una rama verde, salía calcinada. En los alrededores del río y caserío de Onia, al suroeste de El Vigía, se reportaron observaciones de fuego y grandes grietas en el terreno, con caída de construcciones de palma. Diarios informativos afirmaron la aparición de una gran grieta en el terreno, de aproximadamente 20 Km de longitud, que pasaba cerca de Las Mesas y que a su paso abrió el Pico Zamuro, de unos 300 metros de altura, situado al noroeste de Serobuco. También se reporta una grieta de gran extensión que se observó cerca de Morotuto perdiéndose en las selvas de Umuquena.

Se reportaron numerosas manifestaciones geológicas, hubo un deslizamiento de tierra que de acuerdo con las declaraciones de los informantes, sugieren que pudo tratarse del borde de la terraza donde se asienta San Félix. Se observaron emanaciones de humo unos momentos antes del temblor e igualmente se reportaron agrietamientos y hundimientos del terreno. Estas observaciones sugieren la manifestación de procesos de licuefacción, aunque se debe considerar el hecho de la existencia de depósitos de carbón cerca de este lugar.

En el mapa de isosistas se asigna a la ciudad de Guanare una intensidad de V en la escala de Mercalli Modificada IMM).

Se reportaron 3 muertes en las áreas pobladas y otras 3 más causadas por derrumbes sobre el camino San Simón – La Grita. El epicentro macrosísmico se ubica cerca de La Grita, próximo a la falla Boconó, muy cercano a los dos epicentros calculados instrumentalmente: J Dewey (1972) en 8.29°N y 71.88°W con magnitud 6.75 mb y G. Fiedler (1961) en 8.20°N y 71.88°W con magnitud 6.5 mb.



**FIGURA 3.3 MAPA DE ISOSISTAS DEL TERREMOTO DE LA GRITA DEL 14 DE MARZO DE 1932.**

- **TERREMOTO DE EL TOCUYO DEL 3 DE AGOSTO DE 1950.**

El 3 de agosto de 1950 un fuerte terremoto de magnitud 6.9 sacudió la población de El Tocuyo causando 13 muertos y unos 20 heridos. El epicentro del sismo fue ubicado en la coordenada  $9.74^{\circ}\text{N}$  y  $69.83^{\circ}\text{W}$  con una profundidad focal de 27 km y fue precedido de actividad sísmica al occidente de Venezuela y en la región de la frontera con Colombia. El terremoto de El Tocuyo afectó numerosas localidades del Estado Lara y probablemente esté asociado a la falla de Boconó. Ocasionalmente daños en El Tocuyo (250 casas destruidas y 700 dañadas), Guárico, Anzoátegui (muy dañado). Humocar Alto y Humocar Bajo (muy dañados), Guaito, Chabasquen, Barquisimeto, Guanare, Carora, Biscuy y Carache. En el pueblo de Guaito apareció una fisura por donde brotó agua hirviente y sulfurosa de la tierra.

A la ciudad de Guanare se le asignó una Intensidad de VII según la escala de Mercalli Modificada (IMM), de acuerdo al mapa de isosistas mostrado en la Figura 3.4. Fiedler (1961) estimó la magnitud del sismo en 6.9 con una profundidad focal de 27 km.

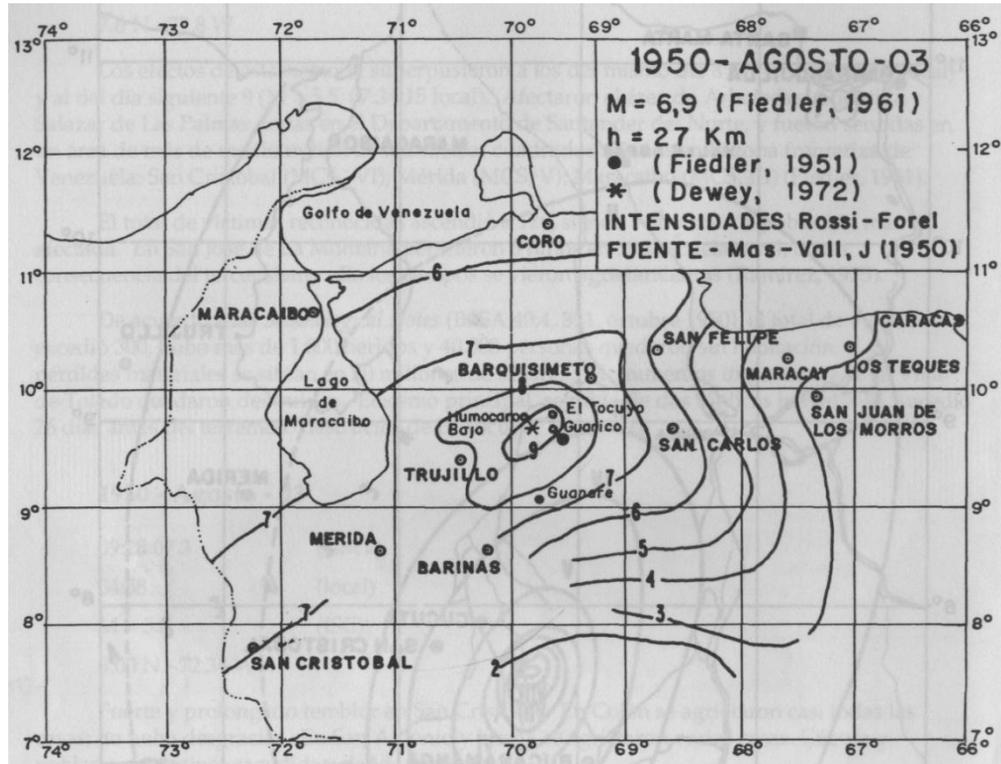


FIGURA 3.4 MAPA DE ISOSISTAS TERREMOTO DEL TOCUYO DEL 3 DE AGOSTO DE 1950.

- **SISMO DE GUANARE DEL 5 DE MARZO DE 1975**

Este sismo de magnitud 5.6 tuvo su epicentro según el ISC en las coordenadas 9.133°N y 69.866°W con una profundidad de 25 Km.

Las localidades más afectadas por este sismo fueron Guanarito, Sanare, Cabudare, La Mata, Barquisimeto, Duaca, El Tocuayo, Quibor, Los Humocaros y la Ciudad de Guanare, a esta última se le asignó una intensidad de VII según la escala de Mercalli Modificada. El sismo se sintió en Caracas, en particular algunas urbanizaciones del este de la capital. En Curarigua se reportaron algunas casas derrumbadas y en Maracas se reportaron 7 casas colapsadas y otras con fuertes daños.

- **SISMO DE SAN PABLO DEL 5 DE ABRIL DE 1975**

Este temblor ocurrió un mes después del acontecimiento del 5 de marzo de 1975 que afectó principalmente a la ciudad de Guanare; del estudio realizado en un área estimada de 5000 km<sup>2</sup>, se puede afirmar que las poblaciones más afectadas fueron Atarigua y San Pablo.



De acuerdo al trabajo de campo realizado en las distintas localidades afectadas, se le asignó intensidades de VIII según Mercalli a Atarigua ( $10.10^{\circ}\text{N}$  y  $69.82^{\circ}\text{W}$ ) y San Pablo ( $10.14^{\circ}\text{N}$  y  $69.70^{\circ}\text{W}$ ).

A las localidades de El Tigre, Santa Cruz de Cardón ( $10.06^{\circ}\text{N}$  y  $69.79^{\circ}\text{W}$ ), Pozo Salado ( $10.27^{\circ}\text{N}$  y  $69.72^{\circ}\text{W}$ ) y Los Yabos ( $10.10^{\circ}\text{N}$  y  $69.66^{\circ}\text{W}$ ) se le asignó una intensidad de Mercalli de VII.

A Guanare se le asignó una intensidad de V en la escala de Mercalli Modificada (IMM).

#### • SISMO DE CURARIGUA DEL 17 DE AGOSTO DE 1991.

El día sábado 17 de Agosto de 1991 a tempranas horas de la madrugada, ocurrió un temblor de magnitud 5,0 Ms. El epicentro fue localizado por FUNVISIS, en las coordenadas  $10.07^{\circ}\text{N}$  y  $70.03^{\circ}\text{W}$  ( $9.98^{\circ}\text{N}$  y  $70.14^{\circ}\text{W}$  según ISC), y una profundidad focal de 16.2 Km. Tal ubicación corresponde a los alrededores de Curarigua, pequeña población del estado Lara (Ferioli y Lugo, 1991).

El movimiento principal produjo caída de rocas desde las laderas de algunas colinas, en las cercanías del área epicentral. Algunas grietas en el terreno, de poca extensión, se observaron grietas menores en algunas viviendas, caídas de friso, se observaron daños en elementos estructurales.

### 3.3.-SISMOS REGISTRADOS INSTRUMENTALMENTE

El registro instrumental en nuestro país se inicia con el sismo del 29 de Octubre de 1900. Durante algo más de medio siglo, solo se dispone de sismos registrados por la red mundial de los cuales hay constancia de los listados de ISC.

En los Boletines del Observatorio Cagigal (1957-1972) y de FUNVISIS (1983-2007) puede considerarse que se encuentra la estadística de los sismos registrados durante el último medio siglo.

El análisis de la distribución de epicentros revela que en la parte suroccidental de los Andes, al suroeste del sistema de fallas de Valera, la actividad sísmica está controlada por los sistemas de fallas de Piedemonte Oriental y Piedemonte Occidental; entre ellas discurren las fallas de Boconó, Uribante, Caparo y otras. Al este de las fallas de Valera, sur de la falla de Oca-Ancón y noreste de Boconó (central y Norte), hay una concentración de actividad que representa un porcentaje elevado de los más de dos mil sismos registrados en el último medio siglo.



### 3.4.-SISMICIDAD DE BAJA MAGNITUD

Se han considerado confiables los sismos de magnitud ( $M \geq 3.0$ ) registrados en la región desde 1950 en adelante; éstos totalizan 3224 eventos con magnitudes que ocasionalmente exceden 4,0 entre los años 1964 y 2009; del total anterior solo unos 199 exceden  $M= 4.0$ . Su tasa media de excedencia entre 1975 y 2009 es del orden de 2.66 eventos /año. Sismos con magnitudes mayores que 4,5 se consideran completos desde 1964. La distribución geográfica de epicentros se da en la FIGURA 3.5.

### 3.5.-SISMOS CON MAGNITUDES EN EXCESO DE 4.0

La estadística de eventos en exceso de 4.0 requiere incorporar eventos para los cuales no siempre se dispone de registros instrumentales.

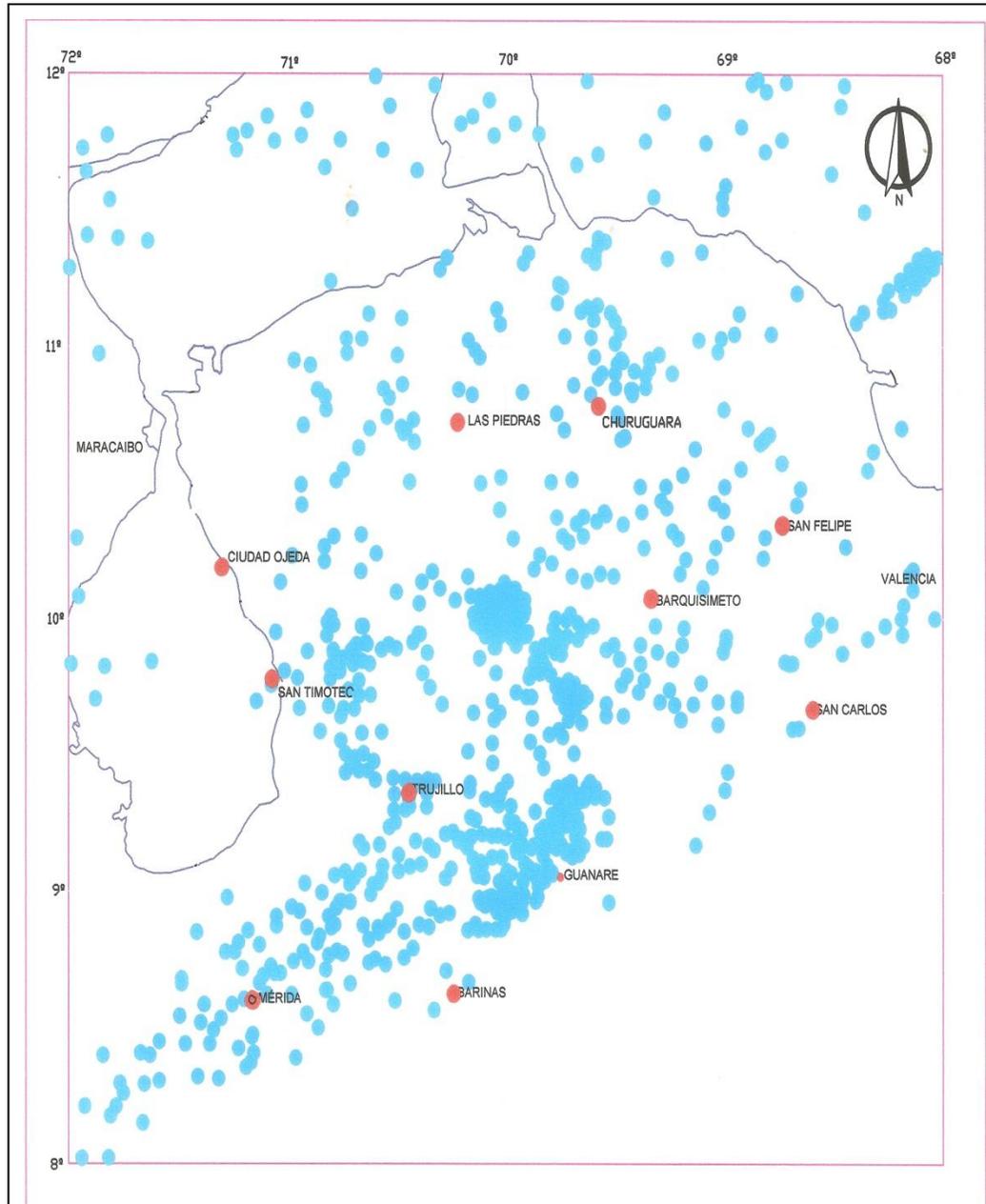
En la Tabla 3.1 se recoge la estadística sobre sismos conocidos en el cuadrángulo estudiado:  $8,0^{\circ}$ - $11,0^{\circ}$  N y  $68,0^{\circ}$ - $72,0^{\circ}$  W. En ese cuadrángulo está contenida la ciudad de Guanare. En las dos últimas columnas de la referida tabla, se señalan los rangos más probables de tasas de excedencia para las magnitudes indicadas.

**TABLA 3.1**  
**ESTADÍSTICA DE LA SISMICIDAD EN EL CUADRÁNGULO**  
 **$8,0^{\circ} - 11,0^{\circ}$ N y  $68,0^{\circ} - 72,0^{\circ}$ W**

Rango de Magnitudes	Lapso de Tiempo de información Confiable	Numero de Eventos	Tasa de Excedencia (1/año)
4	1964 - 2009	121	2.6888
4.5	1964 - 2009	50	1.1111
5	1964 - 2009	21	0.4667
5.5	1975 - 2009	6	0.1764
6.6	1950-2009	1	0.0169



ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA



**FIGURA 3.5 MAPA DE EPICENTROS DE SISMOS CON  $M \geq 3$  EN EL CUADRÁNGULO 8,0 N°-11,0°N Y 68,0 W° 72,0 °W**



### 3.6.- TASAS MEDIAS DE EXCEDENCIA

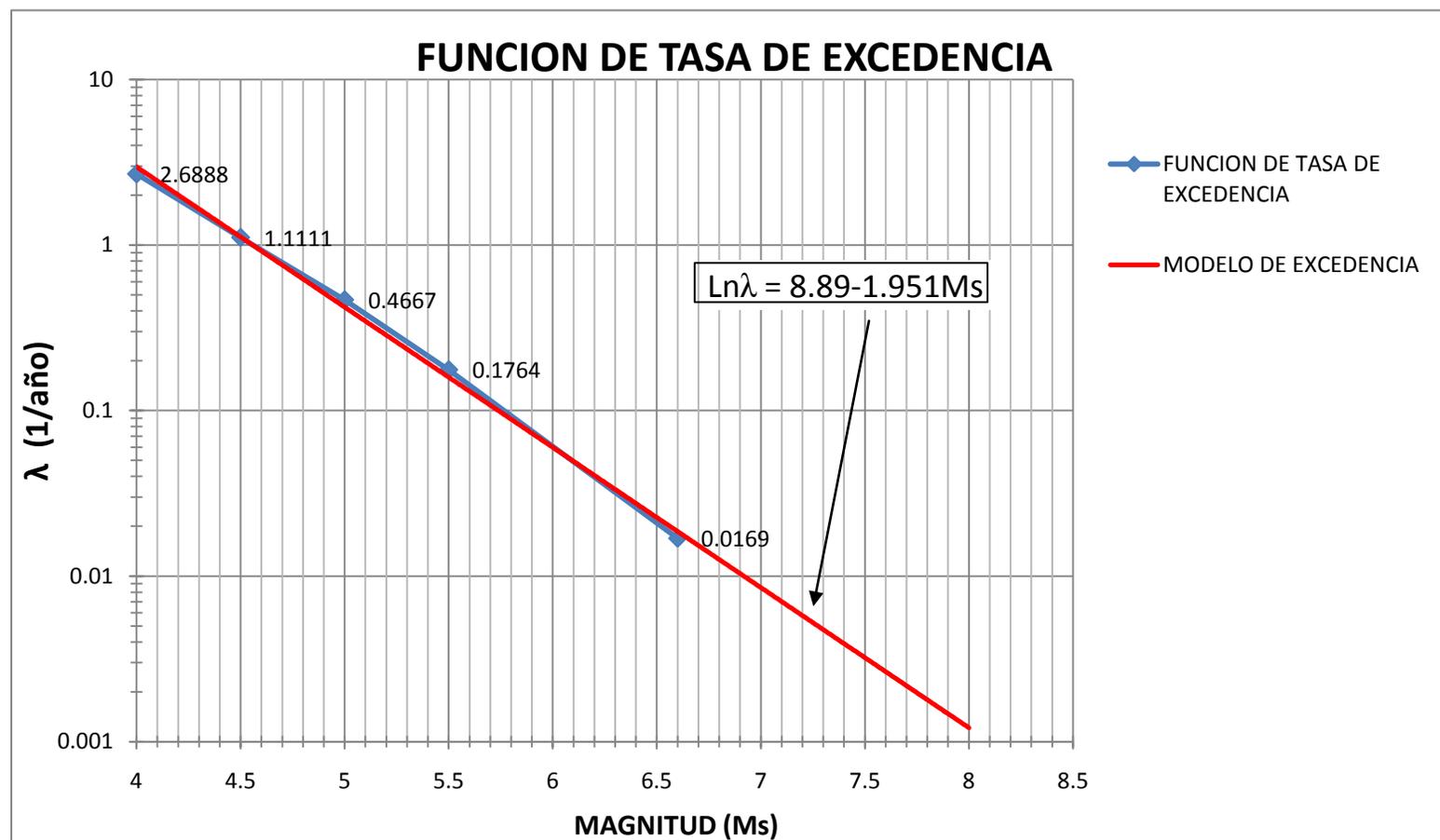
De acuerdo con las bases de datos que se han consultado, en el cuadrángulo que contiene el área de interés comprendida entre los 8°N-11°N y 68°W-72°W, se han identificado 30 fallas activas (véase CAPITULO 2).

La evaluación de la historia sísmica conocida permite estimar los lapsos de completitud que se dan en la TABLA 3.2. Se incluyen allí resultados de evaluaciones recientes (Grases y Rodríguez, 2001).

De este modo, la base de datos que se reporta en la FIGURA 3.5 revela que en la región Centro-Occidental existe un área geográfica sísmicamente activa. La estadística de eventos es la que se sintetiza en la TABLA 3.2 y la FIGURA 3.6. La sismicidad promedio ha sido cuantificada para los 5 umbrales de magnitud que se dan en la TABLA 3.2 y los resultados obtenidos se presentan en la FIGURA 3.6.

**TABLA 3.2**  
**LAPSOS DE COMPLETITUD EN EL ÁREA DE LA REGIÓN**  
**CENTRO-OCCIDENTAL DE VENEZUELA**

MAGNITUD (Ms)	LAPSO DE OBSERVACIÓN
$\geq 4$	1962 - 2009
$\geq 4,5$	1964 - 2009
$\geq 5$	1965 - 2009
$\geq 5,5$	1950 - 2009
$\geq 6$	1950 - 2009



**FIGURA 3.6 TASA DE EXCEDENCIA ANUAL DE MAGNITUDES  $M_s$  Y LAPSOS DE OBSERVACION EN EL CUADRANGULO  $8^{\circ}\text{N}$ - $11^{\circ}\text{N}$  Y  $68^{\circ}\text{W}$ - $72^{\circ}\text{W}$**



Del mapa de epicentros que se muestra en la FIGURA 3.5 se desprende que la actividad sísmica de la región Centro-Occidental durante el presente siglo, se ha concentrado en ciertas áreas. De este análisis basado en la información disponible se observa que hasta el año 2009 se han reportado más de 2200 sismos con magnitud mayor o igual a 3, 338 con magnitud mayor o igual a 4, 23 con magnitud mayor o igual a 5 y 10 con magnitud igual o mayor a 5.5.

En la TABLA 3.1 se presenta la tasa acumulada de eventos sísmicos desde 1950 hasta 2009. El lapso considerado para el cálculo de las tasas medias (1/año) es función de la magnitud  $M_s$ , según la evaluación de la completitud que se muestra en la TABLA 3.2. Los valores anotados en la última columna de la TABLA 3.1 se presentan gráficamente en la FIGURA 3.6. De esta figura se describe en forma aproximada la envolvente de los valores calculados en la siguiente expresión:

$$\ln\lambda = 8.89 - 1.951M_s \quad \text{para } M_s \leq 6.6 \quad (3.1)$$

La fórmula antes mostrada sintetiza la actividad sísmica conocida en el cuadrángulo seleccionado. El empleo de esta fórmula conduce al modelo sismotectónico seleccionado.



## **CAPITULO 4**

### **MODELO SISMOTECTÓNICO**

#### **4.1.- CARACTERIZACIÓN DE FUENTES SÍSMICAS**

Analizada la información geológica y sismológica recopilada, se estableció una correlación aproximada entre las fallas activas identificadas y la actividad sísmica superficial de la región en estudio para definir el correspondiente modelo sismotectónico

De una manera general, las fuentes sísmicas incorporadas al referido modelo se han identificado como aquellas áreas o lineamientos que muestran evidencias de actividad sísmica bien sea con base al estudio neotectónico realizado, al conocimiento de los efectos de sismos pasados o en registros instrumentales del último siglo.

En la FIGURA 4.1 se presenta esquemáticamente la geometría de las 30 fallas incorporadas en el modelo sismotectónico de la región Centro-Occidental del país.

Para el cálculo de la amenaza sísmica de la región Centro-Occidental, se adoptó un modelo en el cual se reconocen las evaluaciones realizadas por geólogos especialistas en neotectónica, especialmente en lo referente a las fallas de Boconó Central y El Piedemonte Sur. Por razones de su mayor velocidad de desplazamiento asignada, de las mayores longitudes de rotura esperadas y, de los mayores sismos máximos esperados, la contribución de la falla Boconó Central resulta predominante en el sitio en estudio.

En la FIGURA 4.1 se presentan en forma esquemática las fallas que conforman el modelo sismotectónico para la región en estudio, cuya identificación se corresponde con la indicada en la TABLA 2.1. El valor máximo de la magnitud para cada falla está basado en la sismicidad histórica y/o en evidencias geológicas utilizando correlaciones entre magnitud y longitud de falla.

Tales valores definen truncaturas en las relaciones de recurrencia que describen la distribución del número acumulado de sismos de diferentes magnitudes, debidamente caracterizado por los valores de la ECUACIÓN 3.1, éstos valores están respaldados por el registro histórico de sismos en la región centro-occidental de Venezuela (véase SECCIONES 3.2 y 3.3).

Es sabido no obstante, que si bien la historia de sucesos es aleatoria en el tiempo, los grandes sismos requieren un tiempo de espera considerable. Se postula que estos hiatos sísmicos son consecuencia de un proceso de acumulación progresiva de energía de deformación hasta alcanzar valores que exceden la capacidad portante de las zonas de falla. De aquí que, áreas que se hayan mantenido sísmicamente inactivas durante largo tiempo, pudieran ser más propensas a un futuro gran sismo que aquellas en las cuales hayan sucedido grandes sismos en tiempos recientes. Las implicaciones de lo antes anotado en la evaluación de la peligrosidad sísmica son importantes, ya que es un hecho aceptado que el mero análisis estadístico puede no reflejar adecuadamente la peligrosidad real de las fuentes en cuestión.

Esta consideración se ha tenido presente en la caracterización de la actividad de las fallas cercanas al sitio en estudio tales como: las fallas de Boconó Central, y El Piedemonte Sur, lo cual influye en la actividad global del modelo adoptado.



Teniendo además presente las incertidumbres propias de la asignación de velocidades de desplazamiento en los accidentes activos más importantes del área, se selecciono un modelo que describe conservadoramente la actividad regional. Los valores adoptados se dan en la SECCIÓN 4.3.

#### **4.2.- SISMO MÁXIMO PROBABLE**

En base a las evaluaciones hechas de sismos históricos, se ha seleccionado el sismo máximo observado en cada una de las fuentes donde esto ha sido posible, ignorando las inevitables incertidumbres de esa decisión. Ese valor se comparó con el sismo máximo probable asignado a cada fuente sísmica según la información tectónica disponible y con base en esas dos fuentes se asignaron los sismos máximos probables a cada fuente sísmica en el modelo sismotectónico.

#### **4.3.- MODELO ESTUDIADO**

Tomando en consideración las observaciones anotadas en la SECCIÓN 4.1 y la información disponible, se decidió adoptar el modelo que se da en la TABLA 4.1 para describir la actividad sísmica en la región en estudio.

Para los valores dados en la TABLA 4.1, la tasa media anual se ha inferido a partir de la sismicidad histórica a nivel regional y las velocidades de desplazamiento de las fallas se han obtenido de trabajos geológicos realizados en la región en estudio.

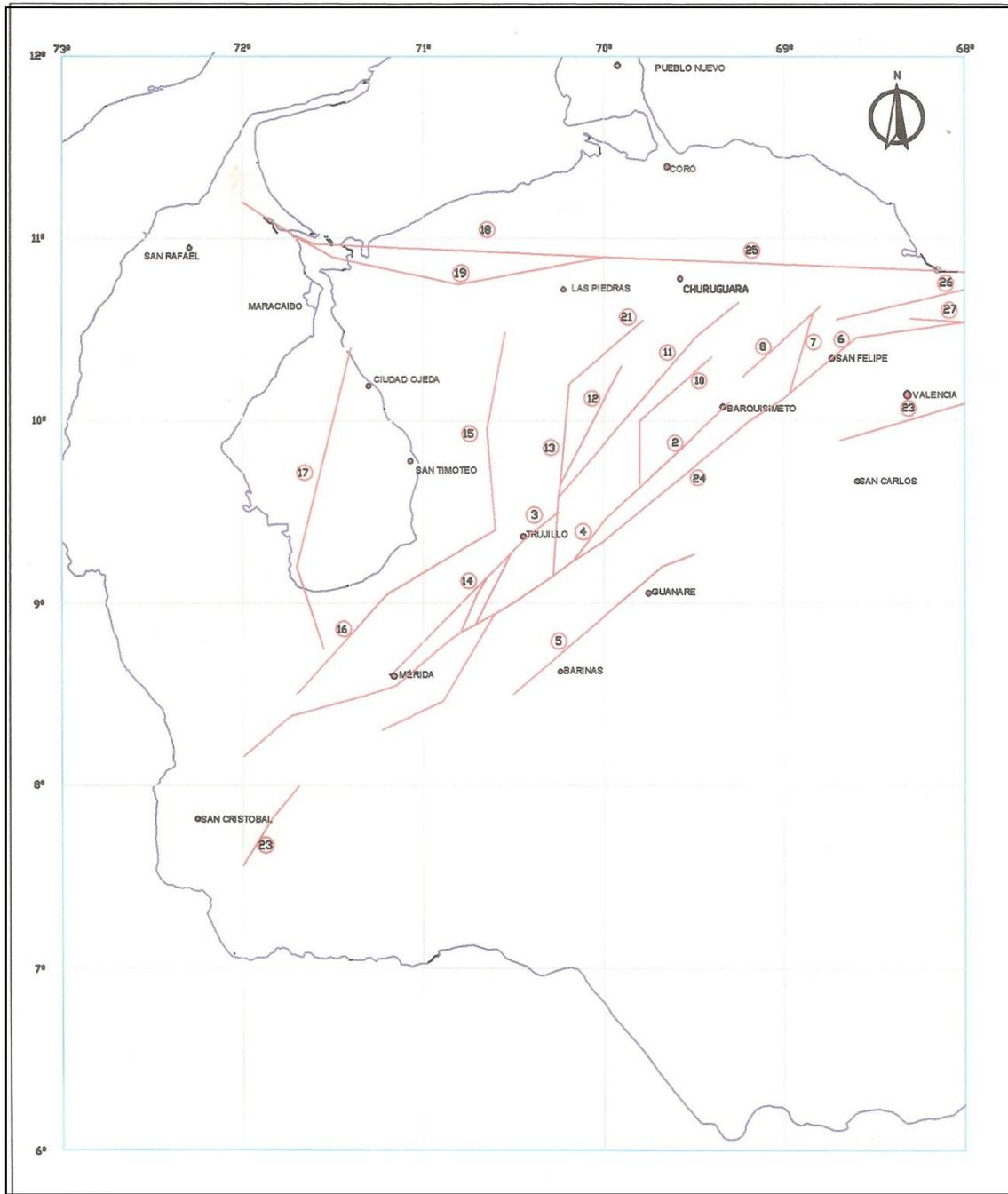


**TABLA 4.1.**  
**MODELO SISMOTECTONICO**

N°	FUENTE	$\lambda$ PARA Ms $\geq$ 4.0 (1/año)
		MODELO
1	SAN SEBASTIAN	<b>1.700</b>
2	EL TOCUYO	<b>0.100</b>
3	TUÑAME	<b>0.255</b>
4	HUMOCARO	<b>0.100</b>
5	PIE DE MONTE SUR	<b>0.080</b>
6	BOCONO NORTE	<b>2.000</b>
7	AROA	<b>0.010</b>
8	BARQUISIMETO	<b>0.100</b>
9	RIO GUARICO	<b>0.100</b>
10	RIO EL TOCUYO	<b>0.150</b>
11	HATO VIEJO	<b>0.135</b>
12	LOS ARANGUES	<b>0.105</b>
13	BURBUSAY	<b>0.125</b>
14	VALERA SUR	<b>0.200</b>
15	VALERA NORTE	<b>0.250</b>
16	PIEDEMONTTE NORTE	<b>0.103</b>
17	ICOTEA	<b>0.400</b>
18	OCA OCCIDENTAL	<b>0.500</b>
19	ANCON	<b>0.350</b>
20	CORRIMIENTO FRONTAL	<b>0.100</b>
21	DUACA	<b>0.010</b>
22	GUACAMAYA 2	<b>0.065</b>
23	GUACAMAYA 1	<b>0.065</b>
24	BOCONO CENTRAL	<b>2.800</b>
25	OCA ORIENTAL	<b>0.550</b>
26	PICHAO	<b>0.100</b>
27	MORON	<b>0.400</b>
28	ARAGUITA	<b>0.100</b>
29	TACATA	<b>0.100</b>
30	SANTA ROSA	<b>0.100</b>



ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA



**FIGURA 4.1 ESQUEMA DE FALLAS DEL MODELO SISMOTECTONICO DE LA REGIÓN CENTRO-OCCIDENTAL DE VENEZUELA**



## CAPITULO 5 PROGRAMA CRISIS 2007

### 5.1.-INTRODUCCIÓN

El programa Crisis está concebido para calcular la amenaza sísmica en un sitio determinado. El programa supone que, dentro de una fuente sísmica, un proceso independiente de ocurrencia de terremotos se está llevando a cabo. Para cada fuente sísmica, las tasas de magnitud de excedencia,  $\lambda(M)$ , se estiman por medio de análisis estadísticos de catálogos de terremotos. Estas tasas son el número de terremotos por unidad de tiempo en los que la magnitud  $M$  es superada y que caracterizan la sismicidad de la fuente.

Las fuentes sísmicas son en general, las líneas, áreas o volúmenes, por los que un proceso de integración espacial se lleva a cabo para dar cuenta de todas las ubicaciones posibles de coordinación. Por lo general, se supone que, dentro de una fuente sísmica todos los puntos tienen la misma probabilidad de ser un foco de un terremoto. En este caso, las tasas de aceleración debida a la excedencia en una única fuente se calculan con la siguiente expresión.

$$v_i(a) = \sum_j w_{ij} \int_{M_0}^{M_u} \left( -\frac{d\lambda_i(M)}{dM} \right) \Pr(A > a | M, R_{ij}) dM$$

Donde  $M_0$  y  $M_u$  son, respectivamente, la magnitud mínima y máxima para cada fuente en el análisis de la amenaza sísmica.  $\Pr(A > a / M, R_{ij})$  es la probabilidad de que la aceleración excede el valor de uno en el lugar, teniendo en cuenta que a una distancia  $R_{ij}$  se origina un terremoto de magnitud  $M$ .  $R_{ij}$  es la distancia entre el sitio y los sub-elementos en el que ha constituido la fuente. Un peso  $W_{ij}$  se ha asignado a cada sub-elemento, y en la expresión anterior, se supone que  $\sum W_{ij} = 1$ . Por último, la contribución de todas las fuentes como amenaza de ocurrencia de un terremoto en el sitio en estudio, se define como:

$$v(a) = \sum_{i=1}^N v_i(a)$$



## 5.2.-MODELOS DE SISMICIDAD UTILIZADOS

El programa Crisis admite dos tipos de modelos de sismicidad, los cuales difieren en la forma de definir la magnitud del sismo y la tasa de excedencia, los dos modelos son los siguientes:

### 5.2.1.-MODELO DE MODIFICACIÓN DE GUTENBERG-RICHTER

En este modelo, la magnitud del sismo y la tasa de excedencia viene dado por la siguiente expresión:

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_u}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_u}} \quad M_0 \leq M \leq M_u$$

donde:  $\lambda_0$  es la tasa de excedencia de magnitud  $M_0$ ,  $\beta$  es un parámetro equivalente al valor "B" de la fuente (se introduce en términos de logaritmo natural) y  $M_u$  es la magnitud máxima de la fuente.

Para el proceso de Poisson, la densidad de probabilidad de que ocurra el terremoto de magnitud  $M$ , viene dado por:

$$p(M) = -\frac{d\lambda(M)}{dM} = \lambda_0 \beta \frac{e^{-\beta M}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_u}} \quad M_0 \leq M \leq M_u$$

El programa Crisis puede contabilizar la incertidumbre en  $\beta$  y  $M_u$ . En este caso, se debe asignar el coeficiente de variación  $\beta$  y los parámetros que describen la incertidumbre en la magnitud máxima.

### 5.2.2.- MODELO CARACTERÍSTICO

En este modelo, la tasa de excedencia de la magnitud del sismo se expresa como:

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{\Phi\left[\frac{M_u - EM}{s}\right] - \Phi\left[\frac{M - EM}{s}\right]}{\Phi\left[\frac{M_u - EM}{s}\right] - \Phi\left[\frac{M_0 - EM}{s}\right]} \quad M_0 \leq M \leq M_u$$

donde:  $\Phi$  es el estándar de la función acumulada normal,  $M_0$  y  $M_u$  son las magnitudes mínimas y máximas respectivamente, y  $EM$  y  $S$  son parámetros que definen la distribución de  $M$ .  $EM$  puede ser interpretado como el valor esperado del terremoto característico y  $S$  como su desviación estándar.  $\lambda_0$  es la tasa excedencia de la magnitud  $M_0$ . La función de densidad de probabilidad de la magnitud es:



$$p(M) = -\frac{d\lambda(M)}{dM} = \frac{\frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{M-EM}{s}\right)^2}}{\Phi\left[\frac{M_u - EM}{s}\right] - \Phi\left[\frac{M_0 - EM}{s}\right]} \quad M_0 \leq M \leq M_u$$

### 5.3.-INTERPRETACIÓN PROBABILÍSTICA DE LAS RELACIONES DE ATENUACIÓN

En general, dada la magnitud y la distancia, la intensidad A se supone que es una variable aleatoria con una distribución logarítmica normal, con una mediana de Am (M, R) dada por la tabla de atenuación con combinación apropiada de la magnitud, distancia, y la desviación estándar del logaritmo natural ( $\sigma$ ), la cual se añade como tabla de atenuación.

Dependiendo del valor de AMAX que figuran en la tabla de atenuación, las consideraciones que se hacen son siguientes:

#### AMAX = 0

En este caso, la distribución logarítmica normal sin límites se supone A, por lo que:

$$\Pr(A > a | M, R) = 1 - \Phi\left[\frac{1}{\sigma} \ln \frac{a}{Am(M, R)}\right], \quad a \geq 0$$

#### AMAX > 0

En este caso, una distribución log-normal truncada entre 0 y AMAX se supone A, por lo que:

$$\Pr(A > a | M, R) = \begin{cases} \Phi\left[\frac{1}{\sigma} \ln \frac{a}{Am(M, R)}\right] & 0 \leq a \leq AMAX \\ \Phi\left[\frac{1}{\sigma} \ln \frac{AMAX}{Am(M, R)}\right] & a > AMAX \end{cases}$$

Teniendo en cuenta que A se trunca al AMAX independientemente de la magnitud y la distancia.

#### AMAX < 0

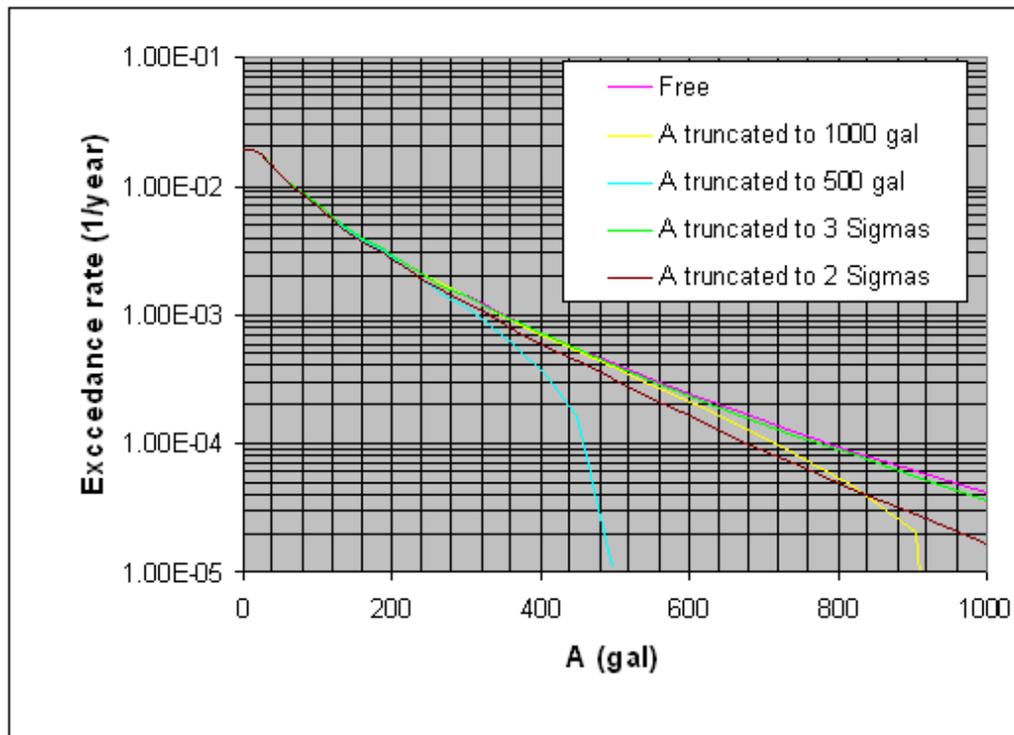
En este caso, el ABS (AMAX) se interpreta como K, el número de desviaciones estándar, que la integración se llevará a cabo. En este caso, una distribución log-normal truncada entre 0 y AMAX se supone A, por lo que:

$$\Pr(A > a | M, R) = \begin{cases} \Phi\left[\frac{1}{\sigma} \ln \frac{a}{Am(M, R)}\right] & 0 \leq a \leq Am(M, R)e^{K\sigma} \\ \Phi\left[\frac{1}{\sigma} \ln \frac{AMAX}{Am(M, R)}\right] & a > Am(M, R)e^{K\sigma} \end{cases}$$



Teniendo en cuenta que el valor real de truncamiento  $A$  depende de la magnitud y la distancia.

En la FIGURA 5.1 se muestra el efecto de los diferentes regímenes de truncamiento para relaciones de atenuación de aceleraciones.



**FIGURA 5.1 TRUNCAMIENTO PARA RELACIONES DE ATENUACIÓN DE ACCELERACIONES**

#### 5.4.- PROCEDIMIENTO DE INTEGRACIÓN ESPACIAL

El programa Crisis supone que dentro de una fuente, la sismicidad se distribuye uniformemente por unidad de área (fuente, área) o por unidad de longitud (fuente lineal). Para las fuentes puntuales, por supuesto, todos los valores de sismicidad se supone que se concentrará en el punto.

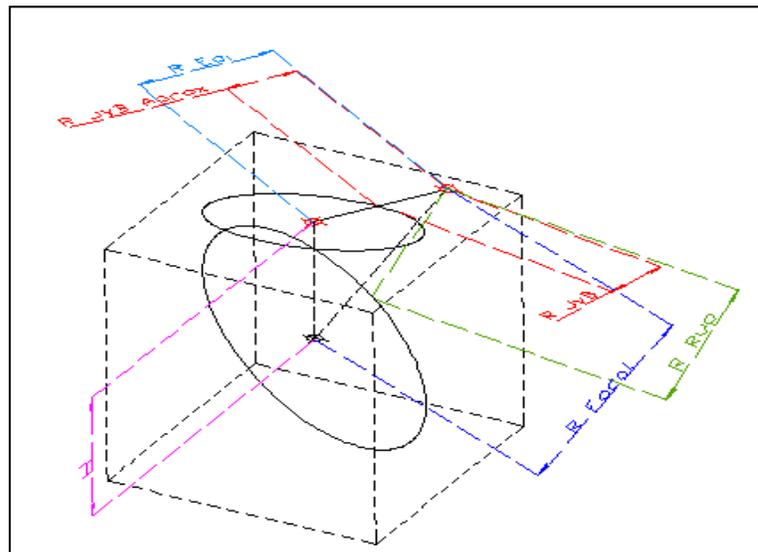
#### 5.5.- DISTANCIA A LA FUENTE

En todas las versiones anteriores del programa Crisis, la distancia de la fuente al sitio en estudio ha sido siempre la distancia focal. En la versión 7.2, existen cuatro formas de medir esta distancia, porque las diferentes relaciones de atenuación requieren distintas distancias. Los cuatro tipos de distancia son:



- 1) Focal ( $R_{focal}$ )
- 2) Epicentral ( $R_{epicentral}$ )
- 3) Joyner y Boore (distancia más cercana a la proyección del plano de falla en la superficie de la Tierra,  $R_{jyb}$ )
- 4) La distancia más cercana a la zona de ruptura (ruptura  $R$ )

En la FIGURA 5.2 se ilustra los 4 tipos de distancias utilizadas por el programa.



**FIGURA 5.2 TIPOS DE DISTANCIAS DEL SITIO A LA FALLA.**

## 5.6.- LÍMITES DEL PROGRAMA.

Los datos de entrada se limitan a los siguientes valores:

- Número máximo de modelos de atenuación: 50
- Número máximo de periodos estructurales: 40
- Número máximo de las regiones sísmicas: 400

Para el resto de las variables, el tamaño de las matrices correspondientes solo está limitado por la memoria del ordenador.

El programa Crisis calcula amenaza sísmica utilizando un modelo probabilístico que considera las tasas de ocurrencia, las características de atenuación y la distribución geográfica de los terremotos. Algunas de las características principales del programa Crisis son:

- Ocurrencia del terremoto puede ser modelada, ya sea como un proceso de Poisson o como un proceso Terremoto característicos.



- Las fuentes pueden ser modelados como áreas, líneas o puntos.
- CRISIS opera con un procedimiento de integración dinámica que permite el cálculo rápido del riesgo en áreas extendidas.
- Modelos de atenuación proporcionada por el usuario o integrado en CRISIS dan una gran flexibilidad para los cálculos.
- Una interfaz gráfica fácil, facilita la entrada de datos.

### 5.7.- DATOS DE ENTRADA

En primer lugar se debe introducir del sitio de estudio su coordenada, las cuales para la ciudad de Guanare, Edo. Portuguesa, son las siguientes coordenadas:

Sitio de estudio	Longitud	Latitud
Guanare, Edo. Portuguesa	69.75	9.07

El segundo dato que debe incorporarse al programa Crisis son la geometría de las fallas, la profundidad focal, el tipo de falla e indicar si es una falla activa o inactiva; a continuación se observa los datos que se debe introducir por cada falla que se desee:

Falla	Boconó Central	
Vértices	5	
Longitud	Latitud	Profundidad
71.15	8.55	15
70.85	8.8	15
70.5	9	15
69.7	9.85	15
70.2	10.05	15
Estado de falla	Activa	
Tipo de Falla	Transcurrente	



El tercer dato necesario para realizar el cálculo de amenaza sísmica con el programa Crisis, corresponde a las características sismogénicas de cada falla y el modelo de ocurrencia. A continuación se muestran los datos que se le debe asignar a cada falla:

<b>Modelo de ocurrencia</b>	Poisson
<b>Falla</b>	Boconó Central
<b>Magnitud Mínima (<math>M_0</math>)</b>	4
<b>Coefficiente Lambda (<math>\lambda M_0</math>)</b>	2.8
<b>Coefficiente Beta (<math>\beta</math>)</b>	1.8
<b>Coefficiente de Variación de Beta</b>	0
<b>Magnitud Máxima (<math>M_u</math>)</b>	7.8
<b>Desviación standard</b>	0
<b>Límite Inferior</b>	7.8
<b>Límite Superior</b>	7.8

A continuación, se debe incorporar los valores de las ordenadas espectrales, en este paso se debe indicar la cantidad deseada de ordenadas espectrales con sus respectivos valores de aceleración, los cuales son asignados basándose en las leyes de atenuación para obtener el espectro de respuesta.

<b>Número total de ordenadas espectrales</b>	17
<b>ordenada espectral actual</b>	1
<b>periodo estructural de la ordenada espectral actual</b>	0.01
<b>Límite inferior del nivel de Intensidad</b>	1
<b>Límite superior del nivel de Intensidad</b>	2000
<b>Unidad de aceleración</b>	cm/s <sup>2</sup> (gal)
<b>Numero de valores de amenaza computados</b>	30

El siguiente paso es de gran importancia, debido a que su procedimiento suele ser complicado. El mismo consiste en introducir la ley de atenuación, la cual se explica en detalles en la SECCIÓN 5.11.

## 5.8.- EJECUCIÓN DEL PROGRAMA.

El menú del programa permite ejecutar la corrida solo cuando los datos de entrada son introducidos correctamente; de existir datos faltantes el programa emitirá un mensaje mostrando una lista con los datos faltantes necesarios. Después de realizar las correcciones necesarias se podrá ejecutar el cálculo de amenaza sísmica.

Después de una ejecución exitosa, se observara en la pantalla los archivos de salida generados y donde serán guardados.



## 5.9.- RESULTADOS.

El programa Crisis emite los siguientes archivos de salida:

- **Resultados de archivo (\*. res).**

Este archivo contiene un listado con el nombre de la corrida, los valores asignados a las variables, las características de los modelos de atenuación, y la geometría de las fuentes, los datos que definen las redes de puntos en estudio (**puede ser solo un punto de estudio, como en nuestro caso**). También se ofrece un resumen de los cálculos para cada sitio en estudio e indica cuales son las fuentes de mayor interés (mayor contribución a la amenaza sísmica) y las fuentes que se han omitido. También se indican los tiempos de cálculo del equipo (véase ANEXO 1).

- **Archivos gráficos (\*. GRA).**

Este archivo contiene un encabezado de identificación breve, e indica las tasas de excedencia para niveles de intensidad. Este archivo puede ser utilizado para trazar las curvas de intensidad en función de la tasa de excedencia (véase ANEXO 1).

- **Resultados de las fuentes sísmicas (\*. FUE).**

Este archivo contiene tasas excedencia por fuente para cada sitio estudiado (véase ANEXO 1).

- **M-R desagregación archivo (\*. des).**

Este archivo contiene los resultados del desglose de la amenaza sísmica, en función de la magnitud y la distancia a las fuentes sismogénicas (fallas). Estos resultados desglosados indican la combinación de la magnitud y la distancia en función de la amenaza y así indicar la contribución de cada falla al sitio en estudio para una intensidad o un periodo de retorno determinado (véase ANEXO 1).

Además, el programa Crisis generará archivos binarios (uno para cada medida de intensidad utilizada en el análisis) para poder generar sus propios mapas.

## 5.10.- LEYES DE ATENUACIÓN UTILIZADAS.

En Venezuela no hay un número significativo de registros acelerográficos que permitan derivar una ley de atenuación para aceleraciones, por lo cual se utilizan relaciones de atenuación obtenidas en California, Estados Unidos, por tener una tectónica que tiene cierto parecido a la de Venezuela. Para este trabajo se utilizaron 3 leyes de aceleraciones horizontales: Abrahamson and Silva (2008), Campbell and Bozorgnia (2008), y Boore and Atkinson (2008), las cuales fueron propuestas por el Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica del Pacífico PEER (Pacific Earthquake Engineering Research).



La primera ley, A&S (2008), fue derivada con un número aproximado de 2750 registros acelerográficos de 135 terremotos ocurridos desde el año de 1952 hasta 2003, los cuales varían en magnitud de 4 a 8 aproximadamente. Esta ley es aplicable a magnitudes de 5 a 8.5, para distancias de 0 a 200km, con periodos espectrales entre 0.01 y 10 seg, así mismo, es aplicable para fallas de tipo inversa, normal y transcurrentes. Su ecuación viene dada por la expresión siguiente:

$$\ln Sa (g) = f_1 + a_{12} F_{RV} + a_{13} F_{NM} + a_{15} F_{AS} + f_5 + F_{HW} f_4 + f_6 + f_8 + f_{10}$$

Donde:

- Sa = Aceleración espectral del terreno.  
 $F_1, f_4, f_5, f_6, f_8, f_{10}$  = Parámetros funcionales de la ley de atenuación que dependen del periodo espectral, la magnitud (Ms) y la distancia a la ruptura en kilómetros (R).  
 $F_{RV} F_{NM} F_{AS} F_{HW}$  = Coeficientes que dependen del tipo de terreno y de falla.  
 $a_{12}, a_{13}, a_{15}$  = Coeficientes para el movimiento del terreno

La segunda ley, C&B (2008), es un modelo nuevo de movimiento del terreno que reemplaza los modelos anteriores de movimiento del terreno para la velocidad pico en suelo como se describe en Campbell (1997) y el valor máximo de aceleración y el 5% de amortiguamiento para los espectros de respuesta como se describe en Campbell and Bozorgnia (2003). Esta ley fue derivada de 1560 registros acelerográficos de 64 terremotos ocurridos desde 1952 hasta 2003, con magnitudes comprendidas entre 4.5 y 7.9 aproximadamente, y la mayoría con fallas de tipo transcurrentes (Strike-Slip). Es aplicable para distancia a la ruptura de 0 a 200 kilómetros, con periodos espectrales entre 0.01 a 10 seg, también aplicable para todos los tipos de falla y para magnitudes desde 4 a 8.5. Su ecuación viene dada por la expresión siguiente:

$$\ln Sa = f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{site} + f_{sed}$$

Donde:

- $f_{mag} f_{dis} f_{flt} f_{site} f_{sed}$  = Parámetros funcionales de la ley que dependen del periodo espectral, magnitud (Ms) y la distancia a la ruptura en kilómetros (R).

La tercera ley de atenuación, B&A (2008), es un modelo obtenido por parte del Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica del Pacífico PEER (Pacific Earthquake Engineering Research), del análisis de 1574 registros acelerográficos de 58 terremotos ocurridos a nivel mundial. Sus registros van desde el año 1966 hasta 2003, con magnitudes entre 4.92 hasta 7.9, y gran cantidad de fallas de tipo transcurrentes. Aplicable para periodos espectrales entre 0.01 y 10 seg, magnitudes de 5 a 7.5, y distancias a la ruptura de 0 a 200 kilómetros. Su ecuación viene dada por la expresión siguiente:

$$\ln Sa = F_M + F_D + F_S + \varepsilon \sigma_T$$



Donde:

- $F_M F_D F_S$  = Parámetros funcionales que dependen del periodo espectral, magnitud, tipo de falla, velocidad de las ondas de corte a 30 metros (m/seg) y la distancia a la ruptura en kilómetros.
- $\varepsilon$  = Desviación Standard menor al valor medio, su valor es 1.5
- $\sigma_T$  =  $(\sigma^2 + T^2)^{1/2}$

### 5.11.- METODO PARA INTRODUCIR UNA LEY DE ATENUACIÓN

El método a seguir para introducir una ley de atenuación consiste en primer lugar conocer las magnitudes mínima y máxima correspondientes a la ley de atenuación seleccionada. Se debe establecer la distancia a la ruptura ( $R_{jb}$  o  $R_{rup}$ ) necesaria para graficar la ley seleccionada.

Posteriormente, se debe crear una matriz donde los valores de las columnas corresponden a las aceleraciones espectrales, las cuales varían desde la magnitud mínima  $M_o$  hasta la magnitud máxima  $M_u$  para diferentes periodos espectrales de dicha ley de atenuación; es decir, cada periodo espectral tiene asociada una matriz en la cual los valores correspondientes a las filas varían dependiendo de la distancia a la ruptura en kilómetros ( $R_{jb}$  o  $R_{rup}$ ) para cada magnitud. En la TABLA 5.1 se presenta un ejemplo usando la ley de Campbell y Bozorgnia.

**TABLA 5.1**  
**EJEMPLO DE MATRIZ PARA INTRODUCIR UNA LEY DE ATENUACIÓN**

	A	B	C	D						
1	5	8	4	-						
2	1	100	10	3						
3	0.01	0.566	-	-						
4	0.197	0.061	0.036	0.019	0.008	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001
5	0.359	0.137	0.088	0.05	0.023	0.016	0.012	0.009	0.005	0.004
6	0.502	0.238	0.165	0.102	0.05	0.037	0.027	0.021	0.012	0.009
7	0.534	0.314	0.237	0.159	0.085	0.064	0.049	0.037	0.022	0.017

La TABLA 5.1 se describe de la siguiente manera: las celdas A1 y B1 corresponden a la magnitud mínima  $M_o$  y máxima  $M_u$  respectivamente, la celda C1 indica cuantos valores se tomaran entre dichas magnitudes; es decir, es el número de filas que lleva la matriz para cada periodo espectral.

Las celdas A2 y B2 corresponden a las distancias mínima y máxima a la ruptura de la falla, la celda C2 indica cuantos valores se tomaran entre esas distancias, es decir, es el



número de columnas que lleva la matriz. La celda D2 indica el tipo de distancia a la ruptura. La celda A3 indica el periodo espectral y la celda B3 la desviación estándar.

La celda A4 corresponde al primer valor de aceleración para un periodo espectral 0.01seg, con una magnitud  $M_s$  igual 4 con una distancia a la ruptura de 1 kilómetro. Para completar esta fila se dejara como fijo la magnitud, variando únicamente la distancia a la ruptura. Este último paso se repite para las demás filas variando la magnitud sucesivamente.

En la FIGURA 5.3 se grafican las tres leyes de atenuación utilizadas para el estudio con una magnitud  $M_s$  igual a 7.

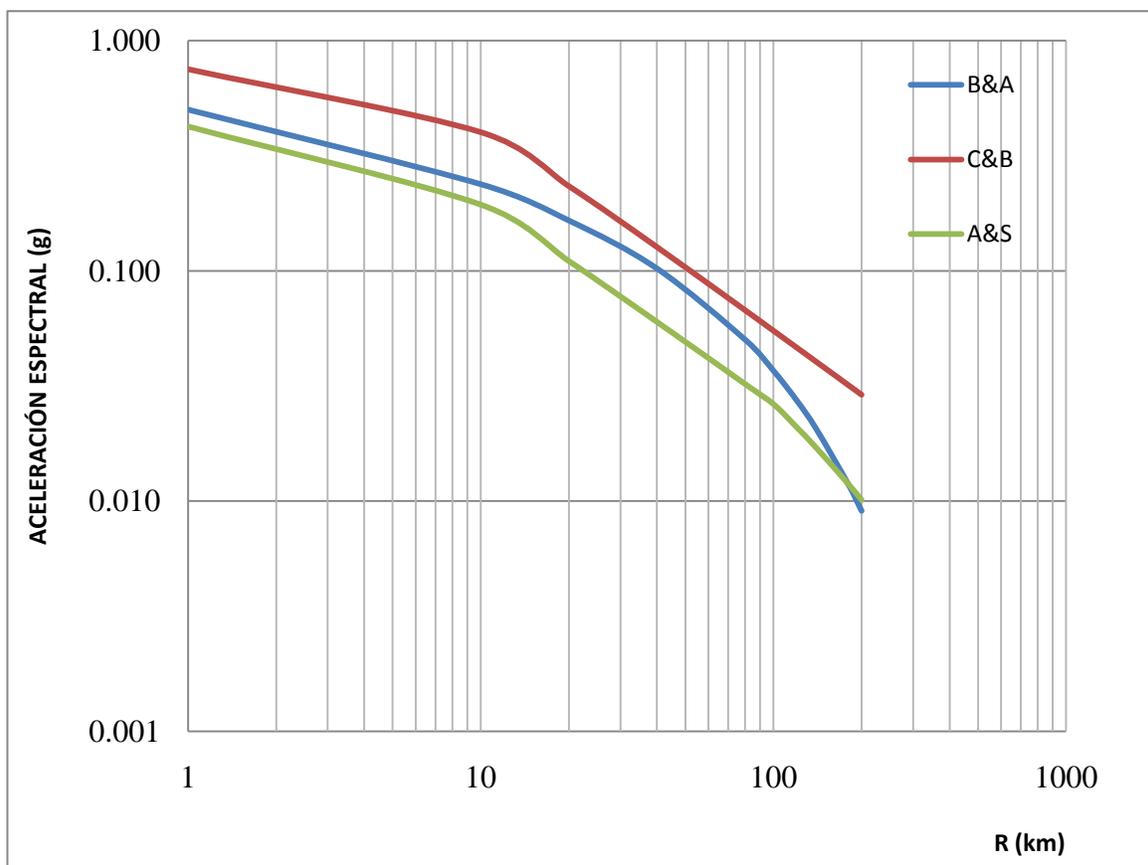


FIGURA 5.3 LEYES DE ATENUACIÓN PARA MAGNITUD 7



## CAPITULO 6 EVALUACION DEL PELIGRO SÍSMICO

### 6.1.-INTRODUCCIÓN

Para la selección de movimientos de diseño en roca ( $A_o$ ) de la ciudad de Guanare, Estado Portuguesa, se muestran aquí los resultados arrojados por el programa CRISIS 2007 para determinar la amenaza sísmica del sitio.

### 6.2.-RESULTADOS OBTENIDOS

Para el cálculo de la amenaza sísmica, se utilizó el algoritmo descrito en el CAPÍTULO 5, con las 30 fuentes consideradas en nuestro modelo, las relaciones de atenuación indicadas en la SECCIÓN 5.9 y el modelo sismotectónico discutido en la SECCIÓN 4.3. Para la evaluación de la amenaza sísmica en la ciudad de Guanare, Estado Portuguesa, se seleccionó el punto de coordenadas:  $9.07^\circ\text{N}$  y  $69.75^\circ\text{W}$ . La aceleración máxima horizontal en roca será el promedio de los valores obtenidos con las tres leyes de atenuación. En la TABLA 6.1 se anotan los resultados obtenidos para los periodos medios de retorno de 200, 475, 1000, 2500 y 5000 años.

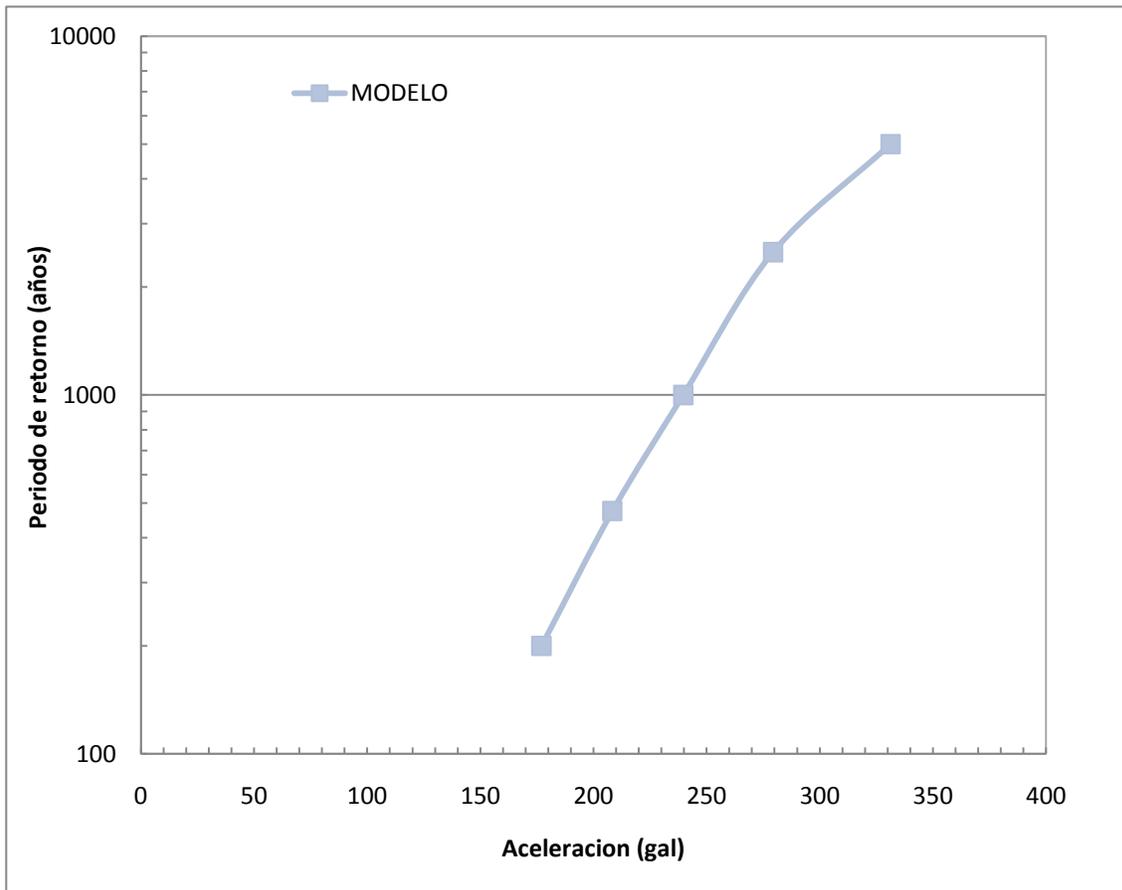
**TABLA 6.1  
ACELERACIONES MÁXIMAS HORIZONTALES EN ROCA**

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	ACELERACIÓN (Gal)		
	A&S	B&A	C&B
200	142	180	209
475	189	209	227
1000	234	240	245
2500	298	275	265
5000	404	305	285

Por tanto, al promediar los resultados anteriores se encuentra que la aceleración máxima horizontal ( $A_o$ ) en suelo firme tipo roca, para los periodos medios de retorno considerados son los siguientes:

- Para 200 años:  $A_o = 177 \text{ gal} = 0.18 \text{ g}$
- Para 475 años:  $A_o = 208 \text{ gal} = 0.21 \text{ g}$
- Para 1000 años:  $A_o = 240 \text{ gal} = 0.24 \text{ g}$
- Para 2500 años:  $A_o = 279 \text{ gal} = 0.28 \text{ g}$
- Para 5000 años:  $A_o = 331 \text{ gal} = 0.33 \text{ g}$

En la FIGURA 6.1 se grafica el periodo de retorno vs las aceleraciones del terreno para el sitio en estudio.



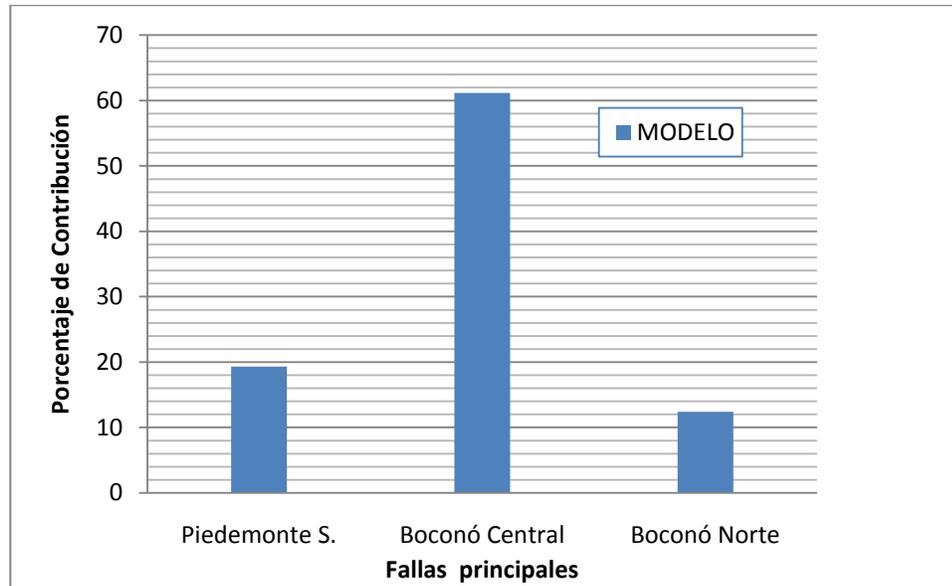
**FIGURA 6.1 PERIODO DE RETORNO VS ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO**

En las FIGURAS 6.2, 6.3 y 6.4 se grafican las contribuciones de las fuentes sísmicas que tienen mayor participación en la peligrosidad sísmica en el sitio en estudio para el caso de aceleraciones de 100, 200, y 300 gal

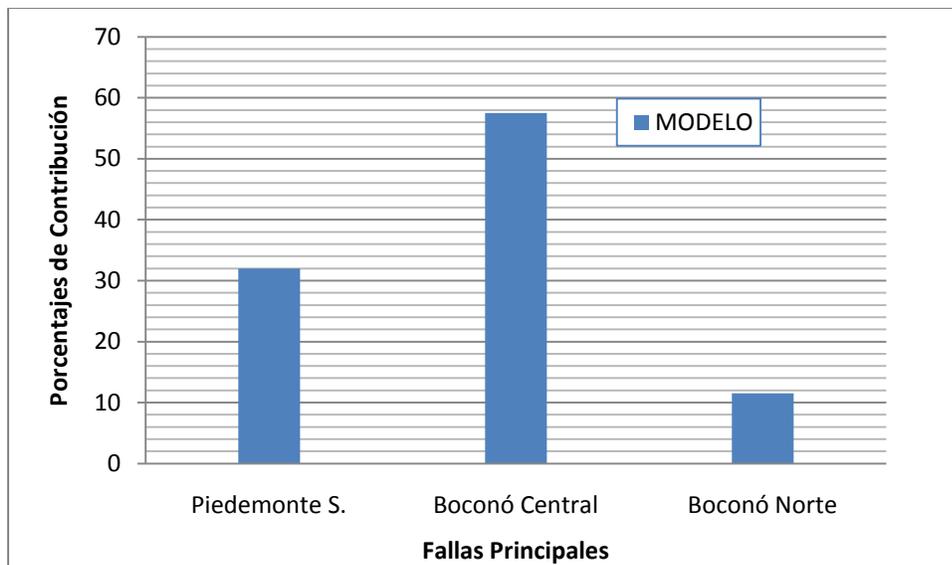
En la FIGURA 6.2 se observa que la mayor participación se le asigna a la falla Boconó Central, que supera en promedio el 61% para las tres leyes de atenuación, seguida por la falla de Piedemonte Sur con un 19% en promedio para las tres leyes de atenuación y la falla de Boconó Norte con un poco más del 12% en promedio en las tres leyes de atenuación.

En la FIGURA 6.3 se nota que en la falla Boconó Central se asigna una participación del 58% en promedio para las tres leyes de atenuación, mientras que la falla Piedemonte Sur tiene una participación equivalente al 32% en promedio de las tres leyes de atenuación y un porcentaje poco mayor al 11% se le asigna a la falla de Boconó Norte.

En la FIGURA 6.4 se observa un incremento en la participación de la falla de Piedemonte Sur con un 38% en promedio de las tres leyes de atenuación, mientras que la falla de Boconó Central sigue siendo la fuente con mayor participación con un 47% en promedio para las tres leyes de atenuación y por último la falla de Boconó Norte sigue disminuyendo su participación con un 11% en promedio de las tres leyes de atenuación.



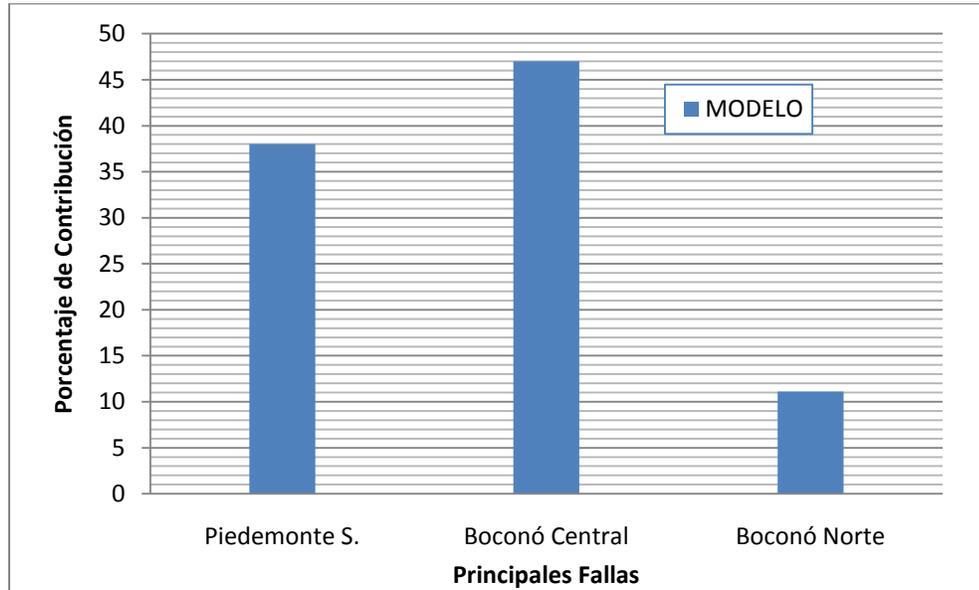
**FIGURA 6.2 CONTRIBUCIÓN DE FALLAS PARA ACELERACIÓN DE 100 gal**



**FIGURA 6.3 CONTRIBUCIÓN DE FALLAS PARA ACELERACIÓN DE 200 gal**



## ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

**FIGURA 6.4 CONTRIBUCIÓN DE FALLAS PARA ACELERACIÓN DE 300 gal**



## CAPITULO 7 ESPECTROS DE RESPUESTA

### 7.1.- INTRODUCCIÓN

En este capítulo se dan las acciones sísmicas para el análisis y diseño sismorresistente para la ciudad de Guanare, Estado Portuguesa. Para la elaboración de los espectros elásticos y diseño para la ciudad de Guanare se utilizó lo descrito en el capítulo 7 de la Norma COVENIN 1756-2001 y los resultados de los espectros arrojados por el programa CRISIS 2007.

### 7.2.- ESPECTROS DE RESPUESTA DE LA NORMA COVENIN 1756-2001

#### 7.2.1.- ESPECTRO ELÁSTICO

De acuerdo a lo indicado en la Norma COVENIN 1756-2001, las ecuaciones que describen el espectro elástico son las siguientes:

$$A_d = \varphi A_o [1 + T/T_o (\beta - 1)] \quad T \leq T_o \quad (7.2)$$

$$A_d = \varphi A_o \beta \quad T_o < T \leq T^* \quad (7.3)$$

$$A_d = \varphi A_o \beta (T^*/T)^p \quad T > T^* \quad (7.4)$$

Donde:

$A_o$  = Aceleración horizontal del terreno

$T$  = Periodo de vibración (seg).

$T_o$  = Periodo en el cual se inicia el tramo de aceleraciones espectrales menores o iguales a  $0,25T^*$

$T^*$  = Periodo en el cual se inicia el tramo descendente de aceleraciones.

$\beta$  = Factor de magnificación promedio

$\varphi$  = Factor de corrección del coeficiente de aceleración.

$p$  = Exponente de la rama descendente del espectro.

En la TABLA 7.1 se presenta los valores de  $\beta$ ,  $T_o$ ,  $T^*$  y  $p$  para definir la forma espectral de los perfiles de suelo tipos S1 y S2, así como el factor de corrección  $\varphi$  de acuerdo a lo indicado en la SECCIÓN 7.2 del Capítulo 7 de la Norma COVENIN 1756-2001.



**TABLA 7.1**  
**VALORES DE T\*, β, p, φ y To**

TIPO DE SUELO	β	To(seg)	T*(seg)	p	φ
S1	2.4	0.1	0.4	1.0	0.85
S2	2.6	0.175	0.7	1.0	0.80

### 7.2.2.-ESPECTRO DE DISEÑO

De acuerdo con la Norma COVENIN 1756-2001 los factores de reducción R de respuesta de las solicitaciones de diseño se calcularán con las siguientes expresiones:

$$A_d = \frac{\phi A_0 \left[ 1 + \frac{T}{T^+} (\beta - 1) \right]}{1 + \left[ \frac{T}{T^+} \right]^c (R - 1)} \quad T < T^+ \quad (7.4)$$

$$A_d = \frac{\phi A_0 \beta}{R} \quad T^+ \leq T \leq T^* \quad (7.5)$$

$$A_d = \frac{\phi A_0}{R} \beta \left( \frac{T^*}{T} \right)^p \quad T > T^* \quad (7.6)$$

Donde:

$A_d$  = Ordenada del espectro de diseño expresada como una fracción de la aceleración en g.

$c$  =  $(R / \beta)^{1/4}$

$R$  = Factor de reducción de respuesta.

$T^*$  = Periodo característico, función de R:

$R < 5$              $T^+ = 0.1(R-1)$  seg

$R \geq 5$              $T^+ = 0.4$  seg.

En la FIGURA 7.1 se grafica los espectros de respuesta elástica e inelástica ( $R = 4$ ) para el perfil de suelo S1, y en la FIGURA 7.2 se grafica los espectros de respuesta elástica e inelástica ( $R = 4$ ) para el perfil de suelo S2.

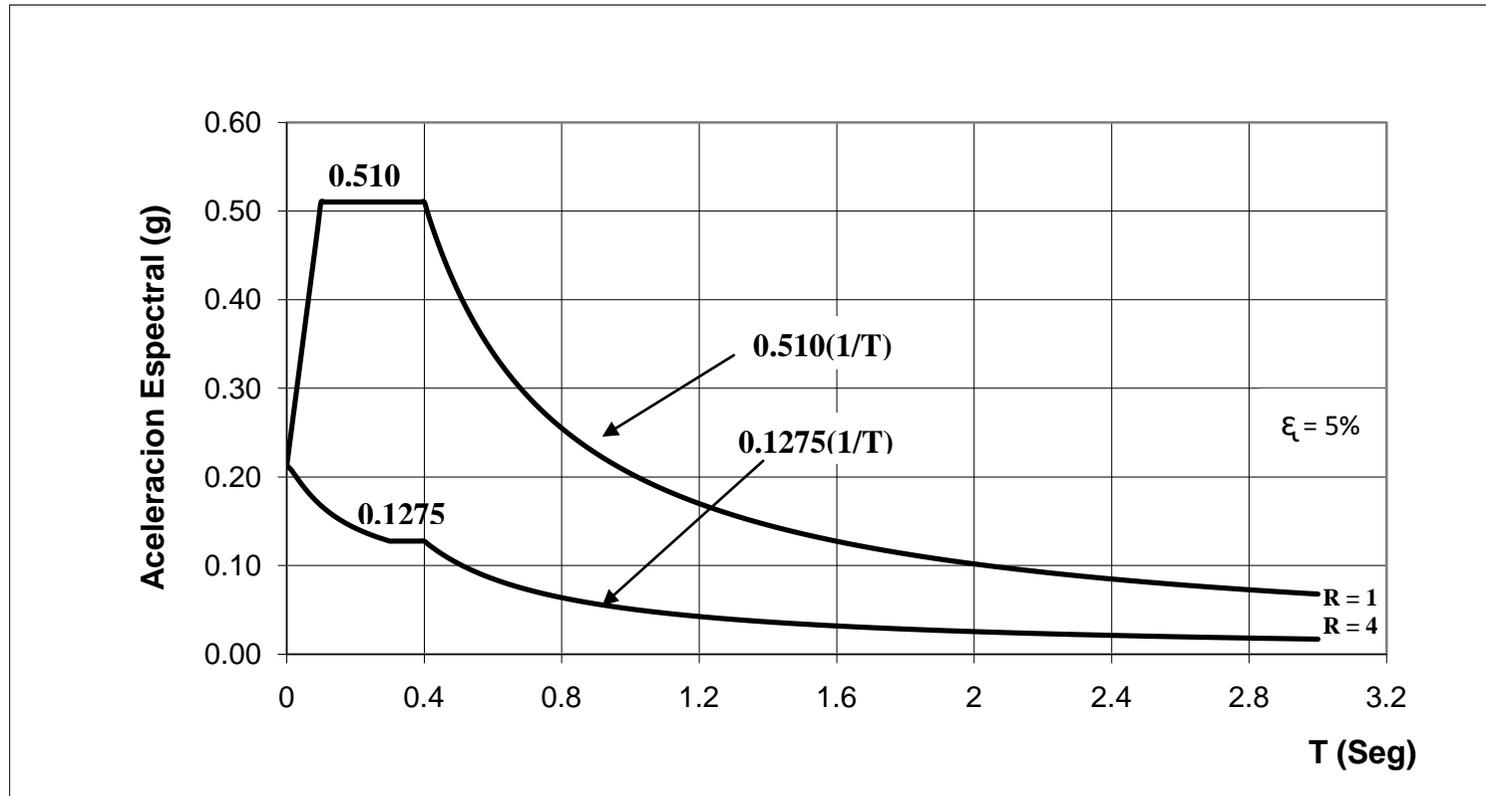


FIGURA 7.1 ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA E INELÁSTICO PARA SUELO S1

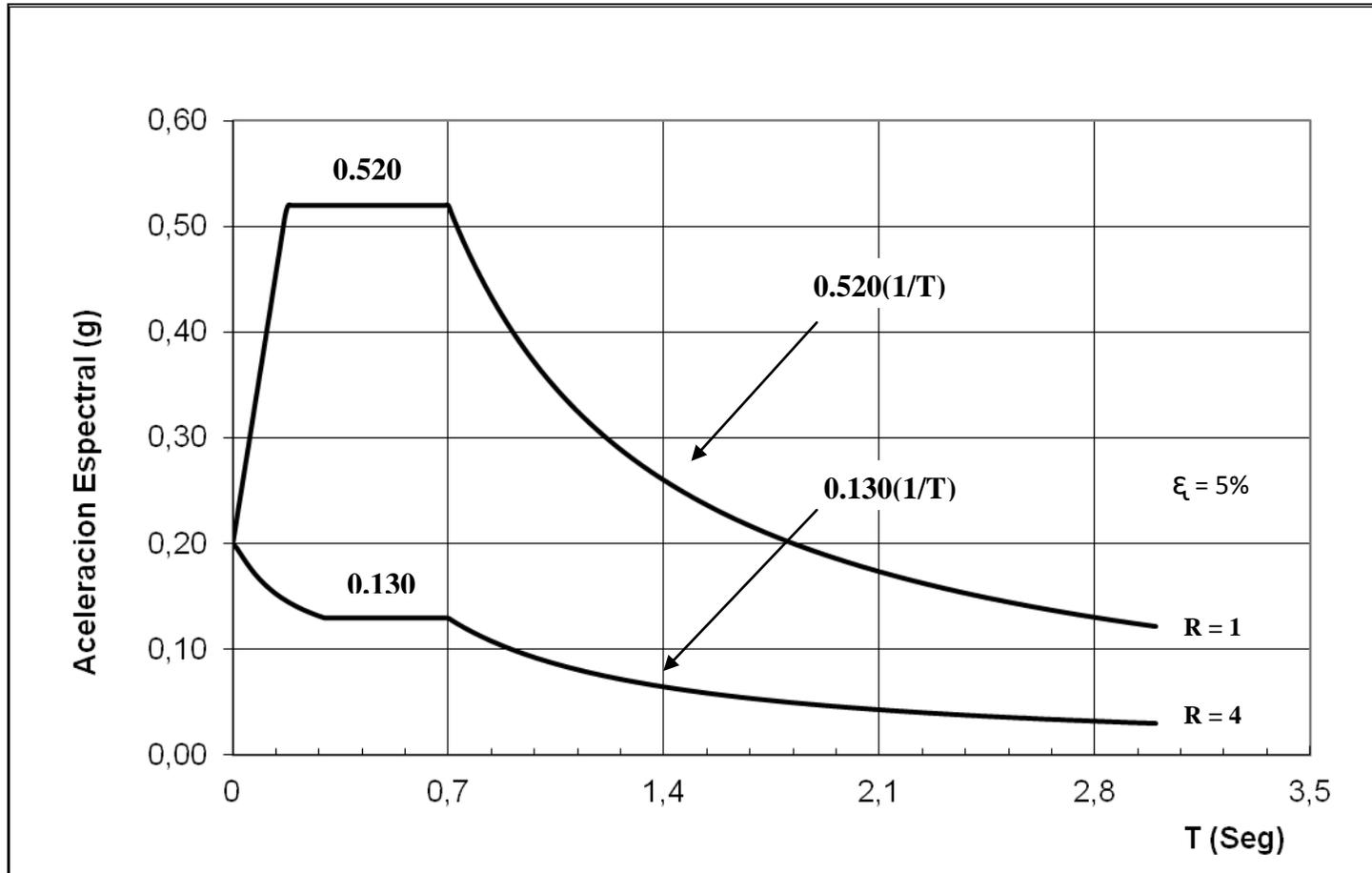


FIGURA 7.2 ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA E INELÁSTICO PARA SUELO S2



### **7.3.- ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICO DEL PROGRAMA CRISIS 2007.**

El programa CRISIS 2007 arroja valores de la aceleración espectral para los periodos indicados en el programa para cada una de las tres leyes de atenuación utilizadas en este trabajo. Para efectos de comparación en la FIGURA 7.3 se muestran los tres espectros arrojados por el programa para suelo tipo roca. En la FIGURA 7.3 se observa que:

- i) La ley de Boore y Atkinson da valores menores que las otras dos.
- ii) Las leyes de Campbell y Bozorgnia y Abrahamson y Silva arrojan resultados muy similares entre 0 y 1 segundo, a partir del cual la ley de Abrahamson y Silva comienza a atenuarse más rápido, llegando incluso a tener valores menores de aceleración que la de Boore y Atkinson después de 1.5 segundos.

En la FIGURA 7.3 también se dibuja la media de las aceleraciones de las referidas tres leyes de atenuación. En la FIGURA 7.4 se dibujan los espectros normalizados.

### **7.4.- ESPECTRO DE LA NORMA COVENIN 1756-2001 Y EL PROGRAMA CRISIS 2007**

En la FIGURA 7.5 se comparan los espectros elásticos para suelo tipo roca de la norma COVENIN 1756-2001 y el arrojado por el programa crisis 2007.

En dicha figura observamos que el espectro de la norma antes mencionada da aceleraciones más altas para los periodos entre 0 y 1.3 segundos. A partir de este valor el espectro de CRISIS 2007 arroja valores de aceleración ligeramente mayores al de la norma COVENIN 1756-2001. Además se puede observar que el valor de  $\beta$  del espectro de la Norma es 2.4, mientras que el  $\beta$  del espectro promedio da 2.15 aproximadamente, esto quiere decir que el espectro de la Norma es más conservador con un 10% por encima del espectro promedio arrojado por CRISIS 2007.

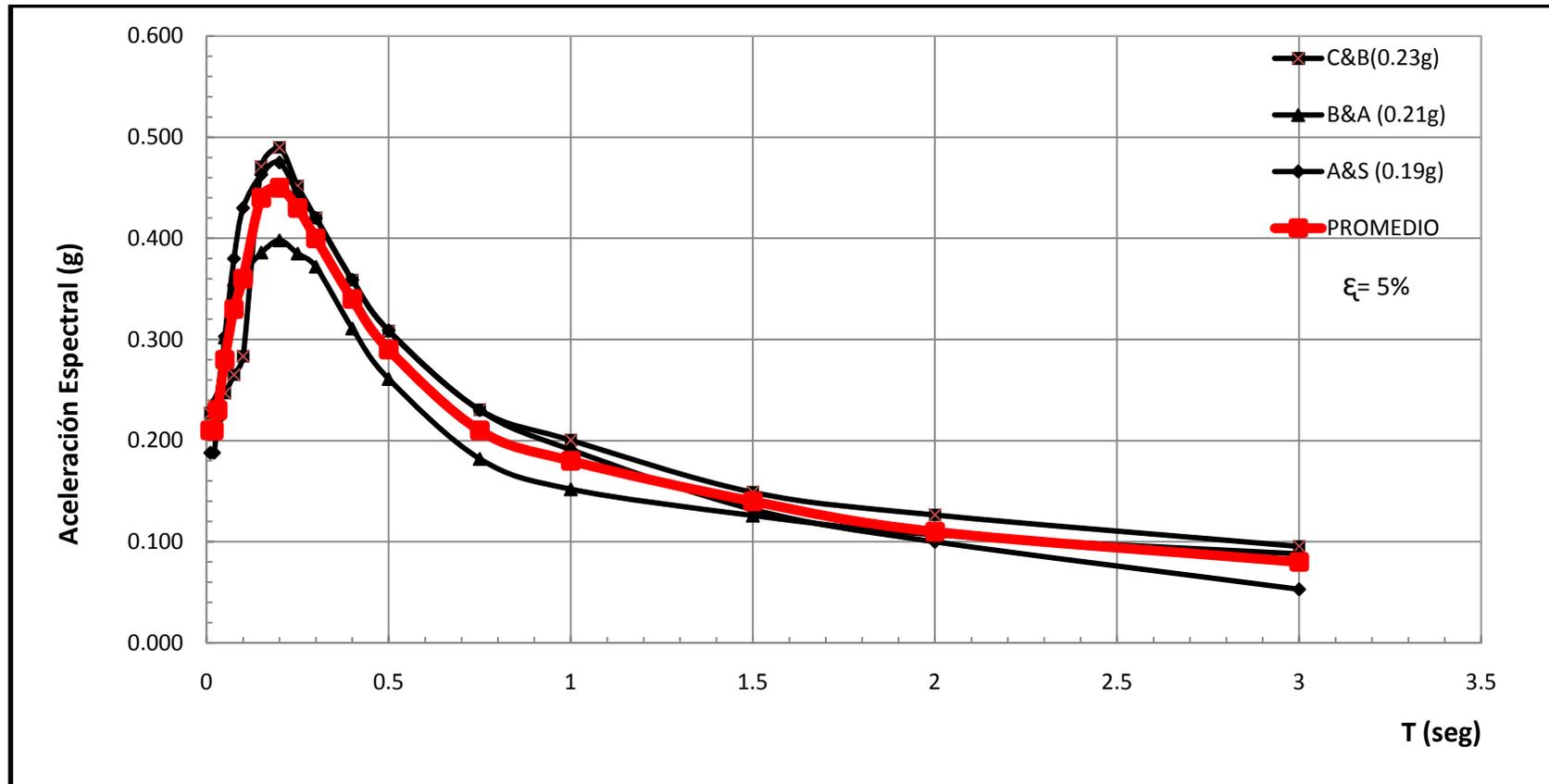


FIGURA 7.3 ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICA PARA LAS TRES LEYES DE ATENUACIÓN

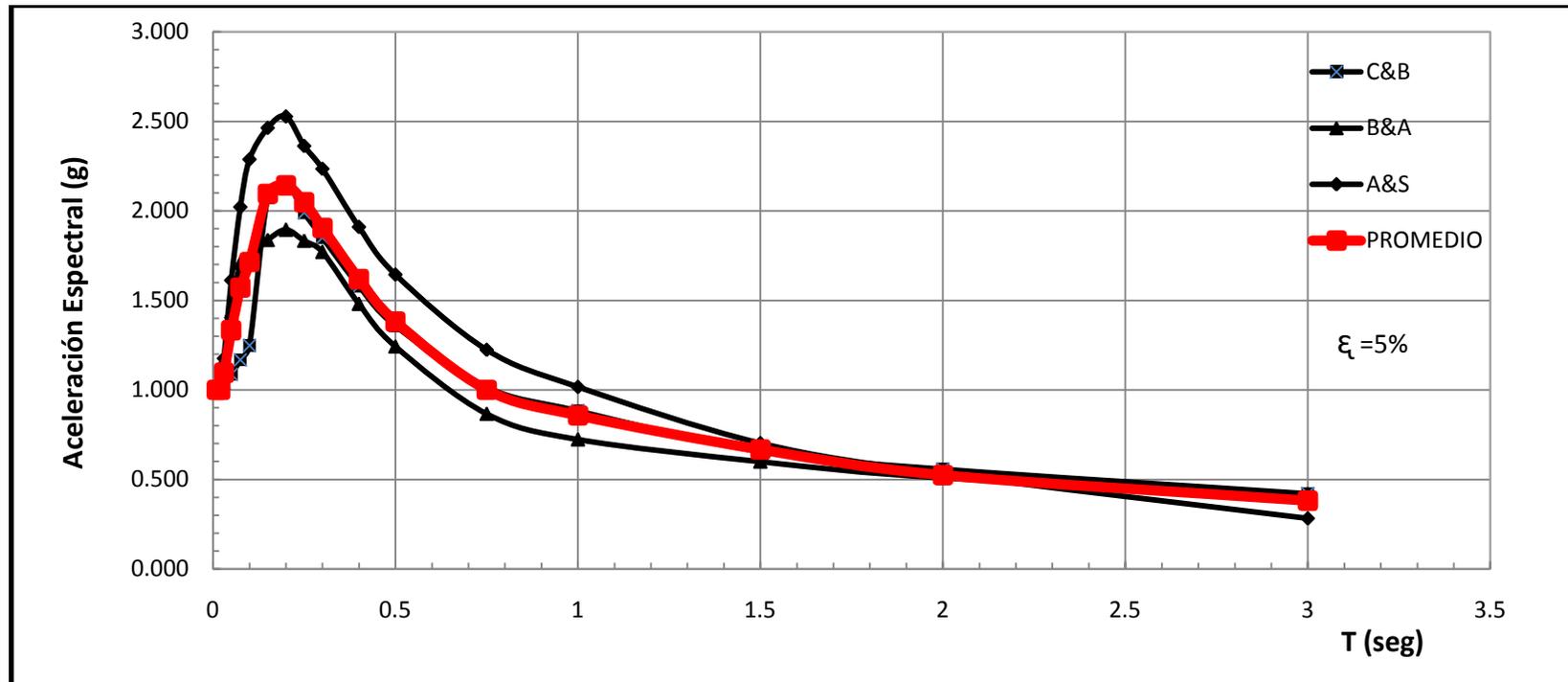


FIGURA 7.4 ESPECTROS DE RESPUESTA NORMALIZADOS PARA LAS TRES LEYES DE ATENUACIÓN



ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

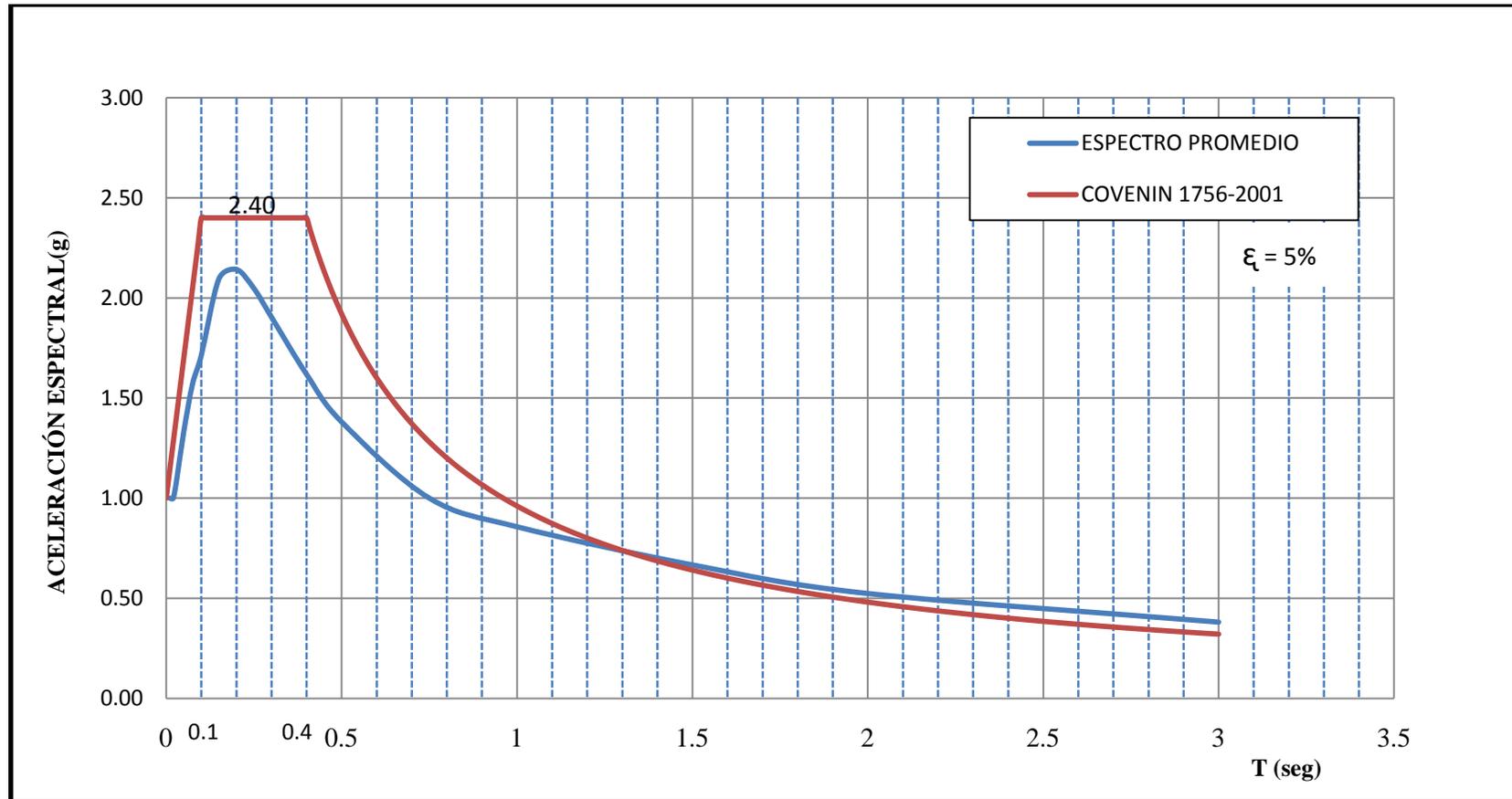


FIGURA 7.5 COMPARACIÓN DE ESPECTRO ELÁSTICO DE LA NORMA COVENIN 1756-2001 CON EL ESPECTRO PROMEDIO PARA SUELO TIPO S1.



## **CAPITULO 8**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **8.1.- CONCLUSIONES.**

Del estudio realizado para la amenaza sísmica de la ciudad Guanare, Estado Portuguesa, se derivan las siguientes conclusiones:

1. El peligro sísmico para el sitio estudiado arrojó los siguientes valores de la aceleración espectral: para la ley de Abrahamson y Silva  $A_0 = 0,19g$ ; para la ley de Campbell y Bozorgnia  $A_0 = 0,23g$ , y para la ley de Boore y Atkinson  $A_0 = 0,21g$ ; el promedio de las tres leyes de atenuación arrojó una aceleración espectral de  $0,21g$ , la cual es un valor menor a la recomendada por la norma COVENIN-1756 2001 de Edificaciones Sismorresistentes ( $A_0 = 0,25g$ ). Este resultado valida el modelo sismotectónico utilizado.
2. El espectro de respuesta que se obtuvo con el programa CRISIS 2007 resultó menos conservador que el espectro de respuesta de la Norma COVENIN 1756-2001 para suelo S1, lo cual indica que este último es confiable para el diseño sismorresistente de edificios.
3. En cuanto a la participación de las fallas, se observó que la mayor contribución le corresponde a la falla Boconó Central y la falla de Piedemonte Sur. Esto se debe a que la falla de Boconó Central posee alto potencial sismogénico en relación a la falla Piedemonte Sur, a pesar de esta última estar más cercana al sitio de interés.
4. Los autores de estas tres leyes de atenuación utilizan diferentes modelos sismotectónicos para derivar sus correspondientes leyes; es decir, las ecuaciones que plantean son unas más complejas que otras. Por esta razón para la misma base de datos se observan diferentes relaciones de atenuación.
5. La gráfica obtenida de periodo de retorno vs aceleración se puede utilizar para el diseño de edificios o instalaciones con periodos de retorno entre 200 y 5000 años.



## 8.2.-RECOMENDACIONES

1. Se recomienda profundizar la investigación sobre el programa de computación CRISIS 2007 a nivel de pregrado, ya que es una herramienta de suma utilidad para evaluar la amenaza sísmica en cualquier sitio a nivel nacional.
2. Se debe incrementar el número de estaciones acelerográficas en el país a fin de obtener una cantidad adecuada de registros que permitan en un futuro elaborar una ley de atenuación de aceleraciones adaptada a las características sismotectónicas de nuestro país. Ello nos permitirá obtener resultados más confiables en nuestros estudios de amenaza sísmica.
3. Realizar estudios orientados a facilitar la integración de los espectros de respuesta arrojados por CRISIS 2007 en el proceso rutinario del diseño de las estructuras, en vista que los mismos contienen información que permiten una mejor descripción del problema sísmico.



## REFERENCIAS

- ABRAHAMSON, N. A., and SILVA, W. J., (2008). Summary of the Abrahamson & Silva NGA ground-motion relations, *Earthquake Spectra* 24, N° 1, USA.
- AGGARWAL, Y. (1981). Investigaciones Sismológicas en el Occidente de Venezuela: Implicaciones para las consideraciones Sísmicas en el Proyecto Uribante-Caparo. Informe de Avance para CADAFE. FUNVISIS, Caracas.
- AGGARWAL, Y. (1983). Neotectónicos of the Southern Caribbean: Recent data, new ideas. *Acta Científica Venezolana*; 34 (1): 17 (resumen).
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (1995). Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia. Bogotá, Colombia.
- AUDEMARD, F. (1991). Tectonics of Western Venezuela. PhD, Thesis, Rice University, Houston, 245p + anexos.
- AUDEMARD, F. & SOULAS, J.P.(1995). Trench Confirmation of Historical Earthquakes on the Bocono Fault System, Southern Venezuelan Andes. XIV INQUA International Congress-Symposium on Paleoseismology-.Berlin, Alemania (Abstract).
- AUDEMARD, F. et al (2000). Map database of quaternary faults in Venezuela and its offshore regions. USGS, Open-file Report 00-018, Denver, USA.
- BELL, J. S. (1968). The Garrapata Formation of the Venezuelan Coast ranges. *Asoc. Ven. Geol., Min y Petr., Bol. Inform.*, 2 (7): 187-206.
- BELLIZZIA, A. (1976). Coord. *Mapa Geológico Estructural de Venezuela*. Eds. FONINVES, Caracas.
- BELTRÁN, C. & GIRALDO, C (1989). Aspectos neotectónicos de la región nororiental de Venezuela. VII Congreso Geológico Venezolano, Barquisimeto; 3:1000 - 1021.
- BOORE, D. M., and ATKINSON, G. M., (2008). Ground-motion prediction for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s, *Earthquake Spectra* 24, N° 1, USA.
- CAMPBELL, K. W., and BOZORGNIA, Y., (2006). Next Generation Attenuation (NGA) empirical ground motion models: can they be used in Europe?, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper: 458., 2008. NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s, *Earthquake Spectra* 24, N° 1, USA.
- CENTENO GRAÛ, M. (1969). Estudios Sismológicos 2da. edición aumentada y corregida. Cartografía Nacional, Ministerio de Obras Públicas, Caracas.
- CERESIS (1985). Catálogo de terremotos para América del Sur, Venezuela. Vol. 8, Lima, Perú.
- CISTERNAS, A & GAULON, A. (1984). Síntesis Sismotectónica del nordeste de Venezuela. *Revista de Geofísica*; 40:3-10,Caracas.
- CORAL 83 (1991). Atenuación de aceleraciones máximas en suelos tipo roca obtenida por regresión de registros acelerográficos a nivel mundial. Informe Interno, Caracas.



- COVENIN (2001). Edificaciones Sismorresistentes. Norma COVENIN 1756-2001, Fondonorma, Ministerio de Fomento, Caracas.
- DEWEY, J. (1972). Seismicity and Tectonics of Western Venezuela. *Bull. Seismological Society of America*; 62:171-1751.
- FIEDLER, G. (1961). Áreas afectadas por terremotos en Venezuela. En: *Memorias del III Congreso Geológico Venezolano*, Vol. 3, P. 1791-1810, Caracas.
- FUNVISIS (1993). Mapa Neotectónico de Venezuela. Dpto. de Ciencias de la Tierra. Compilación de C. Beltrán, Caracas.
- GIRALDO, C. (1989). Valor del Desplazamiento dextral acumulado a lo largo de la falla de Boconó, Andes Venezolanos. *GEOS*, 29:186-194.
- GRASES, J. (1981). Compilación de eventos sísmicos que han ocasionado algún tipo de destrucción en localidades venezolanas (1530 - 1977). *III Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica*, Caracas; 475-492.
- GRASES, J., ALTEZ R. y LUGO M. (1999). Catálogo de sismos sentidos y destructores. Venezuela 1530-1998. Academia de ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales/Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- GUTENBERG, B and RICHTER C. F. (1949). *Seismicity of the Earth and associated phenomena*. Princeton University (Princeton, N.J.) and Oxford University Press (London).
- GUTENBERG, B and RICHTER C. F. (1956). Earthquake magnitude, Intensity, Energy and Acceleration. *Bull of the Seismological Society of America*, Vol. 46:2 Abril 1956.
- MINSTER, J. & JORDAN, F. (1978). Present - day plate motions. *Journal Geophysis Res.*; 83:5331 - 5354.
- MOLNAR, L & SYKES, U. (1969). Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and Seismicity. *GSA. Bull*; 80(9):1639-1684.
- ORDAZ, M., AGUILAR, A and ARBOLEDA, J. (2007). CRISIS was developed at Instituto de Ingeniería, UNAM, Mexico. Derechos Reservados, 1987 – 2007.
- PÉREZ, O. & AGGARWAL, Y. (1981). Present - day tectonics of the Southeastern Caribbean and Northeastern Venezuela. *Journal Geophysis Res.*, 86 (B11): 10791-10804.
- RICHTER, C. (1958). *Elementary Seismology*. Freeman and Co, San Francisco, USA.
- SCHUBERT, C. & SIFONTES, R. (1970). Boconó fault, Venezuela Andes: evidence of postglacial movement. *Science*; 170:66-69.
- SCHUBERT, C. (1982). Neotectonics of Boconó fault, Westwern Venezuela. *Tectonophysics*; 85:205-220.
- SCHUBERT, C. (1984). Basin formation along the Boconó – Morón – El Pilar Fault system, Venezuela. *J. Geophys. Res.*, 89: 5711 – 5718.
- SCHUBERT, C. (1996). Emil Rod, la controversia sobre las grandes fallas de rumbo y el paradigma de la tectonica de placas en Venezuela una visión personal. *Separatas, Bol. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, Nos. 171-172, Caracas.
- SILVER, E. et al. (1975). Geophysical study of the Venezuela Borderland. *G.S.A. Bull*; 86: 213 - 226.
- SOULAS, J. P. (1986). Neotectónica y tectónica activa en Venezuela y regiones vecinas. *VI Congreso Geológico Venezolano*, Caracas; 10: 6649 - 6656.



- STEPHAN, J. F. (1982). Evolution Geodynamique du Domaine Caraibe, Andes et Chaîne Caraibe Sur la Transversale de Barquisimeto (Venezuela). Tesis Doctoral, Universidad de Paris VI, 552pp. Inedito.
- SYKES, L. R. y EWING, M. (1965). The Seismicity of the Caribbean Region. En: Journal of Geophysical Research, 70 (20): 5065-5074.
- TOMBLIN, J. (1972). Seismicity and plate tectonics of the Eastern Caribbean. IV Conferencia Geol. del Caribe, Isla de Margarita; 277-282.
- WELLS, D. and COPPERSMITH, K. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area and surface displacement. Bulletin of the Seismological Society of America, vol 73, N° 3, pp 863-877.
- WILLIS, D. E. et al. (1974). Explosión Induced Ground Motion, Tidal and Tectonic Forces and Their Relationship to Natural Seismicity. Department of Geology, University of Wisconsin, U.S.A.



**ANEXO 1**  
**SALIDA DEL PROGRAMA DE COMPUTACION CRISIS 2007**

**ARCHIVO DE SALIDA TIPO \*.MAP**

Ley de Atenuación de Abrahamson y Silva (2008)

Periodos de Retornos establecidos			Aceleraciones medidas en gal				
Long.	Lat.	Ordenada Espectral	200 años	475 años	1000 años	2500 años	5000 años
69.75	9.07	1	142	188	234	318	404
69.75	9.07	2	142	188	234	318	404
69.75	9.07	3	165	221	276	377	476
69.75	9.07	4	225	303	383	524	658
69.75	9.07	5	281	380	480	655	822
69.75	9.07	6	319	430	542	741	932
69.75	9.07	7	346	464	579	785	992
69.75	9.07	8	345	475	589	786	984
69.75	9.07	9	334	444	546	719	892
69.75	9.07	10	316	420	515	672	825
69.75	9.07	11	270	359	440	570	692
69.75	9.07	12	231	309	379	489	590
69.75	9.07	13	170	230	282	363	435
69.75	9.07	14	140	191	235	304	363
69.75	9.07	15	96	132	163	211	253
69.75	9.07	16	72	100	124	161	194
69.75	9.07	17	38	53	67	89	107

**ARCHIVO DE SALIDA TIPO \*.MAP**

Ley de Atenuación de Boore &amp; Atkinson

Periodos de retorno establecidos			Aceleraciones medidas en gal				
Long.	Lat.	Ordenada Espectral	200 años	475 años	1000 años	2500 años	5000 años
69.75	9.07	1	180	210	236	275	305
69.75	9.07	2	186	212	238	276	305
69.75	9.07	3	185	245	265	301	322
69.75	9.07	4	189	302	323	365	401
69.75	9.07	5	195	359	381	423	523
69.75	9.07	6	201	366	399	458	572
69.75	9.07	7	206	386	411	474	612
69.75	9.07	8	196	398	427	488	630
69.75	9.07	9	192	385	409	473	612
69.75	9.07	10	182	372	387	425	524
69.75	9.07	11	176	311	346	384	422
69.75	9.07	12	164	261	281	336	360
69.75	9.07	13	141	182	205	222	268
69.75	9.07	14	131	152	189	183	225
69.75	9.07	15	110	126	167	166	184
69.75	9.07	16	94	107	122	138	154
69.75	9.07	17	79	88	98	110	121

**ARCHIVO DE SALIDA TIPO \*.MAP**

Ley de Atenuación de Campbell &amp; Bozorgnia

Periodos de retorno establecidos		Aceleraciones medidas en gal					
Long.	Lat.	Ordenada Espectral	200 años	475 años	1000 años	2500 años	5000 años
69.75	9.07	1	209	227	245	266	285
69.75	9.07	2	210	230	245	270	285
69.75	9.07	3	213	236	261	288	319
69.75	9.07	4	224	247	284	313	362
69.75	9.07	5	239	265	302	333	400
69.75	9.07	6	253	283	329	363	450
69.75	9.07	7	281	471	529	583	739
69.75	9.07	8	308	490	564	622	803
69.75	9.07	9	311	452	503	554	731
69.75	9.07	10	311	420	483	532	717
69.75	9.07	11	292	359	430	474	653
69.75	9.07	12	280	308	370	408	577
69.75	9.07	13	243	230	245	270	397
69.75	9.07	14	213	200	221	244	373
69.75	9.07	15	174	149	175	193	311
69.75	9.07	16	143	127	159	175	297
69.75	9.07	17	105	95	127	140	252



ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

### ARCHIVO DE SALIDA TIPO \*.FUE

#### Participación Abrahmson & Silva

Fallas/Participación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Total
100 gal	0	0	1	1	1	0	5	0	0	27	0	0	0	0	2	0	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
200 gal	0	0	0	0	0	0	3	0	0	56	0	0	0	0	1	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
300 gal	0	0	0	0	0	0	1	0	0	89	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

#### Participación Campbell & Bozorgnia

Fallas/Participación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	total
100 gal	1	1	0	0	0	0	1	0	0	11	0	1	1	0	1	1	61	12	0	0	3	1	3	0	0	0	0	0	0	0	100
200 gal	1	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	76	7	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	100
300 gal	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	85	5	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	100

#### Participación Boore & Atkinson

Fallas/Participación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	total
100 gal	0	1	0	0	0	0	1	0	0	20	0	0	1	0	1	1	59	13	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	100
200 gal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	56	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
300 gal	1	0	2	0	0	0	1	0	0	20	0	0	1	0	0	0	48	17	0	0	1	0	1	0	1	3	0	2	2	0	100



**ANEXO 2**  
**MATRICES DE LAS LEYES DE ATENUACIÓN**



## ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

**MATRIZ ABRAHAMSON Y SILVA**

5	8.5	5							
1	200	10							
0.01	0.5576	0							
0.214904	0.062148	0.025376	0.009658	0.003605	0.002621	0.001766	0.001239	0.000662	0.000498
0.319693	0.116319	0.056060	0.025514	0.011428	0.008815	0.006447	0.004872	0.002973	0.002378
0.423426	0.193834	0.110266	0.060010	0.032258	0.026393	0.020947	0.017050	0.011891	0.010113
0.459319	0.264547	0.177631	0.115599	0.074577	0.064724	0.053907	0.045706	0.034068	0.029795
0.465228	0.300554	0.219250	0.156029	0.110274	0.098569	0.084099	0.072775	0.056080	0.049734
0.02	0.5576	0							
0.221332	0.063482	0.025768	0.009745	0.003613	0.002622	0.001764	0.001236	0.000658	0.000495
0.329255	0.118816	0.056925	0.025742	0.011455	0.008817	0.006437	0.004857	0.002957	0.002363
0.436091	0.197995	0.111965	0.060546	0.032334	0.026399	0.020915	0.017000	0.011827	0.010049
0.473058	0.270226	0.180369	0.116631	0.074753	0.064739	0.053826	0.045571	0.033887	0.029606
0.479144	0.307006	0.222630	0.157422	0.110533	0.098591	0.083973	0.072560	0.055781	0.049419
0.03	0.5670	0							
0.242349	0.068020	0.027181	0.010107	0.003684	0.002658	0.001780	0.001242	0.000658	0.000493
0.360520	0.127309	0.060047	0.026700	0.011679	0.008939	0.006497	0.004883	0.002954	0.002354
0.477500	0.212149	0.118108	0.062799	0.032965	0.026765	0.021109	0.017091	0.011816	0.010013
0.517978	0.289544	0.190264	0.120972	0.076211	0.065636	0.054324	0.045816	0.033856	0.029501
0.524642	0.328954	0.234843	0.163280	0.112690	0.099958	0.084750	0.072950	0.055730	0.049244
0.04	0.5734	0							
0.280399	0.076913	0.030229	0.011041	0.003951	0.002834	0.001889	0.001313	0.000690	0.000516
0.403099	0.139114	0.064536	0.028187	0.012106	0.009212	0.006663	0.004988	0.002997	0.002382
0.521860	0.226594	0.124075	0.064803	0.033402	0.026960	0.021161	0.017063	0.011719	0.009903
0.559681	0.305753	0.197611	0.123417	0.076346	0.065366	0.053840	0.045223	0.033196	0.028845
0.566074	0.346874	0.243565	0.166343	0.112728	0.099404	0.083875	0.071903	0.054565	0.048081
0.05	0.5792	0							
0.323395	0.087039	0.033744	0.012144	0.004281	0.003056	0.001993	0.001356	0.000684	0.000501
0.452797	0.153327	0.070162	0.030195	0.012774	0.009673	0.006875	0.005061	0.002944	0.002303
0.575973	0.245388	0.132538	0.068207	0.034631	0.027816	0.021551	0.017164	0.011514	0.009621
0.612303	0.328212	0.209240	0.128763	0.078461	0.066850	0.054352	0.045092	0.032331	0.027778



## ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

0.618617	0.371944	0.257614	0.173357	0.115724	0.101549	0.084580	0.071615	0.053085	0.046251
0.075	0.5878	0							
0.439845	0.115322	0.043872	0.015471	0.005341	0.003787	0.002374	0.001554	0.000727	0.000513
0.586980	0.193630	0.086946	0.036664	0.015192	0.011426	0.007873	0.005623	0.003085	0.002345
0.723143	0.300130	0.159071	0.080211	0.039887	0.031823	0.024107	0.018789	0.012091	0.009901
0.756555	0.395059	0.247142	0.149019	0.088936	0.075267	0.059834	0.048577	0.033411	0.028132
0.762829	0.446804	0.303671	0.200229	0.130911	0.114107	0.092925	0.076996	0.054749	0.046747
0.1	0.5950	0							
0.533080	0.139489	0.052989	0.018657	0.006431	0.004558	0.002856	0.001868	0.000873	0.000616
0.700812	0.230720	0.103452	0.043556	0.018019	0.013546	0.009330	0.006662	0.003652	0.002776
0.854790	0.354062	0.187385	0.094341	0.046840	0.037352	0.028283	0.022036	0.014172	0.011602
0.889824	0.463725	0.289681	0.174398	0.103918	0.087901	0.069848	0.056687	0.038966	0.032802
0.896642	0.524135	0.355717	0.234182	0.152868	0.133177	0.108409	0.089795	0.063813	0.054473
0.15	0.6044	0							
0.554980	0.151335	0.059227	0.021534	0.007670	0.005494	0.003472	0.002288	0.001083	0.000768
0.769161	0.263886	0.121899	0.052998	0.022656	0.017213	0.011959	0.008601	0.004773	0.003645
0.971768	0.419467	0.228711	0.118906	0.061003	0.049163	0.037551	0.029472	0.019182	0.015783
1.029558	0.559142	0.359844	0.223710	0.137741	0.117753	0.094384	0.077162	0.053678	0.045415
1.039732	0.633374	0.442849	0.301060	0.203071	0.178798	0.146812	0.122498	0.088100	0.075584
0.2	0.6103	0							
0.458716	0.132414	0.053997	0.020522	0.007648	0.005559	0.003627	0.002464	0.001233	0.000898
0.692286	0.251427	0.121018	0.055000	0.024599	0.018965	0.013536	0.009983	0.005803	0.004531
0.925762	0.423020	0.240327	0.130608	0.070107	0.057333	0.044763	0.035846	0.024199	0.020249
1.009070	0.580122	0.389013	0.252805	0.162858	0.141275	0.115752	0.096554	0.069666	0.059946
1.022665	0.659477	0.480447	0.341425	0.240954	0.215278	0.180690	0.153829	0.114745	0.100124
0.25	0.6153	0							
0.367741	0.110834	0.046627	0.018327	0.007068	0.005194	0.003517	0.002476	0.001327	0.000999
0.604709	0.229306	0.113863	0.053517	0.024771	0.019310	0.014203	0.010780	0.006617	0.005303
0.856251	0.408513	0.239430	0.134567	0.074752	0.061812	0.049386	0.040415	0.028411	0.024236
0.960382	0.576481	0.398805	0.268026	0.178685	0.156733	0.131413	0.112019	0.084165	0.073830
0.976808	0.657685	0.494306	0.363278	0.265318	0.239687	0.205872	0.179106	0.139123	0.123754
0.3	0.6202	0							



## ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

0.293912	0.090351	0.038556	0.015389	0.006029	0.004453	0.003102	0.002244	0.001269	0.000981
0.518452	0.200520	0.101000	0.048207	0.022666	0.017759	0.013355	0.010356	0.006628	0.005422
0.769288	0.374347	0.222557	0.127023	0.071677	0.059572	0.048371	0.040203	0.029114	0.025196
0.883271	0.540775	0.379478	0.258991	0.175394	0.154628	0.131759	0.114069	0.088291	0.078573
0.901010	0.618756	0.471728	0.352060	0.261193	0.237161	0.207019	0.182919	0.146372	0.132090
0.4	0.6261	0							
0.209049	0.065939	0.028666	0.011674	0.004668	0.003471	0.002519	0.001898	0.001163	0.000935
0.403726	0.160219	0.082214	0.040035	0.019213	0.015153	0.011770	0.009421	0.006412	0.005405
0.636352	0.317732	0.192441	0.112058	0.064539	0.053995	0.044881	0.038154	0.028857	0.025507
0.753041	0.473063	0.338189	0.235483	0.162768	0.144449	0.126000	0.111574	0.090196	0.081981
0.771070	0.543328	0.421992	0.321315	0.243308	0.222387	0.198720	0.179594	0.150095	0.138342
0.5	0.6319	0							
0.154008	0.049435	0.021765	0.008985	0.003643	0.002721	0.002039	0.001585	0.001032	0.000855
0.319058	0.128854	0.066961	0.033055	0.016085	0.012743	0.010146	0.008319	0.005934	0.005120
0.526994	0.267776	0.164247	0.096953	0.056621	0.047584	0.040258	0.034814	0.027217	0.024449
0.638394	0.408124	0.295475	0.208564	0.146180	0.130313	0.115697	0.104218	0.087082	0.080438
0.655593	0.470116	0.369773	0.285419	0.219153	0.201211	0.183004	0.168246	0.145338	0.136136
0.75	0.6405	0							
0.083904	0.027568	0.012343	0.005189	0.002143	0.001610	0.001275	0.001046	0.000758	0.000662
0.197521	0.081652	0.043152	0.021692	0.010753	0.008570	0.007119	0.006085	0.004711	0.004231
0.355265	0.184775	0.115260	0.069283	0.041218	0.034847	0.030377	0.027046	0.022379	0.020670
0.449093	0.293876	0.216372	0.155526	0.111044	0.099585	0.091099	0.084487	0.074718	0.070965
0.463655	0.340321	0.272226	0.213973	0.167366	0.154587	0.144865	0.137121	0.125368	0.120744
1	0.6477	0							
0.062669	0.020802	0.009383	0.003976	0.001656	0.001247	0.000989	0.000813	0.000591	0.000517
0.161619	0.067497	0.035936	0.018209	0.009100	0.007272	0.006053	0.005184	0.004025	0.003620
0.308913	0.162318	0.102002	0.061804	0.037068	0.031421	0.027449	0.024484	0.020319	0.018791
0.402553	0.266128	0.197394	0.143019	0.102947	0.092566	0.084860	0.078845	0.069935	0.066505
0.417187	0.309362	0.249294	0.197515	0.155753	0.144239	0.135459	0.128450	0.117789	0.113586
1.5	0.6536	0							
0.032693	0.010940	0.004963	0.002116	0.000887	0.000670	0.000532	0.000438	0.000319	0.000279
0.097663	0.041117	0.022019	0.011227	0.005647	0.004522	0.003771	0.003233	0.002516	0.002265



## ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

0.205889	0.109060	0.068934	0.042030	0.025371	0.021550	0.018858	0.016845	0.014012	0.012971
0.281774	0.187788	0.140101	0.102147	0.073999	0.066675	0.061228	0.056969	0.050649	0.048213
0.293812	0.219637	0.178024	0.141935	0.112644	0.104533	0.098336	0.093382	0.085831	0.082850
2	0.6587	0							
0.018803	0.006303	0.002863	0.001223	0.000513	0.000388	0.000308	0.000254	0.000185	0.000162
0.063314	0.026737	0.014349	0.007334	0.003698	0.002963	0.002472	0.002121	0.001652	0.001488
0.143097	0.076029	0.048161	0.029434	0.017810	0.015140	0.013257	0.011848	0.009864	0.009135
0.202774	0.135549	0.101349	0.074068	0.053787	0.048501	0.044567	0.041490	0.036920	0.035156
0.212358	0.159229	0.129344	0.103368	0.082233	0.076371	0.071890	0.068305	0.062837	0.060677
3	0.6646	0							
0.008357	0.002801	0.001273	0.000543	0.000228	0.000172	0.000137	0.000113	0.000082	0.000072
0.033865	0.014301	0.007675	0.003923	0.001978	0.001585	0.001322	0.001135	0.000884	0.000796
0.084452	0.044870	0.028424	0.017371	0.010511	0.008935	0.007824	0.006992	0.005822	0.005391
0.125707	0.084032	0.062830	0.045917	0.033345	0.030068	0.027629	0.025721	0.022888	0.021795
0.132461	0.099321	0.080680	0.064477	0.051294	0.047637	0.044842	0.042606	0.039195	0.037848



ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

### MATRIZ CAMPBELL Y BOZORGNIA

4	8.5	6							
1	200	10							
0.01	0.54215348	0							
0.11137338	0.04092026	0.01744120	0.00670851	0.00250292	0.00181830	0.00139997	0.00112212	0.00078217	0.00067230
0.24417714	0.10159583	0.04802852	0.02071518	0.00869069	0.00655754	0.00520782	0.00428511	0.00311736	0.00272793
0.41023992	0.19309668	0.10128035	0.04901390	0.02313404	0.01813256	0.01485507	0.01254861	0.00952850	0.00848922
0.75105596	0.40016411	0.23323061	0.12687730	0.06747435	0.05495842	0.04645915	0.04029931	0.03194932	0.02898350
0.75361960	0.45087774	0.29046342	0.17696029	0.10582981	0.08954429	0.07809110	0.06954582	0.05755679	0.05316305
0.75490465	0.47854958	0.32405792	0.20888941	0.13246227	0.11423116	0.10118376	0.09130684	0.07720851	0.07196044
0.02	0.54360789	0							
0.11423636	0.04183247	0.01777813	0.00681559	0.00253419	0.00183898	0.00141460	0.00113298	0.00078875	0.00067760
0.25038061	0.10384549	0.04895260	0.02104507	0.00879914	0.00663202	0.00526220	0.00432655	0.00314357	0.00274941
0.42052550	0.19733163	0.10321583	0.04979097	0.02342186	0.01833799	0.01500984	0.01266967	0.00960843	0.00855595
0.76946247	0.40877042	0.23761789	0.12886499	0.06830636	0.05557599	0.04693949	0.04068527	0.03221552	0.02920983
0.77208613	0.46053242	0.29589239	0.17971233	0.10712500	0.09054297	0.07889244	0.07020688	0.05803270	0.05357499
0.77340126	0.48877302	0.33009275	0.21212324	0.13407515	0.11549848	0.10221647	0.09216995	0.07784322	0.07251474
0.03	0.55341684	0							
0.12622856	0.04565217	0.01916911	0.00724557	0.00265422	0.00191674	0.00146856	0.00117224	0.00081160	0.00069562
0.27525751	0.11303727	0.05271204	0.02235879	0.00921334	0.00691100	0.00546200	0.00447583	0.00323429	0.00282227
0.45972891	0.21402428	0.11089344	0.05283374	0.02450865	0.01909952	0.01557301	0.01310196	0.00988290	0.00878040
0.83339568	0.44018340	0.25399039	0.13629748	0.07133878	0.05779097	0.04863319	0.04202207	0.03310286	0.02994885
0.83618638	0.49514568	0.31563605	0.18970398	0.11170207	0.09401416	0.08162896	0.07242275	0.05956506	0.05487278
0.83758515	0.52507366	0.35171376	0.22364638	0.13965314	0.11980478	0.10566058	0.09499234	0.07983210	0.07421186
0.05	0.56723607	0							
0.16066459	0.05808775	0.02385574	0.00873136	0.00308594	0.00220231	0.00167104	0.00132291	0.00090365	0.00077015
0.34570456	0.14270313	0.06531498	0.02688736	0.01070176	0.00793483	0.00621140	0.00504864	0.00359984	0.00312365
0.56895046	0.26714366	0.13638716	0.06326728	0.02840494	0.02188982	0.01768319	0.01475976	0.01098888	0.00970929
1.00187804	0.53552662	0.30629367	0.16100674	0.08192730	0.06570119	0.05482058	0.04702073	0.03658882	0.03293010
1.00410135	0.59687791	0.37625043	0.22149843	0.12694170	0.10581475	0.09112959	0.08028389	0.06525775	0.05981556
1.00521466	0.62996468	0.41665910	0.25941730	0.15772599	0.13403727	0.11727502	0.10471014	0.08699212	0.08047123
0.075	0.58668874	0							



## ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

0.17430605	0.07562234	0.03174383	0.01129542	0.00380915	0.00267390	0.00200119	0.00156581	0.00104915	0.00088692
0.38571277	0.18705070	0.08703761	0.03478358	0.01320762	0.00963245	0.00743754	0.00597484	0.00417901	0.00359691
0.65248854	0.35206421	0.18178211	0.08177819	0.03503223	0.02655751	0.02116312	0.01745969	0.01275224	0.01117664
1.15509780	0.69400106	0.39966674	0.20376270	0.09904409	0.07816248	0.06435128	0.05456693	0.04166696	0.03720268
1.15761786	0.75314144	0.47432913	0.27018364	0.14788808	0.12132387	0.10310874	0.08981218	0.07165014	0.06515811
1.15887969	0.78431392	0.51621658	0.31057070	0.18031472	0.15081452	0.13022113	0.11496288	0.09374910	0.08604284
0.1	0.59852948	0							
0.18328779	0.08830898	0.03806169	0.01343415	0.00442857	0.00308254	0.00229071	0.00178145	0.00118170	0.00099474
0.41558271	0.22051637	0.10473479	0.04141768	0.01536112	0.01110749	0.00851527	0.00679879	0.00470750	0.00403455
0.72040551	0.41926303	0.21965214	0.09752715	0.04076940	0.03063861	0.02423877	0.01987358	0.01436824	0.01253907
1.29473618	0.82731369	0.48044897	0.24102382	0.11416834	0.08929234	0.07297001	0.06148503	0.04646578	0.04130721
1.29658182	0.88596562	0.55997694	0.31325176	0.16696414	0.13572813	0.11448394	0.09908371	0.07822316	0.07082357
1.29750533	0.91654327	0.60397741	0.35653249	0.20150245	0.16699217	0.14309955	0.12552071	0.10128621	0.09255052
0.15	0.6122141	0							
0.18900939	0.09820072	0.04399869	0.01583531	0.00527220	0.00367873	0.00273887	0.00213322	0.00141845	0.00119521
0.44280745	0.24901270	0.12192960	0.04896143	0.01830871	0.01326735	0.01018826	0.00814593	0.00565295	0.00484939
0.79423597	0.48250696	0.25835133	0.11587725	0.04871299	0.03666834	0.02904819	0.02384447	0.01727243	0.01508599
1.48380413	0.97485195	0.57237552	0.28771990	0.13635132	0.10669172	0.08723514	0.07354546	0.05564059	0.04948915
1.48583687	1.04039178	0.66336761	0.37117984	0.19759170	0.16061406	0.13548879	0.11728683	0.09264476	0.08390665
1.48685408	1.07460625	0.71378749	0.42122731	0.23761034	0.19685353	0.16867130	0.14795521	0.11942076	0.10914154
0.2	0.61786163	0							
0.19337412	0.09039277	0.03980157	0.01477609	0.00518595	0.00368693	0.00278813	0.00220075	0.00149581	0.00127210
0.45073111	0.22914516	0.11045914	0.04574738	0.01802322	0.01330532	0.01037694	0.00840752	0.00596328	0.00516295
0.84059937	0.46477204	0.24527621	0.11332485	0.05011745	0.03841823	0.03090136	0.02569909	0.01902160	0.01676587
1.67800252	1.00902361	0.58296334	0.30048035	0.14916865	0.11873577	0.09849580	0.08408136	0.06494425	0.05827551
1.68177255	1.09985077	0.69566180	0.40001669	0.22291393	0.18424550	0.15762641	0.13811880	0.11132827	0.10169911
1.68366074	1.14828576	0.75993529	0.46153978	0.27250033	0.22951154	0.19940435	0.17702285	0.14575983	0.13434846
0.25	0.61582221	0							
0.17342559	0.07334673	0.03205342	0.01226822	0.00450635	0.00325481	0.00249382	0.00199056	0.00137799	0.00118099
0.39464058	0.18442000	0.08871369	0.03795461	0.01565837	0.01174445	0.00928078	0.00760406	0.00549338	0.00479302
0.74934704	0.38692604	0.20488001	0.09798066	0.04540049	0.03536161	0.02882015	0.02423867	0.01827364	0.01623170
1.54137323	0.87941012	0.51256871	0.27400578	0.14259958	0.11533870	0.09695081	0.08369807	0.06584976	0.05954738



## ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

1.54480937	0.97386156	0.62480841	0.37335446	0.21823188	0.18329909	0.15890912	0.14082003	0.11561803	0.10643966
1.54653031	1.02482593	0.68983346	0.43581497	0.26997166	0.23107499	0.20344524	0.18265810	0.15320088	0.14230622
0.3	0.61754757	0							
0.15238964	0.06107547	0.02683217	0.01053391	0.00399772	0.00291953	0.00225742	0.00181589	0.00127314	0.00109697
0.34188277	0.15293094	0.07416520	0.03257762	0.01388978	0.01053403	0.00840068	0.00693660	0.00507529	0.00445195
0.66215201	0.33058459	0.17697147	0.08697766	0.04166164	0.03281217	0.02698823	0.02287511	0.01746644	0.01559786
1.39971289	0.77995695	0.46090039	0.25345267	0.13638864	0.11155166	0.09463143	0.08233422	0.06560681	0.05964587
1.40395661	0.87315654	0.56956640	0.35044471	0.21186222	0.17994950	0.15744533	0.14061477	0.11693027	0.10822543
1.40608329	0.92385296	0.63315932	0.41207932	0.26405304	0.22855354	0.20308460	0.18376223	0.15610470	0.14578195
0.4	0.61822811	0							
0.12972267	0.04643893	0.02012503	0.00797438	0.00307886	0.00226228	0.00175816	0.00142045	0.00100305	0.00086686
0.28482712	0.11565603	0.05553467	0.02465114	0.01069606	0.00816200	0.00654242	0.00542585	0.00399850	0.00351803
0.56984587	0.26246108	0.13963765	0.06943646	0.03385856	0.02683232	0.02218345	0.01888514	0.01452391	0.01300944
1.26123851	0.65890879	0.38842270	0.21637238	0.11857062	0.09758507	0.08321153	0.07271707	0.05836244	0.05322077
1.27198378	0.75375504	0.49232424	0.30722788	0.18920394	0.16171603	0.14222711	0.12758428	0.10686312	0.09920837
1.27739069	0.80618125	0.55427403	0.36609182	0.23900486	0.20817948	0.18594385	0.16899643	0.14460226	0.13545090
0.5	0.62574755	0							
0.08963793	0.02905567	0.01250589	0.00500487	0.00196229	0.00144957	0.00113156	0.00091766	0.00065203	0.00056498
0.22580292	0.08425222	0.04028987	0.01807812	0.00796737	0.00611251	0.00492143	0.00409698	0.00303801	0.00267995
0.48860121	0.20985484	0.11149734	0.05609193	0.02778777	0.02214047	0.01838629	0.01571204	0.01215895	0.01091960
1.13391406	0.56060540	0.33092813	0.18665870	0.10394244	0.08601108	0.07367111	0.06462515	0.05219187	0.04771858
1.23313472	0.70177895	0.46026470	0.29107229	0.18219516	0.15657654	0.13832643	0.12455905	0.10498192	0.09771766
1.28595485	0.78518477	0.54280602	0.36347720	0.24121750	0.21125785	0.18954360	0.17292673	0.14889164	0.13983498
0.75	0.65037989	0							
0.03741264	0.01053349	0.00453433	0.00185158	0.00074528	0.00055546	0.00043679	0.00035644	0.00025587	0.00022266
0.12581740	0.04170475	0.02001106	0.00917054	0.00415023	0.00321255	0.00260563	0.00218272	0.00163517	0.00144865
0.31692171	0.12367660	0.06614793	0.03402011	0.01731061	0.01391656	0.01164228	0.01001135	0.00782708	0.00705956
0.79669977	0.36603365	0.21821957	0.12595278	0.07205837	0.06016519	0.05191518	0.04582677	0.03739116	0.03433380
1.00154695	0.54173689	0.36000216	0.23319205	0.14999969	0.13007469	0.11576696	0.10490100	0.08932478	0.08350264
1.12294795	0.65905569	0.46239252	0.31729756	0.21641798	0.19125664	0.17287404	0.15871201	0.13806178	0.13022350
1	0.66202266	0							
0.01798484	0.00506361	0.00217972	0.00089009	0.00035827	0.00026702	0.00020997	0.00017135	0.00012300	0.00010704



## ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

0.07566778	0.02508163	0.01203484	0.00551525	0.00249599	0.00193206	0.00156705	0.00131271	0.00098341	0.00087123
0.21641017	0.08445264	0.04516915	0.02323065	0.01182056	0.00950293	0.00794994	0.00683626	0.00534473	0.00482062
0.58698466	0.26968269	0.16077768	0.09279826	0.05309046	0.04432792	0.03824956	0.03376380	0.02754869	0.02529612
0.83365681	0.45092509	0.29965470	0.19410187	0.12485512	0.10827016	0.09636085	0.08731636	0.07435119	0.06950502
0.99349933	0.58308257	0.40908990	0.28072085	0.19147025	0.16920940	0.15294586	0.14041637	0.12214661	0.11521189
1.5	0.67453391	0							
0.00599595	0.00168815	0.00072670	0.00029674	0.00011944	0.00008902	0.00007000	0.00005713	0.00004101	0.00003568
0.03463647	0.01148097	0.00550888	0.00252457	0.00114252	0.00088439	0.00071731	0.00060088	0.00045015	0.00039880
0.11859690	0.04628166	0.02475355	0.01273084	0.00647789	0.00520779	0.00435672	0.00374640	0.00292901	0.00264179
0.35818638	0.16456421	0.09810883	0.05662681	0.03239655	0.02704953	0.02334042	0.02060315	0.01681060	0.01543605
0.60418267	0.32680249	0.21717111	0.14067298	0.09048724	0.07846749	0.06983636	0.06328147	0.05388513	0.05037292
0.78468954	0.46053257	0.32310899	0.22172005	0.15122778	0.13364563	0.12080030	0.11090421	0.09647431	0.09099711
2	0.68171328	0							
0.00303363	0.00085412	0.00036767	0.00015014	0.00006043	0.00004504	0.00003542	0.00002890	0.00002075	0.00001805
0.01911711	0.00633676	0.00304055	0.00139340	0.00063060	0.00048812	0.00039591	0.00033165	0.00024845	0.00022011
0.07387738	0.02883016	0.01541969	0.00793040	0.00403526	0.00324408	0.00271392	0.00233374	0.00182456	0.00164565
0.22547962	0.10359377	0.06175986	0.03564678	0.02039375	0.01702778	0.01469288	0.01296976	0.01058234	0.00971705
0.42202009	0.22827073	0.15169348	0.09825973	0.06320511	0.05480934	0.04878052	0.04420195	0.03763863	0.03518536
0.57735913	0.33885081	0.23773724	0.16313725	0.11127043	0.09833383	0.08888249	0.08160114	0.07098390	0.06695388
3	0.68562453	0							
0.00128093	0.00036064	0.00015525	0.00006339	0.00002552	0.00001902	0.00001495	0.00001220	0.00000876	0.00000762
0.00807205	0.00267565	0.00128385	0.00058835	0.00026627	0.00020611	0.00016717	0.00014004	0.00010491	0.00009294
0.03697458	0.01442909	0.00771734	0.00396905	0.00201959	0.00162361	0.00135828	0.00116800	0.00091317	0.00082362
0.11234268	0.05161443	0.03077116	0.01776061	0.01016096	0.00848390	0.00732056	0.00646204	0.00527253	0.00484141
0.22892101	0.12382341	0.08228477	0.05330011	0.03428504	0.02973084	0.02646056	0.02397695	0.02041673	0.01908598
0.32678046	0.19178673	0.13455730	0.09233432	0.06297813	0.05565613	0.05030675	0.04618556	0.04017630	0.03789534



## ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

**MATRIZ BOORE Y ATKINSON**

5	8	4							
1	200	10							
0.01	0.566	0							
0.196504	0.060597	0.035742	0.018728	0.007788	0.005409	0.003850	0.002787	0.001512	0.001127
0.358663	0.137151	0.087841	0.050008	0.022598	0.016121	0.011729	0.008650	0.004835	0.003651
0.501561	0.237832	0.165401	0.102309	0.050241	0.036813	0.027375	0.020566	0.011849	0.009060
0.533779	0.313863	0.237018	0.159290	0.085003	0.063974	0.048625	0.037212	0.022096	0.017110
0.02	0.566	0							
0.205223	0.063014	0.037106	0.019410	0.008058	0.005594	0.003980	0.002880	0.001561	0.001164
0.370331	0.141715	0.090789	0.051700	0.023370	0.016673	0.012131	0.008947	0.005002	0.003777
0.507042	0.241815	0.168541	0.104482	0.051421	0.037705	0.028055	0.021087	0.012159	0.009300
0.540397	0.321192	0.243553	0.164363	0.088075	0.066375	0.050505	0.038686	0.023006	0.017826
0.03	0.576	0							
0.232412	0.068683	0.039856	0.020543	0.008404	0.005806	0.004115	0.002968	0.001600	0.001190
0.410053	0.152519	0.096653	0.054440	0.024339	0.017303	0.012553	0.009236	0.005143	0.003877
0.539151	0.252400	0.174673	0.107511	0.052534	0.038432	0.028542	0.021419	0.012318	0.009412
0.576260	0.339542	0.256611	0.172596	0.092176	0.069391	0.052753	0.040378	0.023983	0.018574
0.05	0.589	0							
0.304302	0.085956	0.049024	0.024832	0.009982	0.006858	0.004838	0.003476	0.001862	0.001381
0.514831	0.184152	0.114966	0.063786	0.028090	0.019873	0.014361	0.010530	0.005832	0.004386
0.631779	0.286166	0.195556	0.118843	0.057336	0.041773	0.030919	0.023137	0.013245	0.010100
0.676455	0.388003	0.290232	0.193195	0.102111	0.076613	0.058085	0.044356	0.026246	0.020295
0.075	0.606	0							
0.403925	0.119681	0.068015	0.034288	0.013714	0.009406	0.006626	0.004756	0.002543	0.001885
0.675154	0.246930	0.152725	0.083863	0.036542	0.025764	0.018565	0.013581	0.007492	0.005625
0.808648	0.365071	0.245739	0.146978	0.069772	0.050568	0.037270	0.027788	0.015814	0.012030
0.872271	0.486088	0.356100	0.231988	0.119978	0.089389	0.067384	0.051208	0.030062	0.023168
0.1	0.608	0							
0.454812	0.141462	0.080835	0.040945	0.016451	0.011299	0.007970	0.005726	0.003067	0.002274
0.765433	0.286132	0.176460	0.096548	0.041910	0.029512	0.021244	0.015527	0.008554	0.006419



## ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

0.934736	0.419952	0.279513	0.165195	0.077475	0.055932	0.041091	0.030555	0.017312	0.013145
1.007424	0.543970	0.390748	0.249453	0.126400	0.093555	0.070145	0.053064	0.030921	0.023756
0.15	0.594	0							
0.463357	0.153265	0.088393	0.045309	0.018557	0.012859	0.009149	0.006628	0.003610	0.002699
0.858990	0.331894	0.204729	0.112348	0.049272	0.034904	0.025284	0.018600	0.010385	0.007846
1.148659	0.518422	0.342037	0.200943	0.094368	0.068341	0.050405	0.037650	0.021549	0.016452
1.236743	0.652009	0.460099	0.289379	0.145525	0.107737	0.080907	0.061360	0.036003	0.027775
0.2	0.596	0							
0.305349	0.120177	0.074698	0.041941	0.019432	0.014173	0.010576	0.008018	0.004758	0.003707
0.740177	0.310930	0.198950	0.115046	0.054903	0.040426	0.030403	0.023201	0.013916	0.010891
1.223630	0.548629	0.361374	0.215220	0.105791	0.078643	0.059606	0.045787	0.027759	0.021824
1.267295	0.606469	0.411229	0.252234	0.127708	0.095844	0.073211	0.056609	0.034691	0.027397
0.25	0.592	0							
0.239426	0.097552	0.061542	0.035460	0.017250	0.012885	0.009846	0.007643	0.004753	0.003791
0.637721	0.271627	0.174850	0.102836	0.051068	0.038400	0.029502	0.023005	0.014415	0.011534
1.139867	0.507546	0.333371	0.200133	0.101453	0.076795	0.059321	0.046470	0.029338	0.023547
1.273492	0.592784	0.397290	0.243449	0.125981	0.095996	0.074557	0.058674	0.037320	0.030048
0.3	0.608	0							
0.193593	0.082173	0.052790	0.031238	0.015879	0.012105	0.009435	0.007467	0.004824	0.003921
0.555370	0.242583	0.157917	0.094713	0.048800	0.037364	0.029226	0.023200	0.015064	0.012268
1.027372	0.461794	0.304620	0.185177	0.096712	0.074371	0.058380	0.046484	0.030330	0.024752
1.161624	0.537314	0.359155	0.221289	0.117146	0.090478	0.071278	0.056925	0.037325	0.030523
0.4	0.603	0							
0.169079	0.066143	0.040853	0.023493	0.011892	0.009133	0.007195	0.005768	0.003840	0.003173
0.469643	0.195633	0.124469	0.073776	0.038498	0.029858	0.023709	0.019136	0.012882	0.010695
0.925883	0.410690	0.269160	0.164439	0.088456	0.069281	0.055456	0.045062	0.030673	0.025582
0.985154	0.465313	0.314138	0.197812	0.109694	0.086760	0.070006	0.057272	0.039417	0.033027
0.5	0.615	0							
0.129512	0.049168	0.029865	0.017017	0.008680	0.006724	0.005351	0.004338	0.002960	0.002479
0.370494	0.153170	0.096927	0.057587	0.030637	0.024056	0.019357	0.015840	0.010977	0.009249
0.733914	0.330414	0.217829	0.134947	0.074878	0.059598	0.048489	0.040054	0.028183	0.023901
0.776456	0.380672	0.261453	0.168894	0.097740	0.078856	0.064873	0.054093	0.038647	0.032985



## ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

0.75	0.645	0							
0.071754	0.026813	0.016064	0.009130	0.004767	0.003755	0.003044	0.002517	0.001791	0.001533
0.232708	0.096287	0.060670	0.036313	0.019971	0.015999	0.013148	0.010998	0.007975	0.006878
0.488750	0.223921	0.148396	0.093531	0.054186	0.044141	0.036776	0.031121	0.022998	0.019993
0.583062	0.295785	0.206167	0.136836	0.083506	0.069175	0.058429	0.050020	0.037669	0.033007
1	0.647	0							
0.051953	0.018270	0.010576	0.005842	0.003008	0.002371	0.001929	0.001603	0.001157	0.000998
0.179236	0.072251	0.044804	0.026558	0.014679	0.011841	0.009813	0.008286	0.006136	0.005351
0.371338	0.171591	0.113985	0.072505	0.043026	0.035510	0.029986	0.025723	0.019545	0.017232
0.434492	0.230150	0.163773	0.111792	0.071223	0.060144	0.051746	0.045099	0.035163	0.031339
1.5	0.679	0							
0.026032	0.009304	0.005385	0.002993	0.001575	0.001257	0.001036	0.000873	0.000648	0.000567
0.111858	0.045372	0.028036	0.016668	0.009384	0.007658	0.006425	0.005495	0.004180	0.003696
0.255533	0.117634	0.077600	0.049344	0.029728	0.024793	0.021177	0.018388	0.014334	0.012806
0.342561	0.178973	0.126043	0.085722	0.055262	0.047106	0.040960	0.036107	0.028847	0.026040
2	0.7	0							
0.014035	0.005114	0.002974	0.001666	0.000890	0.000716	0.000595	0.000505	0.000380	0.000335
0.071059	0.029193	0.018079	0.010806	0.006162	0.005063	0.004277	0.003684	0.002842	0.002532
0.179582	0.083177	0.054853	0.034978	0.021290	0.017863	0.015353	0.013418	0.010601	0.009536
0.267783	0.139828	0.098196	0.066804	0.043401	0.037188	0.032518	0.028836	0.023327	0.021194
3	0.695	0							
0.004858	0.001892	0.001129	0.000651	0.000360	0.000293	0.000246	0.000211	0.000162	0.000144
0.035692	0.015214	0.009534	0.005777	0.003356	0.002779	0.002365	0.002052	0.001604	0.001438
0.106022	0.049472	0.032538	0.020725	0.012662	0.010657	0.009191	0.008063	0.006421	0.005800
0.225506	0.115187	0.079514	0.053240	0.034208	0.029260	0.025574	0.022687	0.018400	0.016750



ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE GUANARE, ESTADO PORTUGUESA

**ANEXO 3**  
**MANUAL DE USO DEL PROGRAMA CRISIS 2007**



El programa CRISIS 2007 es un Software sumamente complejo en cuanto a su uso, debido a que es necesario saber usar programas anexos de Microsoft Office como WORD, EXCEL, NOTEPAD y AUTOCAD.

Se debe tomar en consideración el formato en el cual se va a guardar la información, debido a que pueden presentarse incompatibilidades, por lo cual el programa presentara errores y no realizara la corrida.

## **FORMATOS DE ALMACENAMIENTO DE DATOS**

El programa funciona enlazando información guardada en la memoria del ordenador, es decir, este llama a archivos guardados previamente y con esa información se realiza la corrida y se obtienen los resultados.

Los formatos de almacenamiento son:

- Formato DAT, ejemplo [cuidades.DAT](#)
- Formato ASC, ejemplo [mapaprueba.ASC](#)

Nota: El programa prácticamente almacena toda la información geográfica y sísmica en estos formatos.

## **PROGRAMA CRISIS 2007**

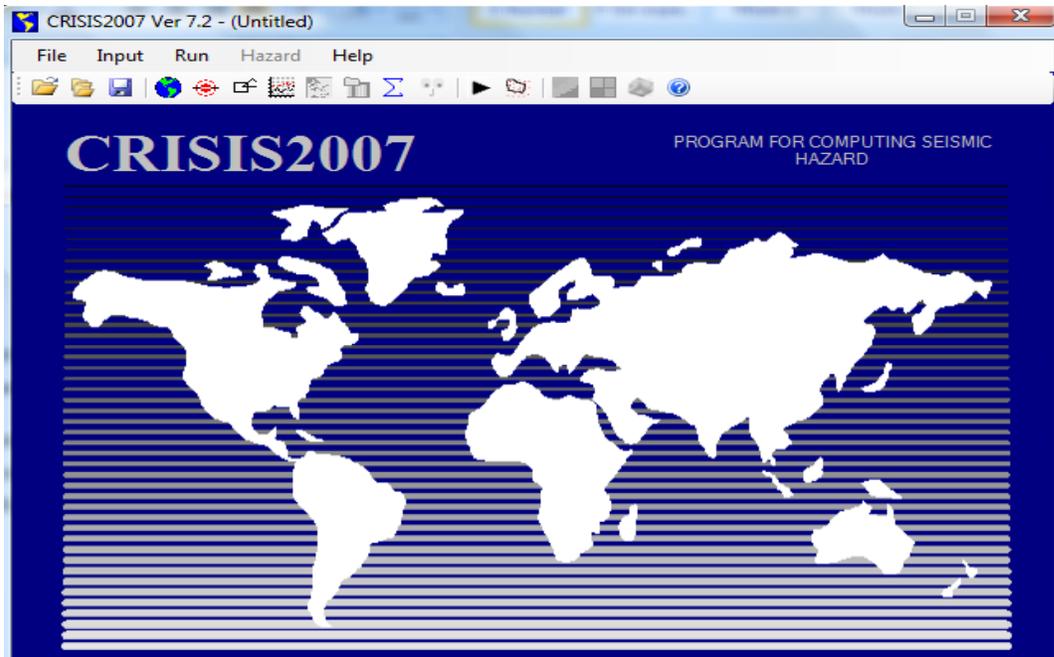
El primer paso para comenzar a usar este programa es obtener los mapas del país, ciudad o región que se desea analizar.

Utilizando información de cartografía digital se obtiene el mapa primeramente del país, este tiene que ser un archivo de AUTOCAD (en cualquier versión) y debe contener los datos de latitud y longitud (la coordenada X indica la longitud y la coordenada Y indica la latitud).

A continuación se realizara una explicación detallada de cómo utilizar el programa:



## MENU PRINCIPAL



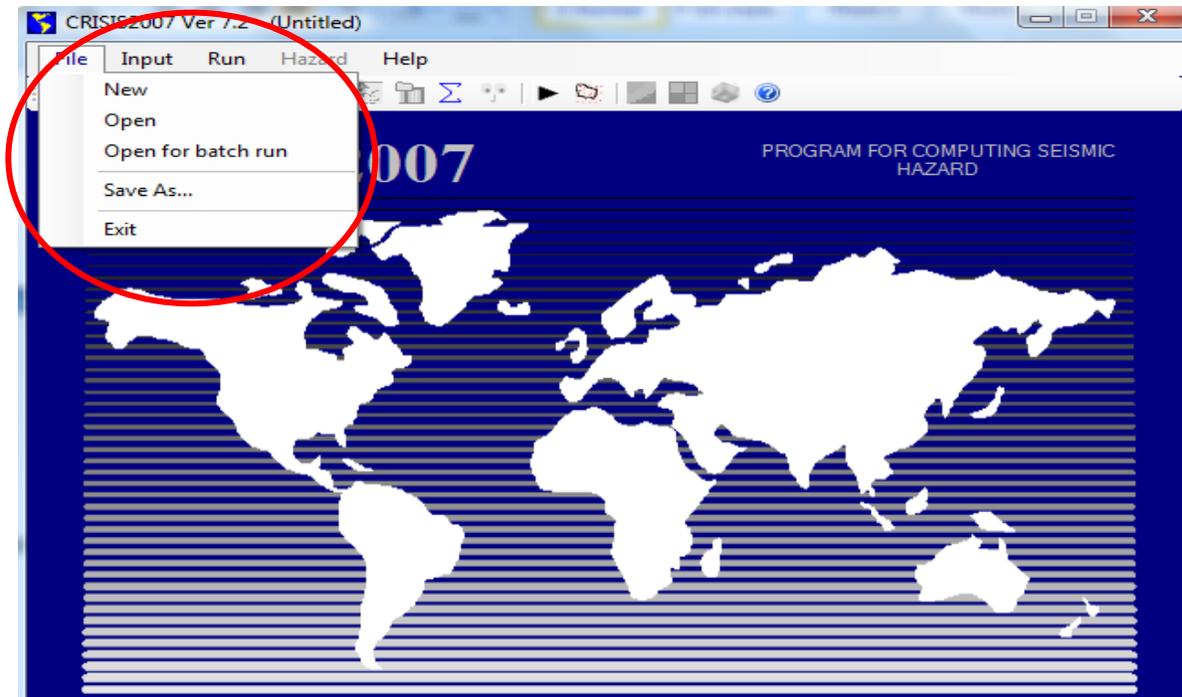
La primera fila nos indica el nombre y la versión, en este caso CRISIS2007 Ver 7,2. La segunda fila indica cinco (5) celdas las cuales cumplen la función de recibir los datos y correr el programa, la tercera fila es igual a la segunda de manera grafica.

Para entender el programa se debe entender cómo usar la segunda fila detalladamente. Las cinco celdas de la segunda fila del menú principal son: FILE, INPUT, RUN, HAZARD y HELP



## 1.- FILE, ARCHIVO GENERAL

Al ingresar en esta celda se muestran una serie de posibilidades mostradas en la siguiente figura:

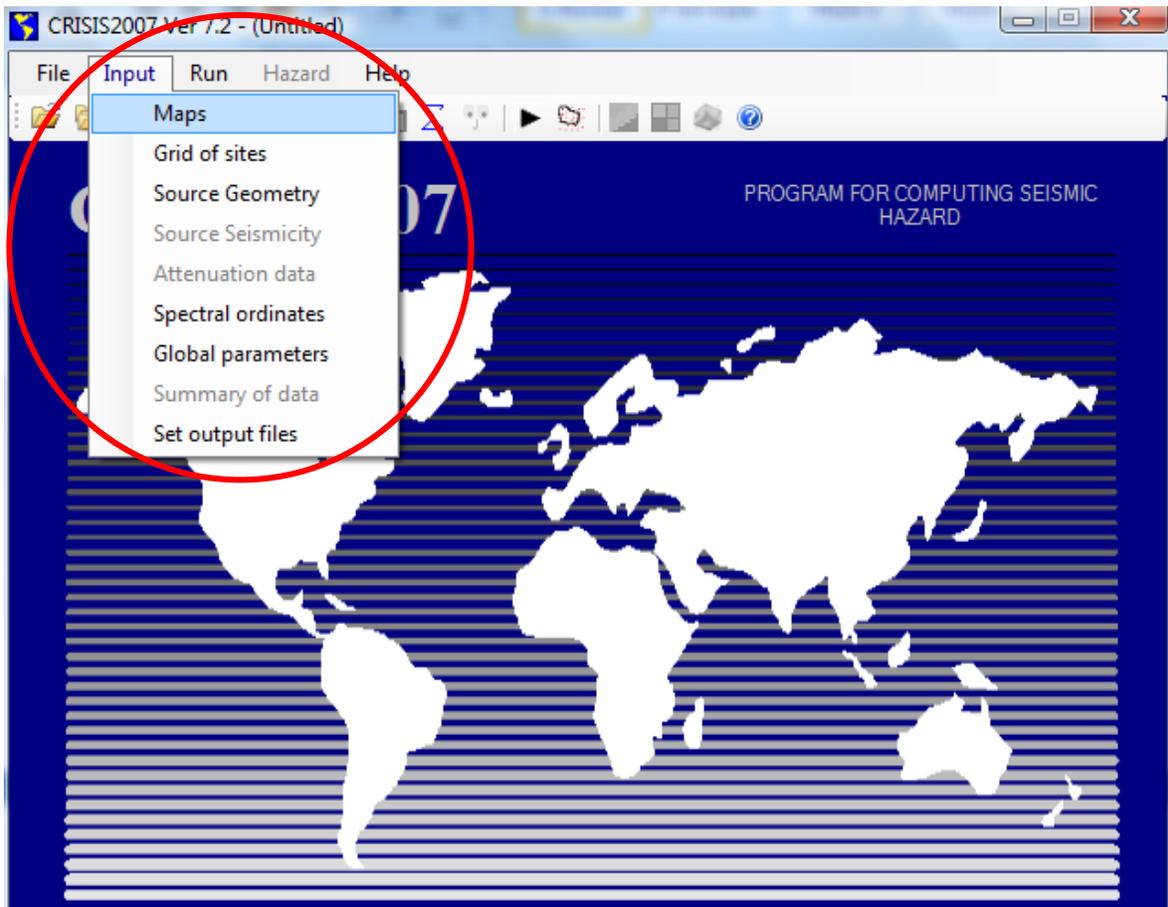


En esta sección se observan varias casillas en las cuales se puede guardar, abrir o crear un nuevo archivo



## 2.- INPUT, DATOS DE ENTRADA DEL PROGRAMA

Al ingresar en esta celda se muestran una serie de posibilidades mostradas en la siguiente figura:

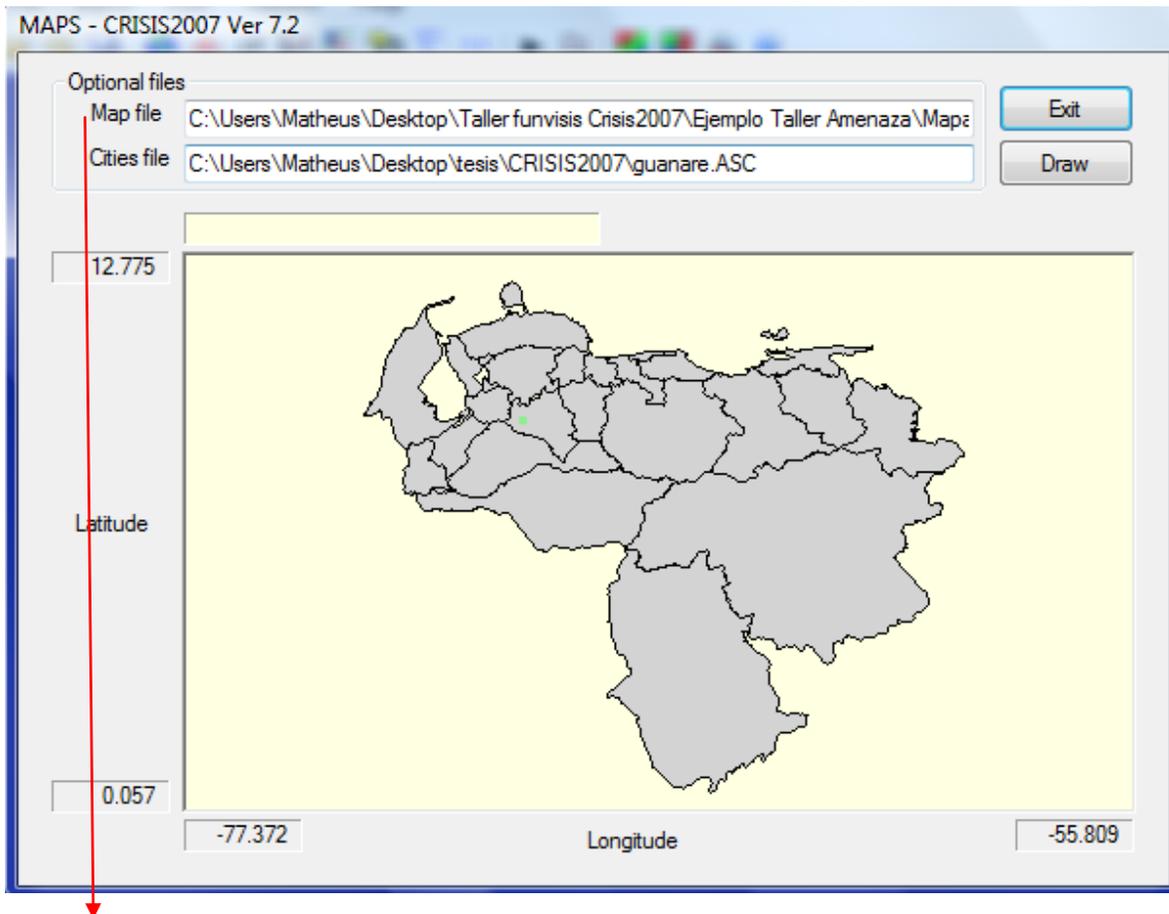


Esta sección es la más importante para la corrida del programa así que se realizara mayor detalle ilustrando cada escenario.



## 2.1.- MAPS, MAPAS Y CIUDADES

En esta sección se selecciona el mapa del lugar con sus respectivas ciudades, en el anexo se muestra un ejemplo de un mapa de prueba



El mapa del lugar previamente debe ser guardado en un block de notas, punto por punto con sus respectivas coordenadas en formato ASC, de esta manera el programa puede captar la información.

La manera de suministrarle al programa los mapas es la siguiente:

- Con el mapa digitalizado en Autocad se encierra en una polylínea y se hace una lista de todos los puntos que la conforman
- El valor X corresponde a la Longitud y el valor Y corresponde a la Latitud
- Los valores de Latitud deben ir precedidos del signo (-)



Ejemplo:

mapaprueba - Notepad

File Edit Format View Help

1  
XXXXX  
31  
-1846.5043 470.7059  
-1411.7742 647.6116  
-1266.8642 792.3526  
-1121.9542 1006.7837  
-1041.4486 1714.4064  
-1288.3323 1853.7866  
-1610.3546 1821.6219  
-1433.2424 1553.583  
-1647.9239 1226.5756  
-2093.388 1237.2971  
-2023.6165 1516.0576  
-2098.7551 1751.9318  
-2506.65 1848.4258  
-2689.1293 1510.6968  
-2694.4963 1312.348  
-3166.7956 1151.5247  
-3397.5782 1167.607  
-3682.0313 1387.3989  
-3923.548 1521.4184  
-4578.3266 1666.1594  
-4900.3489 1532.1399  
-4991.5885 1339.1519  
-5641.0001 1226.5756  
-5818.1124 1189.0501  
-5861.0487 835.2388  
-4884.2478 642.2508  
-3912.8139 819.1565  
-2844.7733 862.0427  
-2372.474 711.9409  
-2098.7551 465.3451  
-1846.5043 470.7059

Cantidad de Estados

Nombre

Cantidad de datos

LONGITUD

LATITUD

*NOTA: los datos son tomados de un ejemplo, no pertenecen a las coordenadas de ningún lugar del planeta. Estos valores fueron suministrados de una lista extraída de una polylínea que encierra un mapa, que primero se extrae del programa AUTOCAD, luego del NOTEPAD y luego se guarda en formato ASC.*



## 2.2.- GRID OF SITES (SITIO DE ESTUDIO)

Esta sección corresponde a la red del sitio, es decir a las características del mapa que añadidas anteriormente.

Sites of computation of hazard - CRISIS2007 Ver 7.2

Title of the run: Tesis UCAB

Grid of sites (selected) / List of sites

Grid of sites parameters:

Parameter	Value	Unit
Origin Longitude	-69.75	[Degrees]
Origin Latitude	9.07	[Degrees]
Increment	0	[Degrees]
No of lines	1	

Grid reduction: Start polygon (Vertex in counter-clockwise order)

Draw options: Sources (unchecked), Map (checked), Cities (checked)

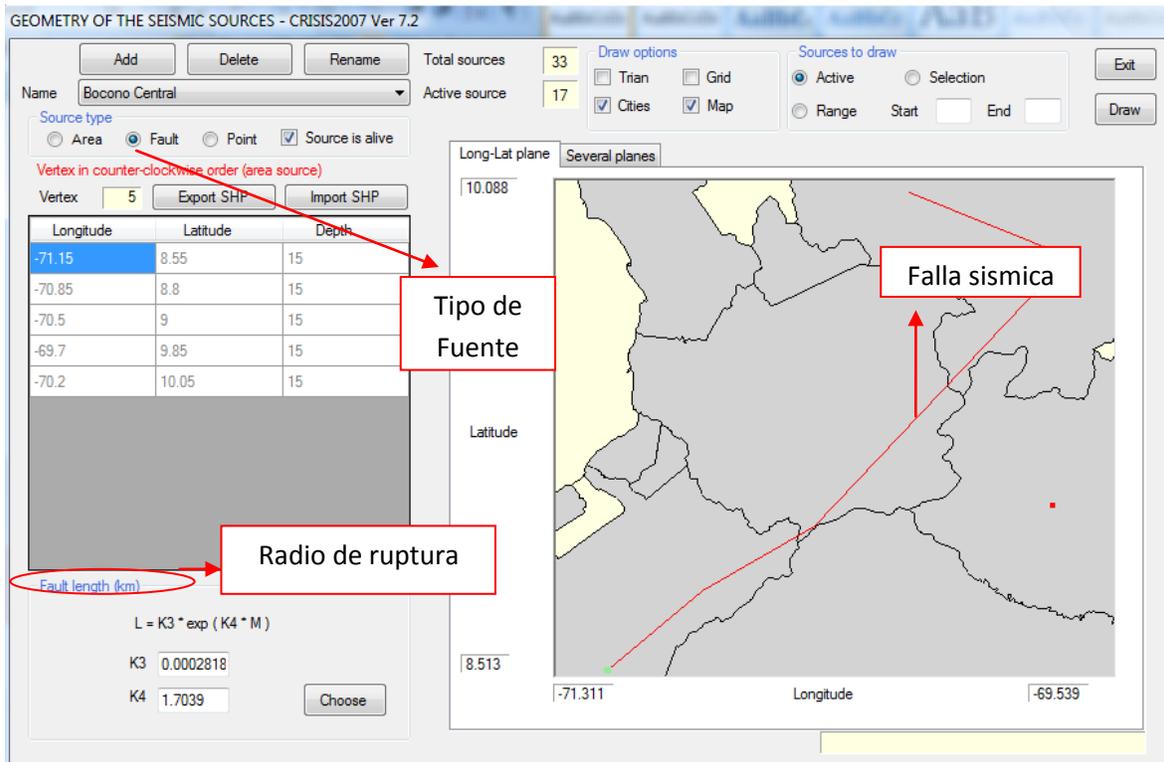
Buttons: Draw, Exit

Map: Shows a grid with a red dot labeled 'Sitio en Estudio'. Coordinates: Longitude (-71.222 to -68.278), Latitude (8.07 to 10.07).



### 2.3. -SOURCE GEOMETRY (GEOMETRIA DE LAS FUENTES)

Esta sección muestra información sobre la geometría de las fallas sísmicas. En la siguiente figura se muestra detalladamente el contenido de esta sección.



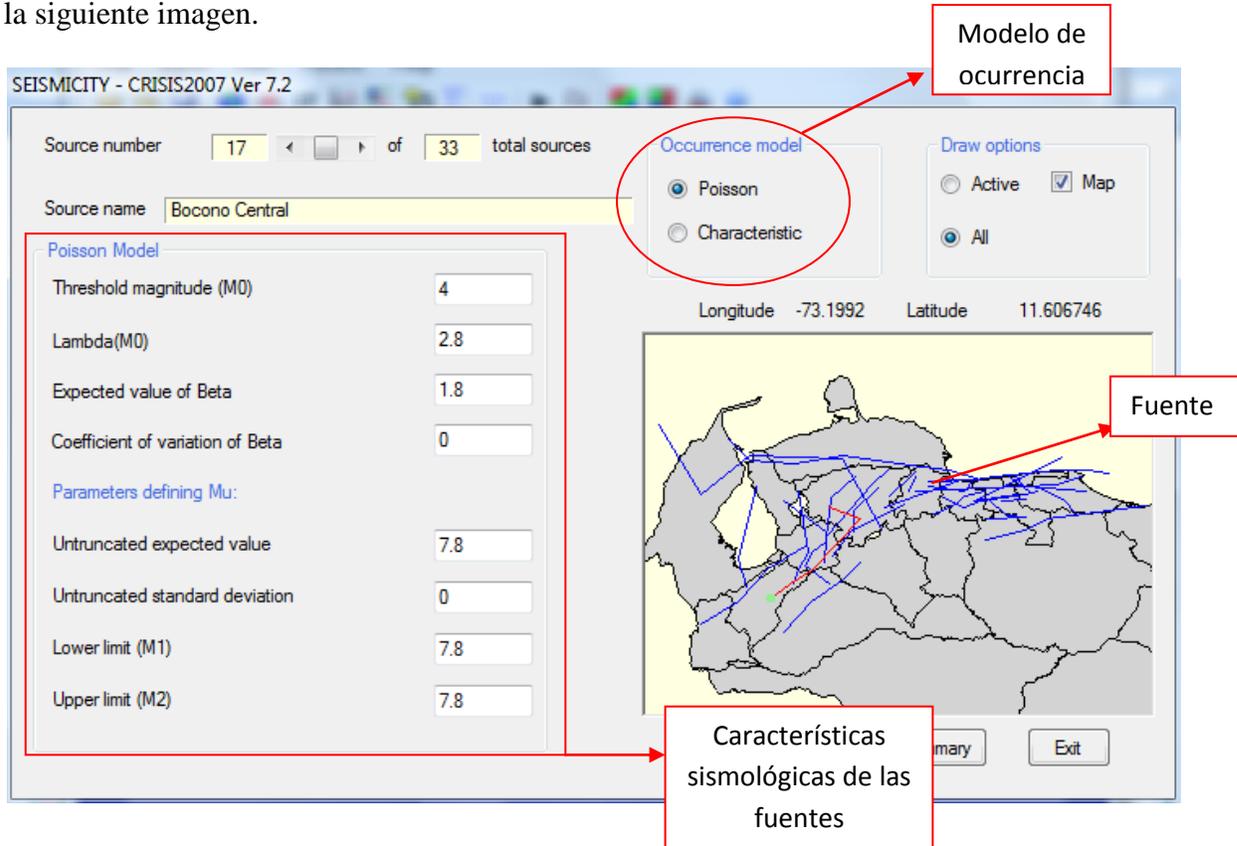
En esta sección se le indica al programa los siguientes aspectos:

- Nombre del estado
- Tipo de falla
- Vértices que la conforman dependiendo si es un área o una línea
- Valores de Longitud, latitud y profundidad
- Radio de ruptura, las constantes  $K_1$  y  $K_2$  es dependiendo del tipo de suelo y su conformación geotécnica
- La cantidad de fallas activas



## 2.4.- SOURCE SEISMICITY (SISMOLOGÍA DE LAS FUENTES)

Esta sección indica cómo se va a modelar cada falla, los detalles están mostrados en la siguiente imagen.



En esta sección se analiza cada falla, donde se puede observar el nombre, el estado en el que se encuentra (si esta activa o inactiva).

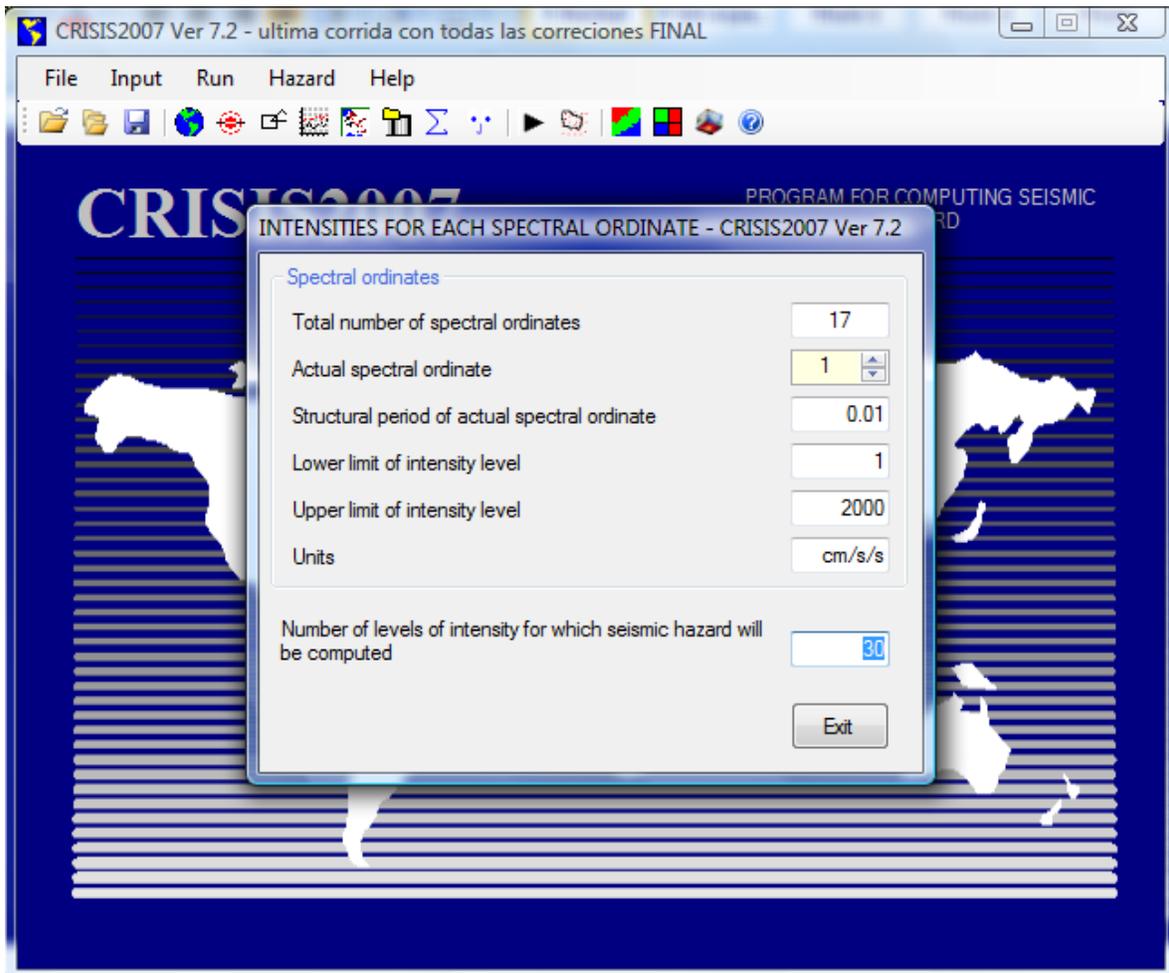
Se puede aplicar bajo dos tipos de modelos de ocurrencia, el modelo de POISSON y el modelo del temblor característico dependiendo de los datos del terreno y los coeficientes de variación.

*NOTA: Estos datos son simplemente escritos en la pantalla mostrada en la imagen, esta información es previamente analizada, proveniente de los estudios históricos y estadísticos.*



## 2.5.- SPECTRAL ORDINATES (ORDENADAS ESPECTRALES)

Esta sección corresponde a las ordenadas espectrales, a continuación la imagen de cómo se presenta el programa:



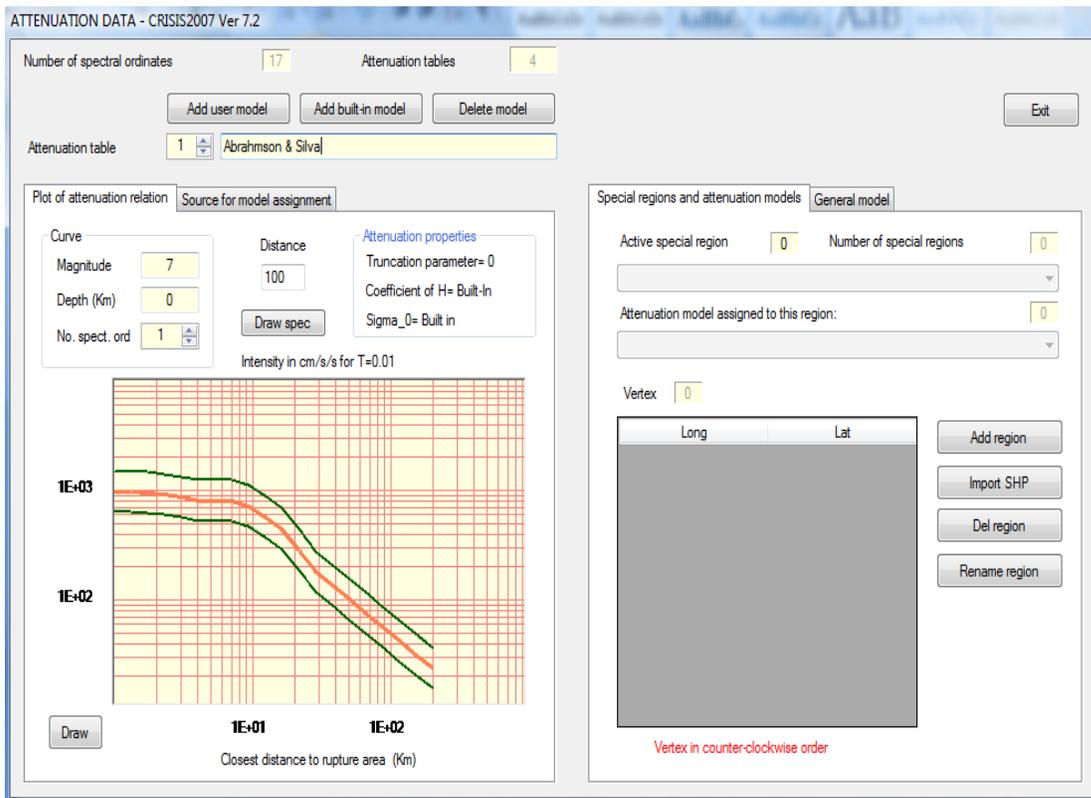
En la siguiente figura se observa:

- El número total de ordenadas espectrales
- El número actual de la ordenada
- Periodo estructural de la ordenada espectral actual
- Límite inferior del nivel de intensidad
- Límite superior del nivel de intensidad
- Unidades



## 2.6.- ATTENUATION DATA (RELACIONES DE ATENUACIÓN)

Esta sección corresponde a las relaciones de atenuación, permite incorporar leyes de atenuación o utilizar las sugeridas por el programa CRISIS 2007



Esta sección permite asignar a cada fuente la relación de atenuación deseada y también el programa arroja las graficas de las leyes y los espectros de respuesta dependiendo de la cantidad de ordenadas espectrales introducidas.



## 2.7.-GLOBAL PARAMETERS (PERIODOS DE RETORNO)

Esta sección corresponde a los parámetros globales, en la siguiente imagen se observa el formato en el que se presenta al entrar en esta sección

GLOBAL PARAMETERS - CRISIS2007 Ver 7.2

**Integration parameters**

Maximum integration distance	500	km
Minimum triangle size	11	km
Minimum Distance/Triangle Size ratio	5	

**Fixed return periods**

First return period	50	years
Second return period	200	years
Third return period	500	years
Fourth return period	2500	years
Fifth return period	5000	years

**Distance for deaggregation**

- Focal
- Epicentral
- Joyner and Boore
- Closest to rupture area

Exit

Parámetros de integración

Periodos de retorno fijados



## 2.8.- SUMMARY OF DATA, RESUMEN DE LOS DATOS

En esta sección se muestra una recopilación o resumen de los pasos anteriores a fin de verificar antes de correr el programa

SUMMARY OF THE SOURCES - CRISIS2007 Ver 7.2

Source number: 1  Active

Source Name: San Sebastian Vertex: 6

General attenuation model: Model 0

Poisson Model

M0	4
Lambda(M0)	1.7
E(Beta)	1.8
c(Beta)	0
E(Mu)	7.8
Sigma(Mu)	0
M1	7.8
M2	7.8

Longitude	Latitude	Depth (km)
-67.85	10.5	15
-67.5	10.56	15
-67	10.609	15
-66.5	10.645	15

Draw options:  Active  All  Map  Cities

Line source: \_\_\_\_\_

Exit

## 3.- RUN, EJECUCION DEL PROGRAMA

Después de haber realizado todos los pasos de la segunda celda se procede a ejecutar el programa para obtener los valores de amenaza sísmica, el programa permite guardar el archivo e identifica los tipos de archivos generados.

Al ocurrir un error será mostrado en la pantalla indicando lo que está ocurriendo a fin de poder corregir y ejecutar nuevamente.