

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**IMPLEMENTACIÓN DE FUENTES SÍSMICAS DEL ECUADOR EN EL  
PROGRAMA HAZ 45.2.**

**AUTOR:**

**Mora Guanín, Eduardo Andrés**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. Luque Nuques, Roberto Xavier, Ph.D.**

**Guayaquil, Ecuador**

**15 de marzo del 2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Mora Guanín, Eduardo Andrés**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

### **TUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Luque Nuques, Roberto Xavier, Ph.D.**

### **DIRECTORA DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther. MSc**

**Guayaquil, a los 15 días del mes de marzo del año 2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Mora Guanín, Eduardo Andrés**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Implementación de fuentes sísmicas del Ecuador en el programa HAZ 45.2** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 15 días del mes de marzo del año 2018**

### **EL AUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
**Mora Guanín, Eduardo Andrés**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**CARRERA INGENIERIA CIVIL**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Mora Guanín, Eduardo Andrés**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Implementación de fuentes sísmicas del Ecuador en el programa HAZ 45.2**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 15 días del mes de marzo del año 2018**

**EL AUTOR:**

f. \_\_\_\_\_  
**Mora Guanín, Eduardo Andrés**

# REPORTE DE URKUND



## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TRABAJO DE TITULACION EDUARDO MORA.doc (D35947335)  
**Submitted:** 2/27/2018 2:26:00 AM  
**Submitted By:** claglas@hotmail.com  
**Significance:** 1 %

Sources included in the report:

<http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/capitulo-5-geosferico-cravo-sur.pdf>

Instances where selected sources appear:

1

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a Dios por todas las bendiciones recibidas y las oportunidades que ha puesto en mi camino.

A Gustavo Mora y Patricia Guanín, mis padres por ser mis pilares fundamentales y consejeros incondicionales.

Mis amigos Sheznarda Tapia, Andrea Cardona y Samuel Pérez, con quienes tuve la oportunidad de pasar muchos momentos gratos a lo largo de esta carrera y de quienes estoy agradecido por los consejos, por estar presentes en los buenos y malos momentos y el ánimo que me dieron para siempre seguir adelante en este gran reto.

A mis compañeros y futuros colegas, por su amistad y compañía en todas las materias que pasamos con éxito para llegar a tan anhelada meta.

Al team NYLIC, conformado por Bryan Sánchez y Darío Salmerón por el apoyo durante este proceso.

Al Ing. Roberto Luque Nuques, Ph.D. (Tutor) e Ing. Claudio Luque Rivas M.Sc. (Oponente), por la paciencia, guía, consejos y apertura en las oficinas de NYLIC para poder tener un ambiente más grato e íntegro durante el proceso de la realización del trabajo de titulación.

Un agradecimiento muy especial para el Ing. Pedro María Castro Villalva (Mentor), por su apoyo incondicional y valiosos consejos para mi vida personal y profesional.

## **DEDICATORIA**

Les dedico este trabajo a mis Padres quienes han depositado su confianza en mí y han sido mis guías durante todos los pasos en mi vida.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Roberto Xavier Luque Nuques, Ph.D.**  
TUTOR

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas, M.Sc**  
DIRECTORA DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Claudio Olavide Luque Rivas, M.Sc.**  
OPONENTE

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Oswaldo Francisco Ripalda Nuques, M.Sc.**  
DELEGADO DEL COORDINADOR DEL ÁREA

# ÍNDICE

1	CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN .....	2
1.1	Objetivos.....	2
1.1.1	Objetivo General .....	2
1.1.2	Objetivos Específicos .....	3
1.2	Alcance.....	3
1.3	Metodología.....	3
2	CAPÍTULO 2 – REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1	Análisis de peligro sísmico.....	4
2.1.1	Análisis de peligro sísmico determinístico (DSHA) .....	4
2.1.2	Análisis de peligro sísmico probabilístico (PSHA) .....	6
2.2	Caracterización de las fuentes de terremotos .....	10
2.2.1	Modelos geométricos de fuentes usados para el análisis de peligro sísmico.....	10
2.2.2	Momento Sísmico, Magnitud del momento, y esfuerzo liberado .....	11
2.2.3	Magnitud “Máxima”.....	13
2.2.4	Distribución de magnitud .....	14
2.2.5	Tasas de actividad .....	17
2.2.6	Relaciones de recurrencia de magnitud .....	20
3	CAPÍTULO 3 - PROGRAMA HAZ 45.2.....	23
3.1	Descripción del programa .....	23
3.2	Archivo de fuente.....	23

3.3	Archivo de entrada.....	23
4	CAPÍTULO 4 – IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA .....	24
4.1	Ensayos de verificación por PEER .....	24
4.1.1	Set 1 Caso 1: Falla 1 Normal .....	28
4.1.2	Set Y: Falla 2 Reversa .....	30
4.1.3	Set Z: Falla areal.....	33
4.1.4	Fallas múltiples .....	35
4.2	Fallas de Ecuador.....	37
4.2.1	Set X: Falla Guayaquil - Babahoyo.....	39
4.2.2	Set Y: Falla La Toma.....	39
4.2.3	Set Z: Falla Areal .....	40
5	CAPÍTULO 5 - RESULTADOS .....	42
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	46
	REFERENCIAS .....	47
	ANEXOS .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Identificación de las fuentes .....	5
FIGURA 2. Parámetros de distancia .....	5
FIGURA 3. Selección del terremoto esperado. ....	6
FIGURA 4. Caracterización de las fuentes .....	8
FIGURA 5. Distribución temporal de la recurrencia de terremotos.....	8
FIGURA 6. Parámetros de movimiento sísmico.....	9
FIGURA 7. Probabilidad de excedencia del movimiento sísmico.....	10
FIGURA 8. Comparación de magnitudes pdf normalmente usadas en el análisis de peligro sísmico .....	15
FIGURA 9. Comparación del modelo de recurrencia exponencial usando mínimos cuadrados y máxima probabilidad. ....	19
FIGURA 10. Comparación de relación de recurrencia usadas comúnmente para magnitudes pdf. ....	21
FIGURA 11. Vista en planta y corte de la falla caso 1, ubicación de sitios. ..	28
FIGURA 12. Vista en planta y corte de la falla caso 4, ubicación de sitios. ..	31
FIGURA 13. Vista en planta y corte de la falla caso 11, ubicación de sitios. ..	33
FIGURA 14. Vista en planta y corte del caso de fallas múltiples, ubicación de sitio. ....	35
FIGURA 15. Fallas activas de la región. ....	38
FIGURA 16. Archivo de fuente caso fallas múltiples en Ecuador. ....	44
FIGURA 17. Archivo de ingreso caso fallas múltiples en Ecuador. ....	44
FIGURA 18. Archivo de fuente caso 1. ....	48

FIGURA 19. Archivo de ingreso caso 1. ....	49
FIGURA 20. Archivo de fuente caso 4. ....	50
FIGURA 21. Archivo de ingreso caso 4. ....	50
FIGURA 22. Archivo de fuente caso 11. ....	51
FIGURA 23. Archivo de ingreso caso 11. ....	52
FIGURA 24. Archivo de fuente caso fallas múltiples. ....	54
FIGURA 25. Archivo de ingreso caso fallas múltiples. ....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de sitio para caso 1 y 4 .....	25
Tabla 2. Coordenadas de sitio para caso 11 .....	25
Tabla 3. Coordenadas para falla de 25 km .....	25
Tabla 4. Coordenadas para falla areal .....	26
Tabla 5. Caso 1. Tasa anual de excedencia .....	29
Tabla 6. Caso 4 - Tasa anual de excedencia .....	32
Tabla 7. Caso 11 - Tasa anual de excedencia .....	34
Tabla 8. Múltiples fallas .....	36
Tabla 9. Datos fallas Ecuador .....	39
Tabla 10. Coordenadas del sitio .....	39
Tabla 11. Coordenadas para falla Guayaquil - Babahoyo .....	39
Tabla 12. Coordenadas para falla La Toma .....	39
Tabla 13. Coordenadas para falla areal .....	40
Tabla 14. Caso Fallas Ecuador - Tasa anual de excedencia .....	45

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curvas de peligro individuales. Caso 1 .....	30
Gráfico 2. Curvas de peligro individuales. Caso 4.....	32
Gráfico 3. Curvas de peligro individuales. Caso 11 .....	35
Gráfico 4. Curvas de peligro individuales. Caso fallas múltiples .....	37
Gráfico 5. Curvas de peligro individuales. Caso fallas múltiples en Ecuador	45

## RESUMEN

Ecuador es un país con un alto peligro sísmico, por ende, en ciertos proyectos, existe la necesidad de realizar estudios probabilísticos de amenaza sísmica. Para realizar este tipo de estudios existen varios programas cuyo costo es elevado. El programa HAZ 45.2 es un código abierto y gratuito desarrollado por el Dr. Norman Abrahamson de la Universidad de California, Berkeley y que ha sido validado respecto a programas comerciales. El objetivo de este trabajo de titulación es estudiar aspectos básicos de los estudios probabilísticos de peligro sísmico, aprender el uso del software HAZ 45.2 en lo que respecta a datos de entrada y posibles resultados e implementar algunas fuentes sísmicas del Ecuador en el programa. La Toma, Guayaquil-Babahoyo y una falla areal cerca de la ciudad de Machala fueron modeladas en el código. Se recomienda que el archivo de fuentes entero del país con sus respectivas incertidumbres sea modelado e implementado en el software para poder calcular el peligro sísmico en cualquier lugar del Ecuador.

***Palabras Claves: Peligro Sísmico Ecuador, Modelo Sísmico, HAZ 45.2, Caracterización de fuentes sísmicas, Magnitud Máxima, Tasas de actividad.***

## **ABSTRACT**

Ecuador is a country with high seismic hazard, thus, in some projects, it is required to perform probabilistic seismic hazard studies. In order to calculate the seismic hazard, there are several software with an elevated cost. The software HAZ 45.2 is an open-source, free seismic hazard software developed by Dr. Norm Abrahamson from the University of California at Berkeley which has been validated against commercial software. The objective of this work is to study basic aspects of probabilistic seismic hazard, to learn the use of the HAZ 45.2 software in terms of input data and possible results and to implement some of Ecuador's seismic sources in the software. La Toma, Guayaquil-Babahoyo and an areal source near the city of Machala were modelled in the code. It is recommended that the entire seismic source file for the country with their respective uncertainties should be modelled and implemented in this software to be able to calculate the seismic hazard in any site of Ecuador.

***Key words: Ecuador Seismic Hazard, Seismic Model, HAZ 45.2, Seismic source characterization, Maximum Magnitude, Activity Rates.***

# **1 CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN**

El objetivo de muchos análisis de ingeniería de terremotos es garantizar que una estructura pueda resistir un nivel determinado de movimientos sísmicos y al mismo tiempo mantener un nivel aceptable de desempeño.

La metodología vigente más aceptada para determinar la demanda sísmica en códigos de construcción y proyectos importantes se basa en el análisis de peligro sísmico probabilístico (en adelante denominado PSHA, por sus siglas en inglés) que tiene como objetivo determinar, para diferentes niveles de movimientos sísmicos, cuál es la probabilidad de que ese valor de movimiento sísmico sea excedido en un intervalo constante de tiempo. La metodología del PSHA implica la caracterización de fuentes sísmicas, el uso de modelos de predicción de movimiento sísmico (anteriormente llamadas “Leyes de atenuación” y en este trabajo denominadas GMPE, por sus siglas en inglés).

Es relevante hacer estudios de peligro sísmico probabilístico porque los proyectos importantes lo requieren, en la actualidad existen varios softwares comerciales disponibles con un costo elevado, sin embargo, el objetivo de este trabajo es implementar el programa HAZ 45.2, que es un software open-source gratis que puede usarse para estimar el peligro sísmico y que ha sido verificado por ensayos de verificación PEER.

El Ecuador es un país altamente sísmico y es necesario conocer y actualizar estudios de peligro sísmico, por lo que es importante poder incorporar un modelo de peligro sísmico en el programa HAZ 45.2.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo General**

Presentar e implementar el programa HAZ-45.2 para que pueda ser usado en estudios de peligro sísmico probabilístico en Ecuador.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- a) Presentar ejemplos del uso del programa HAZ 45.2 realizadas para la verificación de programas de peligro sísmico por el Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER).
- b) Modelar geoméricamente al menos una falla por cada tipo de ambiente tectónico del Ecuador.

### **1.2 Alcance**

El trabajo de grado presenta la caracterización de 3 fallas sísmicas en Ecuador, implementadas en el programa HAZ 45.2 y que se pueda usar para estudios de peligro sísmico probabilístico.

### **1.3 Metodología**

La actual metodología usada en la práctica para estudios probabilísticos de peligro sísmico (PSHA por sus siglas en inglés) contiene como uno de sus componentes principales la caracterización de las fuentes sísmicas.

La caracterización de las fuentes implica el modelamiento geométrico de las diferentes fuentes sísmicas, la selección de uno o más modelos de recurrencia para cada fuente y la asignación de los parámetros correspondientes a dichos modelos.

## **2 CAPÍTULO 2 – REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Análisis de peligro sísmico**

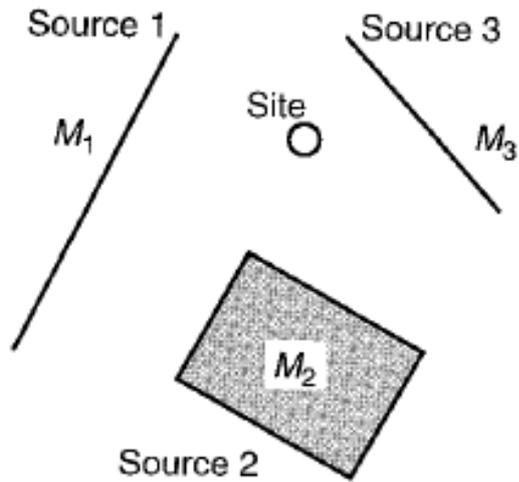
El análisis de peligro sísmico involucra la estimación cuantitativa del peligro de movimiento sísmico para un sitio en particular.

El peligro sísmico puede ser analizado determinísticamente, cuando se asume un escenario de terremoto en particular, o probabilísticamente, en los casos donde la incertidumbre en el tamaño del terremoto, ubicación, y tiempo de ocurrencia son explícitamente considerados.

#### **2.1.1 Análisis de peligro sísmico determinístico (DSHA)**

En los primeros años de la ingeniería geotécnica de terremotos, prevaleció el uso del análisis de peligro sísmico determinístico (DSHA), un DSHA involucra el desarrollo de un escenario sísmico en particular sobre el cual se basa una evaluación del peligro del movimiento sísmico. Este escenario consiste en la ocurrencia de un terremoto de un tamaño específico que ocurre en un sitio específico. Un DSHA puede describirse como un proceso de cuatro pasos. (Reiter, 1990)

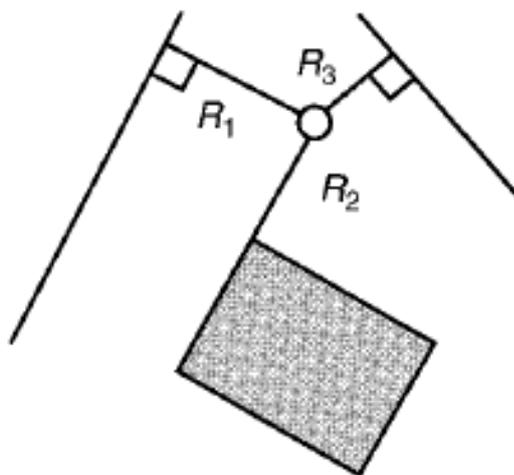
1.- Identificación y caracterización de todas las fuentes de terremotos capaces de producir un movimiento significativo del suelo en el sitio. La caracterización de la fuente incluye la definición de la geometría de cada fuente y el potencial terremoto.



**FIGURA 1. Identificación de las fuentes**

Fuente: (Krammer, 1996)

2.- Selección de un parámetro de distancia entre la fuente y el sitio para cada zona de la fuente. En la mayoría de los DSHA, se selecciona la distancia más corta entre la zona de origen y el sitio de interés. La distancia puede expresarse como una distancia epicentral o una distancia hipocentral, dependiendo de la medida de la distancia de la relación predictiva utilizada en el siguiente paso.



**FIGURA 2. Parámetros de distancia**

Fuente: (Krammer, 1996)

3.- Selección del terremoto, es decir, el terremoto que se espera que produzca el nivel más fuerte de vibración, generalmente expresado en

términos de algún parámetro de movimiento de suelo en el sitio. La selección se realiza comparando los niveles de movimientos producidos por los terremotos (identificados en el paso 1) que se supone que ocurren en las distancias identificadas en el paso 2. El terremoto se describe en términos de su tamaño (generalmente expresado como magnitud) y la distancia desde el sitio.

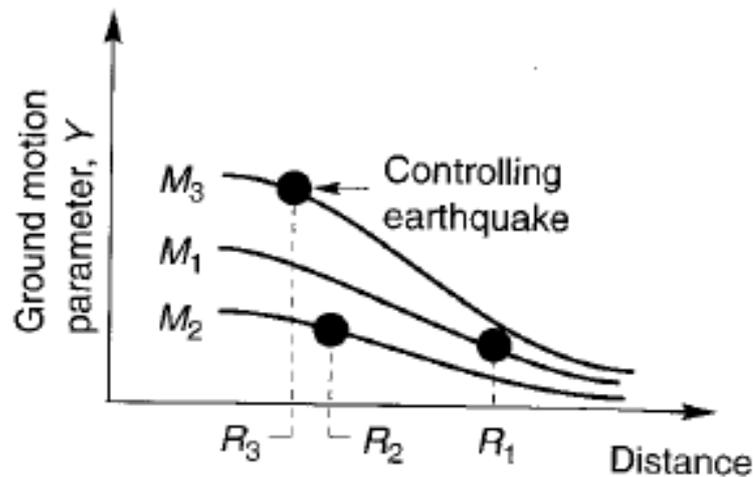


FIGURA 3. Selección del terremoto esperado.

Fuente: (Krammer, 1996)

4.- El peligro en el sitio se define formalmente, generalmente en términos de los movimientos de suelo producidos en el sitio por el terremoto. Sus características se describen por uno o más parámetros de movimiento de suelo obtenidos a partir de las relaciones de predicción de los tipos presentados en el capítulo 3. Aceleración pico, velocidad pico, y los espectros de respuesta se utilizan comúnmente para caracterizar el riesgo sísmico.

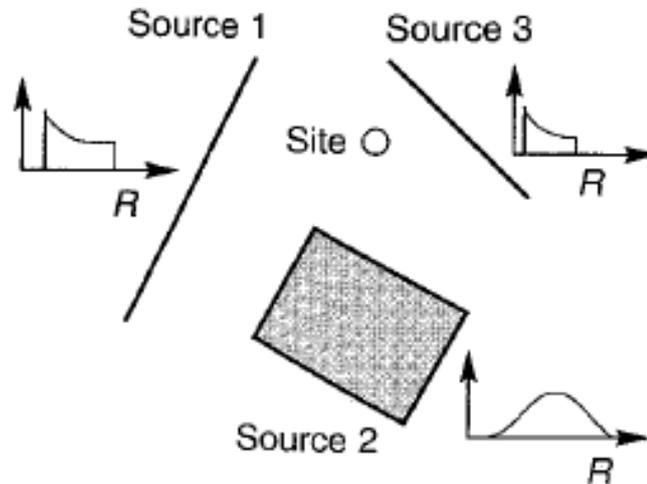
### 2.1.2 Análisis de peligro sísmico probabilístico (PSHA)

En los últimos 20 a 30 años, el uso de conceptos probabilísticos ha permitido que las incertidumbres sobre el tamaño, ubicación y tasa de recurrencia de terremotos y la variación de las características del movimiento del suelo con el tamaño del terremoto y su ubicación se consideren explícitamente en la evaluación de peligro sísmico.

El análisis de peligro sísmico probabilístico (PSHA) proporciona un marco de referencia en el que estas incertidumbres se pueden identificar, cuantificar y combinar de manera racional para proporcionar una imagen más completa del peligro sísmico. Comprender los conceptos y la mecánica de PSHA requiere familiaridad con alguno de los conceptos básicos y la terminología de la teoría de la probabilidad.

La metodología de PSHA descrita en esta sección es similar a muchos aspectos de los métodos bien establecidos desarrollados por Cornell (1968) y Algermissen (1982). El PSHA también se puede describir como un procedimiento de cuatro pasos (Reiter, 1990), cada uno de los cuales tiene cierto grado de similitud con los pasos del procedimiento de DSHA

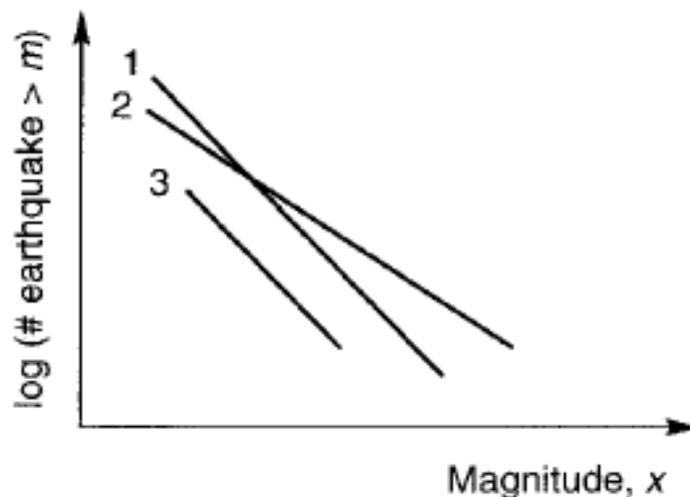
1.- El primer paso, la identificación y caracterización de las fuentes del terremoto, es idéntico al primer paso del DSHA, excepto que también se debe caracterizar la distribución de probabilidad de las posibles ubicaciones de ruptura dentro de la fuente. En la mayoría de los casos, las distribuciones de probabilidad uniformes se asignan a cada zona de la fuente, lo que implica que los terremotos tienen la misma probabilidad de ocurrir en cualquier punto dentro de la zona de la fuente. Estas distribuciones se combinan luego con la geometría de la fuente para obtener la distribución de probabilidad correspondiente de la distancia de la fuente al sitio. El DSHA, por otra parte, asume implícitamente que la probabilidad de ocurrencia es 1 en los puntos en cada zona de la fuente más cercana al sitio y 0 en cualquier otro lugar.



**FIGURA 4. Caracterización de las fuentes**

Fuente: (Krammer, 1996)

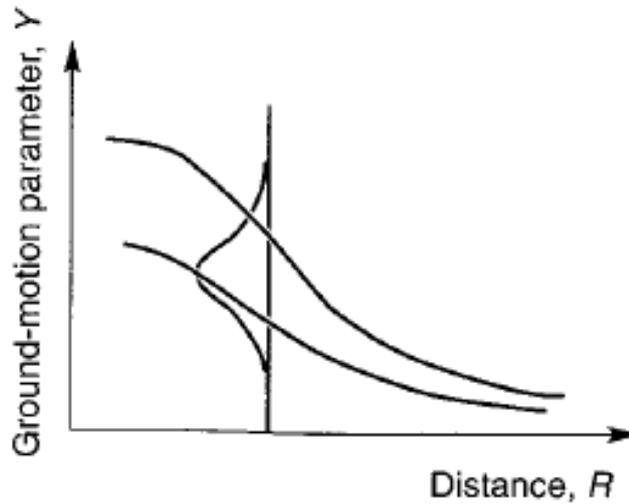
2.- Luego, debe caracterizarse la sismicidad o la distribución temporal de la recurrencia de terremotos. Se utiliza una relación de recurrencia, que especifica la tasa promedio a la que se superara un terremoto de algún tamaño, para caracterizar la sismicidad de cada zona de la fuente. La relación de recurrencia puede acomodar el terremoto de tamaño máximo, pero no limita la consideración de ese terremoto, como lo hacen a menudo en el DSHA.



**FIGURA 5. Distribución temporal de la recurrencia de terremotos**

Fuente: (Krammer, 1996)

3.- El movimiento del suelo producido en el sitio por los terremotos de cualquier tamaño posible que ocurran en cualquier punto posible en cada zona de la fuente se debe determinar con el uso de relaciones predictivas. La incertidumbre inherente a la relación predictiva se considera también en un PSHA.

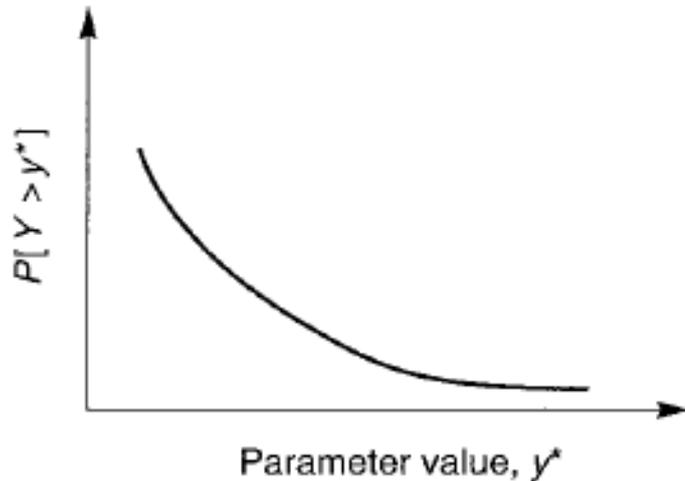


**FIGURA 6. Parámetros de movimiento sísmico**

Fuente: (Krammer, 1996)

4.- Finalmente, las incertidumbres en la ubicación del terremoto, el tamaño del mismo y la predicción del parámetro de movimiento del suelo se combinan para obtener la probabilidad de que el parámetro de movimiento del suelo se exceda durante un periodo de tiempo en particular.

El rendimiento adecuado de un PSHA requiere una atención cuidadosa a los problemas de caracterización de la fuente y la predicción del parámetro de movimiento del suelo y a la mecánica de los cálculos de probabilidad.



**FIGURA 7. Probabilidad de excedencia del movimiento sísmico**

Fuente: (Krammer, 1996)

## **2.2 Caracterización de las fuentes de terremotos**

La caracterización de la fuente describe la tasa a la que un terremoto de una magnitud dada, y dimensiones (longitud y ancho) puede ocurrir en una determinada ubicación. Para cada fuente sísmica, la caracterización de la fuente desarrolla un conjunto de escenarios de terremotos posibles y relevantes (magnitud, dimensión y ubicación).

El primer paso para la caracterización de la fuente es elaborar un modelo de su geometría, existen 2 enfoques básicos para modelar geoméricamente una fuente en el análisis de peligro sísmico: Zona areal y falla.

Una vez modelada la geometría de la fuente, los modelos se desarrollaron para describir la ocurrencia de los terremotos en la fuente, incluyendo modelos de distribución de magnitudes de los terremotos, dimensiones de ruptura para cada magnitud del terremoto, distribución de ubicación del terremoto para cada dimensión de ruptura, y la tasa a la cual ocurre el terremoto en la fuente.

### **2.2.1 Modelos geoméricos de fuentes usados para el análisis de peligro sísmico**

La caracterización de fuentes sísmicas se basa normalmente en los datos de sismicidad histórica utilizando zonas sísmicas (llamadas fuentes de área). En

muchas partes del mundo, este sigue siendo el estándar de la práctica. En las regiones con información geológica en las fallas, esta información se puede utilizar para definir las tasas de actividad de las fallas.

### **2.2.1.1 Zona Areal**

Las fuentes de zona areal se usan para modelar la distribución espacial de la sismicidad en regiones donde se desconoce la ubicación de la falla. Generalmente la zona areal es un volumen.

Incluso para las regiones donde las fallas son conocidas, se modelan fuentes de zona areal en la caracterización de la fuente para tomar en consideración los terremotos que se producen fuera de las fallas conocidas.

### **2.2.1.2 Falla**

Las fuentes de falla inicialmente se modelaron como fuentes de líneas multilineales. Hoy en día se modelan normalmente como características multipanaras. Las rupturas del terremoto se distribuyen sobre el plano de falla. Por lo general, la ruptura se distribuye uniformemente a lo largo del rumbo de la falla, pero puede tener una distribución no lineal a lo largo del rumbo.

## **2.2.2 Momento Sísmico, Magnitud del momento, y esfuerzo liberado**

Se empieza con algunas ecuaciones importantes en sismología que proporcionan una base teórica para la relación de escala de la fuente. Este momento sísmico,  $M_0$  (en dinas/cm<sup>2</sup>), de un terremoto está dado por:

$$M_0 = \mu A D \quad (2.1)$$

Donde  $\mu$  es el módulo de corte de la corteza (en dinas / cm<sup>2</sup>),  $A$  es el área de ruptura de la falla (en cm<sup>2</sup>), y  $D$  es el desplazamiento medio (deslizamiento) sobre la superficie de ruptura (en cm). Para la corteza el valor típico de  $\mu$  es  $3 \times 10^{11}$  dinas/cm<sup>2</sup>

La magnitud del momento,  $M$ , definida por Hanks and Kanamori (1979) es:

$$M = \frac{2}{3} \log_{10}(M_o) - 10.7 \quad (2.2)$$

La relación del momento sísmico en función de la magnitud es:

$$\log_{10} M_o = 1.5 M + 16.05 \quad (2.3)$$

La constante, 16.05 no debe ser redondeado a 16.1.

Estas ecuaciones son importantes porque nos permiten relacionar la magnitud del terremoto a las propiedades físicas del terremoto. Sustituyendo la ecuación (2.2) en la ecuación (2.1) muestra que la magnitud está relacionada con el área de ruptura y el deslizamiento medio.

$$M_w = 1.5 \log_{10}(A) + 1.5 \log_{10}(D) + 1.5 \log_{10}(\mu) - 10.7 \quad (2.4)$$

Para una ruptura circular, el esfuerzo estático liberado en el centro de la ruptura está dado por:

$$\Delta\sigma_{circ} = \frac{7 \times 10^{-6}}{16} \pi^{1.5} \mu \frac{D}{\sqrt{A}} \quad (2.5)$$

Donde el esfuerzo está en bares (Kanamori and Anderson, 1979). Las constantes cambiarán para otras geometrías de ruptura (por ejemplo, fallas rectangulares) y dependiendo de cómo se definió la liberación del esfuerzo. (En centro de la ruptura o sobre el plano de la ruptura).

Una ruptura circular es razonable para magnitudes pequeñas o moderadas de terremotos (<6), pero para los grandes terremotos una forma rectangular es más apropiada. Para una falla rectangular finita, Sato (1972) mostro que el esfuerzo liberado depende de la relación (longitud/ancho). Basándose en los resultados de Sato, la liberación de esfuerzo para una falla rectangular a escala aproximadamente es  $(L/A)^{-0.15}$ . Usando esta escala y asumiendo que  $L = W$  para una grieta circular (2.5) puede generalizarse como:

$$\Delta\sigma_{rec} = \frac{7 \times 10^{-6}}{16} \pi^{1.5} \mu \frac{D}{\sqrt{A}} \left( \frac{L}{W} \right)^{-0.15} \quad (2.6)$$

Para una liberación de esfuerzo medio constante, la magnitud es una función lineal del  $\log(A)$  con una pendiente de 1.0, es decir.

$$M = \log(A) + b \quad (2.7)$$

Donde,  $b$  es una constante que depende de la liberación de esfuerzo medio. Para un terremoto individual. Habrá variabilidad aleatoria sobre la magnitud media

Existen varias ecuaciones de conversión que se han desarrollado para convertir las magnitudes de los terremotos anteriores a la magnitud del momento. En el desarrollo de un catálogo de terremotos para PSHA, es importante tener en cuenta estas conversiones.

### 2.2.3 Magnitud “Máxima”

Una vez definida la geometría de la fuente, el siguiente paso en la caracterización de la fuente es estimar la magnitud de los terremotos más grandes que podrían ocurrir en una fuente.

Para las fuentes de área, la estimación de la magnitud máxima normalmente se ha calculado teniendo en cuenta el mayor terremoto histórico en la zona de la fuente asignándole un valor adicional (por ejemplo, la mitad de una unidad de magnitud). Para las zonas de las fuentes con bajas tasas históricas de sismicidad, como es el caso de los Estados Unidos, se utiliza el mayor terremoto histórico de las regiones con regímenes tectónicos similares.

## 2.2.4 Distribución de magnitud

En general, una fuente sísmica generara una serie de magnitudes de los terremotos. Es decir, existe una variabilidad aleatoria en la magnitud de los terremotos en una fuente dada.

La magnitud pdf (a menudo llamada la distribución de magnitud) se denotará  $f_m(m)$ . En él se describe el número relativo de gran magnitud, moderada y pequeños terremotos de magnitud que se producen en la fuente sísmica.

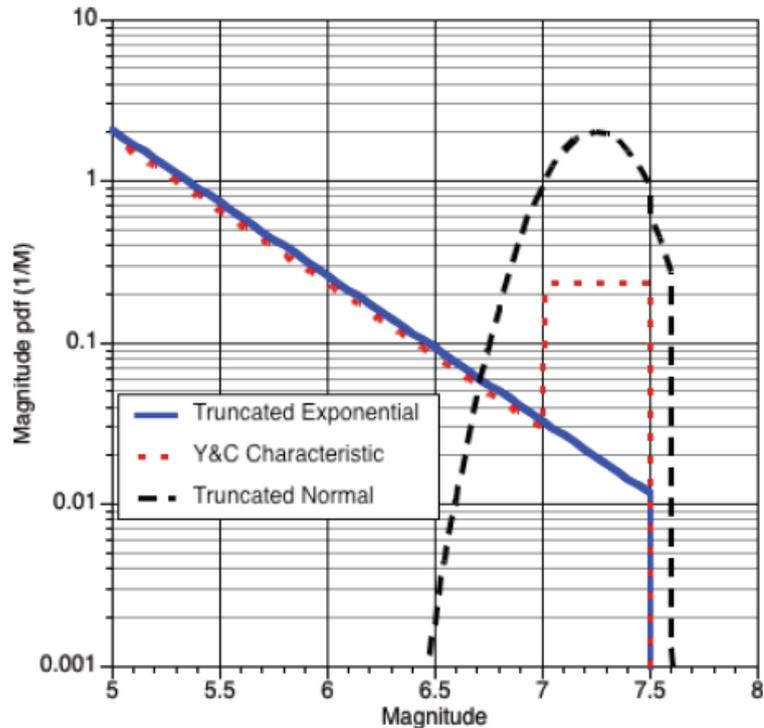
Existen dos categorías generales de funciones de densidad de magnitud que típicamente se consideran en el análisis de peligro sísmico: el modelo exponencial truncado y el modelo característico. Estos se describen en detalle a continuación.

### 2.2.4.1 Modelo exponencial truncado

El modelo exponencial truncado se basa en la conocida relación de magnitud de recurrencia de Gutenberg-Richter. La relación Gutenberg-Richter está dada por:

$$\text{Log } N(M) = a - bM$$

Donde  $N(M)$  es el número acumulado de sismos con magnitud mayor que  $M$ . El valor de  $a$  es el logaritmo de la tasa de terremotos de magnitud superior a 0 y el valor  $b$  es la pendiente en un gráfico semilogarítmico (Figura 8). Desde que  $N(M)$  es la tasa acumulada, la derivada de  $N(M)$  es la tasa por unidad de magnitud. Esta derivada es proporcional a la magnitud pdf.



**FIGURA 8. Comparación de magnitudes pdf normalmente usadas en el análisis de peligro sísmico**

Fuente: (Abrahamson, 2013)

#### **2.2.4.2 Modelo característico de terremoto**

La distribución exponencial de la magnitud de los terremotos funciona bien para las grandes regiones; sin embargo, en la mayoría de los casos este no funciona igual para las fuentes de falla (Youngs y Calderero, 1985). Mientras que los pequeños terremotos se aproximan a una distribución exponencial, la tasa de grandes terremotos se encuentra utilizando los estudios geológicos de la recurrencia de terremotos de gran magnitud es más alto que el modelo exponencial extrapolado. Esta discrepancia llevó al desarrollo del modelo de terremoto característico.

Las fallas individuales tienden a generar terremotos de una magnitud preferida debido a la geometría de la falla. La idea básica es que una vez que una falla comienza a romperse en un terremoto de gran magnitud, tenderá a romperse todo el segmento de falla. Como resultado, hay un tamaño “característico” de terremoto que la falla tiende a generar sobre la base de la dimensión del segmento de falla.

El modelo completamente característico supone que toda la energía sísmica se libera en los terremotos característicos. Esto también se llama el modelo de “máxima magnitud”, ya que no permite la magnitud moderada en las fallas. La forma más simple de este modelo utiliza una única magnitud para el terremoto característico (por ejemplo, una función delta).

### **2.2.4.3 Modelo compuesto**

El modelo terremoto totalmente característico no incorpora terremotos de magnitud moderada en las fallas. Este modelo es apropiado en muchos casos. Los modelos alternativos se basan en una combinación modelo exponencial truncado y el modelo característico. Estos modelos compuestos incluyen una distribución terremoto característico de los terremotos de gran magnitud y de una distribución exponencial de los sismos de menor magnitud. A pesar de que contienen una cola exponencial, estos modelos son generalmente llamados modelos característicos.

Un modelo compuesto de este tipo es el modelo característico Youngs y Calderero (1985). La función de densidad de magnitud para este modelo se muestra en la Figura 8. Este modelo tiene una distribución uniforme de las grandes magnitudes y una distribución exponencial para los terremotos de menor tamaño. La distribución uniforme se centra en la magnitud característica media y tiene un ancho de magnitud de 0,5. Puesto que este modelo es un compuesto de dos distribuciones, se necesita una restricción adicional para definir las amplitudes relativas de las dos distribuciones. Esto se hace mediante el establecimiento de la altura de la distribución uniforme para que sea igual al valor de la distribución exponencial en 1,0 unidad de magnitud por debajo del extremo inferior de la parte característica (1 unidad de magnitud menor que la magnitud inferior de la distribución uniforme). Esta restricción adicional suena bastante arbitraria, pero tiene una base empírica. La característica clave es que esta restricción resulta en aproximadamente el 94% del momento sísmico total que se libera en los terremotos característicos y aproximadamente el 6% del momento de ser liberado en los terremotos más pequeños que se encuentran en la cola exponencial. Otras formas del modelo podrían ser desarrollados (por ejemplo, una distribución

uniforme con un ancho de 0.3 unidades de magnitud). Mientras la contribución fraccional del momento total sigue siendo el mismo, entonces el peligro no es sensible a los detalles allí.

### **2.2.5 Tasas de actividad**

Las funciones de densidad de magnitud descrita anteriormente dan la tasa relativa de diferentes magnitudes de terremotos en una fuente (por encima de cierta magnitud mínima dada). Para calcular la tasa absoluta de terremotos de diferentes magnitudes se requiere de una estimación de tasa de terremotos por encima de la magnitud mínima, que se denomina la tasa de actividad y se denota  $N(M_{min})$ .

Hay dos enfoques comunes utilizados para la estimación de las tasas de actividad de las fuentes sísmicas: sismicidad histórica e información geológica y geodésica.

#### ***2.2.5.1 Tasas de actividad basadas en sismicidad histórica***

Si se utilizan los catálogos de sismicidad históricos para calcular la tasa de actividad, entonces la estimación de  $N(M_{min})$  por lo general se basa en el ajuste del modelo exponencial truncado a los datos históricos de un catálogo de terremoto. Cuando se trabaja con catálogos sísmicos hay varios aspectos importantes a considerar: escala de magnitud, eventos dependientes e integridad.

El catálogo tiene que ser para una sola escala de magnitud. Típicamente, terremotos históricos se convertirán a la magnitud de momento como se discutió previamente. Eventos dependientes, réplicas y temblores preliminares, tienen que ser retirados del catálogo. Los modelos de probabilidad que se utilizan para la ocurrencia del terremoto asumen que los terremotos son independientes. Claramente, réplicas y temblores preliminares son dependientes y no satisfacen esta suposición. La definición de lo que es una réplica y lo que es una nueva secuencia del terremoto no es simple.

Una vez que el catálogo se ha convertido a una escala de magnitud común y los eventos dependientes han sido retirados, se evalúa entonces el catálogo para la integridad.

El modelo de la tasa de actividad de los catálogos históricos asume que todos los eventos de los ocurridos en el período de tiempo cubierto por el catálogo han sido reportados en el catálogo. En general, este no es el caso y los catálogos son incompletos de las magnitudes más pequeñas. Un método para evaluar un catálogo completo fue desarrollado por Stepp (1972). En este método, la tasa de terremotos se representa gráficamente como una función de tiempo, comenzando en el presente y en movimiento hacia el comienzo del catálogo. Si la ocurrencia de terremotos es estacionaria (no cambia con el tiempo), entonces esta tasa debe ser aproximadamente constante con el tiempo. Si el catálogo es incompleto, entonces la tasa debería empezar a disminuir. Este proceso se utiliza para estimar los períodos de tiempo de integridad para rangos de magnitud específica.

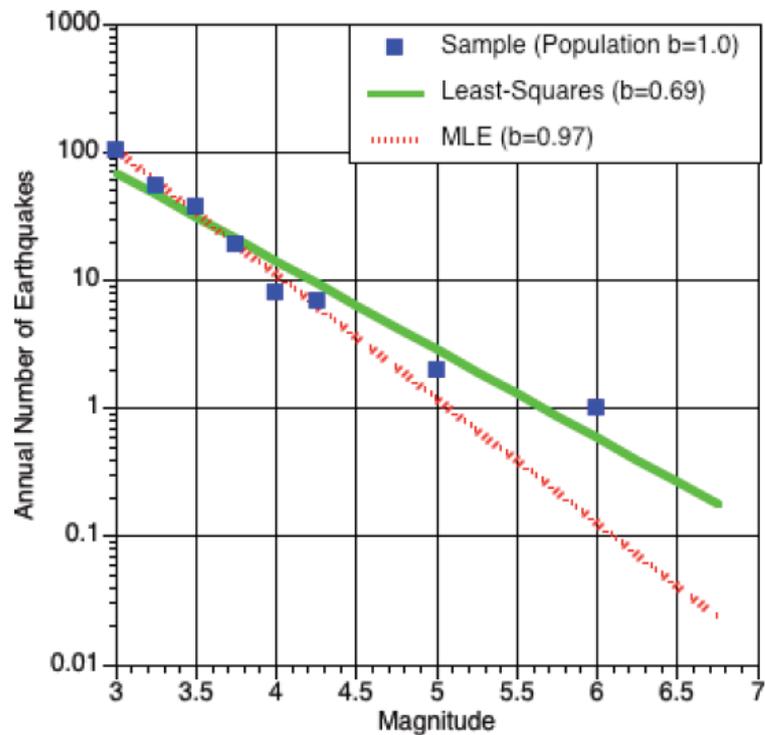
Una vez que el catálogo se ha corregido para la integridad, el valor  $b$  y la tasa de actividad generalmente se calculan utilizando el método de máxima probabilidad (Weicherdt, 1980). La estimación de la máxima probabilidad para el valor  $b$  viene dada por:

$$b = \frac{1}{\ln(10)(M - M_{min})}$$

Y la tasa de actividad es simplemente la tasa observada en la magnitud mínima.

El método de máxima probabilidad se prefiere generalmente debido a que los datos de frecuencia acumulados no son independientes y mínimos cuadrados da mayor peso a grandes eventos de magnitud raras que pueden no dar una velocidad confiable a largo plazo. Como un ejemplo, un conjunto de datos artificiales se ha generado utilizando la distribución exponencial truncada con un valor  $b = 1,0$ . A continuación, esta muestra se ajusta utilizando máxima probabilidad y el uso de los mínimos cuadrados. Como se

muestra en la Figura 9, los mínimos cuadrados se ajustan a un valor  $b$  mucho más pequeño que la población muestreada ( $b = 1,0$ ). En este ejemplo, el método de máxima probabilidad da un valor  $b = 0,97$ , pero el modelo de mínimos cuadrados da un valor  $b = 0,68$ . El uso del método de máxima probabilidad, depende de la calidad del catálogo a las menores magnitudes utilizadas.



**FIGURA 9. Comparación del modelo de recurrencia exponencial usando mínimos cuadrados y máxima probabilidad.**

Fuente: (Abrahamson, 2013)

Los valores típicos de  $b$  están comprendidos entre 0,8 y 1,2 para las fuentes de la corteza. Para zonas de subducción, los valores de  $b$  son más bajos (0,5 - 1,0). Si el valor  $b$  se encuentra fuera de este rango, entonces deben ser revisados por posibles errores tales como no la eliminación de eventos dependientes.

### **2.2.5.2 Tasas de actividad basadas en tasas de desplazamiento**

Si se utiliza la tasa de deslizamiento de las fallas para calcular la tasa de actividad, entonces la tasa de actividad por lo general se calcula mediante el

equilibrio de la acumulación a largo plazo de momento sísmico con la liberación a largo plazo del momento sísmico en los terremotos.

La velocidad de deslizamiento se convierte en una tasa de actividad del terremoto al requerir que la falla debe estar en equilibrio. La tasa a largo plazo de la acumulación del momento sísmico se establece igual a la tasa a largo plazo de la liberación del momento sísmico. La tasa de actividad de la falla dependerá de la distribución de las magnitudes de los terremotos que liberan la energía sísmica. Por ejemplo, una falla podría estar en equilibrio mediante la liberación del momento sísmico en muchos terremotos de magnitud moderada o en unos pocos terremotos de gran magnitud. La tasa relativa de moderada a terremotos de gran magnitud se describe por las magnitudes pdf.

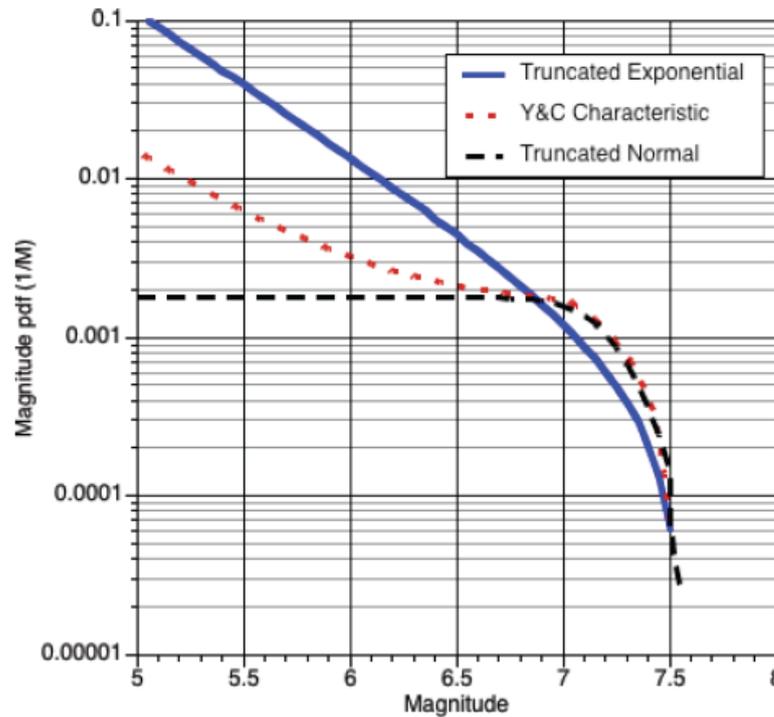
### 2.2.6 Relaciones de recurrencia de magnitud

La distribución de magnitud y la tasa de actividad se utilizan para definir la relación de recurrencia de magnitud. La relación de recurrencia de magnitud,  $N(M)$ , describe la velocidad a la que los terremotos con magnitudes mayores que o iguales a  $M$  se producen en una fuente (o una región). La relación de recurrencia se calcula mediante la integración de la función de densidad de magnitud y la ampliación por la tasa de actividad:

$$N(M) = N(M_{min}) \int_{M_{min}}^{M_{max}} f_m(m) dm$$

Aunque las funciones de densidad para los modelos característicos Y & C y exponencial truncada son similares a las magnitudes pequeñas (Figura 8), si la tasa de momento geológica se utiliza para establecer la tasa anual de eventos,  $N(M_{min})$ , entonces hay un gran impacto sobre la tasa de actividad calculada en función de la selección de la función de densidad de magnitud. La figura 10 muestra la comparación de las relaciones de magnitud de recurrencia para las funciones de densidad de magnitud alternativas cuando están obligados a tener la misma tasa de momento total. El modelo característico tiene muchos menos eventos moderada magnitud que el

modelo exponencial truncado (aproximadamente un factor de 5 diferencia). El modelo de máxima magnitud no incluye terremotos de magnitud moderada. Con este modelo, terremotos moderada magnitud se consideran generalmente usando zonas de origen de área.



**FIGURA 10. Comparación de relación de recurrencia usadas comúnmente para magnitudes pdf.**

Fuente: (Abrahamson, 2013)

La gran diferencia en las tasas de recurrencia de terremotos de magnitud moderada entre los modelos exponenciales truncados y Y + C puede ser utilizada para probar los modelos contra observaciones para algunas fallas. El modelo exponencial truncado sobreestima significativamente el número de terremotos de magnitud moderada. Esta discrepancia puede ser eliminada mediante el aumento de la magnitud máxima para el modelo exponencial en alrededor de 1 unidad de magnitud.

A pesar de que el modelo exponencial truncado no funciona bien para las fallas en las que se utiliza la tasa momento geológico para definir la tasa de actividad sísmica, en la práctica se suele incluir todavía como un modelo viable en un árbol lógico debido a su amplio uso en el pasado. Incluyendo el

modelo exponencial truncado es generalmente conservador para movimientos de suelo de alta frecuencia ( $f > 5$  Hz) y poco conservador para movimientos de suelo de largo período ( $T > 2$  segundos).

## **3 CAPÍTULO 3 - PROGRAMA HAZ 45.2**

### **3.1 Descripción del programa**

El programa HAZ 45.2 es un software para el análisis de peligro sísmico probabilístico (PSHA) desarrollado por el Doctor Norman Abrahamson, quien ha estado involucrado en sismología durante 18 años. Tiene una amplia experiencia en la aplicación y práctica de la sismología para el desarrollo de criterios sísmicos determinísticos y probabilísticos (espectros de respuesta y / o historiales de tiempo) para el diseño o análisis de ingeniería.

HAZ 45.2 está escrito en fortran y puede compilarse con el compilador ifort de Intel o el compilador gfortran de GNU.

### **3.2 Archivo de fuente**

El archivo de fuente es principalmente la caracterización de la fuente, descrita anteriormente.

### **3.3 Archivo de entrada**

Los datos ingresados en este archivo son los valores característicos de distancia entre la falla y el sitio y las condiciones del suelo en el sitio donde se realizará el análisis de peligro sísmico.

## 4 CAPÍTULO 4 – IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA

### 4.1 Ensayos de verificación por PEER

Se presenta un ejemplo de los diferentes tipos de falla (Hale, 2017)

#### Ejercicio 1

- Proporcionar resultados de peligro medio (probabilidad de excedencia) para la aceleración horizontal pico (PGA) definida en 0,001, 0,01, 0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3, 0,35, 0,4, 0,45, 0,5, 0,55, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, y 1,0 g.
- $\sigma = 0$  para el modelo del movimiento sísmico implica que el sigma en la relación tiende a cero, no que el sigma es truncado.
- Relaciones de dimensión de ruptura:

$$\text{Log}(A) = M - 4 \quad \sigma A = 0.25$$

$$\text{Log}(W) = 0,5 * M - 2.15$$

$$\text{Log}(L) = 0,5 * \text{METRO} - 1.85$$

$$\text{Relación de aspecto} = 2$$

- Para todas las fallas, la tasa de deslizamiento es de 2 mm / año,  $b=0,9$
- Para la fuente de área, el número de eventos por año de  $M$  min y una mayor  $N$  ( $M \geq 5$ ) es 0,0395 para toda el área,  $b = 0,9$ , y  $M$  max = 6.5.

DATOS EJERCICIO 1					
NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FUENTE	FUNCIÓN MAG-DENSIDAD	MOVIMIENTO DE SUELO	DIMENSIÓN DE RUPTURA
SET 1 CASO 1	Ruptura individual de todo el plano de falla, pruebas de distancia, tasas, y movimiento de suelo.	Falla 1 (Vertical SS); b=0.9; tasa de deslizamiento=2mm/año	Función delta en M 6.5	Sadigh et al. (1997), rock $\sigma_a=0$	Log (A) = M-4; $\sigma_a=0$ Log (W) =0.5*M-2.15; $\sigma_w=0$ Log (L) = 0.5*M-1.85; $\sigma_L=0$
SET 1 CASO 4	Ruptura simple mas pequeña que el plano de falla en la fall de inmersión	Falla 2 (Reverse 60°); b=0.9; tasa de deslizamiento=2mm/año	Función delta en M 6.0	Sadigh et al. (1997), rock $\sigma_a=0$	Log (A) = M-4; $\sigma_a=0$ Log (W) =0.5*M-2.15; $\sigma_w=0$ Log (L) = 0.5*M-1.85; $\sigma_L=0$
SET 1 CASO 11	Fuente de volumen con profundidad de 5 Km a 10 Km	Área 1 N(M>5)=0.0395; b=0.9	Exponencial truncado, Mmáx = 6.5 Mmín = 5	Sadigh et al. (1997), rock $\sigma_a=0$ No truncado	Use + 0.5 Km de espaciamiento en cuadrícula en los puntos de las fuentes o pequeñas fallas para simular una distribución uniforme

**Tabla 1. Coordenadas de sitio para caso 1 y 4**

Coordenadas de sitio para casos 1 y 4		
Sitio	Latitud	Longitud
1	38.113	-122.000
3	38.111	-122.570

Fuente: (Autor, 2018)

**Tabla 2. Coordenadas de sitio para caso 11**

Coordenadas de sitio para caso 11		
Sitio	Latitud	Longitud
1	38.000	-122.000
4	36.874	-122.000

Fuente: (Autor, 2018)

**Tabla 3. Coordenadas para falla de 25 km**

Coordenadas para falla de 25 Km		
Latitud	Longitud	Comentario
38.0000	-122.000	falla del extremo sur
38.2248	-122.000	falla del extremo norte

Fuente: (Autor, 2018)

**Tabla 4. Coordenadas para falla areal**

Coordenadas para falla areal		
Puntos	Latitud	Longitud
1	38.901	-122.000
2	38.899	-121.920
3	38.892	-121.840
4	38.881	-121.760
5	38.866	-121.682
6	38.846	-121.606
7	38.822	-121.532
8	38.794	-121.460
9	38.762	-121.390
10	38.727	-121.324
11	38.688	-121.261
12	38.645	-121.202
13	38.600	-121.147
14	38.551	-121.096
15	38.500	-121.050
16	38.446	-121.008
17	38.390	-120.971
18	38.333	-120.940
19	38.273	-120.913
20	38.213	-120.892
21	38.151	-120.876
22	38.089	-120.866
23	38.026	-120.862
24	37.963	-120.863
25	37.900	-120.869
26	37.838	-120.881
27	37.777	-120.899
28	37.717	-120.921
29	37.658	-120.949
30	37.601	-120.982
31	37.545	-121.020
32	37.492	-121.063
33	37.442	-121.110
34	37.394	-121.161
35	37.349	-121.216
36	37.308	-121.275
37	37.269	-121.337
38	37.234	-121.403
39	37.203	-121.471
40	37.176	-121.542
41	37.153	-121.615
42	37.133	-121.690
43	37.118	-121.766
44	37.108	-121.843
45	37.101	-121.922

Puntos	Coordenadas para falla areal	
	Latitud	Longitud
46	37.099	-122.000
47	37.101	-122.078
48	37.108	-122.157
49	37.118	-122.234
50	37.133	-122.310
51	37.153	-122.385
52	37.176	-122.458
53	37.203	-122.529
54	37.234	-122.597
55	37.269	-122.663
56	37.308	-122.725
57	37.349	-122.784
58	37.394	-122.839
59	37.442	-122.890
60	37.492	-122.937
61	37.545	-122.980
62	37.601	-123.018
63	37.658	-123.051
64	37.717	-123.079
65	37.777	-123.101
66	37.838	-123.119
67	37.900	-123.131
68	37.963	-123.137
69	38.026	-123.138
70	38.089	-123.134
71	38.151	-123.124
72	38.213	-123.108
73	38.273	-123.087
74	38.333	-123.060
75	38.390	-123.029
76	38.446	-122.992
77	38.500	-122.950
78	38.551	-122.904
79	38.600	-122.853
80	38.645	-122.798
81	38.688	-122.739
82	38.727	-122.676
83	38.762	-122.610
84	38.794	-122.540
85	38.822	-122.468
86	38.846	-122.394
87	38.866	-122.318
88	38.881	-122.240
89	38.892	-122.160
90	38.899	-122.080

Fuente: (Autor, 2018)

#### 4.1.1 Set 1 Caso 1: Falla 1 Normal

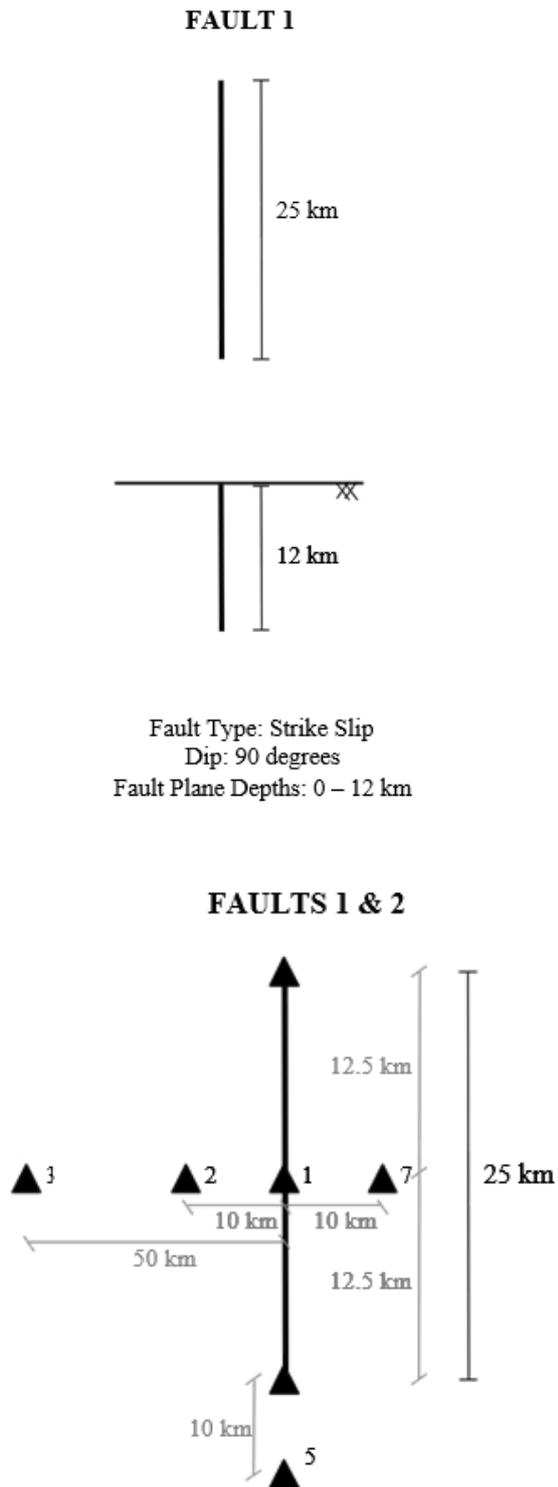


FIGURA 11. Vista en planta y corte de la falla caso 1, ubicación de sitios.

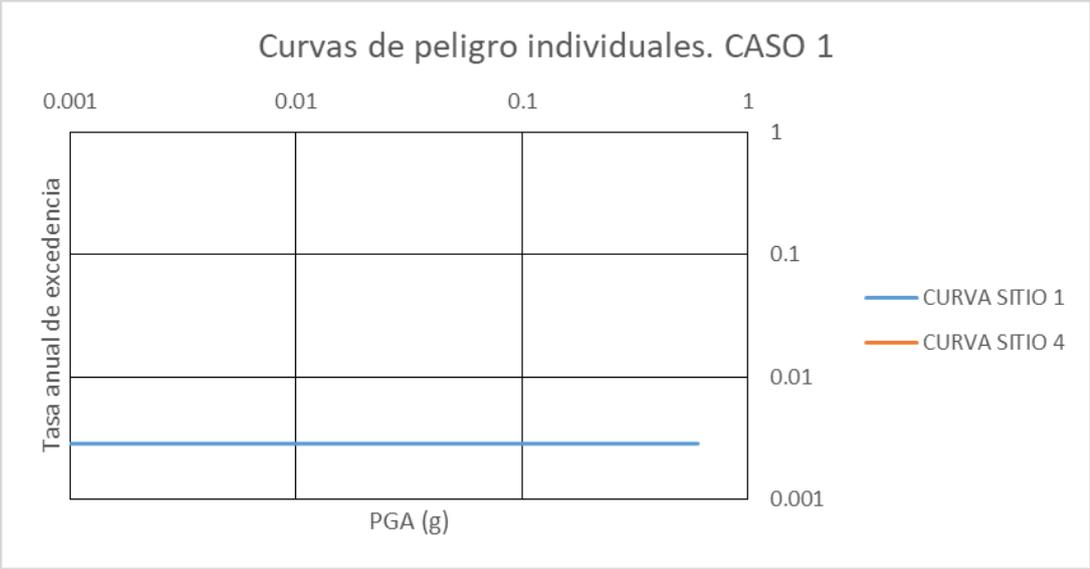
Fuente: (Hale, 2017)

Como anexo 1 se presenta el archivo de fuente y el archivo de ingreso en el software HAZ 45.2, Obteniendose como resultado las curvas de peligro individual presentadas a continuacion para los sitios 1 y 3, respectivamente.

**Tabla 5. Caso 1. Tasa anual de excedencia**

CASO 1		
PGA (g)	TASA ANUAL DE EXCEDENCIA	
	Sitio 1	Sitio 3
1	0	0
0.9	0	0
0.8	0	0
0.7	0.00285241	0
0.6	0.00285241	0
0.55	0.00285241	0
0.5	0.00285241	0
0.45	0.00285241	0
0.4	0.00285241	0
0.35	0.00285241	0
0.3	0.00285241	0
0.25	0.00285241	0
0.2	0.00285241	0
0.15	0.00285241	0
0.1	0.00285241	0
0.05	0.00285241	0
0.01	0.00285241	0.00285245
0.001	0.00285241	0.00285245

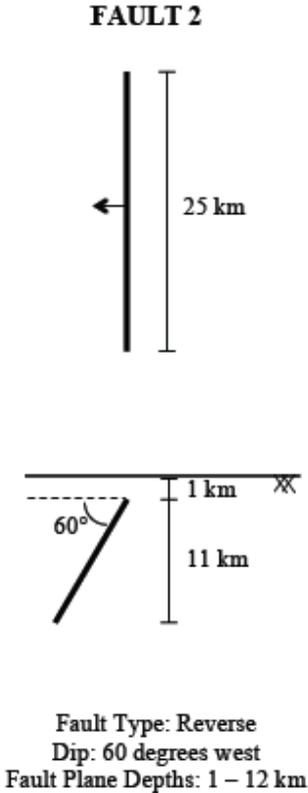
Fuente: (Autor, 2018)

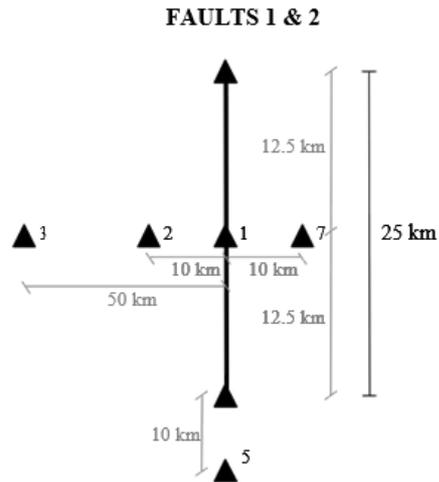


**Gráfico 1. Curvas de peligro individuales. Caso 1**

Fuente: (Autor, 2018)

**4.1.2 Set Y: Falla 2 Reversa**





**FIGURA 12. Vista en planta y corte de la falla caso 4, ubicación de sitios.**

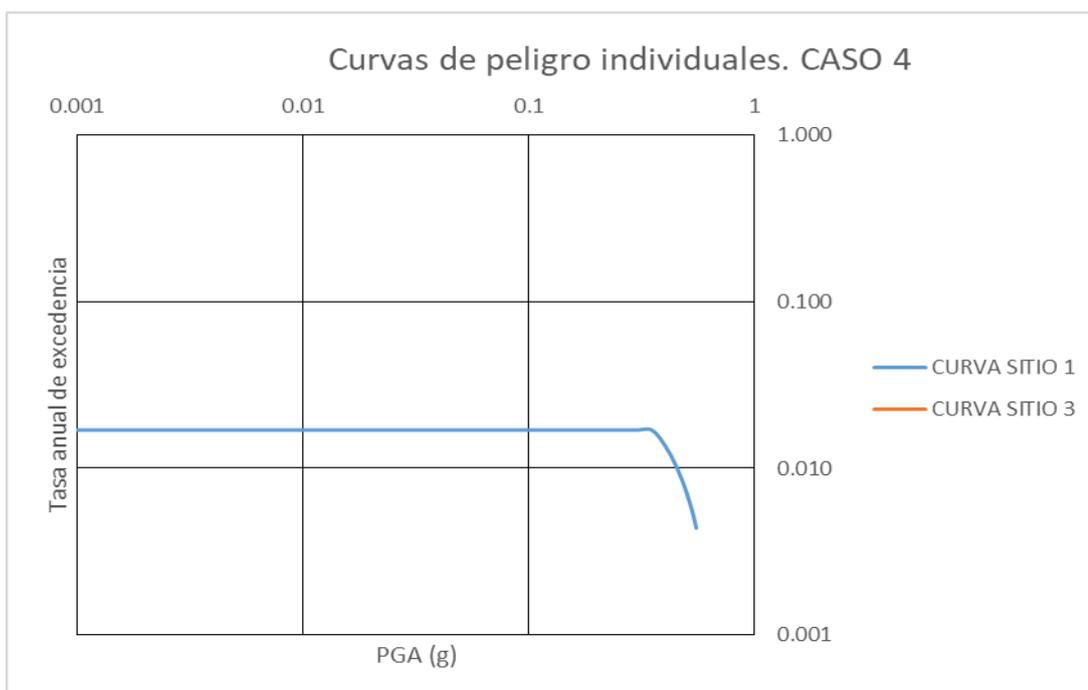
Fuente: (Hale, 2017)

Como anexo 2 se presenta el archivo de fuente y el archivo de ingreso en el software HAZ 45.2, Obteniendo como resultado las curvas de peligro individual presentadas a continuación para los sitios 1 y 3, respectivamente.

**Tabla 6. Caso 4 - Tasa anual de excedencia**

CASO 4		
PGA (g)	TASA ANUAL DE EXCEDENCIA	
	Sitio 1	Sitio 3
1	0.0000000	0.0000000
0.9	0.0000000	0.0000000
0.8	0.0000000	0.0000000
0.7	0.0000000	0.0000000
0.6	0.0021039	0.0000000
0.55	0.0043819	0.0000000
0.5	0.0070631	0.0000000
0.45	0.0102188	0.0000000
0.4	0.0137341	0.0000000
0.35	0.0169814	0.0000000
0.3	0.0169814	0.0000000
0.25	0.0169814	0.0000000
0.2	0.0169814	0.0000000
0.15	0.0169814	0.0000000
0.1	0.0169814	0.0000000
0.05	0.0169814	0.0000000
0.01	0.0169814	0.0169817
0.001	0.0169814	0.0169817

Fuente: (Autor, 2018)



**Gráfico 2. Curvas de peligro individuales. Caso 4**

Fuente: (Autor, 2018)

### 4.1.3 Set Z: Falla areal

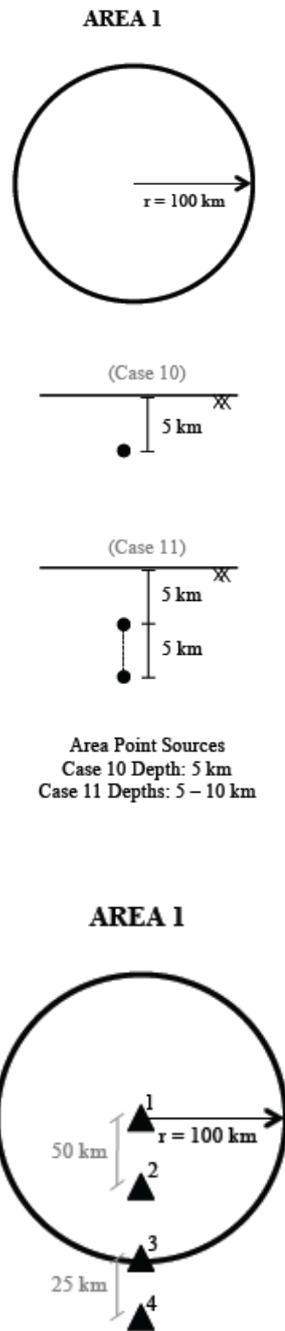


FIGURA 13. Vista en planta y corte de la falla caso 11, ubicación de sitios.

Fuente: (Hale, 2017)

Como anexo 3 se presenta el archivo de fuente y el archivo de ingreso en el software HAZ 45.2, Obteniendo como resultado las curvas de peligro individual presentadas a continuacion para los sitios 1 y 4, respectivamente.

**Tabla 7. Caso 11 - Tasa anual de excedencia**

CASO 11		
PGA (g)	TASA ANUAL DE EXCEDENCIA	
	Sitio 1	Sitio 4
1	0.00000097788	0.00000000009
0.9	0.00000166358	0.00000000023
0.8	0.00000293033	0.00000000059
0.7	0.00000537587	0.00000000170
0.6	0.00001035250	0.00000000546
0.55	0.00001467770	0.00000001029
0.5	0.00002115870	0.00000002014
0.45	0.00003108310	0.00000004126
0.4	0.00004667050	0.00000008899
0.35	0.00007190350	0.00000020405
0.3	0.00011430000	0.00000050328
0.25	0.00018902500	0.00000135795
0.2	0.00032961600	0.00000410880
0.15	0.00062126100	0.00001451700
0.1	0.00133776000	0.00006474480
0.05	0.00392941000	0.00044965300
0.01	0.02283770000	0.00681342000
0.001	0.03943660000	0.03556790000

Fuente: (Autor, 2018)

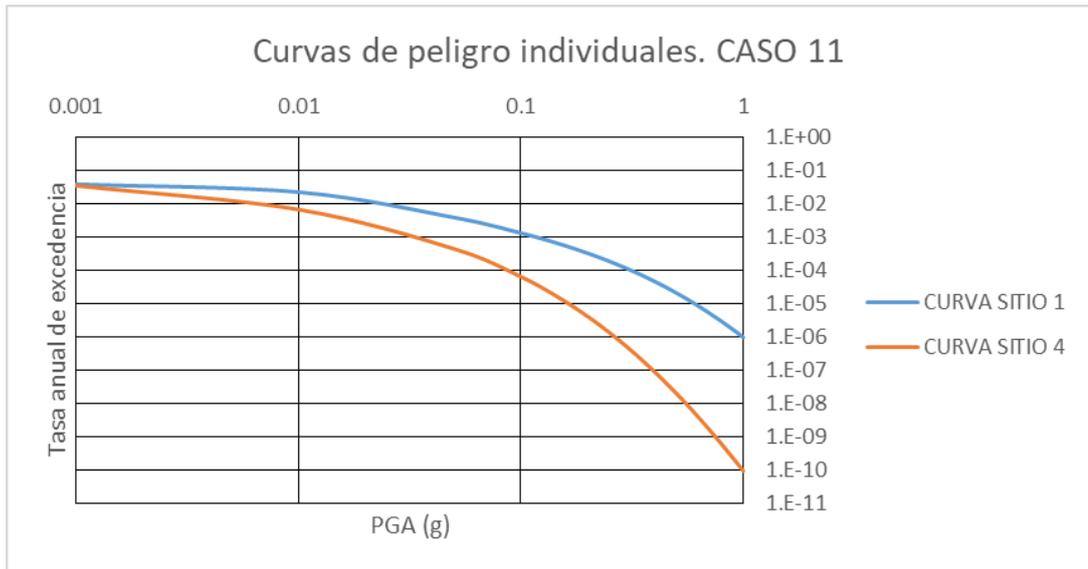


Gráfico 3. Curvas de peligro individuales. Caso 11

Fuente: (Autor, 2018)

#### 4.1.4 Fallas múltiples

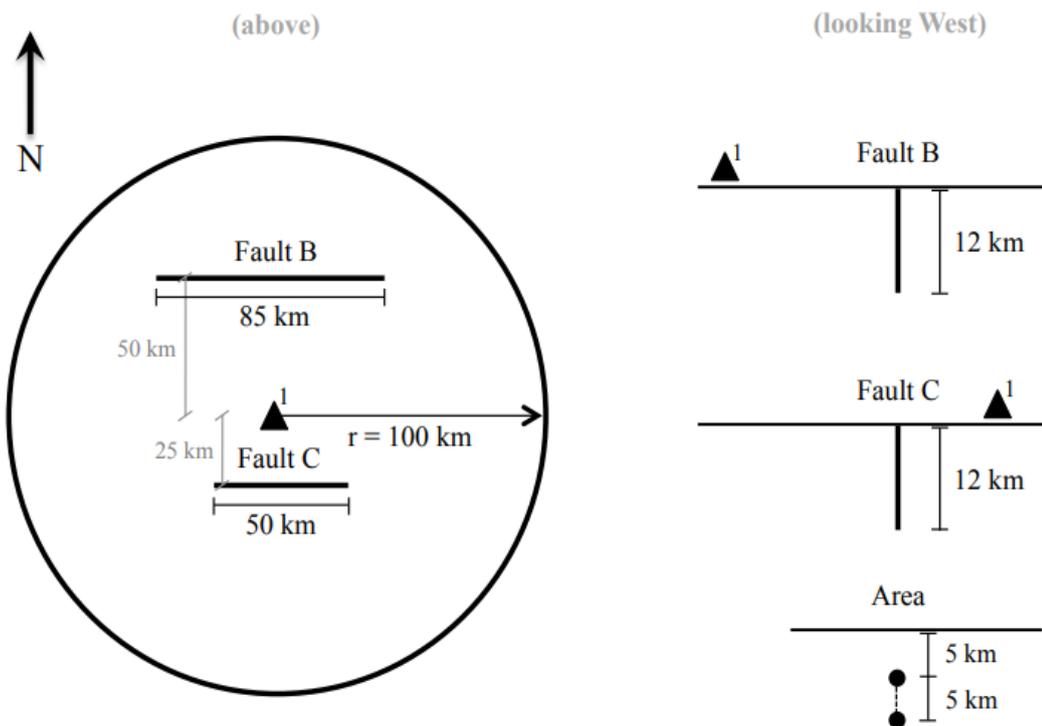


FIGURA 14. Vista en planta y corte del caso de fallas múltiples, ubicación de sitio.

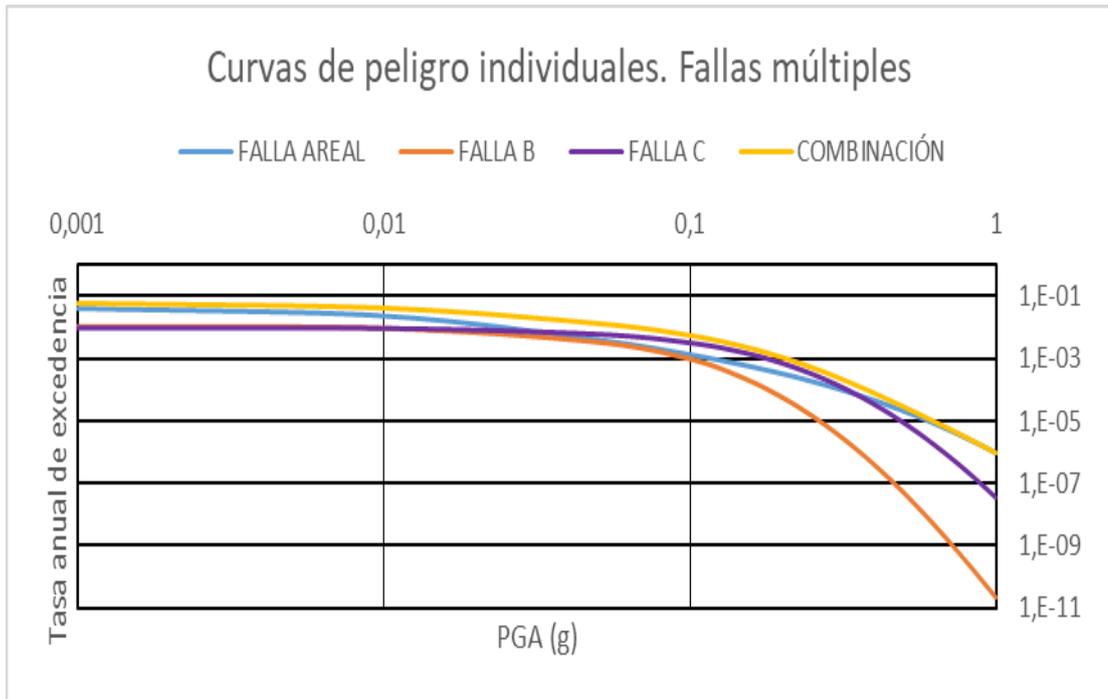
Fuente: (Hale, 2017)

Como anexo 4 se presenta el archivo de fuente y el archivo de ingreso en el software HAZ 45.2, Obteniendose como resultado las curvas de peligro individual presentadas a continuacion para el sitio 1.

**Tabla 8. Múltiples fallas**

MÚLTIPLES FALLAS				
PGA (g)	TASA ANUAL DE EXCEDENCIA			
	AREAL	FALLA B	FALLA C	COMBINACIÓN
1	9,72E-07	2,31E-11	3,48E-08	1,01E-06
0,9	1,65E-06	8,21E-11	9,16E-08	1,74E-06
0,8	2,91E-06	3,29E-10	2,56E-07	3,17E-06
0,7	5,34E-06	1,51E-09	7,71E-07	6,11E-06
0,6	1,03E-05	8,14E-09	2,51E-06	1,28E-05
0,55	1,46E-05	2,02E-08	4,69E-06	1,93E-05
0,5	2,10E-05	5,25E-08	8,96E-06	3,00E-05
0,45	3,09E-05	1,44E-07	1,76E-05	4,86E-05
0,4	4,64E-05	4,20E-07	3,55E-05	8,22E-05
0,35	7,14E-05	1,30E-06	7,35E-05	1,46E-04
0,3	1,14E-04	4,34E-06	1,56E-04	2,74E-04
0,25	1,88E-04	1,56E-05	3,40E-04	5,43E-04
0,2	3,28E-04	6,01E-05	7,49E-04	1,14E-03
0,15	6,18E-04	2,46E-04	1,63E-03	2,50E-03
0,1	1,33E-03	1,00E-03	3,37E-03	5,71E-03
0,05	3,91E-03	3,46E-03	6,34E-03	1,37E-02
0,01	2,28E-02	9,67E-03	9,83E-03	4,23E-02
0,001	3,94E-02	1,10E-02	9,96E-03	6,03E-02

Fuente: (Autor, 2018)

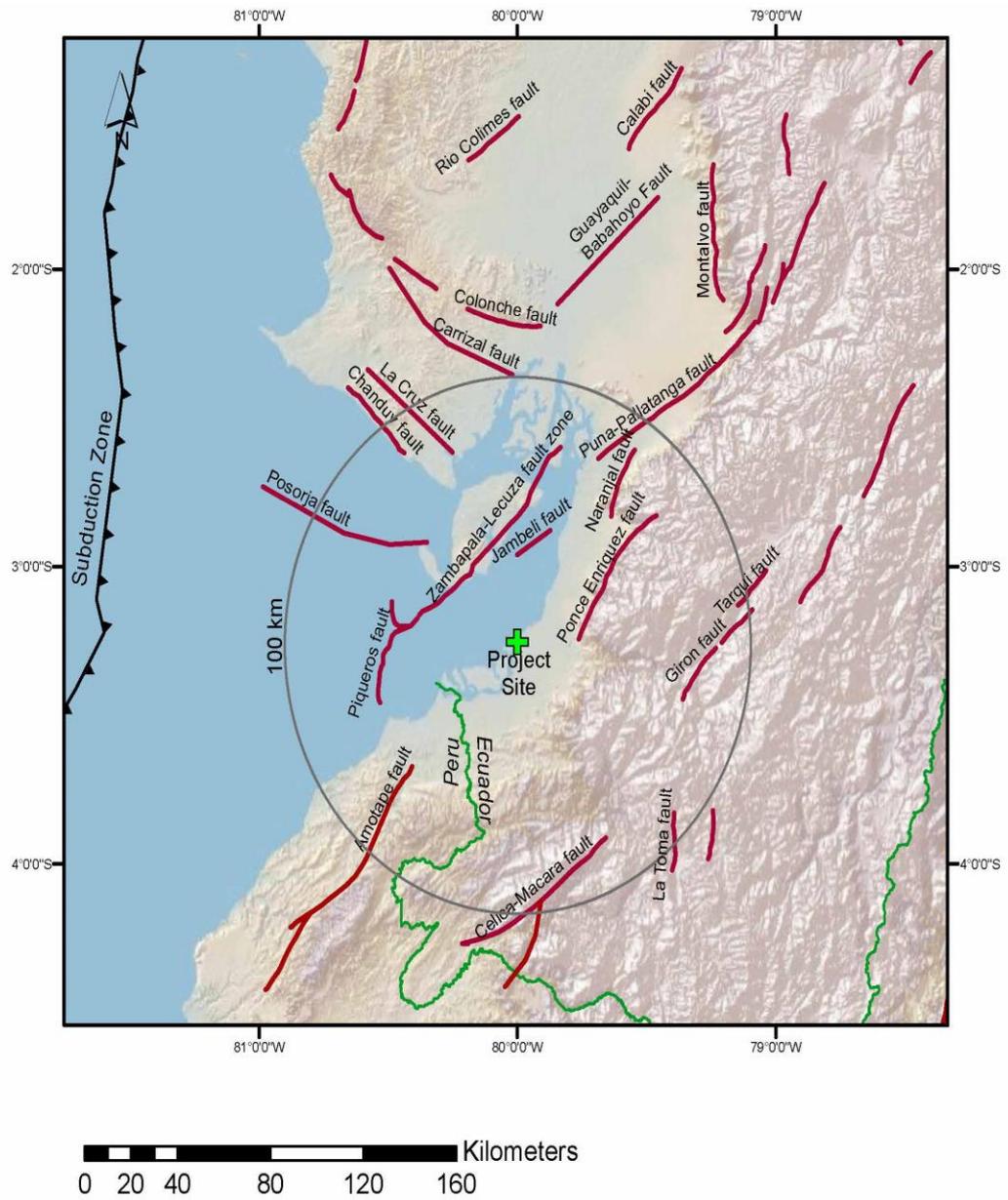


**Gráfico 4. Curvas de peligro individuales. Caso fallas múltiples**

Fuente: (Autor, 2018)

## 4.2 Fallas de Ecuador

Se tomaron 3 fallas de Ecuador para realizar la compilación de datos y mostrar los resultados del análisis de peligro sísmico probabilístico.



**FIGURA 15. Fallas activas de la región.**

Fuente: (Geosísmica, 2017)

**Tabla 9. Datos fallas Ecuador.**

DATOS ECUADOR								
NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FUENTE	INMERSIÓN	TASA DE DESLIZAMIENTO	PROFUNDIDAD	FUNCIÓN MAG-DENSIDAD	MOVIMIENTO DE SUELO	DIMENSIÓN DE RUPTURA
LA TOMA	Ruptura simple mas pequeña que el plano de falla en la falla de inmersión	Falla 1 (Reverse); b=0.91	55°	0,88	25	Función delta en M 6.5	Sadigh et al. (1997), rock $\sigma_a=0$	Log (A) = M-4; $\sigma_a=0$ Log (W) = 0.5*M-2.15; $\sigma_w=0$ Log (L) = 0.5*M-1.85; $\sigma_L=0$
GUAYAQUIL-BABAHYOY	Ruptura individual de todo el plano de falla	Falla 2 (Normal); b=0.85;	90°	1,44	23	Función delta en M 7.1	Sadigh et al. (1997), rock $\sigma_a=0$	Log (A) = M-4; $\sigma_a=0$ Log (W) = 0.5*M-2.15; $\sigma_w=0$ Log (L) = 0.5*M-1.85; $\sigma_L=0$
ÁREA	Fuente de volumen con profundidad de 5 Km a 10 Km	Area 1 N(M>5)=0.0395; b=0.81	90°	-	6	Exponencial truncado, Mmáx = 6.5 Mmín = 5	Sadigh et al. (1997), rock $\sigma_a=0$ No truncado	Use + 0.5 Km de espaciamiento en cuadrícula en los puntos de las fuentes o pequeñas fallas para simular una distribución uniforme

Fuente: (Geosísmica, 2017)

**Tabla 10. Coordenadas del sitio**

Coordenadas del sitio		
Sitio	Latitud	Longitud
1	3.250	80.000

Fuente: (Autor, 2018)

#### 4.2.1 Set X: Falla Guayaquil - Babahoyo

**Tabla 11. Coordenadas para falla Guayaquil - Babahoyo**

Coordenadas para falla Guayaquil - Babahoyo		
Latitud	Longitud	Comentario
1.6500	79.400	falla del extremo sur
2.1000	79.600	falla del extremo norte

Fuente: (Autor, 2018)

#### 4.2.2 Set Y: Falla La Toma

**Tabla 12. Coordenadas para falla La Toma**

Coordenadas para falla La Toma		
Latitud	Longitud	Comentario
3.8250	79.400	falla del extremo sur
4.0500	79.500	falla del extremo norte

Fuente: (Autor, 2018)

### 4.2.3 Set Z: Falla Areal

Tabla 13. Coordenadas para falla areal.

Coordenadas Falla Areal		
Puntos	Longitud	Latitud
1	80.0000	4.1750
2	79.9228	4.1728
3	79.8459	4.1662
4	79.7698	4.1551
5	79.6949	4.1397
6	79.6214	4.1200
7	79.5498	4.0962
8	79.4804	4.0682
9	79.4134	4.0364
10	79.3494	4.0008
11	79.2885	3.9625
12	79.2311	3.9189
13	79.1774	3.8730
14	79.1278	3.8243
15	79.0823	3.7728
16	79.0414	3.7187
17	79.0052	3.6625
18	78.9738	3.6043
19	78.9473	3.5445
20	78.9260	3.4833
21	78.9099	3.4210
22	78.8992	3.3579
23	78.8938	3.2944
24	78.8938	3.2306
25	78.8992	3.1671
26	78.9099	3.1040
27	78.9260	3.0417
28	78.9473	2.9805
29	78.9738	2.9207
30	79.0052	2.8625
31	79.0414	2.8063
32	79.0823	2.7522
33	79.1278	2.7007
34	79.1774	2.6520
35	79.2311	2.6061
36	79.2885	2.5635
37	79.3494	2.5242
38	79.4134	2.4886
39	79.4804	2.4568
40	79.5498	2.4288
41	79.6214	2.4050
42	79.6949	2.3853
43	79.7698	2.3699
44	79.8459	2.3588
45	79.9228	2.3522

Coordenadas Falla Areal		
Puntos	Longitud	Latitud
46	80.0000	2.3500
47	80.0772	2.3522
48	80.1541	2.3588
49	80.2302	2.3699
50	80.3051	2.3853
51	80.3786	2.4050
52	80.4502	2.4288
53	80.5196	2.4568
54	80.5866	2.4886
55	80.6506	2.5242
56	80.7115	2.5635
57	80.7689	2.6061
58	80.8226	2.6520
59	80.8722	2.7007
60	80.9177	2.7522
61	80.9586	2.8063
62	80.9948	2.8625
63	81.0262	2.9207
64	81.0527	2.9805
65	81.0740	3.0417
66	81.0901	3.1040
67	81.1008	3.1671
68	81.1062	3.2306
69	81.1062	3.2944
70	81.1008	3.3579
71	81.0901	3.4210
72	81.0740	3.4833
73	81.0527	3.5445
74	81.0262	3.6043
75	80.9948	3.6625
76	80.9586	3.7187
77	80.9177	3.7728
78	80.8722	3.8243
79	80.8226	3.8730
80	80.7689	3.9189
81	80.7115	3.9625
82	80.6506	4.0008
83	80.5866	4.0364
84	80.5196	4.0682
85	80.4502	4.0962
86	80.3786	4.1200
87	80.3051	4.1397
88	80.2302	4.1551
89	80.1541	4.1662
90	80.0772	4.1728
91	80.0000	4.1750

Fuente: (Autor, 2018)

## 5 CAPÍTULO 5 - RESULTADOS

```

1 1 iCoor (0=x,y 1=long,lat)
2 3 Number of flts
3 AreaSource
4 1.0 Prob Activity
5 1 Number of seg models
6 1. wts for seg models
7 1 Number of segments
8 1 flags for seg model
9 01_AreaSource
10 2 1 1.0 0 0 source type, atten type, sample step (km), dirflag, synflag
11 1.0 aleatory seg wt
12 90 4.5 dip, depth to top
13 91 Number of long/lat pts
14 80.0000 4.1750 long lat pts
15 79.9228 4.1728
16 79.8459 4.1662
17 79.7698 4.1551
18 79.6949 4.1397
19 79.6214 4.1200
20 79.5498 4.0962
21 79.4804 4.0682
22 79.4134 4.0364
23 79.3494 4.0008
24 79.2885 3.9625
25 79.2311 3.9189
26 79.1774 3.8730
27 79.1278 3.8243
28 79.0823 3.7728
29 79.0414 3.7187
30 79.0052 3.6625
31 78.9738 3.6043
32 78.9473 3.5445
33 78.9228 3.4833

104 80.0000 4.1750
105 1 Number of dip variations
106 0. dip variations
107 1. wt for dip variations
108 1 Number of b-values
109 0.81 b-values
110 1. wts for b-values
111 1 Number of act rates
112 0.81 0.0395 1.0 b-value, act rate, wt
113 0.0 1.0 0.0 0.0 wts for sr, act. rate, rec int, MoRate branches
114 0 Number of slip-rates
115 0 Number of rec. int.
116 0 Number of moment rates
117 1 Number of mag recur models
118 1 mag recur model (1=exp)
119 1.0 wts for mag recur model
120 0.0 0.0 0.0 mpdf1, mpdf2, mpdf3
121 1 Number of fault widths
122 6.0 fault widths
123 1.0 wts for fault widths
124 0 0.0 0.0 0.0 Depth pdf model (0=uniform) and params
125 1 Number of max mags (fault width 1)
126 6.5 max mags
127 1. wts for max mags
128 5.0 0.01 0.05 1.0 1 1 0.0 minmag, magstep, hxStep, hzStep, nRupArea, nRupWidth, minDepth
129 -4.00 1.0 0.0 rupArea coeff: a, b, sigma in log10 units
130 -2.15 0.5 0.0 rupWidth coeff: a, b, sigma in log10 units
131 1 Number of fault mech models
132 1.0 wts for fault mech models
133 1 Number of fault mech
134 0.0 fault mech
135 1.0 wts for fault mech
136 latoma
137 1.0 Prob Activity
138 1 Number of seg models
139 1. wts for seg models
140 1 Number of segments

```

```

141 1 flags for seg model
142 02_latoma
143 1 1 0. 0 0 source type, atten type, sample step (km), dirflag, synflag
144 1.0 aleatory seg wt
145 55 0.0 dip, depth to top
146 2 Number of long/lat pts
147 79.40000 3.82500 long lat pts
148 79.50000 4.05000
149 1 Number of dip variations
150 0. dip variations
151 1. wt for dip variations
152 1 Number of b-values
153 0.91 b-values
154 1. wts for b-values
155 0 Number of act rates
156 1.0 0.0 0.0 0.0 wts for sr, act. rate, rec int, MoRate branches
157 1 Number of slip-rates
158 0.88 slip rates (mm/yr)
159 1 wts for slip rates
160 0 Number of rec. int.
161 0 Number of moment rates
162 1 Number of mag recur models
163 0 mag recur model (0=Y&C)
164 1.0 wts for mag recur model
165 0.5 1.0 0.25 mpdf1, mpdf2, mpdf3
166 1 Number of fault widths
167 25. fault widths
168 1.0 wts for fault widths
169 0 0.0 0.0 0.0 Depth pdf model (0=uniform) and params
170 1 Number of max mags (fault width 1)
171 6.5 max mags
172 1. wts for max mags
173 5.0 0.05 0.1 0.1 1 1 0.0 minmag, magstep, hxStep, hzStep, nRupArea, nRupWidth, minDepth
174 -4.00 1.0 0.0 rupArea coeff: a, b, sigma in log10 units
175 -2.15 0.5 0.0 rupWidth coeff: a, b, sigma in log10 units
176 1 Number of fault mech models
177 1.0 wts for fault mech models

178 1 Number of fault mech
179 0.0 fault mech
180 1.0 wts for fault mech
181 GuayaquilBabahoyo
182 1.0 Prob Activity
183 1 Number of seg models
184 1. wts for seg models
185 1 Number of segments
186 1 flags for seg model
187 03_GuayaquilBabahoyo
188 1 1 0. 0 0 source type, atten type, sample step (km), dirflag, synflag
189 1.0 aleatory seg wt
190 90 0.0 dip, depth to top
191 2 Number of long/lat pts
192 79.40000 1.65000 long lat pts
193 79.60000 2.10000
194 1 Number of dip variations
195 0. dip variations
196 1. wt for dip variations
197 1 Number of b-values
198 0.85 b-values
199 1. wts for b-values
200 0 Number of act rates
201 1.0 0.0 0.0 0.0 wts for sr, act. rate, rec int, MoRate branches
202 1 Number of slip-rates
203 1.44 slip rates (mm/yr)
204 1 wts for slip rates
205 0 Number of rec. int.
206 0 Number of moment rates
207 1 Number of mag recur models
208 0 mag recur model (0=Y&C)
209 1.0 wts for mag recur model
210 0.5 1.0 0.25 mpdf1, mpdf2, mpdf3
211 1 Number of fault widths
212 12. fault widths
213 1.0 wts for fault widths

```

```

213 1.0          wts for fault widths
214 0 0.0 0.0 0.0  Depth pdf model (0=uniform) and params
215 1          Number of max mags (fault width 1)
216 7.1        max mags
217 1.         wts for max mags
218 5.0 0.05 0.1 0.1 1 1 0.0 minmag, magstep, hxStep, hzStep, nRupArea, nRupWidth, minDepth
219 -4.00 1.0 0.0  rupArea coeff: a, b, sigma in log10 units
220 -2.15 0.5 0.0  rupWidth coeff: a, b, sigma in log10 units
221 1          Number of fault mech models
222 1.0        wts for fault mech models
223 1          Number of fault mech
224 0.0        fault mech
225 1.0        wts for fault mech

```

**FIGURA 16. Archivo de fuente caso fallas múltiples en Ecuador.**

Fuente: (Autor, 2018)

```

1 Source_S2Test1.txt
2 45.2          version of fault file
3 1.0 5.0 78.0 82.0  min max lat long
4 400.         maxdist
5 PEER Verification, Set 2 Test 1
6 1 1          nProb, nAttenType
7 0.0 8 0      period, max epsilon, dir flag
8 18
9 0.001 0.01 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4 0.45 0.5 0.55 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
10 1           Number of GM Models for AttenType 1
11 51 0.0 0.0 1.0 0.0 0  jcalc, const1, const2, wt, SigVaradd, mixflag (Sadigh rock)
12 0           psCorFlag (0=no, 1=yes)
13 21          Number of deag mag values
14 5.0 5.1 5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 5.7 5.8 5.9 6.0 6.1 6.2 6.3 6.4 6.5 6.6 6.7 6.8 6.9 7.0  deag mag values
15 7           Number of deag dist values
16 0. 20. 40. 60. 80. 100. 200.  deag dist values
17 6           Number of deag eps values
18 -10. -1. 0. 1. 2. 10.  deag eps values
19 4           Number of deag dir values
20 0.0 0.10 0.40 2.0  deag dir values
21 0           soil amp
22 1           nSites
23 80.000 3.250 760.0 0.0481 0.250 0.6068 0.8 0 (sx, sy, Vs, DVs1.0, DVs1.5, DVs2.5, Vrup, FABBA)
24 Set2Test1_Sitel.out1
25 Set2Test1_Sitel.out2
26 Set2Test1_Sitel.out3
27 Set2Test1_Sitel.out4
28 Set2Test1_Sitel.out5
29 Set2Test1_Sitel.out6
30 Set2Test1_Sitel.out7

```

**FIGURA 17. Archivo de ingreso caso fallas múltiples en Ecuador.**

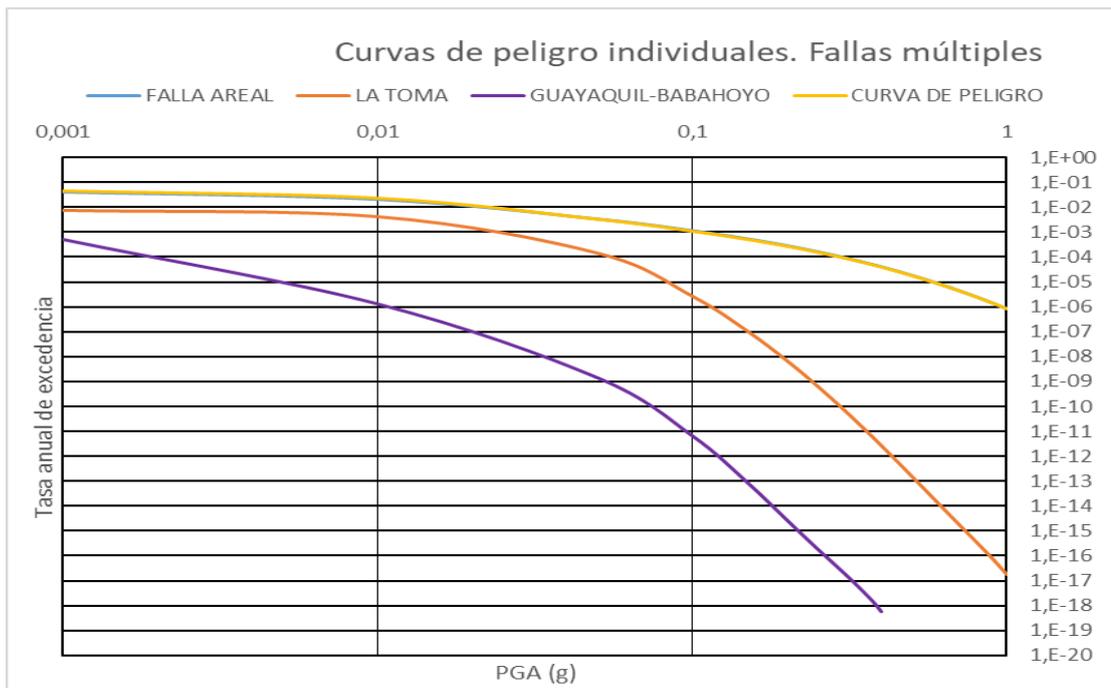
Fuente: (Autor, 2018)

Se obtuvo como resultados las curvas de peligro individuales para las diferentes fallas presentadas en Ecuador con relación al sitio escogido.

**Tabla 14. Caso Fallas Ecuador - Tasa anual de excedencia**

MÚLTIPLES FALLAS				
PGA (g)	TASA ANUAL DE EXCEDENCIA			
	AREAL	LA TOMA	GUAYAQUIL-BABAHOYO	COMBINACIÓN
1	8,22E-07	1,84E-17	0,00E+00	8,22E-07
0,9	1,40E-06	8,00E-17	0,00E+00	1,40E-06
0,8	2,47E-06	3,68E-16	0,00E+00	2,47E-06
0,7	4,54E-06	2,03E-15	0,00E+00	4,54E-06
0,6	8,76E-06	1,47E-14	0,00E+00	8,76E-06
0,55	1,24E-05	4,51E-14	0,00E+00	1,24E-05
0,5	1,79E-05	1,54E-13	0,00E+00	1,79E-05
0,45	2,63E-05	5,92E-13	4,00E-20	2,63E-05
0,4	3,94E-05	2,61E-12	5,55E-19	3,94E-05
0,35	6,07E-05	1,35E-11	3,63E-18	6,07E-05
0,3	9,63E-05	8,39E-11	2,35E-17	9,63E-05
0,25	1,59E-04	6,54E-10	1,92E-16	1,59E-04
0,2	2,76E-04	6,79E-09	2,74E-15	2,76E-04
0,15	5,19E-04	1,03E-07	8,71E-14	5,19E-04
0,1	1,11E-03	2,62E-06	6,62E-12	1,12E-03
0,05	3,26E-03	1,40E-04	1,41E-09	3,40E-03
0,01	2,00E-02	4,03E-03	1,30E-06	2,40E-02
0,001	3,93E-02	7,22E-03	5,05E-04	4,71E-02

Fuente: (Autor, 2018)



**Gráfico 5. Curvas de peligro individuales. Caso fallas múltiples en Ecuador**

Fuente: (Autor, 2018)

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- Se modelaron 3 fallas del ambiente tectónico del Ecuador obteniendo las curvas de peligro utilizando el programa HAZ 45.2
- Se recomienda realizar el archivo de fuente para todas las fallas que afectarían al Ecuador en el caso de que ocurra una liberación de energía en una de estas, con el fin de poder modelar para cualquier sitio y obtener las curvas de peligro.
- Se debería realizar un estudio y actualización del catálogo de fuentes sísmicas del Ecuador para poder ingresar con valores más exactos al programa y estimar de manera más precisa los resultados de los estudios.

## REFERENCIAS

Abrahamson, N. (2013). Anotaciones en clases.

Geosísmica. (2017). *Análisis de peligro sísmico para Puerto Bolívar*.

Krammer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Washington.

McGuire, R. K. (2004). *Seismic Hazard and Risk Analysis*.

# ANEXOS

## Anexo 1

```
1 1 iCoor (0=x,y 1=long,lat)
2 1 Number of flts
3 Set1Test1
4 1.0 Prob Activity
5 1 Number of seg models
6 1. wts for seg models
7 1 Number of segments
8 1 flags for seg model
9 01_Set1Test1
10 1 1 0. 0 0 source type, atten type, sample step (km), dirflag, synflag
11 1.0 aleatory seg wt
12 90 0.0 dip, depth to top
13 2 Number of long/lat pts
14 -122.0000 38.0000 long lat pts
15 -122.0000 38.2248
16 1 Number of dip variations
17 0. dip variations
18 1. wt for dip variations
19 1 Number of b-values
20 0.9 b-values
21 1. wts for b-values
22 0 Number of act rates
23 1.0 0.0 0.0 0.0 wts for sr, act. rate, rec int, MoRate branches
24 1 Number of slip-rates
25 2 slip rates (mm/yr)
26 1 wts for slip rates
27 0 Number of rec. int.
28 0 Number of moment rates
29 1 Number of mag recur models
30 3 mag recur model (3=max mag)
31 1.0 wts for mag recur model
32 0.0 0.0 0.0 mpdf1, mpdf2, mpdf3
33 1 Number of fault widths

34 12. fault widths
35 1.0 wts for fault widths
36 0 0.0 0.0 0.0 Depth pdf model (0=uniform) and params
37 1 Number of max mags (fault width 1)
38 6.5 max mags
39 1. wts for max mags
40 6.5 0.0001 0.05 0.05 1 1 0.0 minmag, magstep, hxStep, hzStep, nRupArea, nRupWidth, minDepth
41 -4.00 1.0 0.0 rupArea coeff: a, b, sigma in log10 units
42 -2.15 0.5 0.0 rupWidth coeff: a, b, sigma in log10 units
43 1 Number of fault mech models
44 1.0 wts for fault mech models
45 1 Number of fault mech
46 0.0 fault mech
47 1.0 wts for fault mech
```

FIGURA 18. Archivo de fuente caso 1.

Fuente: (Hale, 2017)

```

1 Source_S1Test1.txt
2 45.2          version of fault file
3 36.5 39.5 -123.5 -120.5      min max lat long
4 200.         maxdist
5 PEER Verification, Set 1 Test 1
6 1 1          nProb, nAttenType
7 0.0 4 0      period, max epsilon, dir flag
8 18
9 0.001 0.01 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4 0.45 0.5 0.55 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
10 1           Number of GM Models for AttenType 1
11 -51 0.0 0.0 1.0 0.0 0 -1 0.0      jcalc, const1, const2, wt, SigVaradd, mixflag, j_sigma, fix_sigma (S
12 0           psCorFlag (0=no, 1=yes)
13 5           Number of deag mag values
14 4.75 5.75 6.25 6.75 7.0      deag mag values
15 6           Number of deag dist values
16 0.0 2.5 7.5 12.5 15.0 75.0      deag dist values
17 6           Number of deag eps values
18 -10. -2. 0. 1. 2. 10.        deag eps values
19 4           Number of deag dir values
20 0.0 0.10 0.40 2.0          deag dir values
21 0           soil amp
22 7           nSites
23 -122.000 38.113 760.0 0.0481 0.250 0.6068 0.8 0 (sx, sy, Vs, DVs1.0, DVs1.5, DVs2.5, Vrup, FABA)
24 Set1Test1_Sitel.out1
25 Set1Test1_Sitel.out2
26 Set1Test1_Sitel.out3
27 Set1Test1_Sitel.out4
28 Set1Test1_Sitel.out5
29 Set1Test1_Sitel.out6
30 Set1Test1_Sitel.out7

```

**FIGURA 19. Archivo de ingreso caso 1.**

Fuente: (Hale, 2017)

## Anexo 2

```

1 1           iCoor (0=x,y 1=long,lat)
2 1           Number of filts
3 Set1Test4
4 1.0        Prob Activity
5 1           Number of seg models
6 1.         wts for seg models
7 1           Number of segments
8 1           flags for seg model
9 01_Set1Test4
10 1 1 0. 0 0      source type, atten type, sample step (km), dirflag, synflag
11 1.0        aleatory seg wt
12 60 1.0     dip, depth to top
13 2           Number of long/lat pts
14 -122.0000 38.2248      long lat pts
15 -122.0000 38.0000
16 1           Number of dip variations
17 0.         dip variations
18 1.         wt for dip variations
19 1           Number of b-values
20 0.9        b-values
21 1.         wts for b-values
22 0           Number of act rates
23 1.0 0.0 0.0 0.0      wts for sr, act. rate, rec int, MoRate branches
24 1           Number of slip-rates
25 2           slip rates (mm/yr)
26 1           wts for slip rates
27 0           Number of rec. int.
28 0           Number of moment rates
29 1           Number of mag recur models
30 3           mag recur model (3=max mag)
31 1.0        wts for mag recur model
32 0.0 0.0 0.0      mpdf1, mpdf2, mpdf3
33 1           Number of fault widths

```

```

34 11.          fault widths
35 1.0          wts for fault widths
36 0 0.0 0.0 0.0  Depth pdf model (0=uniform) and params
37 1          Number of max mags (fault width 1)
38 6.0          max mags
39 1.          wts for max mags
40 6.0 0.0001 0.05 0.05 1 1 1.0 minmag, magstep, hxStep, hzStep, nRupArea, nRupWidth, minDepth
41 -4.00 1.0 0.0  rupArea coeff: a, b, sigma in log10 units
42 -2.15 0.5 0.0  rupWidth coeff: a, b, sigma in log10 units
43 1          Number of fault mech models
44 1.0          wts for fault mech models
45 1          Number of fault mech
46 1.0          fault mech
47 1.0          wts for fault mech

```

**FIGURA 20. Archivo de fuente caso 4.**

Fuente: (Hale, 2017)

```

1 Source_S1Test4.txt
2 45.2          version of fault file
3 36.5 39.5 -123.5 -120.5  min max lat long
4 200.          maxdist
5 PEER Verification, Set 1 Test 4
6 1 1          nProb, nAttenType
7 0.0 4 0      period, max epsilon, dir flag
8 18
9 0.001 0.01 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4 0.45 0.5 0.55 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
10 1          Number of GM Models for Atten Type 1
11 -51 0.0 0.0 1.0 0.0 0 -1 0.0  jcalc, const1, const2, wt, SigVaradd, mixflag, j_sigma, fix_sigma (Sadigh rock)
12 0          psCorFlag (0=no, 1=yes)
13 5          Number of deag mag values
14 4.75 5.75 6.25 6.75 7.0  deag mag values
15 6          Number of deag dist values
16 0.0 2.5 7.5 12.5 15.0 75.0  deag dist values
17 6          Number of deag eps values
18 -10. -2. 0. 1. 2. 10.  deag eps values
19 4          Number of deag dir values
20 0.0 0.10 0.40 2.0  deag dir values
21 0          soil amp
22 7          nSites
23 -122.000 38.113 760.0 0.0481 0.250 0.6068 0.8 0 (sx, sy, Vs, DVs1.0, DVs1.5, DVs2.5, Vrup, FABA)
24 Set1Test4_Site1.out1
25 Set1Test4_Site1.out2
26 Set1Test4_Site1.out3
27 Set1Test4_Site1.out4
28 Set1Test4_Site1.out5
29 Set1Test4_Site1.out6
30 Set1Test4_Site1.out7

```

**FIGURA 21. Archivo de ingreso caso 4.**

Fuente: (Hale, 2017)

### Anexo 3

1	1		iCoor (0=x,y 1=long,lat)
2	1		Number of flts
3	Set1Test11		
4	1.0		Prob Activity
5	1		Number of seg models
6	1.		wts for seg models
7	1		Number of segments
8	1		flags for seg model
9	01_Set1Test11		
10	2	1 0.5 0 0	source type, atten type, sample step (km), dirflag, synflag
11	1.0		aleatory seg wt
12	90	4.5	dip, depth to top
13	91		Number of long/lat pts
14	-122.000	38.901	long lat pts
15	-121.920	38.899	
16	-121.840	38.892	
17	-121.760	38.881	
18	-121.682	38.866	
19	-121.606	38.846	
20	-121.532	38.822	
21	-121.460	38.794	
22	-121.390	38.762	
23	-121.324	38.727	
24	-121.261	38.688	
25	-121.202	38.645	
26	-121.147	38.600	
27	-121.096	38.551	
28	-121.050	38.500	
29	-121.008	38.446	
30	-120.971	38.390	
31	-120.940	38.333	
32	-120.913	38.273	
33	-120.892	38.213	
103	-122.080	38.899	
104	-122.000	38.901	
105	1		Number of dip variations
106	0.		dip variations
107	1.		wt for dip variations
108	1		Number of b-values
109	0.9		b-values
110	1.		wts for b-values
111	1		Number of act rates
112	0.9	0.0395 1.0	b-value, act rate, wt
113	0.0	1.0 0.0 0.0	wts for $s_x$ , act. rate, rec int, MoRate branches
114	0		Number of slip-rates
115	0		Number of rec. int.
116	0		Number of moment rates
117	1		Number of mag recur models
118	1		mag recur model (1=exp)
119	1.0		wts for mag recur model
120	0.0	0.0 0.0	mpdf1, mpdf2, mpdf3
121	1		Number of fault widths
122	6.0		fault widths
123	1.0		wts for fault widths
124	0	0.0 0.0 0.0	Depth pdf model (0=uniform) and params
125	1		Number of max mags (fault width 1)
126	6.5		max mags
127	1.		wts for max mags
128	5.0	0.01 0.05 1.0 1 1 0.0	minmag, magstep, hxStep, hzStep, nRupArea, nRupWidth, minDepth
129	-4.00	1.0 0.0	rupArea coeff: a, b, sigma in log10 units
130	-2.15	0.5 0.0	rupWidth coeff: a, b, sigma in log10 units
131	1		Number of fault mech models
132	1.0		wts for fault mech models
133	1		Number of fault mech
134	0.0		fault mech
135	1.0		wts for fault mech

FIGURA 22. Archivo de fuente caso 11.

Fuente: (Hale, 2017)

```

1 Source_S1Test11.txt
2 45.2 version of fault file
3 36.5 39.5 -123.5 -120.5 min max lat long
4 250. maxdist
5 PEER Verification, Set 1 Test 11
6 1 1 nProb, nAttenType
7 0.0 8 0 period, max epsilon, dir flag
8 18
9 0.001 0.01 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4 0.45 0.5 0.55 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
10 1 Number of GM Models for AttenType 1
11 51 0.0 0.0 1.0 0.0 0 jcalc, const1, const2, wt, SigVaradd, mixflag (Sadigh rock)
12 0 psCorFlag (0=no, 1=yes)
13 5 Number of deag mag values
14 4.75 5.75 6.25 6.75 7.0 deag mag values
15 6 Number of deag dist values
16 0.0 10.0 20.0 50.0 100.0 250.0 deag dist values
17 6 Number of deag eps values
18 -10. -2. 0. 1. 2. 10. deag eps values
19 4 Number of deag dir values
20 0.0 0.10 0.40 2.0 deag dir values
21 0 soil amp
22 4 nSites
23 -122.000 38.000 760.0 0.0481 0.250 0.6068 0.8 0 (sx, sy, Vs, DVs1.0, DVs1.5, DVs2.5, Vrup, FABA)
24 Set1Test11_Sitel.out1
25 Set1Test11_Sitel.out2
26 Set1Test11_Sitel.out3
27 Set1Test11_Sitel.out4
28 Set1Test11_Sitel.out5
29 Set1Test11_Sitel.out6
30 Set1Test11_Sitel.out7

```

**FIGURA 23. Archivo de ingreso caso 11.**

Fuente: (Hale, 2017)

#### Anexo 4

```

1 1 iCoor (0=x, y 1=long, lat)
2 3 Number of flts
3 AreaSource
4 1.0 Prob Activity
5 1 Number of seg models
6 1. wts for seg models
7 1 Number of segments
8 1 flags for seg model
9 01_AreaSource
10 2 1 1.0 0 0 source type, atten type, sample step (km), dirflag, synflag
11 1.0 aleatory seg wt
12 90 4.5 dip, depth to top
13 91 Number of long/lat pts
14 -65.0000 0.8993 long lat pts
15 -64.9373 0.8971
16 -64.8748 0.8906
17 -64.8130 0.8797
18 -64.7521 0.8645
19 -64.6924 0.8451
20 -64.6342 0.8216
21 -64.5778 0.7940
22 -64.5234 0.7627
23 -64.4714 0.7276
24 -64.4219 0.6899
25 -64.3753 0.6469
26 -64.3316 0.6017
27 -64.2913 0.5537
28 -64.2544 0.5029
29 -64.2211 0.4496
30 -64.1917 0.3942
31 -64.1662 0.3369
32 -64.1447 0.2779
33 -64.1274 0.2176

```

```

104 -65.0000 0.8993
105 1          Number of dip variations
106 0.          dip variations
107 1.          wt for dip variations
108 1          Number of b-values
109 0.9         b-values
110 1.          wts for b-values
111 1          Number of act rates
112 0.9 0.0395 1.0      b-value, act rate, wt
113 0.0 1.0 0.0 0.0    wts for sr, act. rate, rec int, MoRate branches
114 0          Number of slip-rates
115 0          Number of rec. int.
116 0          Number of moment rates
117 1          Number of mag recur models
118 1          mag recur model (1=exp)
119 1.0         wts for mag recur model
120 0.0 0.0 0.0 0.0    mpdf1, mpdf2, mpdf3
121 1          Number of fault widths
122 6.0         fault widths
123 1.0         wts for fault widths
124 0 0.0 0.0 0.0      Depth pdf model (0=uniform) and params
125 1          Number of max mags (fault width 1)
126 6.5         max mags
127 1.          wts for max mags
128 5.0 0.01 0.05 1.0 1 1 0.0 minmag, magstep, hxStep, hzStep, nRupArea, nRupWidth, minDepth
129 -4.00 1.0 0.0      rupArea coeff: a, b, sigma in log10 units
130 -2.15 0.5 0.0      rupWidth coeff: a, b, sigma in log10 units
131 1          Number of fault mech models
132 1.0         wts for fault mech models
133 1          Number of fault mech
134 0.0         fault mech
135 1.0         wts for fault mech

```

```

136 FaultB
137 1.0         Prob Activity
138 1          Number of seg models
139 1.          wts for seg models
140 1          Number of segments
141 1          flags for seg model
142 02_FaultB
143 1 1 0. 0 0      source type, atten type, sample step (km), dirflag, synflag
144 1.0         aleatory seg wt
145 90 0.0       dip, depth to top
146 2          Number of long/lat pts
147 -65.38222 0.44966 long lat pts
148 -64.61778 0.44966
149 1          Number of dip variations
150 0.          dip variations
151 1.          wt for dip variations
152 1          Number of b-values
153 0.9         b-values
154 1.          wts for b-values
155 0          Number of act rates
156 1.0 0.0 0.0 0.0    wts for sr, act. rate, rec int, MoRate branches
157 1          Number of slip-rates
158 2          slip rates (mm/yr)
159 1          wts for slip rates
160 0          Number of rec. int.
161 0          Number of moment rates
162 1          Number of mag recur models
163 0          mag recur model (0=Y&C)
164 1.0         wts for mag recur model
165 0.5 1.0 0.25      mpdf1, mpdf2, mpdf3

```

```

166 1          Number of fault widths
167 12.         fault widths
168 1.0        wts for fault widths
169 0 0.0 0.0 0.0  Depth pdf model (0=uniform) and params
170 1          Number of max mags (fault width 1)
171 6.75       max mags
172 1.         wts for max mags
173 5.0 0.05 0.1 0.1 1 1 0.0 minmag, magstep, hxStep, hzStep, nRupArea, nRupWidth, minDepth
174 -4.00 1.0 0.0  rupArea coeff: a, b, sigma in log10 units
175 -2.15 0.5 0.0  rupWidth coeff: a, b, sigma in log10 units
176 1          Number of fault mech models
177 1.0        wts for fault mech models
178 1          Number of fault mech
179 0.0        fault mech
180 1.0        wts for fault mech
181 FaultC
182 1.0        Prob Activity
183 1          Number of seg models
184 1.         wts for seg models
185 1          Number of segments
186 1          flags for seg model
187 03_FaultC
188 1 1 0. 0 0  source type, atten type, sample step (km), dirflag, synflag
189 1.0        aleatory seg wt
190 90 0.0     dip, depth to top
191 2          Number of long/lat pts
192 -65.22484 -0.22483 long lat pts
193 -64.77516 -0.22483
194 1          Number of dip variations
195 0.         dip variations

196 1.         wt for dip variations
197 1          Number of b-values
198 0.9        b-values
199 1.         wts for b-values
200 0          Number of act rates
201 1.0 0.0 0.0 0.0  wts for sr, act. rate, rec int, MoRate branches
202 1          Number of slip-rates
203 1          slip rates (mm/yr)
204 1          wts for slip rates
205 0          Number of rec. int.
206 0          Number of moment rates
207 1          Number of mag recur models
208 0          mag recur model (0=Y&C)
209 1.0        wts for mag recur model
210 0.5 1.0 0.25  mpdf1, mpdf2, mpdf3
211 1          Number of fault widths
212 12.        fault widths
213 1.0        wts for fault widths
214 0 0.0 0.0 0.0  Depth pdf model (0=uniform) and params
215 1          Number of max mags (fault width 1)
216 6.5        max mags
217 1.         wts for max mags
218 5.0 0.05 0.1 0.1 1 1 0.0 minmag, magstep, hxStep, hzStep, nRupArea, nRupWidth, minDepth
219 -4.00 1.0 0.0  rupArea coeff: a, b, sigma in log10 units
220 -2.15 0.5 0.0  rupWidth coeff: a, b, sigma in log10 units
221 1          Number of fault mech models
222 1.0        wts for fault mech models
223 1          Number of fault mech
224 0.0        fault mech
225 1.0        wts for fault mech

```

**FIGURA 24. Archivo de fuente caso fallas múltiples.**

Fuente: (Hale, 2017)

```

1 Source_s2Test1.txt
2 45.2          version of fault file
3 -1.0 1.0 -66.0 -64.0      min max lat long
4 200.          maxdist
5 PEER Verification, Set 2 Test 1
6 1 1          nProb, nAttenType
7 0.0 8 0      period, max epsilon, dir flag
8 18
9 0.001 0.01 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4 0.45 0.5 0.55 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
10 1           Number of GM Models for AttenType 1
11 51 0.0 0.0 1.0 0.0 0      jcalc, const1, const2, wt, sigVaradd, mixflag (Sadigh rock)
12 0           psCorFlag (0=no, 1=yes)
13 21          Number of deag mag values
14 5.0 5.1 5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 5.7 5.8 5.9 6.0 6.1 6.2 6.3 6.4 6.5 6.6 6.7 6.8 6.9 7.0  deag mag values
15 7           Number of deag dist values
16 0. 20. 40. 60. 80. 100. 200.  deag dist values
17 6           Number of deag eps values
18 -10. -1. 0. 1. 2. 10.      deag eps values
19 4           Number of deag dir values
20 0.0 0.10 0.40 2.0         deag dir values
21 0           soil amp
22 1           nSites
23 -65.000 0.000 760.0 0.0481 0.250 0.6068 0.8 0 (sx, sy, Vs, DVs1.0, DVs1.5, DVs2.5, Vrup, FABA)
24 Set2Test1_Site1.out1
25 Set2Test1_Site1.out2
26 Set2Test1_Site1.out3
27 Set2Test1_Site1.out4
28 Set2Test1_Site1.out5
29 Set2Test1_Site1.out6
30 Set2Test1_Site1.out7

```

**FIGURA 25. Archivo de ingreso caso fallas múltiples.**

Fuente: (Hale, 2017)



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Mora Guanín, Eduardo Andrés** con C.C: # **0926262353** autor del trabajo de titulación: **Implementación de fuentes sísmicas del Ecuador en el programa HAZ 45.2** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **15 de marzo del 2018**

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Mora Guanín, Eduardo Andrés**

C.C: **0926262353**



## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Implementación de fuentes sísmicas del Ecuador en el programa HAZ 45.2		
<b>AUTOR(ES)</b>	Eduardo Andrés, Mora Guanín		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Roberto Xavier, Luque Nuques, Ph.D.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	15 de marzo del 2018	<b>No. PÁGINAS:</b>	72
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Ingeniera sísmica e Ingeniería de suelos		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Peligro Sísmico Ecuador, Modelo Sísmico, HAZ 45.2, Caracterización de fuentes sísmicas, Magnitud Máxima, Tasas de actividad.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT</b> (150-250 palabras):			
<p>Ecuador es un país con un alto peligro sísmico, por ende, en ciertos proyectos, existe la necesidad de realizar estudios probabilísticos de amenaza sísmica. Para realizar este tipo de estudios existen varios programas cuyo costo es elevado. El programa HAZ 45.2 es un código abierto y gratuito desarrollado por el Dr. Norman Abrahamson de la Universidad de California, Berkeley y que ha sido validado respecto a programas comerciales. El objetivo de este trabajo de titulación es estudiar aspectos básicos de los estudios probabilísticos de peligro sísmico, aprender el uso del software HAZ 45.2 en lo que respecta a datos de entrada y posibles resultados e implementar algunas fuentes sísmicas del Ecuador en el programa. La Toma, Guayaquil-Babahoyo y una falla areal cerca de la ciudad de Machala fueron modeladas en el código. Se recomienda que el archivo de fuentes entero del país con sus respectivas incertidumbres sea modelado e implementado en el software para poder calcular el peligro sísmico en cualquier lugar del Ecuador.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	Teléfono:+593-939002776	E-mail: edu_andres03@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre: Clara Glas Cevallos</b>		
	Teléfono: +593-4 -2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			