

Evaluación de la amenaza sísmica del estado Vargas y algunas localidades de la Zona Metropolitana

Jorge González¹, Alcibíades Molina¹, Floriana Cedeño¹ y Franck Audemard¹

¹ FUNVISIS, Caracas, Venezuela, www.funvisis.org.ve

Resumen

Se presenta el análisis de amenaza sísmica para el Estado Vargas y algunas localidades del área metropolitana, en términos de la aceleración máxima esperada en roca, con probabilidad de excedencia de 10% para 50 años de vida útil de las instalaciones, tomando como base las leyes de atenuación desarrolladas por FUNVISIS (1993) e INTEVEP (1990) para Venezuela y las de ABRAHANSON-SILVA (1995), BOORE-JOYNER-FUMAL (1993) y SADIGH (1994) desarrolladas para el estado de California. El resultado de este análisis tiene como objetivo mostrar las aceleraciones esperadas en roca para 26 localidades ubicadas en el Estado Vargas y 08 localidades del área metropolitana, con fines de Ingeniería, de manera preliminar, ya que no se toman en cuenta los efectos de sitio. Se ha incorporado en el análisis de amenaza, la actividad sísmica hasta el presente y las tasas de desplazamiento de 216 fallas. La actividad relativa de las fuentes sísmicas toma en consideración la sismicidad registrada instrumentalmente, los datos disponibles sobre sismicidad histórica y las tasas de actividad inferidas de las velocidades de desplazamientos asignadas a las fallas. Estas tasas han servido para discriminar, entre las diferentes fuentes sismogénicas del modelo sismotectónica, la sismicidad regional inferida estadísticamente. Se considera que las relaciones de atenuación y varianzas empleadas reflejan, las características de la región. Los mapas de amenaza producto de este estudio, son susceptibles de sufrir cambios en el futuro en la medida que aumente la información sobre fuentes sismogénicas en el territorio nacional y áreas adyacentes a la zona en estudio, o cuando se disponga de un mayor número de registros acelerográficos, y se mejore la comprensión del fenómeno de atenuación.

Abstract

We present an analysis of the seismic hazard for the Vargas State and some localities of the Metropolitan Region, with respect to the peak acceleration expected at rock sites with a probability of exceedence of 10% within 50 years of lifetime of the installations. The calculations are based on the attenuation laws developed by FUNVISIS (1993) and INTEVEP (1990) for Venezuela and ABRAHANSON-SILVA (1995), BOORE-JOYNER-FUMAL (1993) and SADIGH (1994) developed for California. The result of this analysis has the objective to indicate the values for peak accelerations expected on rock sites for 26 sites in the Vargas State and 8 sites in the Metropolitan Region of Caracas, with emphasis on engineering purposes and seen as a preliminary result, as we do not consider site effects. The study of the analysis of the seismic hazard includes the seismic activity to present as well as the displacement rates of 216 faults. For the evaluation of the activity related to the seismogenic sources, the seismicity recorded instrumentally, the available data on historic seismicity as well as the activity derived from the displacement velocities assigned to each fault are taken into consideration. These rates have been used to define, considering the different seismogenic sources of the seismotectonic model, the regional seismicity based on statistic evaluation. We consider that the attenuation relation and variances which have been applied reflect the regional characteristics. The seismic hazard maps, which derive from this study, are subject to future modification, when more information about seismogenic sources in the region, a mayor number of strong motion records and a better understanding of the attenuation phenomena will be achieved.

Introducción - Física de terremotos, sismicidad

El fenómeno del terremoto es un proceso altamente complejo que se manifiesta a través de una liberación súbita de energía, la cual originalmente se encuentra almacenada a manera de deformación elástica en las rocas del medio terrestre. Esta energía liberada puede tomar diversas expresiones; sin embargo, la que más nos interesa dentro del presente contexto es la que se manifiesta a modo de movimiento a través de ondas elásticas, 'sísmicas', que, extendiéndose desde su lugar de origen transportan esfuerzos fluctuantes con sus consecuentes acciones en **aceleración** sobre todo tipo de obras civiles y en particular las que tiene un valor vital para el desenvolvimiento de una sociedad determinada.

Para visualizar cómo tiene lugar este proceso de acumulación energética en las rocas de la corteza terrestre, antes de fracturarse con la ocurrencia de un evento sísmico, es menester disponer de un modelo estructural de cómo el planeta Tierra puede estar conformado. Ciertamente, y a partir de la información recabada con el registro de las ondas sísmicas generadas por un sin número de terremotos a lo largo de varias décadas en investigación científica, se ha establecido que la Tierra está constituida por tres capas concéntricas fundamentales, a saber: Núcleo, Manto y Corteza. Sucede que la corteza, capa más externa, descansa sobre un manto litosférico, el cual se encuentra a su vez fracturado en diversas placas tectónicas, y que por efecto de fuerzas internas originadas por corrientes de convección en el manto, se desplazan y giran a lo largo de la superficie de la Tierra, estableciéndose en las regiones adyacentes a la zona de contacto entre las referidas placas, niveles de deformación y esfuerzos que necesariamente originarán tarde o temprano un súbito deslizamiento para dar lugar a un mejor acomodo entre ellas; **este acomodo, define la ocurrencia de un nuevo terremoto**. Por otro lado, se tiene la certeza que las corrientes de convección en el manto terrestre son producto de la tremenda diferencia de temperaturas entre la interfase manto-núcleo y el manto superior, de modo tal que la pendiente del perfil de temperatura supera a la del adiabático, haciendo que el sistema manto se comporte inestable desde un punto de vista gravitacional. El engranaje de esta circulación del manto con la litosfera es lo que en definitiva produce el desplazamiento entre las placas tectónicas.

La situación geográfica de Venezuela coincide con la ubicación de uno de estos contactos de placas; una franja de unos cien kilómetros de ancho que se extiende a lo largo de los estados andinos hasta la región costera frente al Mar Caribe venezolano, y desde ahí, a lo largo de la línea costera a través de los estados centrales y orientales hasta el estado Sucre, define la zona de contacto entre la placa del Caribe por el norte y la placa Sur Americana por el sur. Esta zona de contacto está caracterizada por un medio tremendamente fracturado, conformado éste por una profusa distribución de grietas denominadas fallas tectónicas y que representan el asidero de la zona de mayor actividad sísmica en el país. Las fallas mejor representativas de este límite de placas lo constituyen la falla de Boconó, a lo largo del eje andino, la falla de San Sebastián en la región central y la falla del Pilar en la región nor-oriental.

Sismicidad, Ley de Gutenberg y Richter

El cómputo y la organización sistemática de la ubicación de los sismos, conjuntamente con su magnitud, son los que definen al catálogo sísmico para una región determinada. Este catálogo es fuente de información fundamental para la evaluación de la Amenaza Sísmica a la que se encuentra sujeta esta región.

De modo tal que, conocer la sismicidad en una región de interés se refiere al conocimiento de la distribución espacio-temporal en la ocurrencia de los sismos, la frecuencia con que estos ocurren en el tiempo y la distribución de los mismos de acuerdo a su magnitud. **Para los efectos de la evaluación de la Amenaza Sísmica, en las 26 localidades del Estado Vargas y 08 localidades del área metropolitana, como objetivo fundamental del presente trabajo, evaluamos la distribución de los sismos para magnitudes mayores o iguales a 3.5.**

La ocurrencia de los sismos, de acuerdo a su magnitud, sigue la ley de distribución logarítmica según los autores Gutenberg y Richter, a saber:

$$\log(N(m)) = a - bm$$

Donde: m = magnitud

N = Número de sismos con magnitud mayor o igual que m

a y b = parámetros en la relación lineal entre el logaritmo de $N(m)$ y la magnitud. El parámetro b da una medida de la distribución de los sismos, de modo tal que un valor pequeño de b está asociado a una mayor incidencia de los sismos mayores, en comparación a situaciones con valores de b grandes, en los cuales una mayor liberación de energía se produce a través de sismos de menor magnitud.

La sismicidad instrumental utilizada para los efectos de este estudio incluye a todos los sismos presentes en el catálogo instrumental nacional (FUNVISIS - Departamento de Sismología) desde el año de 1910 hasta el presente. La sismicidad se dispone preferiblemente a lo largo del eje de fallas de Boconó, San Sebastián y El Pilar tal cual como se describió con anterioridad.

Para efectos del cómputo del valor b, se incorporó al catálogo sísmico instrumental información equivalente proveniente de la sismicidad histórica, pues una mayor cobertura temporal representa cómputos más confiables de los valores b. El cálculo del valor b se realizó aplicando los métodos de inversión lineal, de acuerdo al esquema de mínimos cuadrados, en la que un conjunto de puntos, de coordenadas xy, con tendencia lineal, se ajustan a la recta compromiso que mejor satisfacen a los puntos de acuerdo a la minimización de las diferencias entre los valores de coordenadas de los puntos y los predichos por la recta compromiso.

El valor b es una medida de la proporción de cómo se reparte la energía liberada por los terremotos, entre los sismos menores y los mayores. La Región Central es la que presenta un menor nivel de sismicidad en comparación con las otras regiones; además, el valor de b en esta región es significativamente menor que los valores b de las otras regiones, indicativo esto de una presencia de sismos magnitud superior comparativamente mayor a la situación presentada en las otras regiones. Por otro lado, las otras dos regiones, Occidental y Oriental, presentan niveles de sismicidad altos y muy comparables entre sí, pero con una historia de un mayor número de sismos fuertes en la región oriental.

Fallas activas y sismicidad histórica

En la región del Caribe los sismos están distribuidos principalmente a lo largo de la Costa Pacífica de América Central, la Antillas Menores, la costa norte de Venezuela y Los Andes septentrionales. Esta distribución de la sismicidad depende de la geometría de los límites de la Placa Caribe.

En América Central, la Placa Caribe entra en contacto con la Placa de Cocos a través de una zona de subducción hacia el Noreste, la cual explica la actividad volcánica que allí existe. Por otro lado, la gran actividad sísmica concentrada entre la Península de Yucatán y la Antillas Mayores es debida al movimiento del sistema de fallas sinestrales de Caymán-Montagua. Es a lo largo de esta zona donde la Placa Caribe limita con la Placa de América del Norte, la cual se desplaza hacia el oeste.

El límite meridional de la Placa Caribe (Boconó-San Sebastián-El Pilar), se prolonga hacia el Golfo de Guayaquil a través del sistema de fallas de Piedemonte Amazónico Colombiano.

En Venezuela la mayor actividad sísmica está localizada principalmente en una franja de aproximadamente 100 Km de ancho, definida por los sistemas montañosos de Los Andes, Cordillera Central y Cordillera Oriental. Es a través de ellos, que se identifica el principal sistema de fallas sísmogénicas del país formado por las fallas de Boconó (Los Andes), San Sebastián (Cordillera Central) y El Pilar (cordillera Oriental). Además de este sistema de fallas, existen otros accidentes tectónicos activos como las fallas de La Victoria, Valera, Oca-Ancón y Urica capaces de producir sismos.

El sistema de fallas de Boconó-San Sebastián-El Pilar constituye el límite principal entre la Placa del Caribe y la Placa de América del Sur y es el causante de los sismos más severos que han ocurrido en el Territorio Nacional. El funcionamiento dextral de este sistema de fallas muestra que la Placa del Caribe se desplaza hacia el este en relación con la Placa de América del Sur a una velocidad relativa de 1 cm/año.

Sinopsis de los sistemas de fallas-fuente de mayor peso conocidas que afectan a la zona en estudio

A continuación se presenta un resumen de las características geológicas de los sistemas de fallas de mayor peso que intervienen en la evaluación de la amenaza sísmica tomadas en cuenta en este estudio, para el Estado Vargas (Beltrán, 1993).

Sistema de fallas de San Sebastián

El sistema de fallas de San Sebastián, pertenece al conjunto de accidentes tectónicos de primer orden y de tipo transcurrente dextral, que se extienden sin discontinuidad a través del territorio nacional desde la frontera con Colombia (falla de Boconó) hasta la región nororiental (falla de El Pilar). Este sistema concentra probablemente la mayor parte de las deformaciones tectónicas cuaternarias y el mayor potencial sismogénico en la región central de Venezuela. En efecto, en casi toda su extensión, la traza de esta falla se extiende en el lecho marino de manera subparalela al acantilado rocoso costero. El único tramo observado en tierra firme coincide con el escarpe ubicado en el flanco Sur del Cerro Machado en el Aeropuerto Internacional Simón Bolívar entre Catia La Mar y Maiquetía, a lo largo del cual las vistas aéreas previas a los movimientos de tierra efectuados para la construcción del aeropuerto, enseñan evidencias diagnósticas espectaculares de movimiento lateral dextral.

Siendo la falla de San Sebastián la prolongación de la falla de Boconó, se admite para ella una velocidad de desplazamiento del orden de 1 cm/año, conforme a los datos establecidos para Boconó al Norte de Mérida. Sin embargo es relativamente escasa la sismicidad actual reportada por la red sismológica mundial y nacional en toda la extensión de las deformaciones tectónicas cuaternarias correspondientes al tramo central del límite sur-venezolano de la placa Caribe.

El sismo máximo probable atribuido a este sistema de fallas es de 7,4 (con un período de retorno superior a 400 años).

- **Sistema de fallas de El Pilar**

Este sistema de fallas se extiende según un rumbo E-W entre la cuenca de Cariaco y el Golfo de Paria en la parte nororiental de Venezuela. En su mayor parte, el recorrido de este sistema es submarino, salvo un tramo de 70 km que se puede observar en tierra entre los Golfos de Paria y Cariaco, a lo largo del cual se encuentran yuxtapuestas unidades de rocas metamórficas del Mesozoico que afloran en las Penínsulas de Araya y Paria del lado Norte, y rocas sedimentarias también del Mesozoico correspondientes a la Serranía del Interior, en el lado Sur. Al igual que los sistemas de Boconó y San Sebastián, el sistema de El Pilar es considerado como parte del límite principal de las placas del Caribe y Suramérica, aunque este límite consiste en realidad en una franja de deformaciones transpresivas de unos 100 km de ancho, donde el desplazamiento transcurrente dextral característico de la falla de El Pilar, se acompaña de una compresión transversal absorbida por el conjunto de la zona de transpresión desde el Mioceno medio. El movimiento transcurrente a lo largo de la falla de El Pilar, ha sido estimado en unos 1000 km, aunque reconstituciones más recientes del límite Sur de la Placa Caribe, proponen solamente 55 km, cifra consistente con el ancho de la Cuenca de Cariaco, medida según la dirección de apertura E-W, asociada a la geometría de la zona de relevo transtensiva de esta estructura submarina.

El carácter transcurrente dextral del movimiento de la falla de El Pilar, se encuentra comprobado por los desplazamientos de marcadores observados en superficie a lo largo de la ruptura cosísmica del reciente terremoto del 9 de julio de 1997, levantada en detalle por FUNVISIS entre el Muelle de Cariaco y Casanay sobre una distancia visible de aproximadamente 40 km. Este mismo movimiento se comprobó en trinchera en el plano de falla correspondiente a la ruptura cosísmica de 1997.

Los sismos máximos probables considerados en diversos segmentos del sistema son de 6,2 para un período de retorno de 50 años; 7,2 para un período de retorno de 180 años; 7,3 para un período de retorno de 220 años y de 7,5 para un retorno de 400 años.

- **Sistema de Falla de La Victoria**

El sistema de La Victoria, se extiende hacia el Este sobre una distancia de 350 km desde Barquisimeto hacia el Cabo Codera, a través de la Cordillera de la Costa, donde corta rocas metamórficas correspondientes a napas tectónicas movilizadas durante un período de colisión oblicua entre un arco protocaribe y el margen pasivo suramericano. Este sistema se reconoce en el margen Norte de la cuenca tectónica del río Tuy, en particular en el segmento del Puente Pichao cerca de Santa Lucía, y cruza el Lago de Valencia en forma longitudinal. El sistema de La Victoria es paralelo al grano estructural de la Cordillera de la Costa y representa una cizalla "P" del límite transcurrente dextral de la placa Caribe.

Los sismos máximos probables asociados a los diversos segmentos de esta falla, alcanzan una magnitud de 6,3 cada 545 años; 6,4 cada 1200 años; 6,7 cada 1500 años; 6,9 cada 2300 años y 7 cada 2000 años.

- **Sistema de Falla del Avila-Tacagua**

Este sistema de falla cruza oblicuamente a la cordillera costera del Norte de Venezuela y exclusivamente dentro de la faja costera. Corta principalmente rocas meta-sedimentarias de esquistos verdes emplazadas durante el período de colisión oblicua ocurrido entre el arco proto-caribe y el margen pasivo suramericano. La falla del Avila-Tacagua se extiende desde Arrecifes hasta Araira y controla el escarpe espectacular que limita la cordillera costera en su flanco Sur, como es el caso en particular al Norte de las depresiones de Caracas (Cota Mil y carretera vieja Caracas-La Guaira) y Guarenas-Guatire. El movimiento de esta falla es transcurrente dextral con una componente vertical importante, atestiguada por la importancia del desnivel alcanzado por el volumen montañoso del Avila asociado a esta falla.

El sismo máximo posible estimado para esta falla es de 6,8 con un período de retorno superior a 2000 años.

- **Falla del Río Guárico**

Este sistema atraviesa la Cordillera de la Costa según un rumbo NW-SE y corta las napas metamórficas movilizadas por colisión oblicua entre el arco protocaribe y el margen pasivo suramericano. La falla del Río Guárico se extiende al SE del Lago de Valencia en dirección de la faja volcada ubicada en el frente de las napas de la Cordillera de la Costa. La falla muestra dos tramos NW-SE en transcurrencia dextral conectados por un cabalgamiento asociado a una geometría de relevo transpresivo. En Villa de Cura, genera una cuenca “pull apart” en una zona de échelon transtensivo. Este accidente tectónico podría actuar como una rampa lateral y constituye una cizalla “R” del límite de placa entre Caribe y Suramérica. El sismo máximo probable asociado a este sistema de falla es de 6,6 para un período de retorno superior a 2000 años.

- **Sistema de Falla de Urica**

Este sistema corresponde a un accidente tectónico muy complejo, abundantemente explorado por geofísica y que se considera actualmente como una rampa lateral con movimiento principal de tipo transcurrente dextral. La traza y actividad reciente de este accidente estructural, ha sido reconocida en el tramo NW-SE del sistema entre el Golfo de Barcelona, donde se abre en varios ramales, y Campo Texas al Sur de Urica, donde se amortigua contra el corrimiento de Campo Texas-El Tejero. En cambio, ninguna evidencia en superficie se ha observado de una posible prolongación de la falla de Urica al Sur del referido corrimiento y en dirección del Delta del Orinoco. En su extremidad Norte, este sistema de falla se une con el sistema de San Sebastián-El Pilar en la plataforma de Unare, al Noroeste del Golfo de Barcelona, cerca de los 10°30' en longitud Norte, sin atravesar o desplazar este último sistema.

Los sismos máximos probables asociados al sistema de Urica, alcanzan valores más elevados en la cercanía de su empalme con la falla de El Pilar, donde podrían alcanzar valores de 7,1 para períodos de retorno de 1800 años y 6,5 para un retorno de 1400 años. Hacia su extremidad opuesta, estos valores alcanzan valores de 6,8 a 6,9 para retornos superiores a 2000 años.

- **Sistema Flexural Frontal Surandino**

Un cabalgamiento ciego, vergente hacia el SE, controla el piedemonte sur-llanero de la cadena andina, deformando la secuencia esencialmente molásica del Neogeno y el conjunto de los depósitos aluviales del Pleistoceno entre Ciudad Bolivia y Acarigua bajo la forma de un escarpe flexural persistente colindante con la carretera Panamericana. Esta estructura constituye la manifestación más externa del frente de cabalgamiento de la cadena andina en dirección del llano venezolano. Para el conjunto de esta estructura activa, el sismo máximo probable alcanza una magnitud de 7 con un retorno superior a 500 años.

Evaluación de Amenaza Sísmica

El análisis de la amenaza sísmica para el Estado Vargas se presenta en términos de la aceleración máxima esperada en roca con probabilidad de excedencia de 10% para 50 años de vida útil de la instalación. La probabilidad, P , de que la aceleración del terreno exceda el valor a , en un horizonte de t años, se encuentra ligada a la probabilidad de excedencia anual p_1 , por la ecuación:

$$P = 1 - (1 - p_1)^t \quad (1)$$

Generalmente, la amenaza sísmica se calcula a partir del teorema de probabilidad total para un año y se le da el nombre de probabilidad anual de excedencia, y su inverso puede ser considerado equivalente al período medio de retorno (McGuire, 1976, 1978). Entonces, también es válido decir que se presenta en este informe el análisis de amenaza sísmica para el Estado Vargas en términos de la aceleración máxima esperada en roca para 475 años de período de retorno.

El análisis de la amenaza sísmica para la zona en estudio, toma en cuenta la sismotectónica regional, así como el catálogo sísmico compilado por INTEVEP (Kozuch et al., 1993) y las características de la actividad cuaternaria e información sismogénica de los principales sistemas de fallas de Venezuela (FUNVISIS, 1981, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1991a, 1991b y 1992; Giraldo y Beltrán, 1988).

Los supuestos básicos de la metodología para el análisis de la amenaza sísmica son: i) los sismos ocurren obligatoriamente en las mismas fallas o zonas fuentes donde se produjeron en el pasado; ii) la sismicidad de una zona es constante en el tiempo; y iii) la sismicidad de una zona es un *sin memoria*, representado por una distribución de Poisson.

En general, la amenaza sísmica depende esencialmente de; i) la recurrencia de los sismos de diferentes magnitudes en cada zona fuente; ii) la geometría de las zonas fuentes y de su proximidad para cada sitio en estudio; y iii) la atenuación del movimiento del terreno de la fuente al sitio en estudio.

Modelaje de las fuentes sísmicas

Según la distribución de epicentros y la tectónica regional, el país se dividió en tres provincias sísmicas, Occidental, Central y Oriental. Adicionalmente, según la distribución hipocentral en las provincias Occidental y Oriental, la sismicidad se puede caracterizar en tres fuentes sísmicas: superficial (0-42 Km), intermedia (43-70 Km) y profunda (71-800 Km); y en el centro en una fuente sísmica superficial con eventos de hasta 500 Km de profundidad.

La sismicidad de las fuentes sísmicas superficiales de cada provincia, está asociada con la actividad tectónica de las fallas. Por consiguiente, cada fuente superficial se modela como sub-fuentes lineales continuas que siguen la traza de las fallas conocidas o inferidas. El modelo geométrico de las fallas y sus características sismogénicas se obtuvieron de los estudios de tectónica realizados por FUNVISIS (1981, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1991a, 1991b y 1992) y Giraldo y Beltrán (1988) y de los estudios de microsismicidad de Falcón y la región Nororiental de Venezuela realizados por INTEVEP y la Comunidad Europea (Franke, et al. 1993). La sismicidad superficial de cada provincia sísmica, se distribuyó a todas las fallas y áreas fuentes de la región, pero una fracción de la sismicidad se asignó a la sismicidad de fondo (0,10 eventos/año). Esto se debe a que no es posible asociar, en forma exclusiva, toda la actividad sísmica a las fallas lineales, por la complejidad de la tectónica regional. La tasa anual de actividad sísmica de cada una de las sub-fuentes lineales se calculó a partir de la tasa de desplazamiento anual de cada falla, *slip rate*, siguiendo el procedimiento desarrollado por Molnar (1978) y posteriormente por Anderson y Lugo (1983).

Leyes de atenuación utilizadas

La probabilidad condicional de que el nivel de movimiento del suelo sea excedido por un sismo de magnitud específica, producido a cierta distancia del sitio en estudio, está relacionado con la atenuación del movimiento desde la fuente. Para el cálculo de amenaza sísmica se utilizaron siete leyes de atenuación para roca, cuatro de ellas basadas en registros nacionales de intensidad referidas como las leyes FUNVISIS (1993) e INTEVEP (1990) para las provincias sísmicas Occidental y Central y para la provincia Oriental. Las otras tres leyes de atenuación corresponden a las desarrolladas por los investigadores ABRAHANSON y SILVA. (1995), BOORE, JOYNER y FUMAL (1993), y SADIGH (1994), las cuales se usaron tomando en cuenta que el entorno geológico y la forma de fallamiento pueden considerarse similares al de Venezuela. Las expresiones de las leyes de atenuación para Venezuela antes señaladas son las siguientes:

FUNVISIS Occidente y Centro	$\ln(a) = 4,48 + 0,53M - 1,56 \ln(R + 15)$
FUNVISIS Oriente	$\ln(a) = 4,87 + 0,96M - 1,56 \ln(R + 25)$
INTEVEP Occidente y Centro	$\ln(a) = 5,40 + 0,36M - 0,861 \ln(R + 10)$
INTEVEP Oriente	$\ln(a) = 3,75 + 0,47M - 0,57 \ln(R + 10)$

donde a es la aceleración máxima del terreno, en gals, M es la magnitud y R es la distancia hipocentral de la fuente al sitio, en Km.

Resultados del análisis de la amenaza sísmica para el Estado Vargas y algunas localidades de la Zona Metropolitana

El resultado de este trabajo es un estudio preliminar de amenaza sísmica con fines de Ingeniería para el Estado Vargas, y 08 localidades del área metropolitana el cual debe ser completado por un estudio de los efectos de sitio, ya que estos pueden influir considerablemente en la respuesta de los perfiles geotécnicos ante un evento sísmico en la zona.



Figura 1. Resultados de la evaluación de la amenaza sísmica (aceleraciones esperadas en roca).

Se presentan los resultados de la evaluación de la amenaza sísmica en términos de aceleraciones esperadas en roca (figura 1), para 475 años de período de retorno, 10% de probabilidad de excedencia y para 50 años de vida útil de la edificación. Estos resultados se muestran por medio de la Tabla 1, y se presentan algunos ejemplos en forma gráfica de la evaluación, para las leyes de atenuación utilizadas (figura 2), a saber: FUNVISIS e INTEVEP, desarrolladas para Venezuela y las de ABRAMSON-SILVA, BOORE-JOYNER-FUMAL. y SADIGH para California, así como un mapa de la zona objeto del estudio.

Estos valores de amenaza mostrados son susceptibles de sufrir cambios en el futuro en la medida que se obtenga mayor información sobre fuentes sismogénicas en el territorio nacional y áreas adyacentes. Adicionalmente, es importante que se avance en la realización de estudios geofísicos que permitan caracterizar los perfiles de geotécnicos propios del área en estudio, con el fin de hacer recomendaciones en relación a sistemas de fundaciones apropiados y al diseño sismorresistentes de las edificaciones previstas en los nuevos desarrollos.

Aceleraciones (g)

POBLACIÓN	Abra.-Silva	Boore-Joyner-Fumal	Sadigh	INTEVEP	FUNVISIS
Chuspa	3.043E-01	3.152E-01	2.955E-01	2.693E-01	2.350E-01
Caruao	2.986E-01	3.064E-01	2.894E-01	2.670E-01	2.340E-01
La Virginia	3.042E-01	3.140E-01	2.951E-01	2.667E-01	2.343E-01
La Sabana	3.093E-01	3.220E-01	3.004E-01	2.672E-01	2.348E-01
Todasana	3.153E-01	3.293E-01	3.050E-01	2.643E-01	2.355E-01
Osma	3.178E-01	3.303E-01	3.066E-01	2.652E-01	2.361E-01
Los Caracas	3.197E-01	3.298E-01	3.078E-01	2.649E-01	2.371E-01
Anare	3.237E-01	3.317E-01	3.106E-01	2.654E-01	2.390E-01
Care	3.236E-01	3.300E-01	3.102E-01	2.655E-01	2.398E-01
Camurí Grande	3.223E-01	3.276E-01	3.090E-01	2.653E-01	2.400E-01
Naiguatá	3.227E-01	3.272E-01	3.092E-01	2.655E-01	2.404E-01
Boca de Urea	3.288E-01	3.335E-01	3.140E-01	2.666E-01	2.419E-01
Tanaguarena	3.438E-01	3.428E-01	3.265E-01	2.654E-01	2.434E-01
Caraballeda	3.290E-01	3.294E-01	3.144E-01	2.661E-01	2.423E-01
Macuto	3.357E-01	3.348E-01	3.199E-01	2.665E-01	2.429E-01
La Guaira	3.419E-01	3.408E-01	3.250E-01	2.656E-01	2.434E-01
Maiquetía	3.438E-01	3.428E-01	3.265E-01	2.654E-01	2.434E-01
Carayaca	3.054E-01	3.042E-01	2.942E-01	2.587E-01	2.393E-01
Puerto Carayaca	3.310E-01	3.370E-01	3.160E-01	2.620E-01	2.420E-01
Arrecife	3.360E-01	3.380E-01	3.200E-01	2.630E-01	2.420E-01
Mamo	3.380E-01	3.400E-01	3.210E-01	2.640E-01	2.430E-01
Catia La Mar	3.340E-01	3.320E-01	3.180E-01	2.630E-01	2.420E-01
Oricao	3.220E-01	3.280E-01	3.080E-01	2.610E-01	2.410E-01
Chichirivichi	3.160E-01	3.260E-01	3.050E-01	2.600E-01	2.400E-01
Puerto Cruz	3.000E-01	3.110E-01	2.910E-01	2.560E-01	2.380E-01
Puerto Maya	3.000E-01	3.160E-01	2.910E-01	2.560E-01	2.380E-01
San Bernardino	2.910E-01	2.881E-01	2.843E-01	2.588E-01	2.383E-01
Altamira	2.682E-01	2.703E-01	2.630E-01	2.573E-01	2.351E-01
El Hatillo	2.085E-01	2.221E-01	2.044E-01	2.433E-01	2.227E-01
El Llanito	2.410E-01	2.491E-01	2.365E-01	2.506E-01	2.303E-01
La Rinconada	2.140E-01	2.262E-01	2.089E-01	2.430E-01	2.255E-01
Los Teques	1.736E-01	1.984E-01	1.659E-01	2.269E-01	2.121E-01
Guarenas	2.180E-01	2.301E-01	2.147E-01	2.468E-01	2.223E-01
Charallave	1.569E-01	1.897E-01	1.518E-01	2.174E-01	1.995E-01

Tabla 1. Aceleraciones esperadas en roca según las leyes de atenuación utilizadas para 10% de probabilidad de excedencia en 50 años de vida útil.

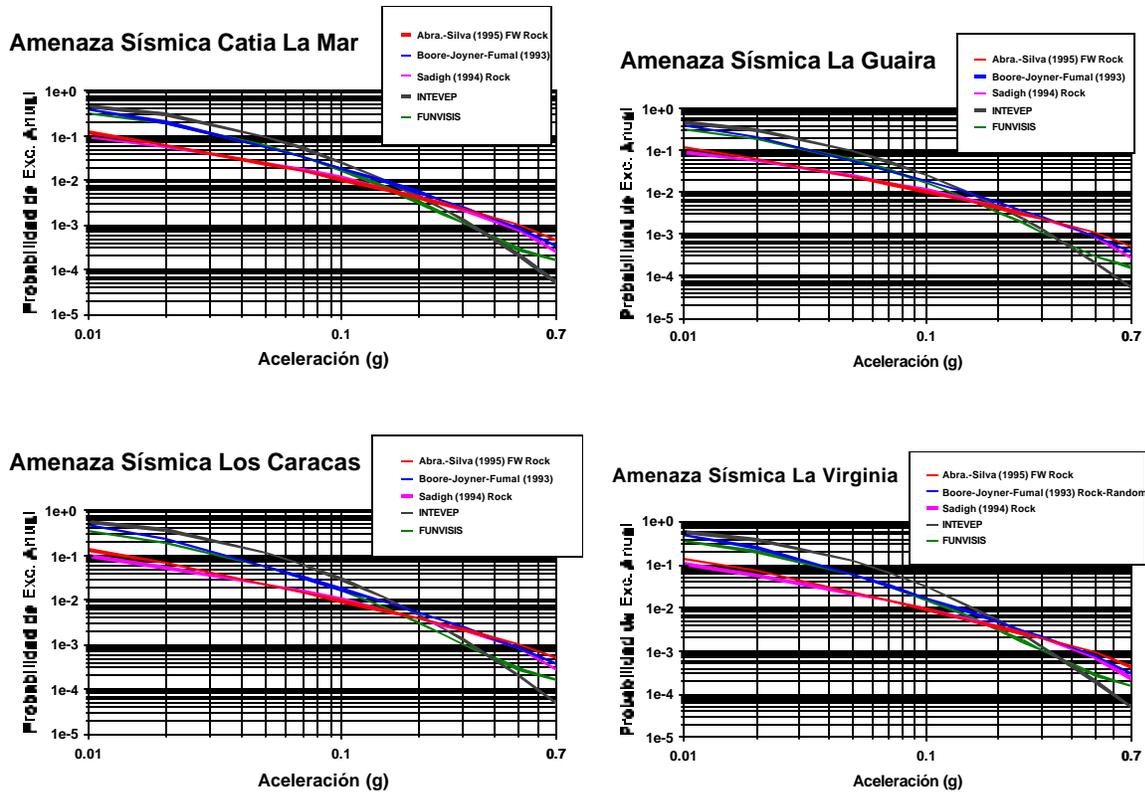


Figura 2. Amenaza sísmica aceleraciones esperadas en roca para los sitios Catia La Mar, La Guaira, Los Caracas y La Virginia.

Bibliografía

- Abrahamson, N.A. and W. Silva (1995) A consistent set of ground motion attenuation relations including data from the 1994 Northridge earthquake, abstract, Seism. Res. Lett., 66, no 2,23.
- Beltrán, C. (Compilador), 1993. Mapa neotectónico de Venezuela 1:2.000.000, FUNVISIS.
- Boore D. M, W.B. Joyner, and T.E. Fumal (1993) Estimation of response spectra and peak accelerations from western North American earthquakes: and interim report, U.S.G.S. Open-File report 93-509.
- Echezuría, H. , J. L. Alonso y E. Parra, 1991. *Comisión para la Revisión de la Norma para Edificaciones Antisísmicas, Covenin 1756-87, Primer informe de avance*, FUNVISIS.
- Franke E, Quijada P., Gajardo E., y Kozuch M. 1993. Análisis de la amenaza sísmica de Venezuela para el nuevo mapa de zonificación con fines de Ingeniería. En *Memorias de las Primeras Jornadas Andinas de Ingeniería Estructural y VIII Sem. Latinoamericano de Ingeniería Sismorresistente*, ULA, S92-S101.
- Giraldo, C. y Beltran, C., 1988. Evaluación del campo de esfuerzos durante el Cuaternario en la región nororiental de Venezuela. Proyecto CONICIT S1-1161, FUNVISIS, informe inédito, 68 pp.
- Grases, J., 1980. Investigación sobre sismos que han afectado al Centro Occidente de Venezuela, Caracas, inédito.
- FUNVISIS, 1984. Estudio de riesgo sísmico, Ferrocarril Caracas – La Guaira. Informe inédito para FERROCAR, 2 Vol., 3 appendices.

- McGuire, R.K., 1978. FKRISK. Computer program for seismic risk analysis using faults as earthquake sources. US-Department of the Interior, USGS open-file report 78-1007.
- Molnar, P. & Sykes, L., 1969. Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and seismicity. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 80: 1639-1684.
- Sadigh, K., C.Y. Chang, N. A. Abrahamson, S. H. Chiou and M.S. Power (1994) Specifications of long-period ground motions: updated attenuations relationships for rock site conditions and adjustment factor for near-fault effects, in *Proceeding, on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active -Control*, Applied Technology Council, Redwood City, California, Rept No. ATC 17-1, 59-70.
- Schubert, C., 1983. Aspectos neotectónicos de la zona de falla de La Victoria. FUNVISIS Unpubl. Rpt.