



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – ÁREA ESTRUCTURAS

EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO EN EL MUNICIPIO DE NAUCALPAN DE
JUÁREZ, EDO. DE MÉXICO.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
RODRIGO MARTÍN SÁNCHEZ FLORES

TUTOR PRINCIPAL
DR. DARÍO RIVERA VARGAS
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN, UNAM

MÉXICO, D. F. **OCTUBRE** 2015

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Meli Piralla Roberto
Secretario: Dr. Ayala Milian Amado Gustavo
Vocal: Dr. Rivera Vargas Darío
1 er. Suplente: Dr. Reinoso Angulo Eduardo
2 do. Suplente: Dr. Díaz López Orlando Javier

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN, UNAM

TUTOR DE TESIS:

Dr. DARÍO RIVERA VARGAS

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

A mi padre, Martín Sánchez Muñoz, y madre, Laura Luisa Flores Ornelas, ejemplos de vida. Por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; mis logros se los debo a ustedes, que sin ese amor, dedicación, paciencia y apoyo no vería realizados. Doy gracias a esta vida por permitirme elegirlos como padres, me siento orgulloso de ser su hijo, ustedes me inspiran a mejorar y me dan la fuerza necesaria para afrontar mi camino.

A mis hermanos Fernando Martín Sánchez Flores y Ángel Haziel Flores Ornelas, que han sido inspiración y ejemplo de vida. Por mostrarme la maravilla de tenerlos en mi vida y apoyándome frente a las adversidades de la vida.

A mi asesor de tesis, Dr. Darío Rivera Vargas, por su dedicación, sus conocimientos, su orientación, su persistencia y su paciencia que han sido fundamentales para mi formación. A su manera, ha sido capaz de ganarse mi lealtad y admiración, así como sentirme en deuda con él por todo lo recibido durante el periodo de tiempo que ha durado este periodo de formación académica.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por abrirme las puertas de formarme como ingeniero y maestro, con la cual adquiero el compromiso de ejercer con ética y moral portando con orgullo sus colores.

Al Ing. Carlos Arce León quien ha inculcado en mí un sentido de responsabilidad y rigor académico. Por la atención y facilidades brindadas durante el desarrollo de esta investigación.

Al Mtro. Pablo Miguel Pavía Ortiz por estar siempre al pendiente y en disposición en brindarme su apoyo para culminar mis estudios de posgrado.

Como testimonio de eterno agradecimiento a mi tía Ma Esther Sánchez Muñoz quien ha sido para mí un pilar con su gran amor, confianza y apoyo, estando al pendiente de mi persona.

A mis amigos, a quienes jamás encontraré la forma de agradecer su comprensión y apoyo brindado en los momentos buenos y malos de mi vida.

Al CONACyT por su apoyo económico brindado para realizar mis estudios de posgrado.

A la DGAPA por permitirme participar en el proyecto PAPIIT IT 101513 “Riesgo sísmico en el municipio de Naucalpan”.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	0
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	7
1 INTRODUCCIÓN	9
1.1 Antecedentes.....	9
1.2 Objetivo y alcance	11
1.3 Contenido de la investigación.....	11
2 SISMICIDAD Y FUENTES SÍSMICAS	15
2.1 Tectónica de placas.....	16
Límites divergentes	17
Límites convergentes	17
Límites de fricción o transformantes.....	18
2.2 Movimientos del terreno.....	18
Propiedades sismológicas y de intensidad	18
Tipos de ondas terrestres	23
2.3 Definición y caracterización de las fuentes sismogénicas de México	24
2.4 Catálogo de sismos y sismos históricos.....	28
2.5 Fuentes sísmicas consideradas.....	32
Subducción.....	32
Intraplaca.....	33
2.6 Ubicación y aspectos geológicos del municipio de Naucalpan.....	35
Ubicación geográfica	35
Geología	35
3 LEYES DE ATENUACIÓN.....	37
3.1 Catálogo de registros sísmicos de la estación FES Acatlán	38
3.2 Análisis de leyes de atenuación	42
Parametrización.....	43
3.3 Leyes de atenuación para el cálculo del peligro sísmico	46
Aceleración máxima del suelo (PGA).....	46
Ordenada espectral	47

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

4	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO	53
4.1	Conceptos básicos	54
	Distribución normal	54
	Distribución normal estándar	55
	Distribución exponencial	56
	Distribución lognormal	57
	Relaciones de recurrencia	57
4.2	Métodos de evaluación del peligro sísmico.....	60
	Método determinista.....	60
	Método probabilista	61
4.3	Análisis de la sismicidad regional	62
	Cálculo de tasas de excedencia	63
4.4	Análisis de la sismicidad local.....	64
4.5	Implicaciones en el diseño sísmico de construcciones.....	76
	CONCLUSIONES	81
	REFERENCIAS	83
	ANEXOS	87
	ANEXO 1 CATÁLOGO DE SISMOS	89
	ANEXO 2 PARÁMETROS Y RESULTADOS	115

RESUMEN

Se analizó el peligro sísmico para el municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México, el cual forma parte del área conurbada del Valle de México. El objetivo principal fue establecer las tasas de intensidades en términos de aceleración en roca, de acuerdo al método determinista y probabilista. Se determinó la correlación entre el régimen tectónico y los efectos del movimiento a nivel regional. Para ello, se identifican las principales fuentes sismogénicas que representan un peligro para el sitio, destacando el Cinturón Volcánico Mexicano por su cercanía a la región y su potencial sísmico, adicionalmente se determinó la sismicidad regional por cada fuente utilizando la información obtenida por las redes del Servicio Sismológico Nacional (SSN), de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), del Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) y del Centro de Información y Registro Sísmico (CIRES); posteriormente, con base en leyes de atenuación asociadas a los mecanismos de falla de las respectivas fuentes sísmicas, se estimaron las tasas de excedencia de aceleración máxima esperada en suelo firme y los espectros de peligro uniforme. Se concluye, entre otras cosas, que la fuente sísmica que puede generar mayor intensidad de movimiento en el terreno es la correspondiente a la de intraplaca somera, que de acuerdo al catálogo de sismos son del tipo sismo de Acambay (1912).

ABSTRACT

The seismic hazard for the municipality of Naucalpan, State of Mexico, which is part of the metropolitan area of the Valley of Mexico was analyzed. The main objective was to establish rates intensities in terms of acceleration in rock, according to the deterministic and probabilistic method. The correlation between the tectonic regime and the effects of movement at the regional level was determined. To do this, the main seismogenic sources that pose a danger to the site, highlighting the Mexican Volcanic Belt for its proximity to the region and its seismic potential, further regional seismicity was determined for each source using the information obtained by the networks of the National Seismological Service (SSN) Federal Electricity Commission (CFE), Institute of Engineering, UNAM (II-UNAM) and the Center for Information and Seismic Record (CIRES); subsequently, based on attenuation laws associated with failure mechanisms of the respective seismic sources, the exceedance rates of maximum acceleration expected on hard ground and uniform hazard spectra they were estimated. It concludes, among other things, that the seismic source taht can generate the largest intensity of movement on the ground is the shallow intraplate, which according to the catalog of earthquakes are Acambay (1912) type.

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Gran parte del territorio de la República Mexicana se encuentra inmerso en zonas de actividad sísmica debido a las diferentes placas que inciden en el mismo, de esta manera se cuenta con la placa Norteamericana que interactúa con las placas del Pacífico, Rivera, de Cocos y del Caribe, lo que explica en gran medida las numerosas zonas sísmicas y actividad volcánica.

Naucalpan es uno de los municipios del Estado de México más industrializados, seguido por Toluca. Económicamente está considerado como uno de los municipios más ricos del país; al limitar con el Distrito Federal se tiene la presencia de industrias pequeñas y medianas, como laboratorios farmacéuticos, industrias de autopartes, químicas e inyección de plásticos, manufactura textil, etc. Por otra parte, en los últimos años el sector comercial y de servicios ha presentado un importante desarrollo.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

De acuerdo al último censo poblacional realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el año 2010 la población que tiene el municipio de Naucalpan es de 833 779 habitantes, representando el 5.5% de la población en el Estado de México y cuenta con una densidad de población de 5 307.3 hab/km² (Naucalpan 2014).

Por su ubicación, Naucalpan es uno de los municipios con mayor aforo vehicular, al formar parte de rutas del transporte público y de particulares, algunas de las vialidades más importantes son: Periférico Norte, Av. Adolfo López Mateos, Súper Avenida Lomas Verdes, Vía Dr. Gustavo Baz, Av. 1° de Mayo, Av. 16 de Septiembre, Av. Ingenieros Militares, Autopista Naucalpan-Toluca, Autopista Naucalpan-Ecatepec, Viaducto Elevado Bicentenario, entre otras.

El municipio de Naucalpan forma parte de la provincia geológica más extensa de la República Mexicana, el Cinturón Volcánico Mexicano, localizado, como su nombre lo indica, en las faldas volcánicas, en la parte central del país, por lo que está expuesto a una gran actividad sísmica, entre los que destacan sismos de subducción que se generan en la costa del Pacífico y sismos de tipo cortical originados en Acambay, Estado de México (Rivera *et al.* 2013). Es uno de los municipios del Valle de México más densamente poblados, con 833,779 habitantes hasta el año 2010 (INEGI) y genera al país, económicamente hablando, el 0.97% del PIB (Dirección General de Desarrollo Urbano, 2007).

Dada la importancia del municipio es importante revisar la seguridad estructural de las edificaciones existentes, para ello hay que realizar estudios de vulnerabilidad y peligro sísmico, siendo éstos, los elementos para la estimación del riesgo sísmico.

Las decisiones que se pueden tomar para mitigar el riesgo implica la evaluación de los efectos futuros de los sismos (incertidumbre de estos efectos) tanto en las personas como en las construcciones, el cual se determina a través de un estudio de riesgo sísmico.

Este tipo de estudios no solamente son importantes para estimar el daño de las construcciones, sino para evaluar las pérdidas económicas por concepto de destrucción del edificio y por interrupción de operación en ciertos tipos de construcciones.

Una parte fundamental en el análisis de riesgo sísmico, es la evaluación del peligro sísmico el cual se concibe como el grado de exposición que un sitio tiene a los movimientos

sísmicos, en lo referente a las máximas intensidades que en él pueden presentarse (Bazán y Meli, 2004). La frecuencia o peligro sísmico, se representa gráficamente por una curva, llamada curva de tasas de excedencia o curva de peligro sísmico, entre frecuencia o tasa de excedencia y el movimiento del terreno. La gráfica, curva de peligro sísmico, representa la frecuencia (número de eventos por unidad de tiempo) con la cual, seleccionando valores de peligro sísmico, como la amplitud del movimiento del terreno, se esperan que ocurra o que sea excedida.

Por otro lado, dado que México está expuesto a la actividad sísmica y tomando en cuenta que el Estado de México, y de manera particular el municipio de Naucalpan de Juárez, no es la excepción de sufrir los embates de este fenómeno geológico, es importante realizar estudios de peligro sísmico en este tipo de municipios, en donde, no se les ha prestado atención y por consiguiente adolecen de criterios para el diseño sísmico en sus respectivos reglamentos de construcción.

1.2 Objetivo y alcance

El objetivo de esta investigación radicó en estimar las tasas de intensidad sísmica esperadas en el municipio de Naucalpan, en términos de la aceleración en roca, con los alcances que se describen a continuación.

- Identificación y evaluación de la actividad sísmica de las distintas regiones sismotectónicas que afectan al municipio.
- Efecto del movimiento del terreno, de acuerdo a la fuente, con un modelo de atenuación.
- Estimación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez en términos de aceleración, sin considerar los efectos de sitio, utilizando el método determinista y el probabilista.

1.3 Contenido de la investigación

Para el desarrollo de esta investigación se contemplan cuatro capítulos los cuales se describen a continuación.

En el primer capítulo se planteó la importancia de desarrollar este proyecto de investigación, así como el objetivo y alcances del estudio.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

En lo que concierne al capítulo dos se definieron las fuentes sísmicas que pueden afectar al municipio de Naucalpan, con base a los trabajos desarrollados por Zúñiga *et. al* (1997), Ordaz y Reyes (1999) y Jaimes y Reinoso (2006).

En el tercer capítulo se discutió sobre las leyes de atenuación las cuales se evaluaron para este estudio dependiendo del tipo de sismo o mecanismo focal, esto es, sismos de subducción, intraplaca o locales. Se hizo una comparación de las leyes de atenuación con los espectros respuesta obtenidos de los registros de la estación FES-Acatlán con la finalidad de validar su aplicación.

En el capítulo cuarto se presentaron los conceptos probabilistas necesarios para realizar la evaluación del peligro sísmico mediante el método determinista y probabilista. Se determinaron las curvas de intensidades de acuerdo a cada método siguiendo la información recabada para suelo firme.

En la figura 1 se muestra de manera esquemática el procedimiento que se siguió en el desarrollo de este trabajo de investigación, que de manera general y resumida se relaciona con los capítulos descritos.

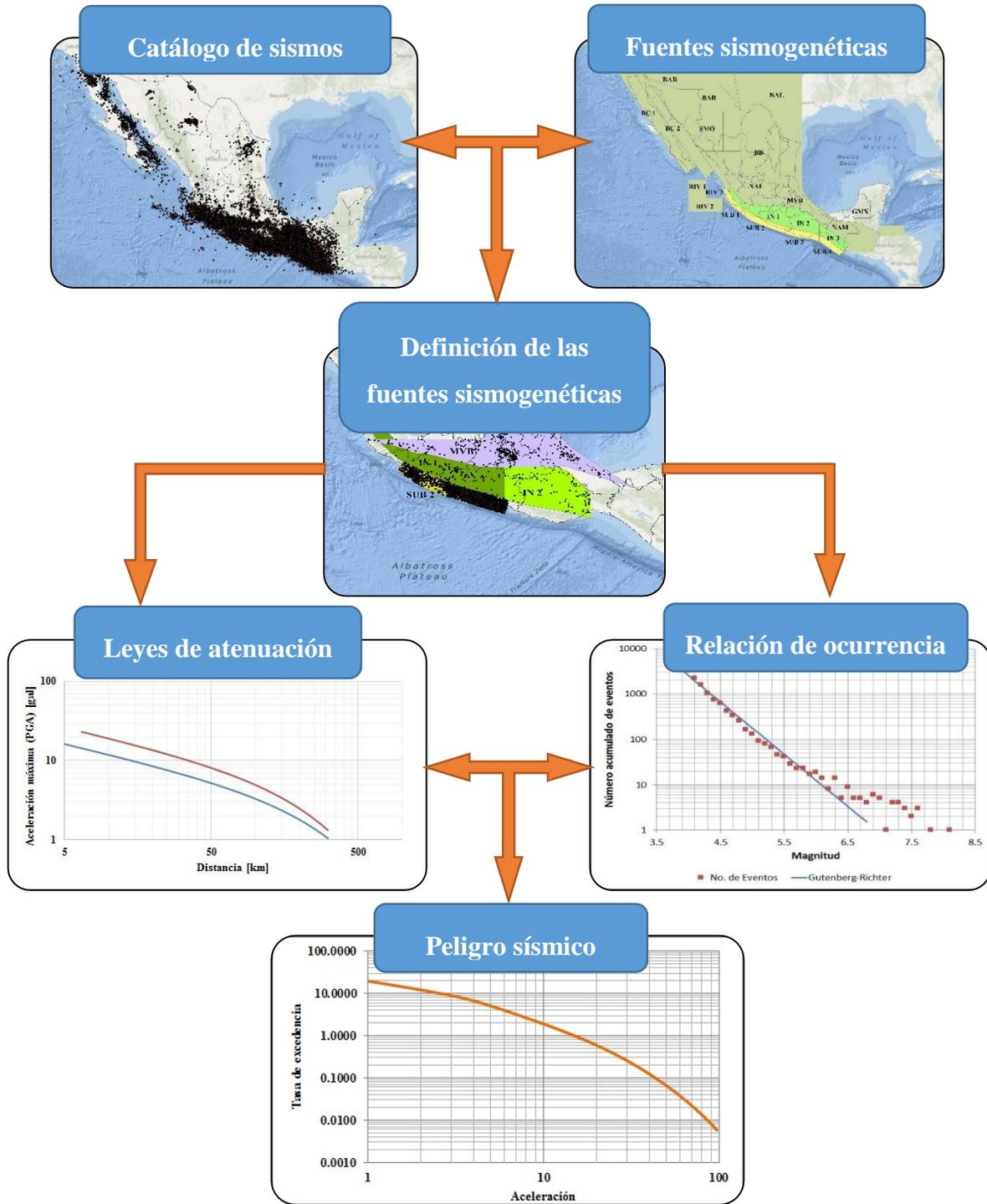


Figura 1. Proceso para la evaluación del peligro sísmico

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

2 SISMICIDAD Y FUENTES SÍSMICAS

A lo largo de la historia se ha buscado dar una explicación sobre el origen de los sismos, en muchos casos las explicaciones han sido atribuidas a la acción de los dioses, de igual manera no han faltado las reflexiones de algunos filósofos, por ejemplo Aristóteles (S. IV a.C.), consideraba que los sismos eran producto de masas de aire caliente que intentaban escapar del interior de la Tierra (Herráiz, 1997).

Sin embargo a través de la tectónica de placas se ha dado respuesta sobre el origen de terremotos sobre todo de aquellos de intensidad extraordinaria. La teoría que ha sido adoptada sostiene que los sismos tectónicos son causados por deslizamientos a lo largo de fallas geológicas, en los sismos mayores tendría lugar una reacción en cadena a lo largo de toda la longitud del deslizamiento, pero en cualquier instante dado, el origen del sismo quedaría en un pequeño volumen de la corteza. Algunos sismólogos sostienen que la actividad tiene origen en los cambios de fases de rocas (Rosenblueth y Newmark, 1976).

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

En lo que sigue se hará una breve descripción sobre la teoría de la tectónica de placas y las características del movimiento del terreno, para posteriormente abordar las fuentes sísmogenéticas que afectan al municipio, así como la construcción del catálogo de sismos y las características del área de estudio.

2.1 Tectónica de placas

En 1912, Wegener desarrolló la teoría de la deriva continental; en ella se afirma, que hace, aproximadamente, 200 millones de años, los continentes actuales conformaban un único continente denominado Pangea, al moverse constantemente sobre una supuesta superficie viscosa, los continentes llegaron a su posición actual. Dicha teoría dio lugar a los fundamentos de la teoría de la tectónica de placas. En la figura 2 se ilustra la configuración actual de las principales placas tectónicas de la Tierra.

Esta se basa en que la litósfera (capa externa y rígida de la Tierra) está dividida en 20 sectores rígidos, conocidos como placas, las regiones fronterizas de estas placas son zonas con actividad tectónica, teniendo un desplazamiento promedio de 2 a 12 cm por año, donde se concentran sismos, erupciones volcánicas y orogénesis. (CENAPRED 2006)

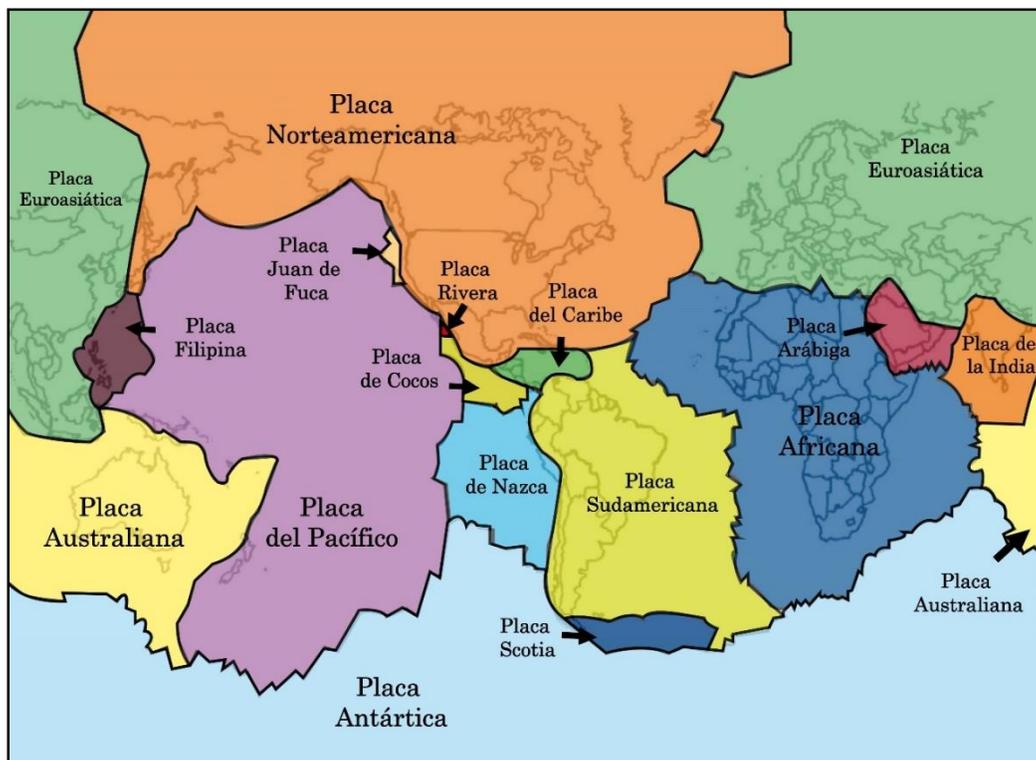


Figura 2. Principales placas tectónicas que conforman el Globo Terráqueo

El movimiento de las placas crea tres tipos de límites tectónicos: límites convergentes, donde las placas se acercan unas a otras, límites divergentes, donde se separan, y límites de fricción o transformantes, donde las placas se mueven de lado en relación unas con otras (figura 3).

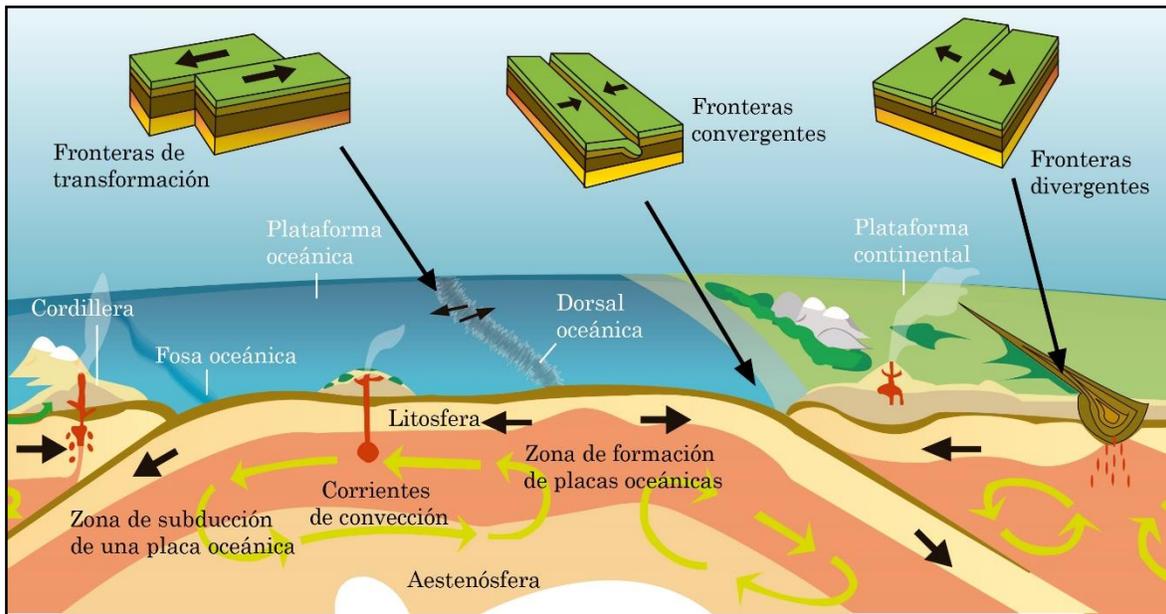


Figura 3. Tipos de límites tectónicos

Límites divergentes

Corresponden a la dorsal oceánica, siendo el sistema montañoso más largo del mundo, tiene una altura media de 2000 m y poseen un surco central, llamado rift. En este tipo de límites desde las profundidades del manto de la Tierra surge el magma a la superficie, por efecto de que dos o más placas tectónicas se están separando, renovando el fondo oceánico dando origen a montañas y volcanes.

Límites convergentes

Es el borde de colisión entre dos placas tectónicas, cuando una de las placas se hunde debajo de la otra se llama subducción, dando origen a sistemas montañosos como los Andes en Sudamérica, zanjas como la Fosa de las Marianas en el norte del Océano Pacífico, cuyo punto de la Tierra es el más profundo o volcanes submarinos que se transforman en arcos insulares como Japón.

Límites de fricción o transformantes

En este tipo de límite dos placas friccionan una con la otra a lo largo de fallas transformantes que quiebran transversalmente las dorsales, por ejemplo, la falla de San Andrés. A pesar de que los límites de fricción no forman sistemas montañosos o volcanes pueden provocar grandes sismos.

2.2 Movimientos del terreno

Los sismos o terremotos, son vibraciones de la corteza terrestre, generados por distintas fuentes, como la actividad volcánica o explosiones, sin embargo, los de origen tectónico son los más importantes y severos desde el punto de vista de la ingeniería.

Con los avances en la ingeniería instrumental los catálogos son cada vez más completos, que incluyen datos que permiten caracterizar los terremotos, por ejemplo, duración, foco, dirección de propagación, profundidad del foco, etc.

Propiedades sismológicas y de intensidad

Las propiedades sismológicas se comentan a continuación.

El foco, también nombrado centro, hipofoco o hipocentro, de un sismo es el punto de la corteza terrestre en el que indican los cálculos que se originan las ondas sísmicas. El epifoco o epicentro es la proyección vertical del foco en la superficie de la tierra. En ausencia de datos instrumentales, a veces, el epifoco se fija basándose en los daños observados, en general este punto no coincide exactamente con el epicentro instrumental. Términos tales como distancia focal y distancia epicentral se refieren a distancias a un punto de interés dado, llamado estación. (Rosenblueth y Newmark, 1986)

La magnitud de un sismo es una medida de la energía liberada. Existen diferentes escalas de magnitud de un terremoto usadas por los sismólogos, las más comunes son:

Magnitud local, M_L

En 1935, El profesor Charles Richter, del Instituto Tecnológico de California, desarrolló una escala de magnitud de sismos para eventos locales en el sureste de California. Esta escala de magnitud se conoce como la “escala de magnitud de Richter” o “escala de magnitud local”, M_L y es la más utilizada en el medio. Se calcula con la ecuación 1.1.

$$M_L = \log A - \log A_0 = \log \frac{A}{A_0} \quad (1.1)$$

donde, la magnitud M_L es el logaritmo común de la amplitud A de la traza, en micras, de un sismógrafo estándar Wood-Anderson con amplificación de 2800, coeficiente de amortiguamiento de 80 por ciento y periodo natural de 0.8 s, instrumento ubicado a 100 km del epicentro y sobre terreno firme. El término A_0 es igual a 0.001 mm, este valor corresponde al valor menor de los sismos que han sido registrados. Existen diagramas y tablas empíricas para corregir para distancias epicentrales que difieran de 100 km y para distintas condiciones de terreno. (Day, 2002)

Magnitud de onda de superficie, M_S

La escala de magnitud de onda de superficie se basa en la amplitud de las ondas superficiales con un periodo de 20 s, aproximadamente. La magnitud de onda de superficie fue definida por Gutenberg y Richter en 1956 (ecuación 1.2).

$$M_S = \log A' + 1.66 \log \Delta + 2.0 \quad (1.2)$$

donde, M_S es la escala de magnitud de onda de superficie, A' es el máximo desplazamiento del suelo en μm y Δ es la distancia epicentral al sismógrafo medida en grados, donde 360° corresponde a la circunferencia de la Tierra.

Esta escala tiene una ventaja sobre la magnitud local, que es el uso del máximo desplazamiento del terreno, en lugar de la máxima amplitud del sismógrafo Wood-Anderson. La magnitud de onda de superficie se utiliza generalmente para sismos de moderados a fuertes.

Magnitud de momento sísmico, M_W

Esta escala ha sido la más común para determinar la magnitud de sismos fuertes. Esto se atribuye a que se considera el tamaño completo del evento. El primer paso para calcular la magnitud del momento es calcular el momento sísmico, M_0 . El momento sísmico puede ser estimado del desplazamiento de la falla como se indica en la ecuación 1.3.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

$$M_0 = \mu A_f D \quad (1.3)$$

donde, M_0 es el momento sísmico en $N - m$, μ es el módulo de cortante del material a lo largo del plano, N/m^2 ; el módulo de cortante puede considerarse como $3 \times 10^{10} N/m^2$ para la corteza y $7 \times 10^{12} N/m^2$ en el manto. A_f es el área del plano de falla que sufre deslizamiento en m^2 y puede calcularse como la longitud de la superficie de ruptura en términos de la profundidad después del impacto. D es el desplazamiento promedio del segmento de falla de ruptura en m . El cálculo del momento sísmico funciona mejor para fallas tipo friccionante donde el desplazamiento lateral en un extremo de la falla relativa al otro extremo puede ser realmente medida.

Distintos investigadores han estudiado el momento sísmico. Hanks y Kanamori (1979) introdujeron la escala de magnitud de momento sísmico, en donde la magnitud es calculada con el momento sísmico usando la ecuación 1.4.

$$M_W = -6.0 + 0.67 \log M_0 \quad (1.4)$$

donde, M_W es la magnitud de momento sísmico y M_0 es el momento sísmico del terremoto calculado de acuerdo a la ecuación 1.3.

Por otro lado, la intensidad de un terremoto se puede estimar con base en el daño de las edificaciones. La escala que más se utiliza para establecer la intensidad del sismo es la escala de intensidades de Mercalli modificada (MM), la cual se indica en la tabla 1 (CENAPRED, 2006), donde los rangos de intensidad varían de I a XII, siendo el más bajo para un sismo que no se sintió y el más alto para un evento sísmico que provoca total destrucción.

La escala de Mercalli Modificada (MM) se basa en las observaciones de daños a las estructuras y en la presencia de efectos secundarios, como licuación, deslizamientos en el terreno y colapso. También considera el grado con el que el evento fue percibido por los individuos.

Tabla 1. Escala de Intensidades de Mercalli Modificada (CENAPRED, 2006).

Intensidad	Descripción
I	No se sintió, excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables.
II	Sentido sólo por muy pocas personas en posición de descanso, especialmente en los pisos altos de los edificios. Objetos delicadamente suspendidos pueden oscilar.
III	Sentido claramente en interiores, especialmente en pisos altos de los edificios, aunque mucha gente no lo reconoce como un terremoto. Automóviles parados pueden balancearse ligeramente. Vibraciones como al paso de un camión. Duración apreciable.
IV	Durante el día sentido en interiores por muchos, al aire libre por algunos. Por la noche algunos despiertan. Platos, puertas y ventanas agitadas, las paredes crujen. Sensación como si un camión pesado chocara contra el edificio. Automóviles parados se balancean apreciablemente.
V	Sentido por casi todos, muchos se despiertan. Algunos platos, ventanas y similares rotos, grietas en el revestimiento en algunos sitios. Objetos inestables volcados. Algunas veces se aprecia balanceo de árboles, postes y otros objetos altos. Los péndulos de los relojes pueden pararse.
VI	Sentido por todos, muchos se asustan y salen al exterior. Algún mueble pesado se mueve, algunos casos de caída de revestimientos y chimeneas dañadas. Daño leve.
VII	Todo el mundo corre al exterior. Daños insignificantes en edificios de buen diseño y construcción, leve a moderado en estructuras comunes bien construidas, considerables en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas, se rompen algunas chimeneas. Notado por algunas personas que conducen automóviles.
VIII	Daño leve en estructuras diseñadas especialmente para resistir sismos, considerable, en edificios comunes bien construidos, llegando hasta colapso parcial, grande en estructuras de construcción pobre. Los muros de relleno se separan de la estructura. Caída de chimeneas, objetos apilados, postes, monumentos y paredes. Muebles pesados volcados. Eyección de arena y barro en pequeñas cantidades. Cambios en pozos de agua. Cierta dificultad para conducir automóviles.
IX	Daños considerables en estructuras de diseño especial, estructuras bien diseñadas pierden la vertical, daño mayor en edificios comunes bien construidos, colapso parcial. Edificios desplazados de los cimientos. Grietas visibles en el terreno. Tuberías subterráneas rotas.
X	Algunas estructuras bien construidas en madera, destruidas, la mayoría de estructuras de mampostería y marcos destruidas incluyendo sus cimientos, suelo muy agrietado. Rieles torcidos. Deslizamientos de tierra considerables en las orillas de los ríos y en laderas escarpadas. Movimientos de arena y barro. Agua salpicada y derramada sobre las orillas.
XI	Pocas o ninguna obra de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el suelo. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. La tierra se hunde y el suelo se desliza en terrenos blandos. Rieles muy retorcidos.
XII	Destrucción total. Se ven ondas sobre la superficie del suelo. Líneas de mira (visuales) y de nivel deformadas. Objetos lanzados al aire.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

Se ha tratado de relacionar el nivel de destrucción de las construcciones con ciertos parámetros del movimiento del terreno así Rosenblueth y Newmark (1976) propusieron una relación, coincide con las relaciones propuestas entre la intensidad de la escala de MM y la velocidad máxima del terreno v en cm/s , ecuación 1.5.

$$I = \frac{\log 14v}{\log 2} \quad (1.5)$$

En promedio esta correlación es válida hasta $I=10$ y sobrestima I para intensidades mayores. Las escalas de intensidad son subjetivas y tienen formato similar al de la escala de MM. Se han publicado equivalencias en otras escalas de intensidad, como la escala soviética de Cancanni-Sieberg (tabla 2) y la de Medvedev, Sphonehuer y Karnik, conocida como MSK-64, (1964).

Tabla 2. Escala de Intensidades de Cancanni-Sieberg (Urbina y Camacho, 1913)

Grados	Límites de aceleración [mm/s ²]		Sacudida
	de	a	
I	0	2.5	Temblor instrumental registrado solo por sismógrafos
II	2.5	5.0	Muy ligero
III	5.0	10	Ligero
IV	10	25	Sensible para las personas o mediano
V	25	50	Fuerte
VI	50	100	Bastante fuerte
VII	100	250	Mucho muy fuerte
VIII	250	500	Ruinoso
IX	1000	1000	Desastroso
X	2500	2500	Muy desastroso
XI	5000	5000	Catástrofe
XII	10000	10000	Gran catástrofe

Tipos de ondas terrestres

Cualesquiera que sean las causas de los sismos, tres tipos básicos de onda producen el movimiento que se siente y causan daños. Solo dos se propagan en el interior de la Tierra, se les denomina ondas internas u ondas de cuerpo. La más rápida de ellas es la onda primaria u onda P. La característica principal de esta onda es que expande y comprime la roca, en la misma dirección de su trayectoria. Su propagación implica cambios de volumen en el cuerpo, es capaz de propagarse a través de sólidos y líquidos. (CENAPRED, 2006)

La segunda onda, llamada secundaria u onda S, viaja a menor velocidad que la P, generalmente esta onda comienza antes de que se haya desvanecido la onda P. Al propagarse, solo en sólidos, deforma el material lateralmente respecto a su trayectoria sin cambio de volumen, teniendo efecto de cizallamiento.

Matemáticamente la velocidad de las ondas P es

$$V_P = \sqrt{\frac{k + \frac{4\mu}{3}}{\rho}} \quad (2.6)$$

y para las ondas S es

$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.7)$$

donde, k es el módulo de incompresibilidad, μ es la rigidez y ρ es la densidad del material a través del cual se propaga la onda mecánica.

El registro de la figura 4 de una componente horizontal del movimiento del terreno, orientación norte-sur, muestra claramente la separación entre las ondas P y las ondas S.

El tercer tipo de onda son las ondas superficiales, L, incluyen las ondas Love, que deforman las rocas similarmente a las ondas S, aunque únicamente en dirección horizontal. Las ondas Rayleigh, que producen movimiento elíptico retrogrado, similar al de las olas marinas, a medida que la profundidad aumenta disminuye la amplitud de su movimiento.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

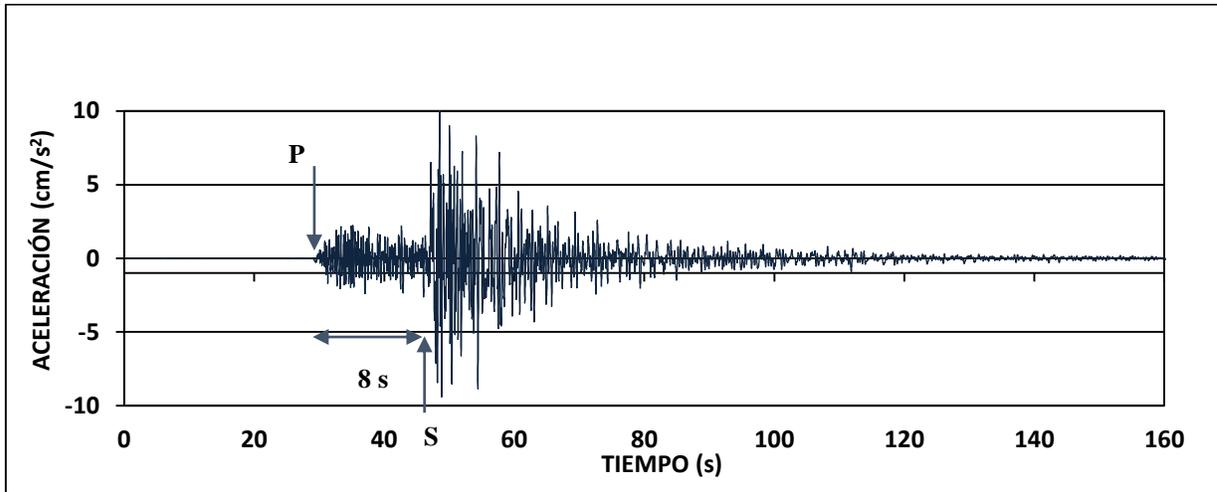


Figura 4 Acelerograma en Santa Cruz Acatlán, Naucalpan, Edo. de México, sismo 16-VI-2013, magnitud 5.8, localizado a una distancia de 171 km, 30 km al sureste de Huitzucó, Guerrero.

2.3 Definición y caracterización de las fuentes sismogénicas de México

La actividad sísmica de la República Mexicana se basa en la interacción de sus placas, como se mencionó anteriormente. Por tal razón, es importante definir las fuentes sismológicas mediante la delimitación de las placas tectónicas que se tienen identificados, tal como se muestra en la figura 5.

De acuerdo al estudio de Rosenblueth *et al.* (1987) las principales fuentes sísmicas que afectan al Valle de México pueden clasificarse en cuatro grupos: locales, placa continental (Intraplaca), de profundidad intermedia y de subducción.

Los sismos locales son aquellos que se asocian a la existencia de fallas geológicas a lo largo del Eje Neovolcánico Transversal, sobre el Valle de México.

En tanto, los sismos intraplaca o profundos son producidos por las intersecciones de las fallas principales o cercanas al final de aquellas que emergen constantemente, esto debido al deslizamiento de la placa Norteamericana con respecto a las placas oceánicas, este tipo de sismos presenta un mecanismo de falla normal a una profundidad mayor a 60km.

Mientras que los sismos de profundidad intermedia se caracterizan por el hecho de que la placa de Cocos subducida experimenta un mecanismo de intraplaca en la que la magnitud

registrada disminuye con la distancia a partir de la zona de subducción, generalmente son sismos de mecanismo de falla inverso con profundidades entre 30 y 60 km.

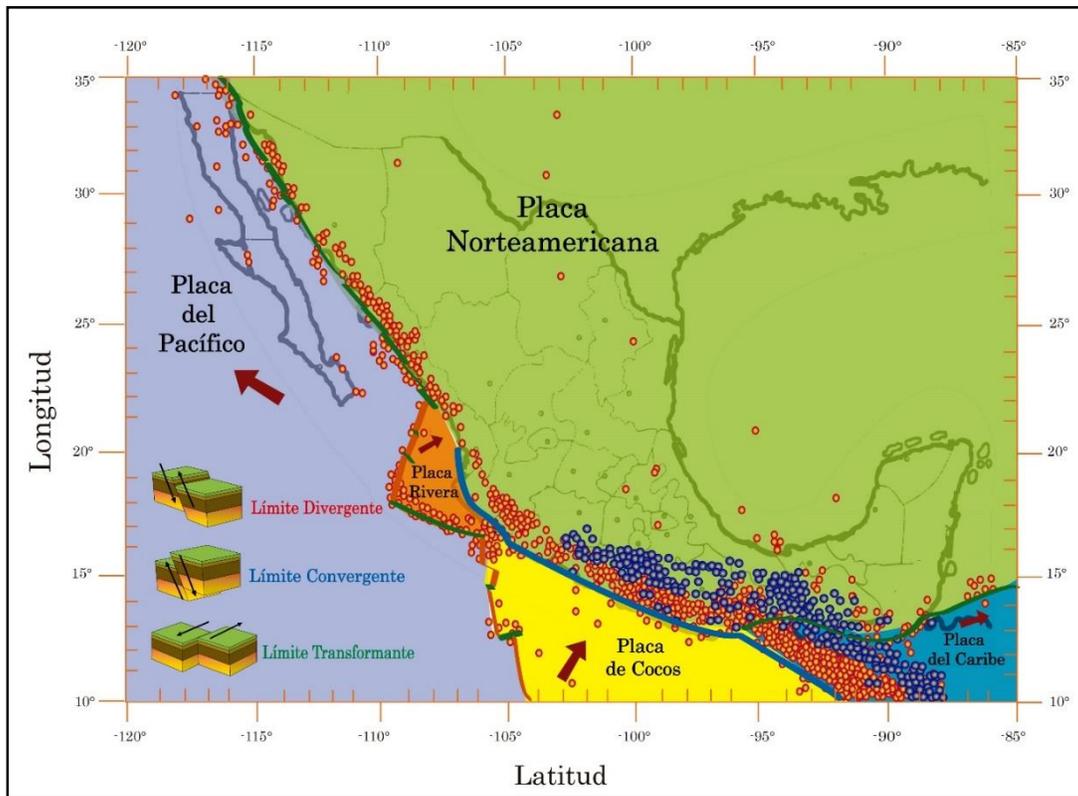


Figura 5. Principales placas tectónicas y su tipo de límite, que afectan a la República Mexicana. Sismos de profundidad intermedia (azul) y someros (anaranjado)

Los sismos de subducción, también llamados interplaca, son generados por el hundimiento de la placa de Cocos y Rivera bajo la placa Norteamericana, y han generado históricamente las más severas consecuencias para la Ciudad de México.

En el trabajo de Zúñiga *et. al.* (1997), basándose en los datos de los catálogos instrumental e histórico, el territorio nacional se subdividió en unidades sismogenéticas principales, tal como se muestra en la figura 6, para ello se hicieron las consideraciones siguientes:

- Localización hipocentral de eventos de características similares
- Características tectónicas más comunes de la zona
- Mecanismos focales y/o patrones de fallamiento
- Características principales de la liberación de energía de los sismos dentro de cada región
- Historia sísmica de cada región

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

- f) Reducir al mínimo el número de regiones primarias, de las cuales se pudiese partir para posibles subdivisiones futuras más refinadas



Figura 6. Regiones sísmicas definidas por Zúñiga *et al.* 1997. Amarillo regiones de eventos de subducción. Verde regiones de eventos tipo intraplaca. Olivo regiones de eventos someros.

De acuerdo a Zúñiga *et al.* (1997) estas regiones sísmicas se definen de la siguiente manera:

Región SUB 1: Esta zona de eventos interplaca someros del tipo de subducción (profundidad menor a 40 km) comprende la zona costera del Estado de Jalisco y Colima, teniendo como límite la zona de transición de la convergencia entre las placas de Rivera y Norteamericana (NOAM) a la convergencia Cocos-NOAM. Eventos grandes que pueden alcanzar magnitudes de hasta 8.2, ocurren con poca periodicidad y generalmente muestran falla por cabalgadura.

Región SUB 2: Esta zona de eventos interplaca someros corresponde a la mayor convergencia entre la placa Cocos y la NOAM (tipo de subducción) abarcando las costas del

Estado de Michoacán y Guerrero. Presenta la mayor periodicidad de eventos sísmicos de magnitud mayor a 7 en la zona de subducción.

Región SUB 3: Esta zona es una zona de transición entre las dos zonas de subducción de la placa de Cocos el límite del poniente cuenta con un cambio brusco de sismicidad mientras el límite oriental se define por la cordillera submarina de Tehuantepec, esta región puede producir sismos con magnitud de hasta 7.9.

Región SUB 4: Zona de eventos interplaca someros del tipo de subducción, la cual comprende el área costera del Estado de Chiapas y parte de Oaxaca, está definida por la convergencia de la placa de Cocos y del Caribe, la brecha de Tehuantepec corresponde a esta región y se han registrado sismos con magnitud de 7.7.

Región IN 1: Esta zona de eventos intraplaca comprende la sección profunda de la zona de subducción, se relaciona a la interface Cocos-NOAM y es la extensión de las regiones SUB 1 y SUB 2. Los sismos originarios de esta región cuentan con una profundidad entre 40 y 120 *km* y muestran fundamentalmente mecanismos de falla normal.

Región IN 2: La zona corresponde a la extensión a profundidad de la región SUB 3, los eventos que se generan en esta fuente antepone un gran riesgo a la población de la región central de México y tienen una profundidad entre 60 y 200 *km*, es la transición entre la región IN 1 e IN 2.

Región IN 3: La actividad sísmica en esta zona es mayor que la región IN 2, generalmente el tipo de fractura es de falla normal de profundidad intermedia, la zona está relacionada con la subducción de la placa de Cocos por debajo de la NOAM y del Caribe.

Región MVB: Zona de eventos intraplaca (NOAM) someros, de profundidad menor a 40 *km*, dentro de la provincia tectónica del Eje Neovolcánico Mexicano, por su cercanía a la Ciudad de México, además de su poca profundidad, eventos ocurridos en esta región han sido muy destructivos, como el sismo de Acambay en 1929. El tipo de fallamiento que presenta puede ser de tipo normal o inverso.

Región NAM: Zona de eventos intraplaca (NOAM) someros de fallamiento normal, ubicada al sur del Eje Neovolcánico Mexicano, presentando su mayor actividad sísmica en la zona del Istmo de Tehuantepec.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

Región BC 1: Zona de eventos intraplaca (Pacífico) en la península de Baja California con profundidad menor de 20 *km*, no hay un tipo de fallamiento definido.

Región BC 2: Zona de eventos intraplaca relacionada con la actividad entre la placa del Pacífico y la NOAM, el tipo de fallamiento que presentan es de tipo normal y de rumbo cuya profundidad no excede a los 20 *km*, a pesar de su cercanía con la falla de San Andrés, existe una diferencia notable en las aceleraciones del terreno que se producen en esta región con respecto a las de California, E.U.A.

Región SMO: Zona de eventos intraplaca (NOAM) y someros de baja actividad sísmica cuya magnitud es menor a 5, esta región abarca la provincia de la Sierra Madre Occidental.

Región BAR: Esta zona está delimitada por las provincias de Cuencas y Sierras-Fisura del Río Bravo, los sismos son someros de baja magnitud, y de escasa frecuencia de ocurrencia. Se presentan por fallas de tipo normal y de rumbo.

Región BB: Pertenece a la provincia de la Cuenca de Burgos (Noreste de la República Mexicana), esta zona tiene poca actividad sísmica de magnitud menor a 5.0 grados.

Región RIV 1: Zona que es delimitada por los sismos que ocurren en la Dorsal del Pacífico someros y de fallamiento normal principalmente con interface Pacífico-Rivera.

Región RIV 2: Corresponde a la interface de la placa del Pacífico con la de Rivera, la zona presenta eventos someros de fallamiento de rumbo.

Región RIV 3: Interface con la placa de Rivera y NOAM la variación de la actividad sísmica con respecto a la región SUB 1 no ha sido determinada.

Región GMX: Región que pertenece al área del Golfo de México y alrededores, cuenta con escasa actividad sísmica.

Región NAL: Zona con el resto de los eventos intraplaca (NOAM) someros de baja magnitud-baja periodicidad no incluidos en las otras regiones.

2.4 Catálogo de sismos y sismos históricos

Para poder obtener la distribución de probabilidad de magnitudes es necesario contar con un catálogo de sismos, el cual se formó recopilando información de las siguientes

instituciones: Servicio Sismológico Nacional (SSN), Comisión Federal de Electricidad (CFE), Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) y el Centro de Información y Registro Sísmico (CIRES). El catálogo se complementó con información de algunos sismos históricos de los cuales se obtuvo antecedentes y datos. La información recopilada se organizó de la siguiente forma: fecha de ocurrencia del sismo, hora de registro, magnitud, latitud, longitud, epicentro y profundidad.

El catálogo de sismos que se formó consta de 34 000 eventos, aproximadamente, registrados entre los años 1961 y 2014. En el Anexo 1 se puede consultar el catálogo de sismos de acuerdo a las fuentes sísmicas consideradas en este trabajo.

En la tabla 3 se muestra los sismos históricos que han sido instrumentados, estos han sido seleccionados de acuerdo a los daños ocasionados, principalmente, en estructuras de la ciudad de México, ya que es el punto de referencia más cercano al municipio y que por su importancia ha tenido mayor estudio a lo largo de la historia.

El lapso de observación de sismos instrumentales es muy limitado, en nuestro país, la sismología instrumental tiene un siglo, por este caso puede recurrirse a la sismicidad histórica, complementando la información del catálogo de sismos.

La tabla 4 proporciona la información de los sismos históricos los cuales fueron interpretados sismológicamente, asignando localizaciones epicentrales y magnitudes aproximadas, se incluye una descripción indicando las características más importantes del evento.

En la figura 7 se observa los epicentros de los eventos que conforman el catálogo de sismos. Claramente se aprecia que las regiones sur y sureste de la República Mexicana han tenido mayor actividad sísmica, producto de la subducción de la placa de Cocos con la Norteamericana. Así mismo, se distinguen los límites de las principales placas tectónicas en las que se encuentra el país.

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

Tabla 3 Sismos del periodo instrumental que han causado mayores daños de 1907 a 1985. Zúñiga et al. (1997).

Fecha	Epicentro	Magnitud
14/abril/1907	Guerrero cerca de Acapulco (16.8°N,100W)	7.9
Descripción: Derribó el Colegio Salesiano, rompió cañerías y se observaron grietas en las calles.		
30/julio/1909	Costa Grande, Gro. (16.8°N,100W)	7.5
Descripción: Derrumbes de casas y bardas en la ciudad, causó daños en el palacio nacional		
7/junio/1911	Costas de Michoacán	7.8
Descripción: Derrumbó el cuartel de San Cosme, el altar de la iglesia de San Pablo y tiró muros en varias partes de la ciudad. Flexionó rieles de tranvía y produjo grietas en las calles.		
12/noviembre/1912	Acambay, Edo. de México	6.9
Descripción: “Era un martes cualquiera, dicen, sería como las siete de la mañana cuando se dio la última llamada a misa. Más de cien personas se encontraban oyéndola, cuando el terremoto acabó con todo el pueblo. Una o dos casas quedaron de pie; de la iglesia solo permaneció firme un muro cuarteado. Todo era llanto, desolación, tristeza y muerte”		
3/junio/1932	Costas de Jalisco	8.2
Descripción: Numerosas grietas y casas derrumbadas en la ciudad de México, gran cantidad de cañerías reventadas. Derrumbó varias casas y muros.		
15/abril/1941	Costas de Colima	7.9
Descripción: Dañó la cúpula del cine Insurgentes, cuarteó edificios y produjo grietas en las calles.		
28/julio/1957	Cerca de Acapulco	7.7
Descripción: Destruyó varias casas y edificios en la ciudad de México. Derribó el Ángel de la Independencia. Se levantó el pavimento en varios sitios.		
19/septiembre/1985	Costas de Michoacán	8.1
Descripción: Gran destrucción en el centro de la ciudad, colapsaron cerca de 2000 edificios, levanto el pavimento y rompió la red de agua y drenaje		
21/Septiembre/1985	Guerrero cerca de Zihuatanejo	7.6
Descripción: Réplica del evento del 19 de septiembre. Derribó edificios dañados por el evento principal.		

Tabla 4 Sismos históricos interpretados sismológicamente por Zuñiga *et al.* (1997).

Fecha	Epicentro	Método de estimación de la magnitud	M	I
7/febrero/1697	Costas de Guerrero (16.5°N,99W)	Estimación de reporte de daños	7.5	IX
Descripción: Terremoto de subducción cerca de Acapulco, Gro. causó daño a lo largo de la costa pero no así en la ciudad de México.				
15/agosto/1711	Puebla-Tlaxcala (19°N,98°W)	Estimación de reportes de daños	6.8	IX
Descripción: El daño sugiere un evento de profundidad intermedia dentro de la placa de Cocos subducida. Dichos eventos ocurren generalmente entre los 60 y los 70km de profundidad.				
1/septiembre/1754	Costas de Guerrero (16.8°N,100W)	Estimación de reporte de daños	7.8	XI
Descripción: La información macrosísmica claramente sugiere un evento del tipo de subducción cercano a Acapulco, Gro. Hay evidencia de un tsunami local.				
21/abril/1776	Acapulco, Gro. (16.8°N,100W)	Estimación de reporte de daños	7.7	XI
Descripción: Daños reportados en la ciudad de México y en Acapulco, Gro.				
31/mayo/1818	Jalisco-Colima (19°N,105°W)	Estimación de reporte de daños	8.2	X
Evento de subducción en las costa de Jalisco y Colima. El daño a lo largo de la costa y en la ciudad de México sugiere que la magnitud sería cuando menos equivalente a la del evento de Jalisco de 1932				
4/mayo/1820	Costa de Guerrero (16.5°N,99W)	Estimación de reporte de daños	7.8	IX
Descripción: Evento de subducción en la costa de Guerrero				
7/abril/1845	Costa de Guerrero (16.8°N,100W)	Basada en regresión M_w- Intensidad	8.3	X
Descripción: Uno de los sismos mayormente sentidos en la ciudad de México en el siglo XIX. No hay suficiente información a lo largo de la zona macrosísmica para definir la localización epicentral y área de ruptura. La gran extensión de la zona de daño reportada sugiere un evento de gran magnitud. Ocasionó graves daños a las construcciones de la ciudad de México.				
19/junio/1858	Región central de Michoacán (19°N,103°W)	Basada en regresión M_w- Intensidad	7.5	X
Descripción: Fuertes daños tierra adentro en la parte central de Michoacán sugieren que no se trata de un tipo costero de cabalgadura en la zona de subducción. Fue sentido en la extensa región particularmente indujo graves daños en la ciudad de México. El patrón de los daños es similar al evento del 15 de enero de 1931 lo que indica que se trata de un evento tensional en el interior de la placa de Cocos subducida.				
3/octubre/1864	Puebla-Veracruz (19°N,97°W)	Basada en regresión M_w- Intensidad	7.4	IX
Descripción: Evento intracontinental de profundidad intermedia en el interior de la placa de Cocos subducida				
11/febrero/1875	Jalisco(21°N,104°W)	Basada en regresión M_w- Intensidad	7.1	VIII
Descripción: Macrosismo en la parte occidental del Cinturón Volcánico Mexicano. Uno de los eventos someros más grandes en esta región				

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

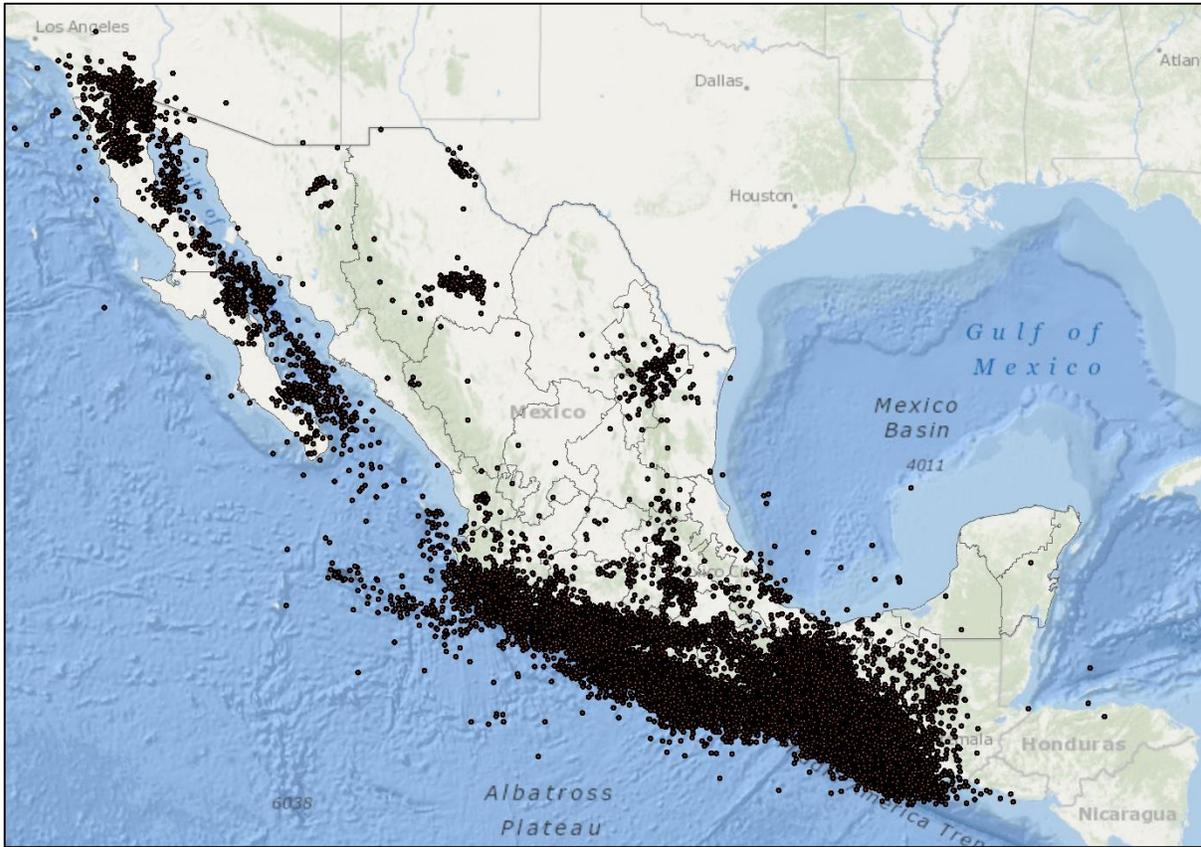


Figura 7. Eventos registrados que conforman el catálogo de sismos

2.5 Fuentes sísmicas consideradas

Para la evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan es de suma importancia conocer la localización y la geometría de las zonas sismogénéticas. A continuación se describe, de forma general, las características principales de las zonas sismogénéticas que pueden afectar a dicho municipio.

Subducción

La características principales de los eventos que se generan en esta zona son: epicentros próximos o sobre la línea de costa, como se aprecia en la figura 7, profundidades entre 10 y 40 km con mecanismo focal de falla inversa. La sismicidad de esta fuente es la principal y más frecuente en México, ha sido generadora de grandes eventos sísmicos, como San Marcos Guerrero en 1957 con magnitud 7.7 y Michoacán con 8.1 en 1985, entre otros. De acuerdo al análisis realizado, se tomaran en cuenta la zona SUB1 y SUB2 del trabajo de Zuñiga *et al.* (1997).

Intraplaca

Presenta una sismicidad frecuente, surgen dos tipos de eventos. Los eventos distensivos con profundidades entre 40 *km* y 150 *km*, se trata de fallas normales cuya localización suele darse a cierta profundidad por debajo de la interfaz en dirección de la convergencia. Alcanzan magnitudes notables y representan la segunda fuente de riesgo en la región (García, 2007); como ejemplo de este tipo de eventos se tiene el de Puebla-Tlaxcala en 1711 con una magnitud estimada de 6.8 y en 1864 Puebla-Veracruz con magnitud estimada de 7.4.

El segundo tipo de evento son los compresivos de falla normal o inversa con profundidades de 25 a 40 *km* dando esta característica a los sismos generados en el Cinturón Volcánico Mexicano.

Cinturón Volcánico Mexicano (MVB)

El Cinturón Volcánico Mexicano (MVB, por sus siglas en inglés) ha tenido una sismicidad histórica moderada, comparada con la zona de subducción, eventos con magnitud mayor a 7 pueden ocurrir en las estructuras más grandes del MVB, por lo cual, se considera un peligro sísmico, como el sistema de fallas Chapala-Cuitzeo y el graben de Acambay (Singh, 1987).

Uno de los sismos importantes ocurridos en el MVB fue el 12 de noviembre 1912 en el municipio de Acambay, ubicado aproximadamente a 85 *km* de Naucalpan. Langridge (2000) establece que este sismo fue provocado por la falla de Acambay-Tixmadeje, la cual delimita en el norte al graben de Acambay en una longitud de 42 *km*.

Como se podrá notar las fuentes que se encuentran definidas por las regiones SUB1, SUB2, IN1, IN2 y MVB (figura 8) son las consideraciones para este estudio al considerar su cercanía y efectos que históricamente han generado al municipio de Naucalpan y zonas aledañas.

Los vértices para formar estos polígonos, los cuales se encuentran definidos por latitud y longitud, se muestran en la tabla 5, obtenidos del trabajo de Ordaz y Reyes (1999) y Jaimes y Reinoso (2006).

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

Tabla 5.- Coordenadas de los límites de las zonas sísmicas que afectan al municipio de Naucalpan de Juárez..

Zona	Límites dela zona sísmica
SUB 1	-106, 21; -105.7, 20; -105, 19.1; -104, 18.4; -103.73, 18.84;-104, 19; -105, 20; -105.5, 21; -106, 21
SUB 2	-104, 18.4; -103, 17.6; -102, 17.15; -101, 16.8; -100, 16.45;-99, 16.1; -98.82, 16.81; -100, 17.2; -101, 17.5; -102, 17.9;-103.73, 18.84; -104, 18.4
IN 1	-105.5, 21; -105, 20; -104, 19; -102, 17.9; -101, 17.5; -100, 17.2; -99, 16.85; -99, 19.1; -100, 19.2; -101, 19.1; -102, 19.2; -103.3, 19.3; -104, 19.8; -105, 21; -105.5, 21
IN 2	-99, 6.85; -98, 16.6; -97, 16.4; -96, 16.2; -95, 15.9;-95, 17.2; -96, 18.3; -97, 18.8; -98, 18.9; -99, 19.1;-99, 16.85
MVB	-105.5, 20; -103.15, 18.5; -99, 18.5; 96, 18.5; -96, 19.5; -96.5, 20.2; -100.28, 20.54; -105, 21; -105.5, 20

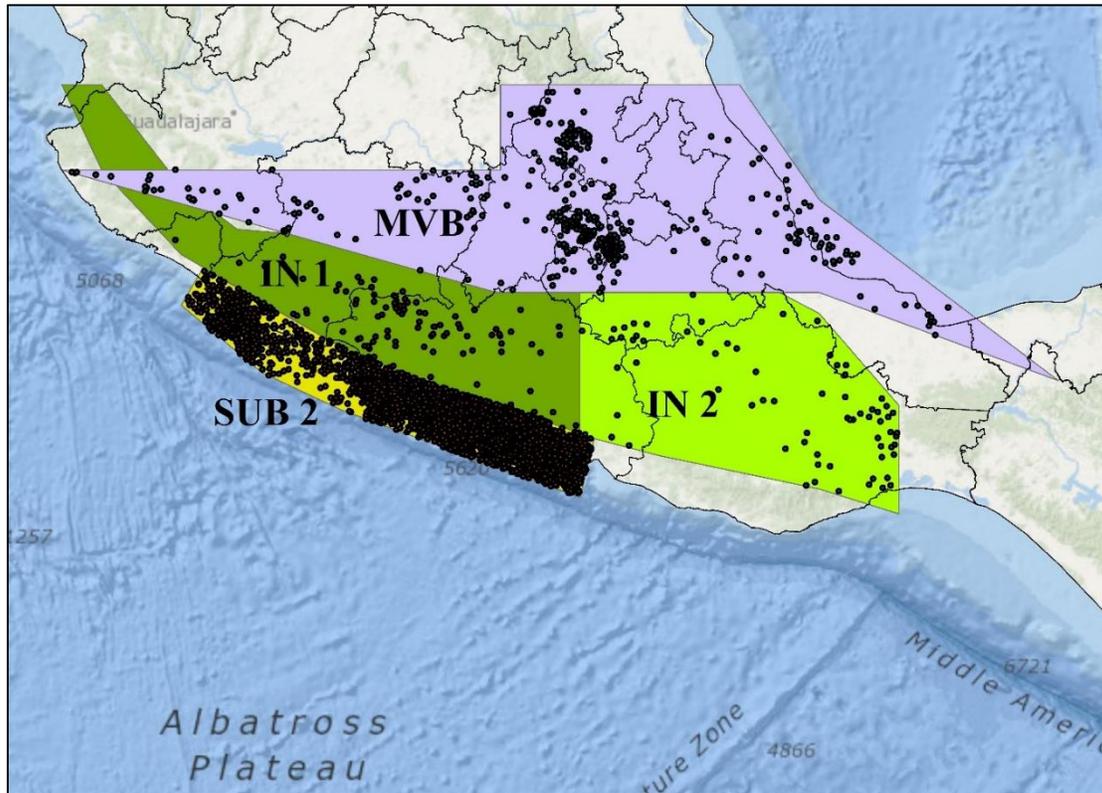


Figura 8. Fuentes sismogénicas que pueden afectar al municipio de Naucalpan de Juárez

2.6 Ubicación y aspectos geológicos del municipio de Naucalpan

Ubicación geográfica

El municipio de Naucalpan de Juárez es uno de los 125 municipios que conforman el Estado de México; se ubica entre las coordenadas 19°24'40" y 19°32'09" latitud y 99°12'22" y 99°24'50" longitud, siendo una extensión territorial de 149.86 km². La mayor parte de su territorio es accidentado teniendo una altitud que oscila de 2258 a 3450 m. s. n. m. El municipio, limita al norte con Atizapán de Zaragoza, Tlalnepantla de Baz y Jilotzingo; al sur con Huixquilucan; al este y sureste con el Distrito Federal con las delegaciones Miguel Hidalgo y Azcapotzalco; al oeste nuevamente con Jilotzingo, y al suroeste con los municipios de Otzolotepec, Xonacatlán y Lerma (Naucalpan 2014).

Geología

El Eje Neovolcánico Mexicano atraviesa la República Mexicana de oeste a este, dentro de ella se localiza la cuenca de México, cuyo origen es en la época del Mioceno, hace unos catorce millones de años, formándose al norte de la cuenca la sierra de Pachuca, Guadalupe, Tepetzotlán, Tepozán y las Pilas, en la zona occidental se encuentra la sierra de las Cruces y al oriente la sierra Nevada, conformada por el volcán Popocatepetl e Iztaccihuatl y río Frío. Hace aproximadamente setecientos mil años, cuando una intensa actividad sísmica dio origen a la sierra del Chichinautzín, privando al río Balsas de un afluente, forma una cuenca cerrada, conocida como la cuenca de México (Ángeles, 2008).

La cuenca se encuentra conformada por cuatro valles, el valle de Apan, Tizayuca, Cuautitlán y México, el municipio de Naucalpan forma parte del valle de Cuautitlán. Mide en dirección norte-sur alrededor de 90 km, en dirección este-oeste, varía entre 100 km a 50 km de norte a sur. Sus altitudes al estar rodeada por altas montañas, limitada al norte por las sierras de Pachuca y Tepetzotlán, al sureste por el Popocatepetl, con una altura media de 5,300 m y al oeste por las sierras de Monte Alto y de Las Cruces (Díaz, 2006) con altitudes que oscilan entre 2,390 en el norte y 2,240 m en dirección sur (Santoyo *et al.*, 2005).

En el territorio de Naucalpan se encuentran rocas ígneas volcánicas y sedimentarias, cabe agregar que el municipio se encuentra situado al pie de la Sierra de las Cruces, la cual se encuentra conformada por tobas, brecha andesítica, pómez, arena y limo (Santana, 2011),

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

motivo por el cual fue explotada para la construcción de la Ciudad de México, provocando excavaciones subterráneas dejando extensas cavidades, debilitando el suelo ante los esfuerzos producidos por las ondas sísmicas.

De acuerdo al trabajo presentado por Ángeles (2014) en las partes altas de Naucalpan las formaciones geológicas son principalmente la Becerra y la Tarango, compuestas principalmente por brecha andesítica con intercalaciones de pómez, arena y limo. Las Sierras menores están constituidas por lava, toba y aglomerados basálticos, andesíticos y dacíticos. Los suelos predominantes están compuestos de arcillas de baja plasticidad con arena y limo, limo y arena arcillosa. En la figura 9 se muestra el mapa geológico del municipio de Naucalpan.

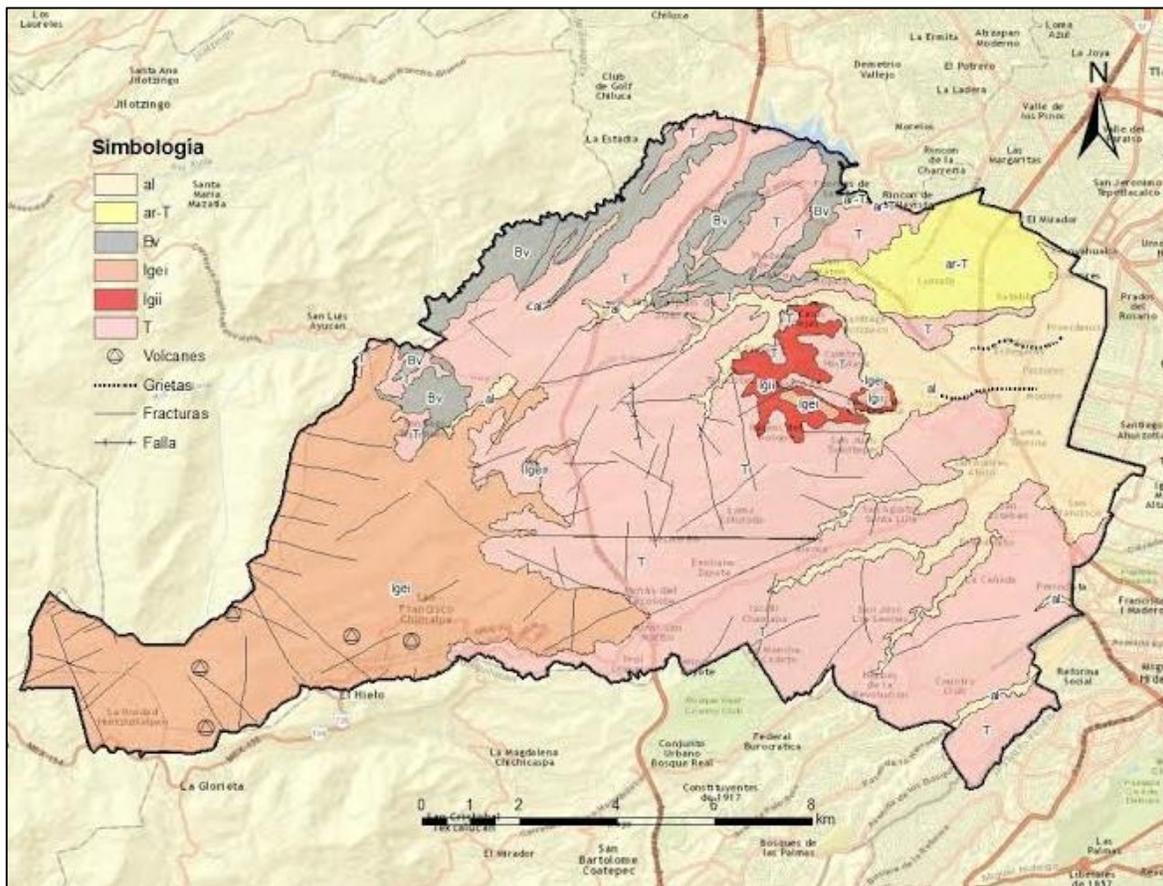


Figura 9. Mapa geológico del municipio de Naucalpan de Juárez. Ángeles (2014)

3 LEYES DE ATENUACIÓN

En la estimación del peligro sísmico es necesario contar con modelos de atenuación que tomen en cuenta las características de las fuentes potenciales de sismos cercanos y efectos de las condiciones locales. En este sentido las leyes de atenuación son de gran utilidad para conocer la intensidad sísmica en su sitio de interés en función del mecanismo de falla que se genere en determinada fuente sísmica.

Las leyes de atenuación relacionan la intensidad del movimiento del terreno, en forma de valores espectrales o en forma de valores máximos en aceleración, velocidad y desplazamiento. Para la obtención de las leyes de atenuación es importante contar con una base de datos confiable que permita el ajuste de un modelo teórico apropiado que valide los datos observados. (Soberón, 2005)

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

3.1 Catálogo de registros sísmicos de la estación FES Acatlán

Con el objeto de calibrar las leyes de atenuación, se emplearan los registros sísmicos emanados de la estación FES-Acatlán (FES-A).

La estación sísmica FES-A comenzó a operar en el año 2007, formando parte de la Red Sismológica Digital Autónoma del Valle de México, la cual se encuentra ubicada en el departamento de Análisis de Riesgos Naturales y Antropogénicos (ARNA) en la Unidad de Investigación Multidisciplinaria (UIM) de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán (FES-A), en el municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México. Sus coordenadas geográficas son latitud 19.4811° y longitud -99.2468° . El tipo de suelo en el que se encuentra es terreno firme.

La estación FES Acatlán es un acelerómetro triaxial tipo “EpiSensor” de la marca Kinometrics, con rangos de grabación de $\pm 0.25g$ a $\pm 4.00g$. Los adquirentes de datos son tipo “Makalu”, con seis canales y proveen una resolución de 24 bits, la capacidad de muestreo es de 100 muestras por segundo. (Figura 10).



Figura 10. Equipo que conforma la estación sísmica FES-Acatlán

Actualizando la base utilizada por Martínez (2012) hasta julio de 2014, cuyos epicentros se ilustran en la figura 11, se tienen 60 registros, con magnitudes que varían entre 2.9 y 7.2 (tabla 6 y tabla 7). Los datos fueron analizados y procesados, el análisis consiste en investigar de acuerdo al catálogo de sismos del Servicio Sismológico Nacional (SSN) la información básica del evento y revisar que haya sido registrado de forma adecuada por la estación FES-A, el proceso al cual se somete cada uno de los registros es corrección de línea base, filtrado de tipo pasabanda y obtener las señales en términos de la aceleración, velocidad y desplazamiento.

La distancia epicentral R , calculada como geodesia, para cada uno de los eventos, del punto fuente a la estación FES-A, se calculó con la ecuación 3.1.

$$R = \left[\sqrt{(lat_{sis} - lat_{est})^2 + (lon_{sis} - lon_{est})^2} \right] 111.302 \quad (3.1)$$

donde lat_{sis} y lon_{sis} son latitud y longitud del punto sísmico reportadas por el SSN, respectivamente. Las constantes lat_{est} y lon_{est} son latitud y longitud de la estación FES-A definidas anteriormente.



Figura 11. Localización de los eventos sísmicos registrados por la estación FES-Acatlán

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

El evento sísmico en el que se han registrado las máximas aceleraciones hasta la fecha, es el correspondiente al 22-mayo-2009, M=5.7, epicentro registrado a 26 km al sureste de Chiautla de Tapia, Puebla, con profundidad de 175 km, cuyas aceleraciones máximas del terreno fueron del orden de 21 cm/s² en la dirección norte-sur y de 10 cm/s² en la dirección este-oeste.

Tabla 6. Catálogo de sismos registrados por la estación FES-Acatlán. Años 2007 al 2009

Evento	Fecha	Hora	Lat.	Long.	Prof. [P]	M	Epicentro
(No.)	(año-mes-día)	(h:m:s)	(grados)	(grados)	(km)	(Richter)	
1	2007-11-06	00:35:42	17.08	-100.14	9	5.6	10 km al NOROESTE de COYUCA DE BENITEZ, GRO
2	2007-11-14	11:35:41	13.63	-90.91	41	5.2	177 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS
3	2007-11-26	15:56:16	18.50	-101.31	53	5.6	46 km al SUROESTE de HUETAMO, MICH
4	2008-02-09	01:12:11	32.34	-115.12	10	5.5	7 km al NOROESTE de GPE VICTORIA(KM.43), BC
5	2008-02-11	22:32:39	32.45	-115.32	6	5.0	23 km al SUR de GPE VICTORIA(KM.43), BC
6	2008-02-12	06:50:18	16.19	-94.54	90	6.6	44 km al SURESTE de UNION HIDALGO, OAX
7	2008-04-04	06:11:55	13.85	-91.59	73	5.1	110 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS
8	2008-04-14	22:03:06	13.27	-91.04	40	6.5	197 km al SURESTE de CD HIDALGO, CHIS
9	2008-04-16	20:52:59	15.45	-93.52	95	5.4	42 km al SUROESTE de PIJIJAPAN, CHIS
10	2008-04-27	19:06:29	18.05	-100.01	52	5.6	38 km al SUROESTE de TELOLOAPAN, GRO
11	2008-04-29	05:56:42	18.47	-101.19	60	5.4	36 km al SUROESTE de HUETAMO, MICH
12	2008-06-29	04:42:19	13.80	-93.28	25	5.1	155 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS
13	2008-07-30	05:23:33	15.98	-96.10	49	5.1	24 km al NORTE de CRUCECITA, OAX
14	2008-09-22	00:55:39	15.83	-100.83	10	4.8	152 km al SUROESTE de ACAPULCO, GRO
15	2008-09-23	17:46:15	16.42	-100.14	12	5.2	56 km al SUROESTE de ACAPULCO, GRO
16	2008-10-20	00:00:52	17.25	-102.09	25	5.1	72 km al SUROESTE de ZIHUATANEJO, GRO
17	2008-11-23	06:15:57	20.11	-98.69	20	3.6	3 km al NORESTE de PACHUCA, HGO
18	2008-12-09	17:44:11	18.01	-98.48	80	4.6	34 km al SURESTE de CHIAUTLA DE TAPIA, PUE
19	2009-01-14	11:04:35	18.10	-100.07	46	4.4	32 km al SURESTE de ARCELIA, GRO
20	2009-01-31	07:24:58	17.54	-101.96	25	5.3	44 km al OESTE de ZIHUATANEJO, GRO
21	2009-03-09	18:36:44	16.46	-93.65	147	4.9	27 km al SURESTE de CINTALAPA, CHIS
22	2009-03-27	02:48:16	17.35	-100.82	30	5.3	24 km al NOROESTE de TECPAN, GRO
23	2009-04-27	11:46:27	16.90	-99.58	7	5.7	23 km al NOROESTE de SAN MARCOS, GRO
24	2009-05-22	14:24:18	18.13	-98.44	45	5.7	26 km al SURESTE de CHIAUTLA DE TAPIA, PUE
25	2009-05-23	03:22:56	18.05	-98.49	48	3.9	30 km al SURESTE de CHIAUTLA DE TAPIA, PUE
26	2009-07-09	03:42:23	17.19	-100.49	21	4.6	7 km al SUROESTE de ATOYAC DE ALVAREZ, GRO
27	2009-08-03	07:50:37	20.07	-99.11	5	3.4	12 km al ESTE de TLAXCOAPAN, HGO
28	2009-08-15	08:22:45	18.06	-100.67	55	5.4	33 km al SUR de CD ALTAMIRANO, GRO
29	2009-09-08	00:14:31	17.68	-95.77	102	5.1	46 km al SUROESTE de ISLA, VER

Tabla 7. Catálogo de sismos registrados por la estación FES-Acatlán. Años 2010 al 2014

Evento	Fecha	Hora	Lat.	Long.	Prof. [P]	M	Epicentro
(No.)	(año-mes-día)	(h:m:s)	(grados)	(grados)	(km)	(Richter)	
30	2010-02-02	22:59:42	17.97	-98.20	59	4.7	31 km al SUROESTE de ACATLAN DE OSORIO, PUE
31	2010-03-05	02:36:24	19.18	-98.89	5	3.0	6 km al SURESTE de S MATEO HUITZILZINGO, MEX
32	2010-07-28	02:19:10	14.61	-94.35	16	4.1	171 km al SUROESTE de PIJIAPAN, CHIS
33	2010-07-28	02:22:01	32.22	-115.35	17	4.1	25 km al SUROESTE de GPE VICTORIA(KM.43), BC
34	2010-08-05	04:20:52	18.69	-101.23	16	4.5	36 km al OESTE de HUETAMO, MICH
35	2010-08-16	03:38:52	17.32	-100.93	16	4.0	34 km al NOROESTE de TECPAN, GRO
36	2010-09-11	06:30:08	18.22	-98.36	16	3.8	27 km al SURESTE de CHIAUTLA DE TAPIA, PUE
37	2010-09-19	00:12:02	17.07	-99.86	15	3.3	23 km al NORTE de ACAPULCO, GRO
38	2010-10-03	05:32:00	16.97	-100.40	15	4.3	27 km al SUR de ATOYAC DE ALVAREZ, GRO
39	2010-10-03	08:44:58	17.50	-94.68	137	4.1	52 km al SUR de JALTIPAN DEMORELOS, VER
40	2010-11-21	08:03:22	20.47	-105.28	45	3.5	17 km al SUROESTE de PUERTO VALLARTA, JAL
41	2010-11-24	23:40:02	16.95	-98.82	8	3.8	54 km al NOROESTE de OMETEPEC, GRO
42	2011-01-09	05:55:01	15.10	-92.11	6	2.9	14 km al NORESTE de CACAHOATAN, CHIS
43	2011-01-10	23:20:33	16.66	-94.01	115	3.9	31 km al OESTE de CINTALAPA, CHIS
44	2011-02-01	00:28:47	16.13	-96.08	44	4.4	41 km al NORTE de CRUCECITA, OAX
45	2011-04-07	08:11:22	17.20	-94.34	167	6.7	83 km al SUROESTE de LAS CHOAPAS, VER
46	2011-04-26	06:07:28	16.71	-99.69	7	5.5	29 km al SURESTE de ACAPULCO, GRO
47	2011-05-05	08:24:07	16.61	-98.91	11	5.5	55 km al OESTE de OMETEPEC, GRO
48	2013-03-16	04:25:23	16.67	-98.65	22	4.6	26 km al OESTE de OMETEPEC, GRO
49	2013-03-26	07:04:45	15.78	-98.61	10	5.4	86 km al SUROESTE de PINOTEPA NACIONAL, OAX
50	2013-03-26	07:12:17	15.94	-98.45	10	5.0	62 km al SUROESTE de PINOTEPA NACIONAL, OAX
51	2013-03-26	07:25:58	15.86	-98.27	10	4.7	58 km al SUROESTE de PINOTEPA NACIONAL, OAX
52	2013-04-11	22:45:09	17.78	-101.58	35	5.2	15 km al NORTE de ZIHUATANEJO, GRO
53	2013-04-21	20:16:34	17.87	-102.19	10	5.8	10 km al SUR de CD LAZARO CARDENAS, MICH
54	2013-06-16	00:19:03	18.04	-99.25	60	5.8	30 km al SURESTE de CD DE HUITZUCO, GRO
55	2014-04-18	09:27:23	17.18	-101.19	10	7.2	40 km al SUR de PETATLAN, GRO
56	2014-05-08	12:00:16	17.11	-100.87	17	6.4	28 km al SUROESTE de TECPAN, GRO
57	2014-05-10	02:36:01	17.06	-100.95	12	6.1	38 km al SUROESTE de TECPAN, GRO
58	2014-05-11	12:06:30	17.36	-101.48	5	4.1	29 km al SUROESTE de PETATLAN, GRO
59	2014-05-24	03:24:45	16.21	-98.42	18	5.7	42 km al SUROESTE de PINOTEPA NACIONAL, OAX
60	2014-07-07	06:23:58	14.75	-92.63	60	6.9	47 km al SUROESTE de TAPACHULA, CHIS

3.2 Análisis de leyes de atenuación

Las leyes de atenuación son fórmulas empíricas que se adoptan a la región en estudio, las cuales se obtienen ajustando curvas a los datos de movimientos sísmicos ocurridos en distintos lugares regionales, los cuales son de carácter particular para una región determinada, mediante el análisis de regresión de múltiples variables a partir de datos sísmicos obtenidos a lo largo del tiempo. (Bozorgnia y Bertero, 2004)

La relación del movimiento del terreno, en su forma más básica, puede describirse por una ecuación matemática de la forma (Bozorgnia y Bertero, 2004):

$$\ln Y = C_1 + C_2 M_W - C_3 \ln R - C_4 R + \varepsilon \quad (3.2)$$

Su equivalente en forma exponencial (García, 2007):

$$Y = D_1 D_2^{M_W} R^{C_3} e^{C_4 R} \quad (3.3)$$

donde, Y es el movimiento del terreno, por ejemplo aceleración máxima del terreno o el valor de la ordenada del espectro de aceleraciones, M_W es la magnitud del sismo, R es la distancia al epicentro o un término que involucre la distancia y ε es el término de error variable con un valor de cero y una desviación estándar de $\sigma_{\ln Y}$. El término $C_2 M_W$ y $D_2^{M_W}$ representa el aumento del movimiento fuerte con la magnitud. El término $C_3 \ln R$ y R^{C_3} es la atenuación geométrica de la onda sísmica. El parámetro C_3 varía con la distancia dependiendo del tipo de onda sísmica, como puede ser de cuerpo, superficial y el efecto de la forma de falla. El término $C_4 R$ consiste en la atenuación anelástica de las ondas sísmicas causadas por el amortiguamiento del material y su medio de propagación. En la práctica, las relaciones de movimiento son más complejas que las ecuaciones 3.2 y 3.3. Esta complejidad se debe a considerar los efectos de fuente cercana, mecanismo de falla, efectos de sitio, directividad de la fuente y patrón de radiación, estado de esfuerzos, régimen tectónico, entre otros (Bozorgnia y Bertero, 2004). Como se muestra en la ecuación 3.4.

$$\ln Y(M, R, F) = C_1 + C_2 M + C_3 M^2 + C_4 \ln(R + C_5) + C_6 F \quad (3.4)$$

donde, Y es el parámetro del movimiento del terreno, M es la magnitud, R es la distancia medida y F es la variable que considera el tipo de falla (normal, inversa o de fricción).

Algunos modelos de atenuación utilizan la combinación de los modelos con formas constantes de atenuación para magnitudes moderadas ($M < 6.5$) y saturación del movimiento del terreno para magnitudes grandes a distancias cortas o magnitudes moderadas con larga duración.

Las dos formas algebraicas apropiadas se muestran en las ecuaciones 3.5 y 3.6; sustituyendo C_5 en la ecuación 3.5 con un término dependiente de la magnitud, $f_1(M)$; o sustituyendo la pendiente de la distancia, C_4 , en la ecuación 3.6 con una pendiente en función de la magnitud, $f_2(M)$, se obtiene:

$$\ln Y(M, R, F) = C_1 + C_2M + C_3M^2 + C_4 \ln[R + f_1(M)] + C_6F_1 \quad (3.5)$$

$$\ln Y(M, R, F) = C_1 + C_2M + C_3M^2 + [C_4 + f_2(M)] \ln(R + C_5) + C_6F_2 \quad (3.6)$$

Una función comúnmente adoptada de $f_1(M)$ es:

$$f_1(M) = C_7e^{C_8M} \quad (3.7)$$

Si $C_3 = 0$ (que es común para altas frecuencias) y $C_8 = -C_2/C_4$, entonces el movimiento del terreno a una distancia cero es independiente a la magnitud y el modelo tiene una saturación de magnitud completa. Si $C_8 > -C_2/C_4$, entonces el modelo está sobresaturado. En este caso, para distancias cortas, la mediana del movimiento del terreno se reduce conforme aumenta la magnitud. Para la forma funcional de $f_2(M)$, ecuación 3.6, el modelo tiene completa saturación si $C_8 = -C_2/\ln C_5$. Si $C_8 < -C_2/\ln C_5$, entonces el modelo está sobresaturado. (Bozorgnia y Bertero, 2004).

Parametrización

Distancia de la fuente a la estación

El parámetro de distancia de la fuente a la estación se utiliza para caracterizar la disminución del movimiento del suelo en términos de la atenuación anelástica y geométrica, así como la propagación desde el foco. La distancia se puede clasificar en dos tipos generales

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

donde considera el sismo como un punto fuente o una fuente finita. La distancia del punto fuente considera la distancia epicentral, r_{epi} y la hipocentral, r_{hipo} ; esta última se calcula con la ecuación 3.8:

$$r_{hipo} = \sqrt{r_{epi}^2 + h_{hipo}^2} \quad (3.8)$$

donde, h_{hipo} es la profundidad del foco del terremoto.

Hablando generalmente de r_{epi} y r_{hipo} , se dice que no son medidas eficientes para sismos con extensas áreas de ruptura.

Para una fuente finita las tres medidas de distancia utilizadas en las relaciones de movimiento son la distancia horizontal más cercana a la proyección vertical del plano de ruptura de la falla, r_{jb} , la distancia más cercana al plano de ruptura de la falla, r_{rup} , y la distancia más cercana a la parte sismogénica del plano de ruptura de la falla, r_{sis} . La definición de r_{sis} asume que la falla de ruptura entre los sedimentos de campo cercano o la falla de cuña superficial no es sismogénica ni de interés para la ingeniería. Estas medidas de distancia se encuentran definidas esquemáticamente en la figura 12.

Mecanismo de falla

El mecanismo de falla, o tipo de falla, de un sismo caracteriza la dirección del desplazamiento de un plano de falla. El tipo de falla ha sido clasificado, comúnmente, en tres categorías definidas como de fricción, inversa y normal. El ángulo entre la dirección de deslizamiento en el plano de falla y la orientación de la falla en la superficie de la Tierra puede asumir las categorías siguientes: 0° para una falla de fricción lateral izquierda, 180° para una falla de fricción lateral derecha, 90° para una falla inversa y 270° para una falla normal. (Lay y Wallace, 1995).

Caída de esfuerzos

La caída de tensión, o mejor llamado dinámica de caída de esfuerzos Brune (Brune 1970, 1971), es uno de los parámetros de control de la amplitud de alta frecuencia del movimiento del terreno. Está relacionado con la caída de esfuerzos que son liberados al

principio de la ruptura durante un terremoto. Este parámetro es uno de los incluidos en el cálculo del movimiento utilizando métodos estocásticos.

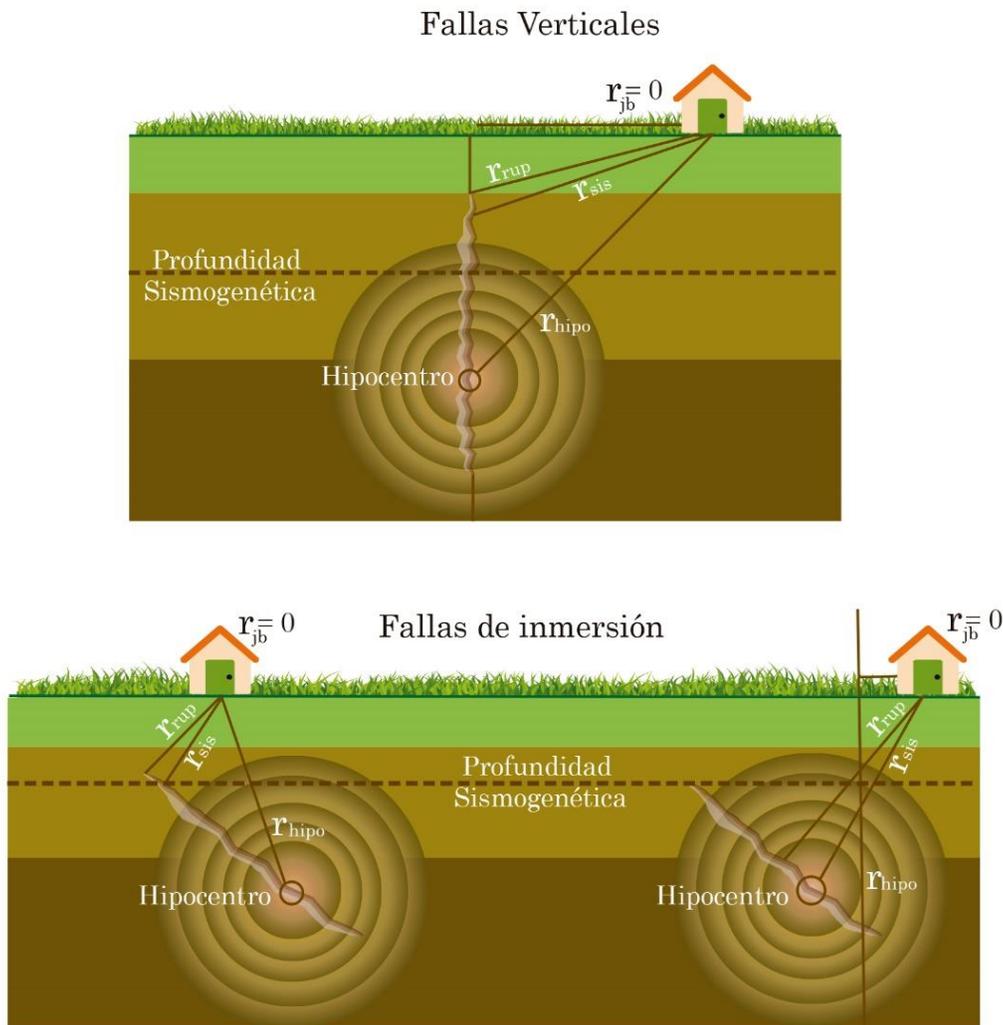


Figura 12. Distancia para fallas de inmersión y verticales

Régimen tectónico

El régimen tectónico se refiere al estado de esfuerzos y las propiedades sismológicas de la corteza. Tiene un impacto significativo en la amplitud y atenuación del movimiento fuerte del suelo. Ha sido clasificado en cuatro tipos con la finalidad de estimar el movimiento: (1) terremotos corticales en una zona tectónicamente activa, (2) terremotos corticales en una región sismológicamente estable, (3) sismos de profundidad intermedia (también conocidos como Wadati-Benioff o eventos intraplaca) dentro de la placa de la corteza en la parte baja

donde se presenta la zona de subducción y (4) terremotos a lo largo de la interfaz sismogénica de las placas de la corteza en la zona de subducción.

3.3 Leyes de atenuación para el cálculo del peligro sísmico

Como se ha comentado, existen diferentes tipos de leyes de atenuación, para efectos de esta investigación son de interés aquellas que estimen la aceleración máxima del terreno, se omite el término que considera los efectos de sitio, con la finalidad de que la aceleración máxima sea la que se presente en roca, la cual se denomina aceleración en roca. Las expresiones que permiten realizar este cálculo se clasifican en ecuaciones para la aceleración máxima del suelo (PGA) y de ordenada espectral.

Aceleración máxima del suelo (PGA)

Varios investigadores han desarrollado distintas expresiones de atenuación, siendo las propuestas por Esteva y Villaverde (1973) las primeras ecuaciones adaptadas a la sismicidad de la República Mexicana, mientras que las últimas propuestas fueron realizadas por Singh (1987), Ordaz y Singh (1992) y García (2007).

En el trabajo de Martínez (2012) se concluye que la expresión deducida por Ordaz y Singh (1992) ofrece una buena aproximación con respecto a los registros sísmicos de la estación FES-A, por lo que se considera una buena alternativa para la evaluación de la aceleración máxima del suelo ante el rango de magnitudes comprendido entre 5.5 y 8.1, y distancias epicentrales de 280 a 470 km.

$$\log PGA = 1.76 + 0.3M - \log R - 0.0031R [gals] \quad (3.10)$$

Tomando en cuenta la ley de atenuación propuesta por Ordaz y Singh (1992) (ecuación 3.10) considerando la máxima magnitud registrada ($M = 6.7$), al igual que las aceleraciones de los registros correspondientes a la base de datos de la estación para las componentes norte-sur (figura 13) y este-oeste. Se aprecia que dicha ley se ajusta al comportamiento mostrado por las aceleraciones máximas para la componente norte-sur en el rango establecido (entre 280 y 470km), sin embargo, cabe resaltar que para la componente este-oeste las aceleraciones cercanas a los 280 km son subestimadas y la desviación que presenta es mayor a la esperada.

Con la ecuación propuesta por Ordaz y Singh (1992) las aceleraciones máximas del terreno firme en el municipio de Naucalpan se aproximan a los valores de aceleración de los eventos sísmicos registrados, por lo que servirá de base para trasladar la sismicidad regional de la zona de subducción al municipio de Naucalpan, al evaluar la intensidad sísmica esperada en dicho municipio por la actividad que se presenta en la costa del Pacífico.

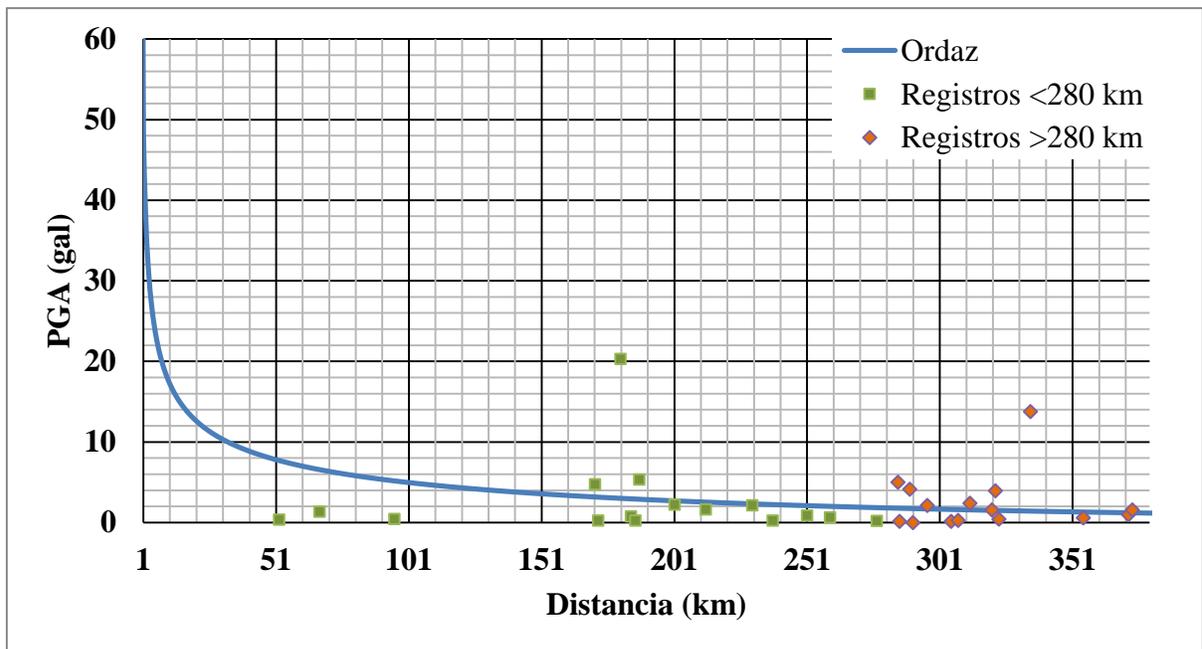


Figura 13.- Aceleración máxima aplicando la ley de atenuación de aceleración propuesta por Ordaz y Singh (1992).

Ordenada espectral

El desarrollo de las leyes de atenuación espectrales comenzó en la década de los años setenta en Estados Unidos con estudios hechos por McGuire (1974) y Trifunac y Anderson (1978) (Rivera *et. al.*, 2011). Este tipo de leyes de atenuación permite estimar movimientos máximos del terreno, así como las aceleraciones máximas esperadas a un oscilador de un grado de libertad para distintos periodos de vibración de la estructura, para ello se tiene una serie de coeficientes, obtenidos a través de una regresión, para cada periodo considerado y tomando en cuenta la forma del espectro de respuesta. (Rivera *et. al.*, 2011)

En este trabajo se revisaron distintas propuestas de leyes de atenuación de ordenada espectral, tales como: Youngs *et. al.* (1997) y García (2007) las cuales fueron comparadas con el espectro de respuesta calculado con el registro medido a efecto de evaluar su bondad.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

Youngs et. al (1997)

Una de las leyes de atenuación más aceptadas y de uso común para la estimación de aceleraciones, es la publicada por Youngs *et. al.* en 1997. Esta ley de atenuación permite calcular la aceleración máxima del terreno y la aceleración del espectro de respuesta, ordenada espectral, para sismos que ocurren en la zona de subducción.

La expresión propuesta para el cálculo de aceleraciones en las componentes horizontales en roca y su desviación estándar se definen a continuación:

$$\log Y = 0.2418 + 1.414M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \ln(r_{rup} + 1.781e^{0.554M}) + 0.00607H + 0.3846Z_T \quad (3.11)$$

$$\sigma = C_4 + C_5M \quad (3.12)$$

donde, Y es la aceleración espectral como fracción de g ; M es la magnitud de momento sísmico; R_{rup} es la distancia entre el epicentro y el sitio de interés; H es la profundidad del sismo, estas dos últimas medidas en km; Z_T es el tipo de fuente cuyo valor es 0 para interface y 1 para intraplaca. C_i son los coeficientes en función del periodo propuestos por Youngs *et. al.* (1997), los cuales se muestran en la tabla 8.

Tabla 8 Coeficientes propuestos por Youngs *et. al.* (1997)

Periodos	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅
PGA	0	0	-2.552	1.45	-0.1
0.08	1.275	0	-2.707	1.45	-0.1
0.10	1.188	-0.0011	-2.655	1.45	-0.1
0.20	0.722	-0.0027	-2.528	1.45	-0.1
0.30	0.246	-0.0036	-2.454	1.45	-0.1
0.40	-0.115	-0.0043	-2.401	1.45	-0.1
0.50	-0.4	-0.0048	-2.3600	1.45	-0.1
0.75	-1.149	-0.0057	-2.286	1.45	-0.1
1.00	-1.736	-0.0064	-2.234	1.45	-0.1
1.50	-2.634	-0.0073	-2.16	1.5	-0.1
2.00	-3.328	-0.008	-2.107	1.55	-0.1
3.00	-4.511	-0.0089	-2.033	1.65	-0.1

En la figura 14 se ilustra la comparación de la respuesta medida de un evento producido en la zona de subducción, 18-IV-2014, M=7.2, profundidad de 10 km con epicentro a 40 km

al sur de Petatlán, Guerrero teniendo una distancia del origen a la estación FES-A de 335.36 km.

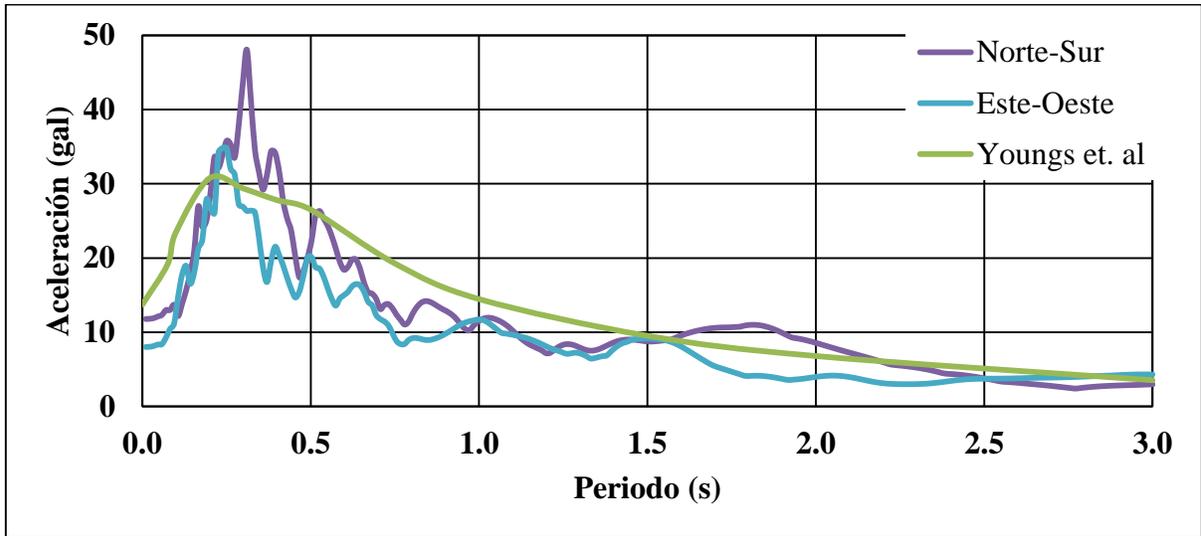


Figura 14. Ley de atenuación de ordenada espectral (Youngs *et. al.* 1997) y espectros de respuesta del evento del 18-IV-2014.

Se puede observar que la expresión propuesta por Youngs *et. al.* (1997) tiene valores aproximados de aceleración con respecto al periodo, validando su uso para la estimación de valores de aceleración para eventos ocurridos en la zona de subducción.

García (2007)

En este trabajo se desarrollaron ecuaciones para predecir la aceleración del espectro de respuesta, que puede estimar la aceleración máxima del terreno y la velocidad máxima del terreno en roca para sismos de profundidad intermedia y falla normal, eventos característicos en la región del cinturón volcánico transversal mexicano. Estas expresiones son determinadas para la parte central de México.

$$\log Y = C_1 + C_2 M_w + C_3 R - C_4 \log R + C_5 H + \sigma \quad (3.13)$$

$$\Delta = 0.00750 * 10^{0.507 M_w} \quad (3.14)$$

$$R = \sqrt{R_{cld}^2 + \Delta^2} \quad (3.15)$$

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

donde, Y es la aceleración espectral como fracción de g . M es la magnitud de momento sísmico; R es la distancia entre el epicentro y el sitio de interés; H es la profundidad del foco, medidas en km; R_{cld} es la distancia más cercana a la superficie de falla para eventos grandes $M_W > 6.5$ o la distancia epicentral para el resto, medida en km; C_i son los coeficientes en función de la frecuencia propuestos por García (2007), tablas 9 y 10; Δ es el efecto de saturación de campo cercano, definido analíticamente por Atkinson y Boore (2003) de consideraciones geométricas básicas; σ es la desviación estándar de residuos.

Para los eventos de tipo intraplaca se realiza la comparación para las componentes ortogonales horizontales, como se muestra en la figura 15, para el sismo del 09-XII-2008, $M=4.6$, su origen fue a 34 km al sureste de Chiautla de Tapia, Pue. con una profundidad de 80 km y una distancia de 201.23 km a la estación FES-A.

Tabla 9. Coeficientes propuestos por García (2007) para la componente horizontal

Frecuencia	Periodo	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	σ^*	σ_r	σ_e
0.20	5.00	-4.3	0.97	-0.0007	1	0.001	0.25	0.22	0.12
0.25	4.00	-3.9	0.94	-0.0008	1	0.0009	0.25	0.22	0.12
0.33	3.03	-3.3	0.89	-0.0009	1	0.0009	0.26	0.22	0.14
0.50	2.00	-2.7	0.85	-0.0012	1	0.001	0.26	0.24	0.1
0.67	1.49	-2.3	0.81	-0.0014	1	0.002	0.28	0.26	0.1
1.00	1.00	-1.7	0.75	-0.0017	1	0.003	0.28	0.26	0.09
1.33	0.75	-1.3	0.71	-0.0020	1	0.004	0.27	0.26	0.09
2.00	0.50	-0.8	0.67	-0.0024	1	0.004	0.26	0.24	0.11
2.50	0.40	-0.6	0.64	-0.0028	1	0.005	0.27	0.24	0.13
3.33	0.30	-0.3	0.63	-0.0033	1	0.005	0.28	0.23	0.16
5.00	0.20	0.05	0.59	-0.0037	1	0.007	0.28	0.24	0.14
10.00	0.10	0.4	0.55	-0.0041	1	0.008	0.33	0.32	0.1
13.33	0.08	0.2	0.57	-0.0043	1	0.008	0.34	0.32	0.1
20.00	0.05	0.1	0.58	-0.0043	1	0.008	0.34	0.32	0.09
25.00	0.04	0.03	0.59	-0.0043	1	0.007	0.32	0.31	0.08
PGA	PGA	-0.2	0.59	-0.0039	1	0.008	0.28	0.27	0.1
PGV	PGV	-2.4	0.71	-0.0023	1	0.004	0.26	0.24	0.09

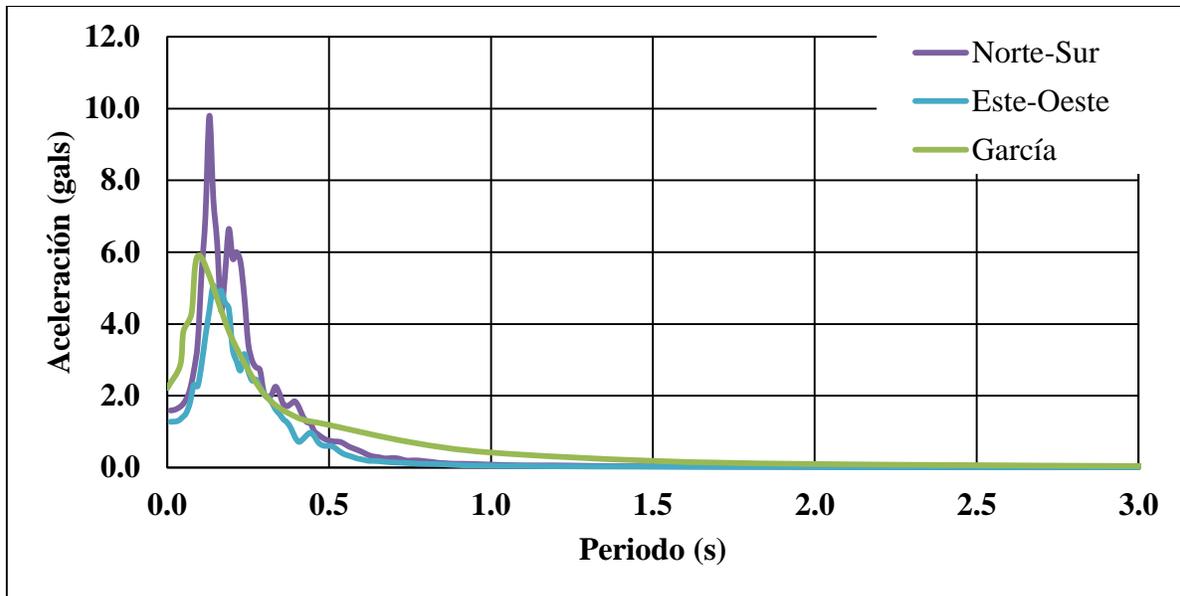


Figura 15.- Ley de atenuación de ordenada espectral (García 2007) y espectros de respuesta del evento del 09-XII-2008.

Tabla 10. Coeficientes propuestos por García (2007) para la componente vertical

Frecuencia	Periodo	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	σ^*	σ_r	σ_e
0.20	5.00	-4.4	0.98	-0.0003	1	-0.0002	0.26	0.22	0.14
0.25	4.00	-4	0.95	-0.0004	1	-0.0003	0.27	0.23	0.15
0.33	3.03	-3.3	0.88	-0.0005	1	-0.0004	0.28	0.23	0.17
0.50	2.00	-2.8	0.83	-0.0006	1	-0.0005	0.27	0.24	0.14
0.67	1.49	-2.4	0.8	-0.0008	1	0.0004	0.26	0.23	0.12
1.00	1.00	-1.8	0.75	-0.001	1	0.001	0.27	0.24	0.12
1.33	0.75	-1.3	0.69	-0.0014	1	0.002	0.25	0.22	0.11
2.00	0.50	-0.9	0.66	-0.0018	1	0.002	0.26	0.23	0.11
2.50	0.40	-0.7	0.64	-0.0022	1	0.003	0.26	0.23	0.13
3.33	0.30	-0.2	0.6	-0.0029	1	0.003	0.26	0.22	0.15
5.00	0.20	-0.07	0.59	-0.0033	1	0.004	0.26	0.22	0.14
10.00	0.10	-0.04	0.59	-0.0039	1	0.007	0.31	0.29	0.11
13.33	0.08	-0.06	0.6	-0.0041	1	0.007	0.32	0.31	0.09
20.00	0.05	-0.2	0.62	-0.0043	1	0.007	0.32	0.31	0.08
25.00	0.04	-0.3	0.62	-0.0041	1	0.006	0.31	0.3	0.07
PGA	PGA	-0.4	0.6	-0.0036	1	0.006	0.27	0.25	0.11
PGV	PGV	-2.4	0.7	-0.0018	1	0.002	0.24	0.21	0.11

Por último se tienen los eventos superficiales, sismos cuya profundidad es menor a los 20 km dentro de la placa norteamericana, para ello se muestra en la figura 16 el sismo del

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

3-VIII-2009, $M=3.4$, epicentro a 12 *km* al este de Tlaxoapan, Hgo., profundidad de 5 *km* y 67.48 *km* de distancia a la estación FES-A comparado con la ley de atenuación propuesta por García (2007).

Por lo tanto, para estimar valores de aceleración de eventos tipo superficial se realizará por medio de la ecuación propuesta por García (2007) puesto que el valor calculado para suelo firme o roca es aproximado al registrado.

Con este análisis, para los dos tipos de leyes de atenuación, se concluye que las zonas sísmicas cercanas al municipio, menores a 280 *km*, generan eventos sísmicos que causan mayor efecto en el municipio de Naucalpan, ya que las máximas aceleraciones registradas corresponden a estas zonas y cuentan con un mayor contenido de frecuencias. Se acepta la ecuación propuesta por Youngs *et. al.* para la zona de subducción (1997) y García (2007) para los sismos de superficiales y de profundidad intermedia.

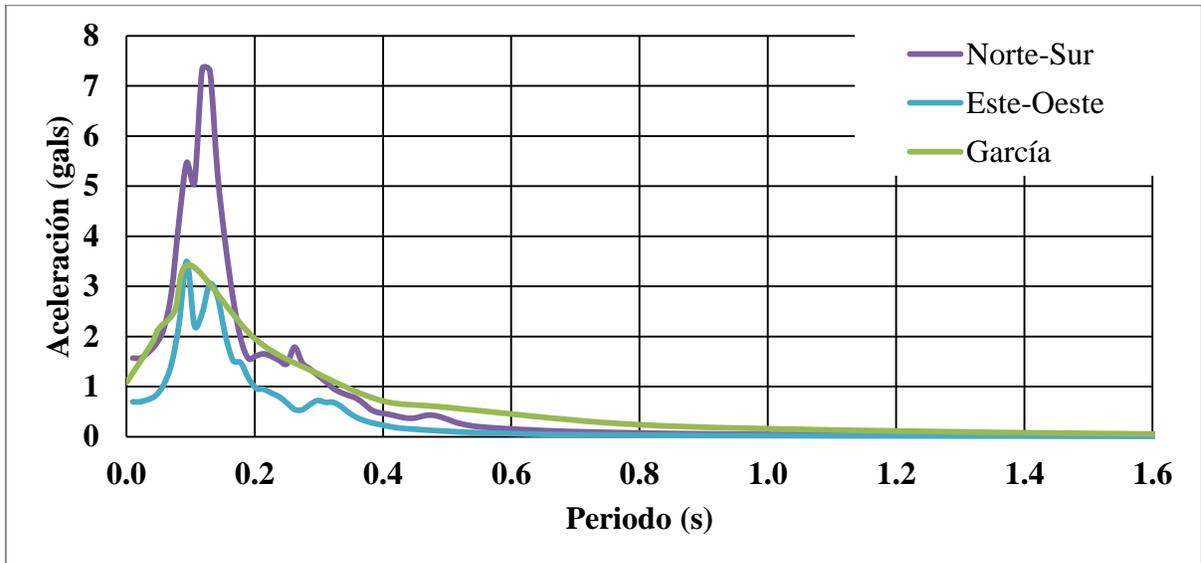


Figura 16.- Ley de atenuación de ordenada espectral (García 2007) y espectros de respuesta del evento del 2009-08-03.

4 EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

El peligro sísmico puede definirse como la probabilidad que se presente un evento de cierta intensidad, tal que pueda ocasionar daños en un sitio dado. (CENAPRED, 2001)

Con el tiempo han evolucionado los métodos de evaluación del peligro sísmico, desde los primeros trabajos presentados por Gorshkov (1941) y Richter (1959), pasando de ser una especificación elemental de la diferencia entre zonas con distinta actividad sísmica a calcular el nivel de intensidad de movimiento del suelo esperado en un lugar dado durante un periodo de tiempo determinado. (Muñoz, 1989).

Antes de comenzar con la evaluación del peligro sísmico se introducirán los conceptos básicos de probabilidad para modelar la ocurrencia de sismos, así como para el cálculo de tasas de excedencia de intensidad sísmica.

4.1 Conceptos básicos

La naturaleza de los terremotos no es de tipo determinístico, por lo que el problema debe tratarse mediante modelos probabilísticos. En este sentido, no es posible decir con certeza cuándo ocurrirá un temblor, pero si es posible establecer que tan probable es que ocurra. El tiempo de ocurrencia de los sismos de diferentes características originadas en una determinada fuente puede expresarse mediante un proceso estocástico con el tiempo de ocurrencia de ciertos eventos (Ruíz, 2000).

En la teoría de la probabilidad y estadística, la distribución de probabilidad de una variable aleatoria es una función que asigna a cada evento definido sobre la variable aleatoria la probabilidad de que dicho evento ocurra. La distribución de probabilidad está definida por la función de distribución, cuyo valor en cada x real es la probabilidad de que la variable aleatoria sea menor o igual que x . (Devore, 2012)

A continuación se describirán las principales funciones de distribución que suelen ser de utilidad para los estudios de peligro sísmico.

Distribución normal

Se dice que una variable aleatoria continua X tiene una distribución normal con parámetros μ y σ (o μ y σ^2), donde $-\infty < \mu < \infty$ y $0 < \sigma$, si la función de densidad de probabilidad de X es:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad -\infty < x < \infty \quad (4.1)$$

donde, e denota la base del sistema de logaritmos naturales y es aproximadamente igual a 2.71828 y π representa la constante matemática con un valor aproximado de 3.14159 y los parámetros μ y σ son la media y la desviación estándar, respectivamente.

Además, aun cuando las variables individuales no estén normalmente distribuidas, las sumas y promedios de éstas en condiciones adecuadas tendrán de manera aproximada una distribución normal.

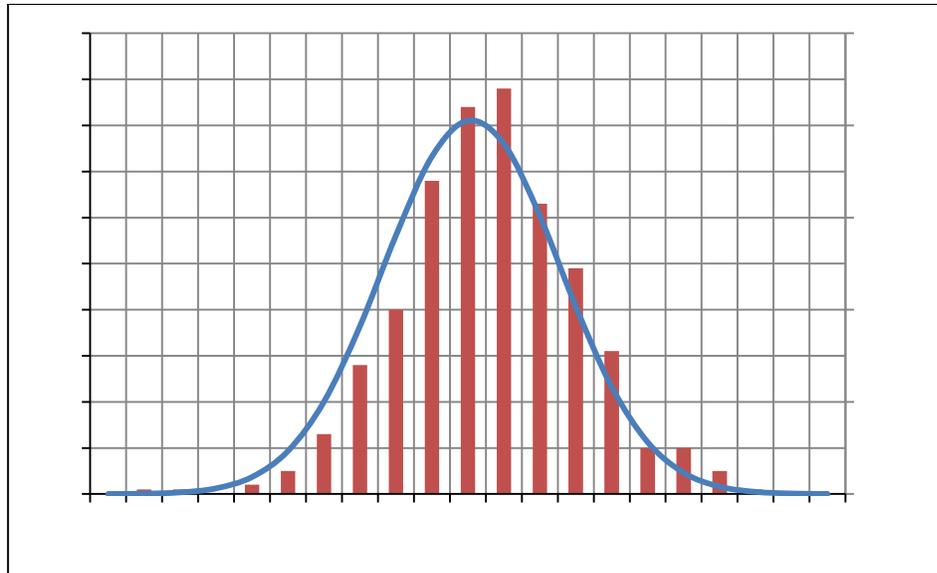


Figura 17. Forma gráfica de la distribución normal estándar

La gráfica de $f(x; \mu, \sigma)$ representa una curva para distintos valores de μ y σ , donde cada curva de densidad es simétrica con respecto a μ y acampanada, figura 17, de modo que el centro de la campana (centro de simetría) es tanto la media de la distribución como la mediana. El valor de σ es la distancia desde μ hasta los puntos de inflexión de la curva. Los grandes valores de σ producen gráficas que están bastante extendidas entorno a μ , en tanto que los valores pequeños de σ dan gráficas con una alta cresta sobre μ y la mayor parte del área bajo la gráfica se encuentra cerca de μ .

Distribución normal estándar

El cálculo de $P(a \leq X \leq b)$ cuando X es una variable aleatoria normal con parámetros μ y σ , requiere determinar:

$$\int_a^b \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (4.2)$$

Ninguna de las técnicas estándar de integración puede ser utilizada para resolver esta expresión. En cambio, con $\mu = 0$ y $\sigma = 1$, se calculó la ecuación 4.2 por medio de métodos numéricos y se tabuló para ciertos valores de a y b . Esta tabla también puede ser utilizada para calcular probabilidades con cualesquiera otros valores de μ y σ . (Devore J., 2012)

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

Una variable aleatoria que tiene una distribución normal estándar se llama variable aleatoria normal estándar y se denotará por Z . La función de densidad de probabilidad de Z es:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{z^2}{2}}, \quad -\infty < z < \infty \quad (4.3)$$

La representación gráfica de $f(z; 0,1)$ se llama curva normal estándar. Sus puntos de inflexión están en 1 y -1. La función de distribución de Z es $P(Z \leq z) = \int_{-\infty}^z f(y; 0,1)dy$ la cual será denotada por $\Phi(z)$.

Distribución exponencial

Para eventos aleatorios que siguen una distribución de Poisson en el tiempo, donde los intervalos de recurrencia $(t_2 - t_1, t_3 - t_2, t_4 - t_3, \dots)$ entre eventos sucesivos son independientes y exponencialmente distribuidos como variables aleatorias.

La distribución exponencial se utiliza con frecuencia como modelo de la distribución de tiempos entre ocurrencia de eventos sucesivos. La razón de esto es que la distribución exponencial está estrechamente relacionada con el proceso de Poisson.

El número de eventos que ocurren en cualquier intervalo de tiempo de duración t tiene una distribución de Poisson con parámetro αt (donde, α es la tasa del proceso de eventos, lo que significa que es el número esperado de eventos que ocurren en una unidad de tiempo) y que los números de ocurrencias en intervalos no traslapados son independientes uno de otro. Entonces la distribución del tiempo transcurrido entre la ocurrencia de dos eventos sucesivos es exponencial con parámetro $\lambda = \alpha$. (Devore., 2012)

La probabilidad de que al menos un evento exceda una magnitud particular en un periodo de t años $P(X_1 \leq t)$ se encuentra definida por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} P(X_1 \leq t) &= 1 - P(X_1 > t) = 1 - P[\text{ningún evento en } (0, t)] \\ &= 1 - \frac{e^{-\alpha t} \cdot (\alpha t)^0}{0!} = 1 - e^{-\lambda t} \end{aligned} \quad (4.4)$$

La cual es exactamente la función de distribución acumulativa de la distribución exponencial, donde λ es la razón promedio de ocurrencia del sismo de una magnitud considerada. Cornell y Winterstein (1986) demuestran que el modelo de Poisson no debe ser utilizado cuando el peligro sísmico se encuentra definido por una sola fuente para el cual el periodo de retorno es mayor al periodo de retorno promedio.

Distribución lognormal

En términos de probabilidad se dice que una variable aleatoria no negativa X tiene una distribución lognormal si la variable aleatoria $Y = \ln(X)$ tiene una distribución normal. La función de densidad de probabilidad resultante de una variable aleatoria lognormal cuando el $\ln(X)$ está normalmente distribuido con parámetros μ y σ es:

$$f(x; \mu, \sigma) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-\frac{[\ln(x)-\mu]^2}{2\sigma^2}}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (4.5)$$

donde, los parámetros μ y σ no son la media y la desviación estándar de X sino de $\ln(X)$.

Como el $\ln(X)$ tiene una distribución normal, la función de distribución acumulativa de X puede ser expresada en términos de la función de distribución acumulativa $\Phi(z)$ de una variable aleatoria normal estándar, dado por:

$$\begin{aligned} F(x; \mu, \sigma) &= P(X \leq x) = P[\ln(X) \leq \ln(x)] = P\left(Z \leq \frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right) \\ &= \Phi\left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right), |x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.6)$$

La distribución del tamaño de los sismos en un periodo de tiempo dado se describe por una ley de recurrencia.

Relaciones de recurrencia

Las relaciones de recurrencia son una componente crucial para el cálculo del peligro sísmico. Éstas permiten definir la distribución relativa de sismos pequeños y grandes e incorporar la sismicidad histórica en el análisis de peligrosidad.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

El proceso de ocurrencia de un sismo es comúnmente modelado como Poissoniano, aunque también se ha considerado como proceso no Poissoniano. En el primer caso, el tiempo de llegada entre dos temblores sucesivos se asume como una variable de distribución exponencial con un parámetro determinado por la tasa de ocurrencia sísmica, mientras que para el segundo, dicho tiempo entre eventos es usualmente considerado una variable del tipo lognormal, gama, o Gaussiana inversa (Rosenblueth y Jara, 1991).

Proceso de Poisson

El proceso de Poisson considera que los sismos ocurren aleatoriamente, sin tomar en cuenta el tiempo, tamaño o ubicación de ningún evento predecesor. Además, este modelo no toma en cuenta el tiempo de agrupación de los sismos y podría ser el más apropiado solo para extensas áreas que contengan varias fallas tectónicas. (Devore, 2012)

El proceso de Poisson hace la siguiente suposición sobre la forma en que los eventos ocurren:

1. Existe un parámetro $\lambda > 0$ tal que durante cualquier intervalo de tiempo corto Δt , la probabilidad de que ocurra exactamente un evento es $\lambda \cdot \Delta t + o(\Delta t)$.
2. La probabilidad de que ocurra más de un evento durante Δt es $o(\Delta t)$ [la que junto con la suposición 1, implica que la probabilidad de ningún evento durante Δt es $1 - \lambda \cdot \Delta t + o(\Delta t)$].
3. El número de eventos ocurridos durante este intervalo de tiempo Δt es independiente del número ocurrido antes de este intervalo de tiempo.

La suposición 1 dice que durante un corto intervalo de tiempo, la probabilidad de que ocurra un solo evento es aproximadamente proporcional a la duración del intervalo de tiempo, donde λ es la constante de proporcionalidad. Ahora sea $P_n(t)$ la probabilidad de que n eventos son observados durante cualquier intervalo de tiempo particular de duración t . Entonces:

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t} \cdot (\lambda t)^n}{n!} \quad (4.7)$$

De modo que el número de eventos durante un intervalo de tiempo de duración t es una variable aleatoria de Poisson con parámetro $\mu = \lambda t$. El número esperado de eventos durante cualquier intervalo de tiempo es entonces λt , así que el número esperado durante un intervalo de tiempo unitario es λ .

Proceso Gutenberg-Richter/Ishimoto-Ida

Esta relación de frecuencia-magnitud fue propuesta por Ishimoto-Ida en 1939 en Japón, así como por Gutenberg y Richter en 1954 en Estados Unidos y muestra la relación relativa de los tamaños de los terremotos, con base en datos de la sismicidad mundial. Este modelo asume una distribución exponencial y se utiliza comúnmente con modificación para tener en cuenta la magnitud mínima y máxima. La relación se encuentra definida por:

$$\log N(\geq M) = a - bM \quad (4.8)$$

La expresión 4.8 también se puede expresar de la siguiente forma, despejando el logaritmo base diez, se tiene:

$$N(\geq M) = 10^{(a-bM)} \quad (4.9)$$

donde, $N(\geq M)$ es el número acumulado de eventos en una región y ventana de tiempo con una magnitud igual o mayor a M , a y b son constantes positivas de la zona sísmica. N se encuentra asociada con un área dada y un periodo de tiempo. La constante a es una medida del nivel de sismicidad regional, es decir, el total de eventos esperados en la región (Kossobokov y Keilis, 2000), la cual, matemáticamente expresa el logaritmo del número de eventos con magnitudes mayor a cero. La constante b es la pendiente de la distribución y controla la proporción relativa del sismo mayor al menor y varía de acuerdo a la región pero se encuentra generalmente en el rango $0.8 < b < 1.2$ (Frohlich y Davis, 1993).

La distribución lineal de los sismos con respecto a la magnitud se considera como un proceso autosimilar, se dice esto cuando un proceso conserva las mismas características a cualquier escala, siendo los fractales una clase interesante de este tipo de procesos. Los objetos autosimilares con parámetros N y s son descritos por leyes de potencia, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$N = s^d \quad (4.10)$$

donde, d indica la dimensión de escalamiento, conocida como el exponente de Hausdorff y se expresa como:

$$d = \frac{\ln N}{\ln s} \quad (4.11)$$

Con esto se puede observar que la ecuación 4.10 y 4.11 son equivalentes. Por lo tanto la relación Gutenberg-Richter obedece una ley de potencias. Dicha ley nos indica que hay un incremento aproximado en múltiplos de 10 en el número de eventos conforme las magnitudes son menores.

4.2 Métodos de evaluación del peligro sísmico

Los métodos, probabilista y determinista, permiten calcular la probabilidad de ocurrencia de sismos, para una magnitud en un intervalo de tiempo determinado, así como el valor de aceleración máxima esperada en la región.

Método determinista

El método determinista se basa en la hipótesis de que la sismicidad futura de la región será igual a la del pasado. Al considerar zonas sismogénicas o estructuras geológicas a las que están asociados los sismos, se hace la suposición de que éstos pueden ocurrir en cualquier lugar de la zona. Además, los valores máximos de las características utilizadas para calcular el peligro sísmico, como aceleración y magnitud, se determinan a partir de los valores correspondientes en la historia de la región. Si no se consideran zonas sismogénicas, se estudian los efectos de cada terremoto de la región sobre el emplazamiento. (Muñoz, 1989)

López y Espinoza (1978) resaltan algunos inconvenientes de este método, el primero de ellos es la hipótesis de partida; en la cual se establece que la sismicidad futura será igual a la del pasado, ya que, el método consiste en datos históricos no garantiza que el máximo registro que se tenga sea el máximo futuro. Ambraseys (1983) cita casos en los que el límite estimado para algunas zonas ha sido superado por sismos recientes. Otro de los inconvenientes, es que en principio solo se obtiene, con este método, el valor máximo esperado de la variable que representa el movimiento del suelo (intensidad sísmica,

aceleración, etc.); esto supone aplicar el mismo nivel de riesgo a todas las estructuras, lo que no es común en la práctica de la ingeniería sísmica, es decir, este método en algunos casos resulta conservador y penaliza económicamente el diseño de algunas estructuras.

Método probabilista

Este método se basa en que conocida la sismicidad histórica, pueden establecerse leyes estadísticas que definan el comportamiento sísmico de una región. Requiere de datos referentes a las zonas sismogénicas, sismo máximo esperado en cada una de las zonas, su periodo de retorno y las relaciones de recurrencia de los sismos para una magnitud dada. (Muñoz, 1989)

El procedimiento general en estos métodos consiste en definir las fuentes sismogénicas, deducir las leyes estadísticas que rigen la sismicidad de cada zona o fuente, determinando los parámetros que la definen; se determina o define la función de atenuación del suelo y se calcula la probabilidad de superar cierto nivel de intensidad.

Al igual que el método determinista, este método presenta inconvenientes. Para deducir las leyes estadísticas de cada zona se cuenta con una longitud de muestra que viene dada por el catálogo de la zona, esto puede producir errores cuando se extrapolan los resultados para periodos de retorno mayores a los de la muestra. Las fuentes sismogénicas consideradas tienen que contar con un número suficiente de registros sísmicos que permitan su tratamiento estadístico, lo que condiciona, en algunos casos, el tamaño de la fuente.

Los valores de riesgo obtenidos por estos métodos se dan, comúnmente, en probabilidades anuales o en periodos de retorno, es decir, se obtiene la probabilidad anual o el periodo de retorno de un cierto nivel de intensidad de movimiento del suelo.

Menos confuso es utilizar la probabilidad de ocurrencia de un cierto nivel de intensidad en un intervalo de tiempo de $T_{\text{años}}$, la cual se obtiene en función de la probabilidad anual mediante la expresión:

$$P(T_{\text{Año}}) = 1 - e^{-\lambda(a)T} \quad (4.12)$$

4.3 Análisis de la sismicidad regional

El cálculo de la amenaza sísmica integra la modelación de la ocurrencia de un sismo, las fuentes sísmicas o zonas sismogénicas, las relaciones de magnitud recurrencia y las leyes de atenuación.

En el capítulo 2 se determinaron cinco fuentes generadoras de sismos que afectan al municipio de Naucalpan de Juárez. Estas fuentes fueron definidas por la tectónica del país y por la historia instrumental de acuerdo al trabajo desarrollado por Zúñiga *et. al* (1997) y con base al resultado obtenido del análisis desarrollado en el capítulo 3.

Para las fuentes sísmicas, mostradas en la figura 8, la función $\lambda(M)$ se calcula con la relación modificada de Gutenberg y Richter. En estos casos, la sismicidad regional queda descrita por la ecuación 4.13. La actividad de las fuentes sísmicas se especifica en términos de la tasa de excedencia de las magnitudes, o tasa de ocurrencia sísmica, $\lambda(M)$, que ahí se generan. La tasa de excedencia de magnitudes mide que tan frecuentemente se generan en una fuente sismos con magnitud a una dada.

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_U}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_U}}; \quad M_0 \leq M \leq M_U \quad (4.13)$$

donde, $\lambda(M)$ es una versión modificada de la relación Gutenberg-Richter, M es la magnitud, M_0 es la magnitud mínima relevante, M_U es el momento de magnitud máximo registrado, β y λ_0 son parámetros que definen la tasa de excedencia de cada una de las fuentes sísmicas.

Se ha observado que la distribución de magnitudes de los grandes temblores de subducción se aparta sensiblemente de la relación Gutenberg-Richter, por ello la tasa de excedencia para los grandes temblores se define con la ecuación 4.14. Este tipo de sismos se les conoce como característico.

$$\lambda(M) = \lambda(Mc) \left[1 - \Phi \left[\frac{\ln \tilde{M}a - \ln a}{\sigma_{\ln a}} \right] \right] \quad (4.14)$$

donde, $\lambda(Mc)$, $\tilde{M}a$, a y $\sigma_{\ln a}$ son parámetros que se obtienen estadísticamente para la zona sísmica en cuestión y Φ es la función de distribución normal estándar.

Cálculo de tasas de excedencia

Cada uno de los parámetros mencionados son diferentes para cada fuente, con ellos se define la tasa de excedencia para cada una de éstas. Los parámetros se estiman por medio de procedimientos estadísticos que incluyen información sobre cada una de las regiones sísmicas en estudio.

Es claro que para una misma tasa de excedencia, cada fuente generará sismos con distinta magnitud.

A continuación, se presenta el desarrollo del análisis para la fuente sísmica SUB2, el catálogo de sismos que se utilizó para esta fuente se puede consultar en el Anexo 1, cabe mencionar que los catálogos, para cada una de las fuentes, se establecieron con base a la información recopilada y discutida en el capítulo 2, donde el proceso se realizó por medio de programas de sistemas de información geográfica (SIG), con el cual conocidos los límites para cada fuente sismogénica y las características de los sismos como son profundidad y ubicación, se fueron asignando a cada fuente.

En lo que sigue, se muestra el procedimiento de cálculo de los parámetros que definen la tasa de excedencia para esta fuente sísmica.

$$\lambda_0 = \frac{N_E}{t} \quad (4.17)$$

donde, N_E es el número total de eventos registrados en la fuente sismogénica, de acuerdo al Anexo 1 se tienen 328 sismos, y t es la diferencia de fechas entre el primer evento del cual se tiene registro y el último sismo registrado en la zona, se calcula como:

$$t = \frac{F_U - F_0}{365} \quad (4.18)$$

donde, F_U es la fecha del último sismo en el catálogo y F_0 es la fecha del primer evento que forma parte del catálogo para cada fuente, con base a la información recopilada y mostrada en el Anexo 1, $F_U = 10/05/2014$ y $F_0 = 11/04/1966$, por lo tanto, resolviendo la ecuación 4.18 y sustituyendo en 4.17 los respectivos valores, se tiene que $\lambda_0 = 6.817$.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

El parámetro β se calcula con:

$$\beta = \frac{N}{\sum M - M_0} \quad (4.19)$$

donde, M es la magnitud registrada del sismo y M_0 corresponde a la magnitud mínima registrada del catálogo de sismos de la fuente, $M_0 = 4.5$. Del Anexo 1 se tiene que $\sum M - M_0 = 144.3$, por lo tanto, el parámetro β es igual a 2.273. Sustituyendo los parámetros en la ecuación 4.13 y haciendo variar M desde $M_0 = 4.5$ hasta $M_U = 8.1$ se obtienen los resultados de la tabla 11.

Tabla 11. Valores de tasa de excedencia de magnitudes de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente SUB2. Método determinista.

M	$\lambda(M)$	M	$\lambda(M)$	M	$\lambda(M)$	M	$\lambda(M)$
4.5	6.81738	5.5	0.70082	6.5	0.07082	7.5	0.00593
4.6	5.43095	5.6	0.55802	6.6	0.05611	7.6	0.00442
4.7	4.32641	5.7	0.44425	6.7	0.04440	7.7	0.00321
4.8	3.44645	5.8	0.35362	6.8	0.03506	7.8	0.00225
4.9	2.74540	5.9	0.28141	6.9	0.02762	7.9	0.00148
5.0	2.18690	6.0	0.22389	7.0	0.02170	8.0	0.00087
5.1	1.74194	6.1	0.17806	7.1	0.01698	8.1	0.00039
5.2	1.38746	6.2	0.14154	7.2	0.01322		
5.3	1.10505	6.3	0.11246	7.3	0.01022		
5.4	0.88006	6.4	0.08928	7.4	0.00783		

Al graficar los valores de la tabla 11, con escala logarítmica, se obtiene la gráfica mostrada en la figura 18.

4.4 Análisis de la sismicidad local

En este estudio, se consideró que el peligro sísmico está representado por la aceleración máxima del terreno firme, lo cual significa que no se están considerando efectos de sitio, y se encuentra denotada por Y . Las suposiciones para el cálculo incluyen que: la ocurrencia de un sismo en cada zona sísmica es uniformemente distribuida; se conocen las leyes de atenuación de cada fuente sísmica para predecir la aceleración máxima del terreno, capítulo 3, así como sus modelos probabilísticos asociados.

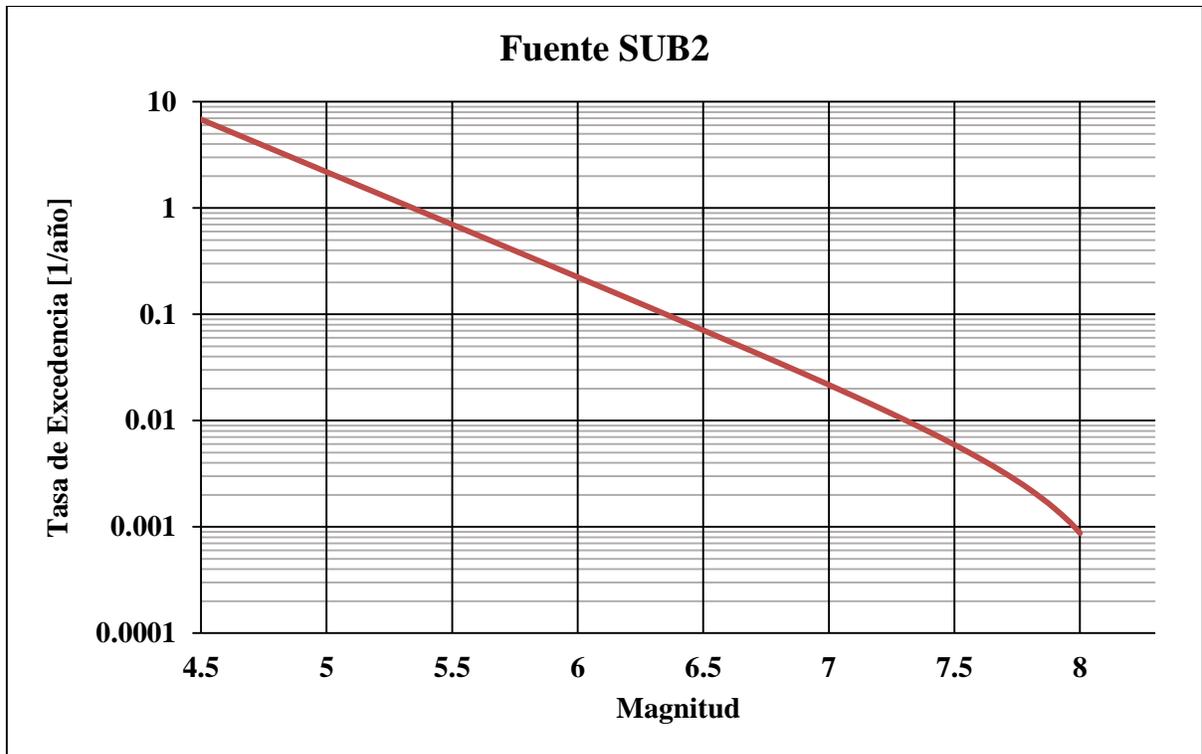


Figura 18. Tasa de excedencia de magnitudes de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente SUB2. Método determinista.

De acuerdo con el capítulo 3, para esta fuente sísmica es aplicable la ley de atenuación definida por Youngs *et. al.* (1997), la cual permite calcular la aceleración en roca en el municipio de Naucalpan debido a un sismo, dada una magnitud y una distancia esperadas; por ejemplo, para una distancia de 240 *km*, medida desde el epicentro al municipio, generado en la fuente SUB2, y con una magnitud de 6.5, aplicando la expresión de Youngs *et. al.*, se tiene una aceleración de 12.44 *gal*.

Aplicando este mismo procedimiento para distintas magnitudes desde $M_0 = 4.5$ hasta $M_U = 8.1$ y manteniendo una distancia constante del epicentro a la zona en estudio se pueden obtener distintas curvas como las que se aprecian en la figura 19.

Este tipo de figura permite deducir, de manera gráfica, la aceleración que se puede tener en la zona debido a un sismo en función a su magnitud y su distancia al epicentro; por ejemplo, para un evento con magnitud 6 y una distancia epicentral de 320 *km*, se espera una aceleración de 4 *gal*.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

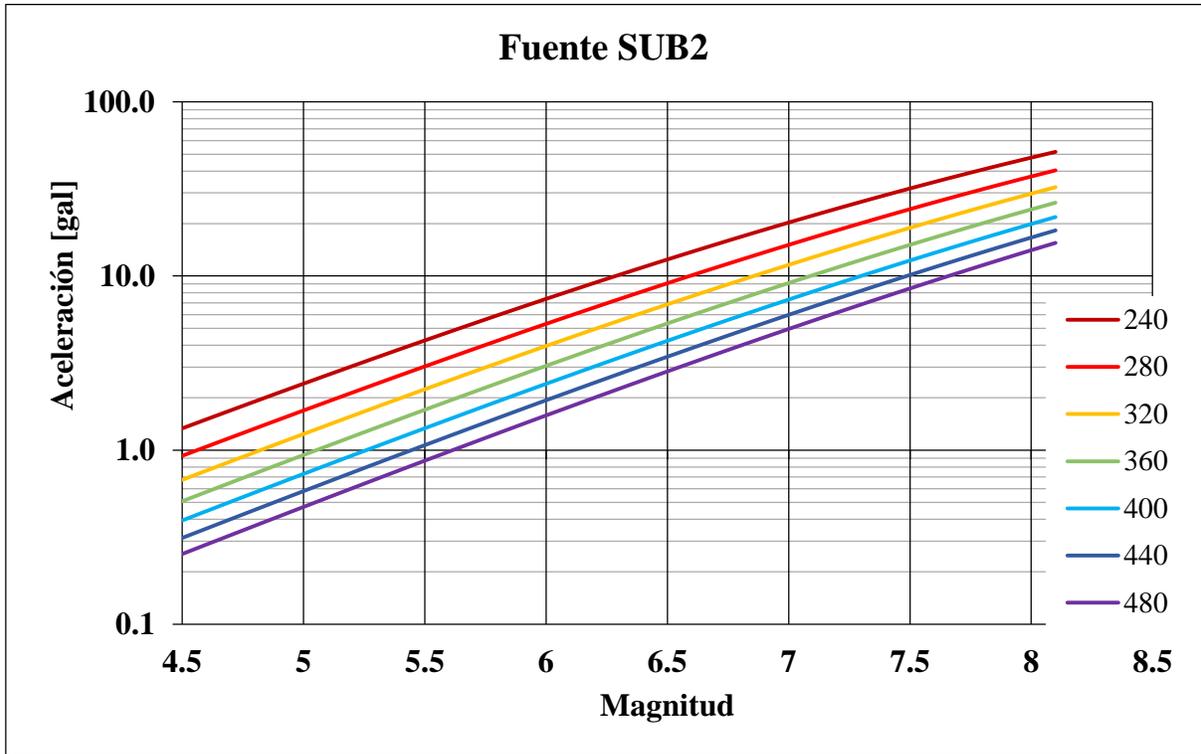


Figura 19. Aceleración esperada en función de la magnitud y la distancia para la fuente SUB2. Método determinista. Distancia en km

Además, se puede concluir que los eventos que ocurran a una distancia entre 240 km y 320 km son los que producen mayor aceleración en la zona de estudio.

Para determinar el peligro sísmico por el método determinista, en función de la tasa de excedencia de aceleraciones, se relacionan la tasa de excedencia de magnitudes, figura 18, y la aceleración, figura 19, en función de la magnitud, por lo tanto, se puede establecer que:

$$\delta_i(a) = \lambda_i(M) \tag{4.20}$$

donde, $\delta_i(a)$ es la tasa de excedencia de aceleraciones para la fuente sísmica i .

$$\delta_i(a) = \lambda_i(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_U}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_U}} \tag{4.21}$$

Resolviendo la expresión 4.20 se obtienen los valores previamente calculados, que se muestran en la tabla 11. La curva de tasa de excedencia de aceleraciones correspondiente a la fuente sísmica SUB 2 se muestra en la figura 20.

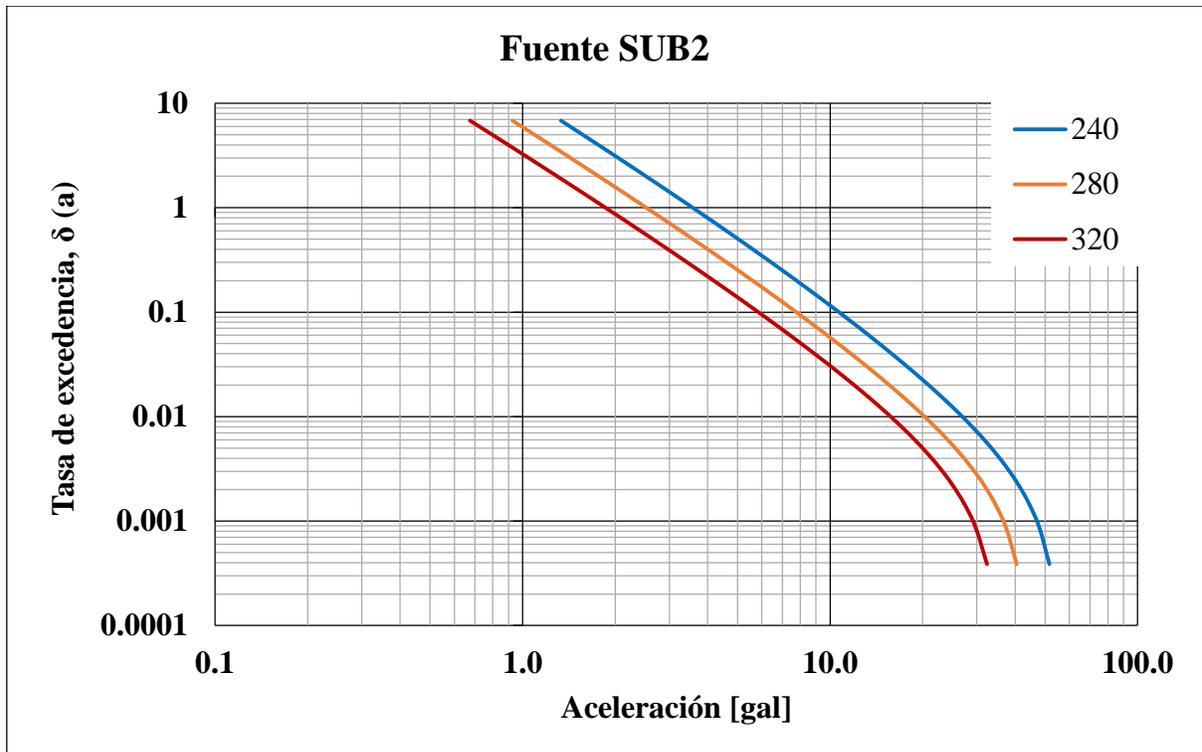


Figura 20.-Tasa de excedencia de aceleraciones para la fuente SUB2 de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente SUB2. Método determinista

Al determinar la tasa de excedencia de intensidades del Cinturón Volcánico Mexicano (MVB), se encontró con un catálogo de sismos que se considera incompleto, Anexo 1, esto debido a que se tienen registrados eventos sísmicos con magnitudes menores de 4.5 y un registro para las magnitudes 4.6, 5.0, 5.5 y 6.9, tal como se muestra en la figura 21.

Sin embargo, la importancia de considerar esta fuente sísmica se basa en la cercanía que existe entre la falla Acambay-Tixmadeje con el municipio de Naucalpan. Langridge (2000) realizó el primer estudio paleosísmico en el Cinturón Volcánico Mexicano enfocándose a la falla Acambay-Tixmadeje en el que determina que el sismo de 1912 tuvo una magnitud 6.9 ± 0.1 y fue un evento típico en tamaño y energía para el potencial sísmico que tiene el MVB ($M = 7.0 \pm 0.5$). Además, concluye que los grandes sismos por ruptura de la tierra se repiten en promedio cada 3600 a 5000 años. Aunque es una fuente activa y con menor participación sísmica, no puede despreciarse por su potencial.

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

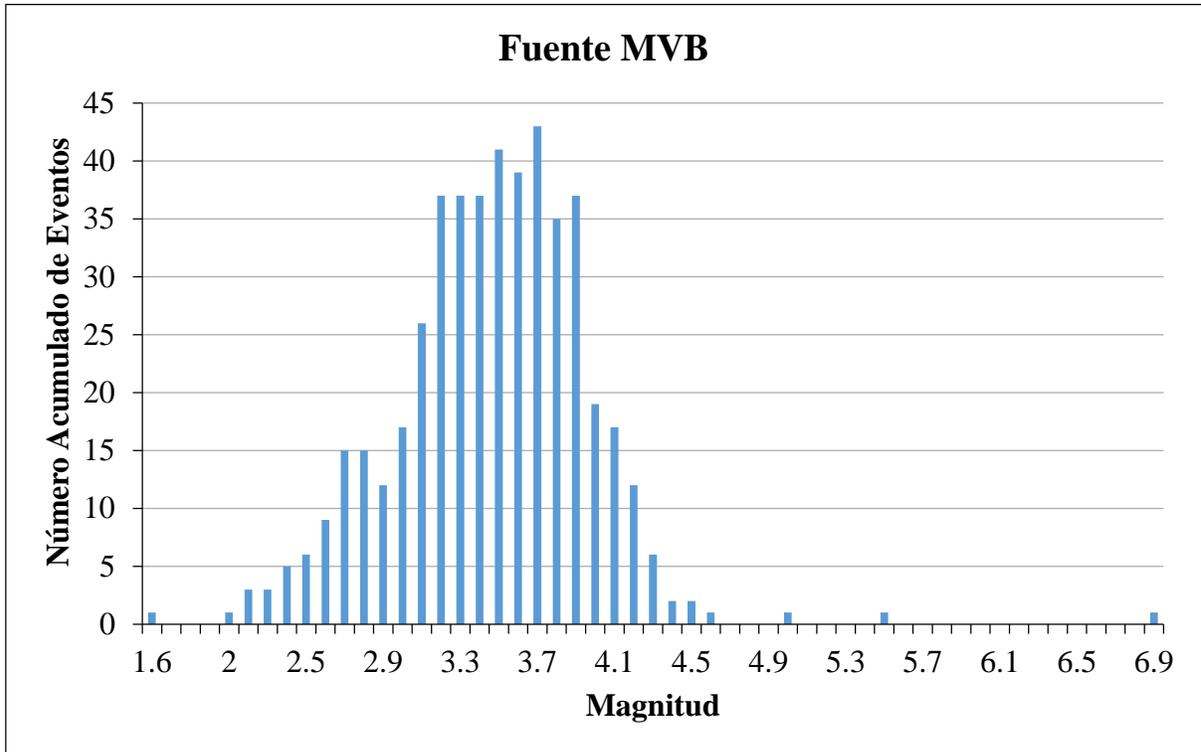


Figura 21. Actividad sísmica en la fuente MVB de acuerdo al catálogo de sismos

Al realizar el análisis de la región sismogénica con un catálogo de estas características, se obtiene la curva que se muestra en la figura 22, para la cual, se ha propuesto, con base en la investigación de Langridge, un valor medio en el periodo de retorno para el sismo de Acambay ($M = 6.9$), siendo $T_r = 4200$ años, por lo tanto, la tasa de excedencia para $\lambda(6.9)$ es igual a 0.000227273. Además, los eventos únicos registrados de magnitud de 4.6, 5.0 y 5.5, no forman parte del cálculo, dado que no se cuenta con la información necesaria del periodo de ocurrencia de estos eventos.

Para completar el catálogo y obtener una curva continua, se debe aplicar métodos bayesianos, lo cual, está fuera del alcance de este trabajo de investigación. Sin embargo, a manera de tener una aproximación puede ser conveniente trazar la curva de tasa de excedencias considerando la incertidumbre (ecuación 4.14) a partir de que $M = 4.6$, siendo el límite la tasa de excedencia para el sismo de Acambay, Esteva (2014), lo que da como resultado la gráfica mostrada en la figura 23.

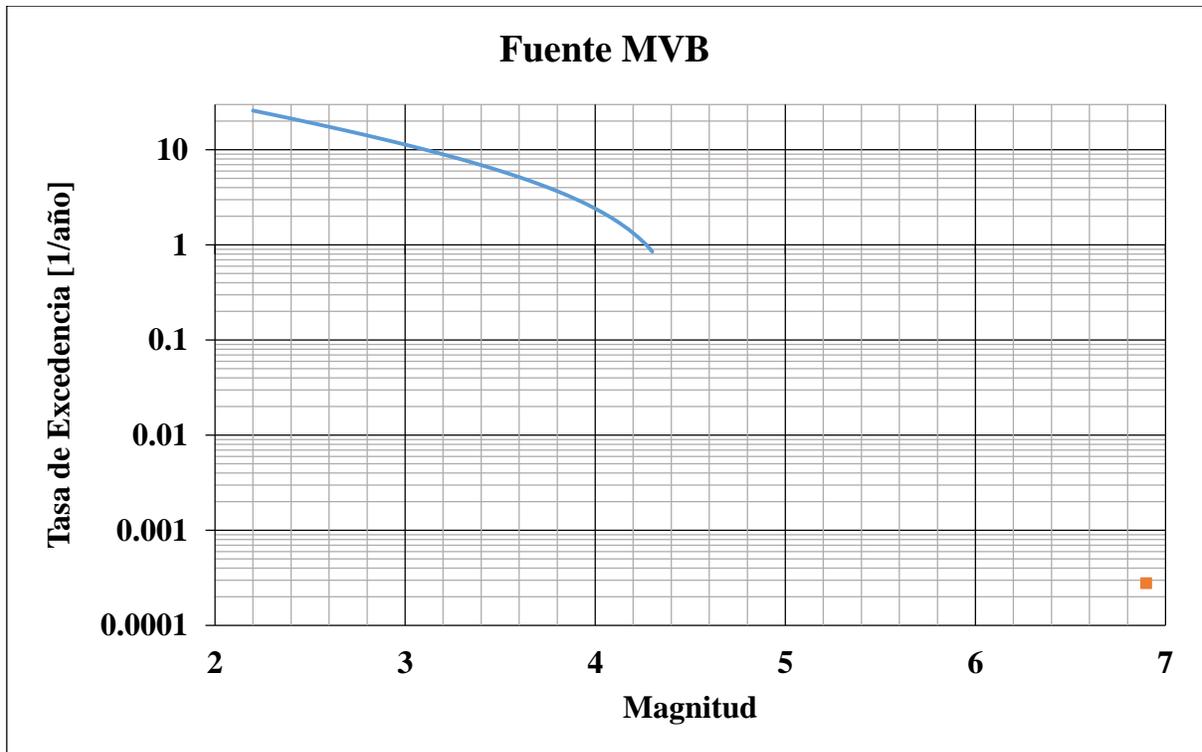


Figura 22. Tasa de excedencia de magnitudes de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente MVB. Método determinista

Se puede apreciar en la figura 23, una forma peculiar de la curva de tasas de excedencia, cuya forma no es igual al de las curvas convencionales, este resultado es normal que se presente ya que la falta de datos para la fuente MVB se quiere ver compensado añadiendo la función de incertidumbre.

En la figura 24, se muestran las tasas de excedencia para las distintas zonas sísmicas consideradas en este estudio. Donde, para la fuente MVB se consideró una distancia de 80 km, puesto que es la distancia existente del sitio a la falla Acambay-Tixmadeje, para mayor información sobre los parámetros utilizados en el cálculo de cada una de las curvas consultar el Anexo 2.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

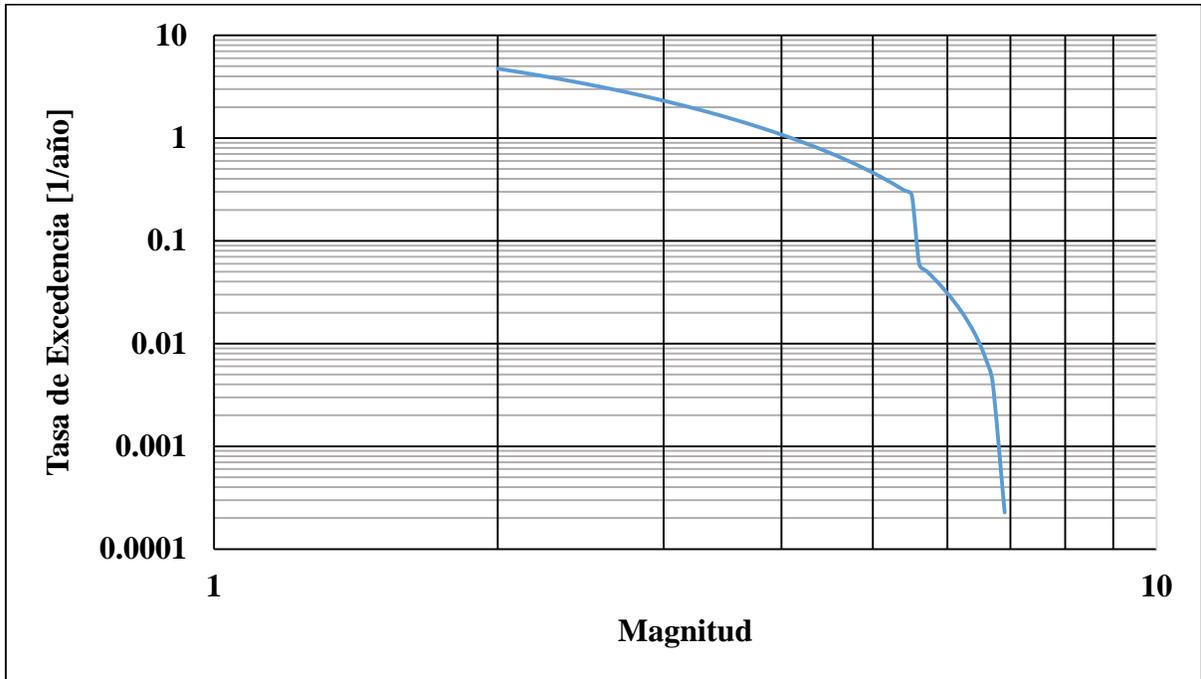


Figura 23. Tasa de excedencia de magnitudes con incertidumbre de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente MVB. Método determinista

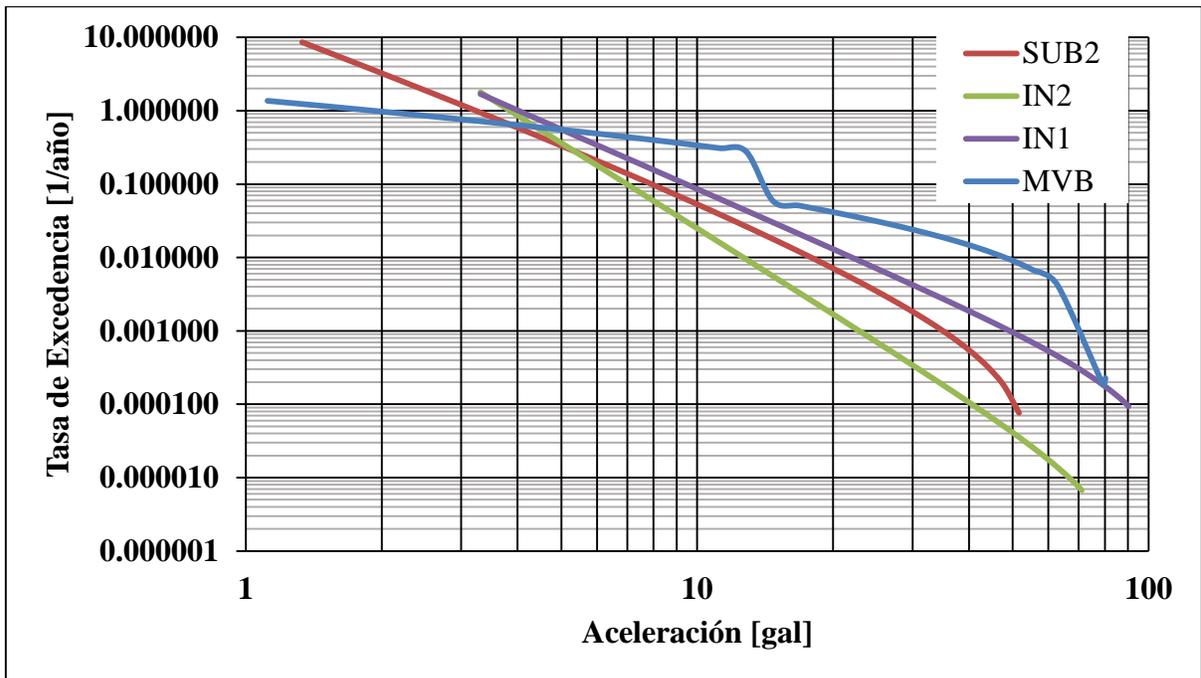


Figura 24. Tasa de excedencia de aceleraciones para cuatro fuentes sísmicas. Método determinista

El peligro sísmico puede expresarse considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se encuentra la zona de estudio.

$$\delta(a) = \sum_{i=1}^N \delta_i(a) \quad (4.22)$$

donde, $\delta(a)$ es la tasa de excedencia de intensidades, de acuerdo al método determinista, representativo para la región en estudio; $\delta_i(a)$ es la tasa de excedencia de intensidades de la i –ésima fuente y N es el total de fuentes sísmicas consideradas en el análisis. Aplicando la ecuación 4.22 se tiene como resultado la curva mostrada en la figura 25.

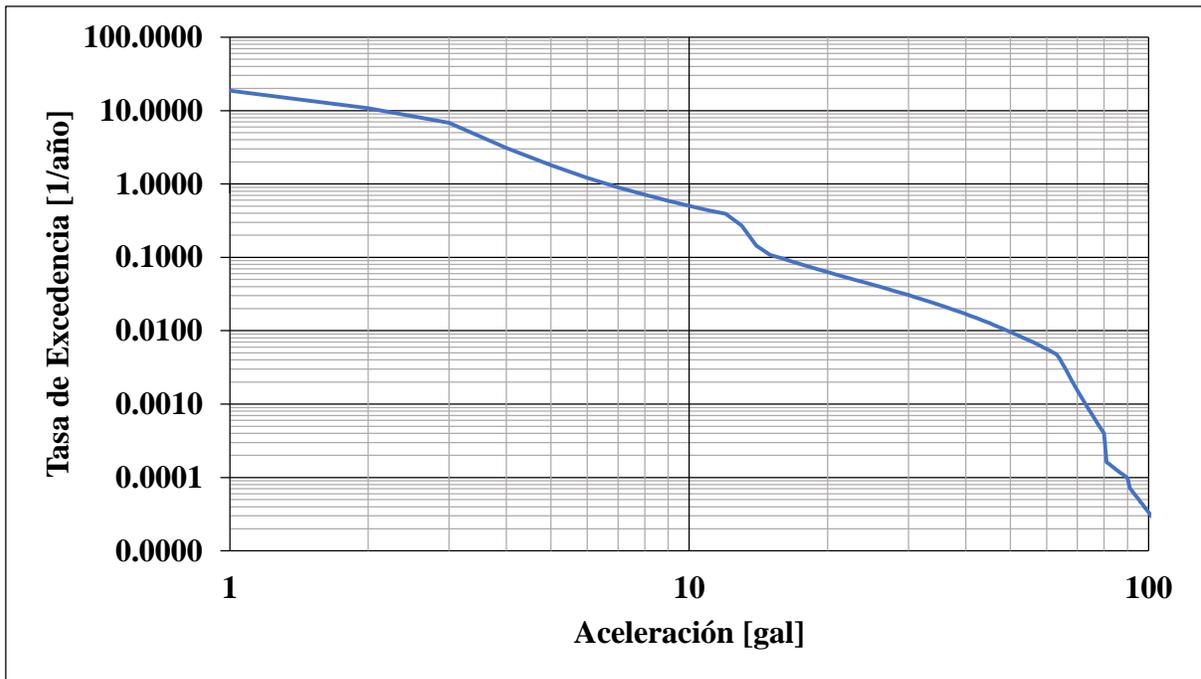


Figura 25. Tasa de excedencia de aceleraciones para el municipio de Naucalapan considerando el efecto de cuatro fuentes sísmicas. Método determinista

El peligro sísmico $v(a)$, por el método probabilista, expresado en términos de las tasas de excedencia de intensidades a , se calcula mediante la expresión 4.11.

$$v(a) = \sum_{i=1}^N \delta_i(a) \quad (4.15)$$

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

donde, la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas; la tasa de actividad $\delta_i(a)$ de la i – ésima fuente sísmica.

$$\delta_i(a) = \int_{M_0}^{M_U} \left(-\frac{d\lambda_i(M)}{dM} \right) \Phi \left[\frac{\ln \tilde{M}a - \ln a}{\sigma_{\ln a}} \right] dM \quad (4.16)$$

donde $\delta_i(a)$ se encuentra representada por la integral desde M_0 hasta M_U , lo que indica que se toma en cuenta, para cada fuente sísmica, la contribución de todas las magnitudes; Φ es la función de distribución normal estándar; $\ln \tilde{M}a$ es el valor medio del logaritmo de la intensidad, dado por la ley de atenuación correspondiente y $\sigma_{\ln a}$ es la desviación estándar correspondiente.

Para el cálculo del peligro sísmico con el método probabilista, ecuación 4.16., se inicia con la estimación de la tasa de excedencia de intensidades para cada fuente sísmica, como ejemplo se describirá el desarrollo del cálculo de las tasas para la fuente SUB2.

Para desarrollar el término $d\lambda(M)/dM$, de la relación de Gutenberg-Richter modificada, se reacomodan los términos, tal como se indica:

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_U}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_U}} = (e^{-\beta M} - e^{-\beta M_U}) \left(\frac{\lambda_0}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_U}} \right) \quad (4.23)$$

Al ser el segundo término de la ecuación 4.23 una constante A y se encuentra definida de la siguiente forma:

$$A = \frac{\lambda_0}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_U}} \quad (4.24)$$

Al sustituir la constante A se escribe la ecuación 4.23 como:

$$\lambda(M) = A(e^{-\beta M} - e^{-\beta M_U}) = Ae^{-\beta M} - Ae^{-\beta M_U} \quad (4.25)$$

Y dado que M_U es un parámetro fijo, se deduce una segunda constante B .

$$B = Ae^{-\beta M_U} \quad (4.26)$$

Se obtiene así, una expresión simplificada de la ecuación 4.16 en los siguientes términos:

$$\lambda(M) = Ae^{-\beta M} - B \quad (4.27)$$

Con la expresión 4.27, se calcula fácilmente su derivada con respecto a la magnitud y se tiene que:

$$\frac{d\lambda(M)}{dM} = -\beta Ae^{-\beta M} \quad (4.28)$$

Para el cálculo de $\delta_i(a)$ se sustituye el valor calculado de $d\lambda(M)/dM$ en la ecuación 4.16 y se obtiene:

$$\delta_i(a) = \int_{M_0}^{M_u} \beta Ae^{-\beta M} \Phi \left[\frac{\ln \tilde{M}a - \ln a}{\sigma_{\ln a}} \right] dM \quad (4.29)$$

donde la variable estandarizada, z , es:

$$z = \frac{\ln \tilde{M}a - \ln a}{\sigma_{\ln a}} \quad (4.30)$$

por lo tanto:

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (4.31)$$

por lo que sustituyendo en la ecuación 4.29 finalmente se deduce:

$$\delta_i(a) = \int_{M_0}^{M_u} \beta Ae^{-\beta M} \left[\left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz \right] dM \quad (4.32)$$

Para evaluar la integral, ecuación 4.32, se usa un método numérico de integración, para ello se utilizó el método de Simpson 3/8 compuesto. Por lo que el área bajo la curva se calcula como:

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

$$\delta_i(a) = \frac{3M_u - M_0}{8n} \left[\delta_i(a)_0 + 3 \sum_{j=1,4,7\dots}^{n-2} \delta_i(a)_j + 3 \sum_{j=2,5,8\dots}^{n-1} \delta_i(a)_j + 2 \sum_{j=3,6,9\dots}^{n-3} \delta_i(a)_j + \delta_i(a)_n + \delta_i(a)_n \right] \quad (4.33)$$

donde, $\delta_i(a)$ es la tasa de excedencia de intensidades de la i – ésima fuente; n es el número de intervalos en que se divide el área bajo la curva; M_u y M_0 es la magnitud mínima y máxima del catálogo de sismos de la fuente; j es el número del intervalo para formar el área del trapecio con el método de Simpson.

Previo a resolver la expresión 4.33, se obtuvieron los valores de la función de distribución estándar, ecuación 4.31, para cada valor de z , ecuación 4.30, a partir de una hoja de cálculo, en la que para distintos valores de aceleración esperada se tienen diferentes valores de tasa de excedencia de intensidades $\delta_i(a)$, formando así la curva para la fuente SUB2, la cual se muestra en la figura 26.

De esta forma se pudo determinar las curvas de tasa de excedencia de aceleraciones para cada una de las fuentes sísmicas, los parámetros y resultados obtenidos para cada fuente pueden ser consultados en el Anexo 1, sin embargo, en la figura 27 se muestra de manera conjunta el resultado para cada una de ellas.

Es claro, de acuerdo a la figura 27, que para una misma aceleración se tienen distintas tasas de excedencia; por ejemplo, si se toma una aceleración de 20 gal se tiene que para la fuente SUB2 tendrá una tasa de 0.026, para IN1 e IN2 de 0.0174 y 0.0030 respectivamente y de 0.2983 para la fuente MVB. Además, se observa que la fuente que representa mayor peligro sísmico, de acuerdo al método probabilista, es la MVB.

Recordando que, el peligro sísmico se forma considerando los efectos de la totalidad de las fuentes sismogénicas, tenemos que el peligro sísmico en función de la tasas de intensidades para el municipio de Naucalpan está representado por la figura 28, la cual se obtiene sumando la tasa de excedencia de intensidades de cada fuente para una aceleración esperada.

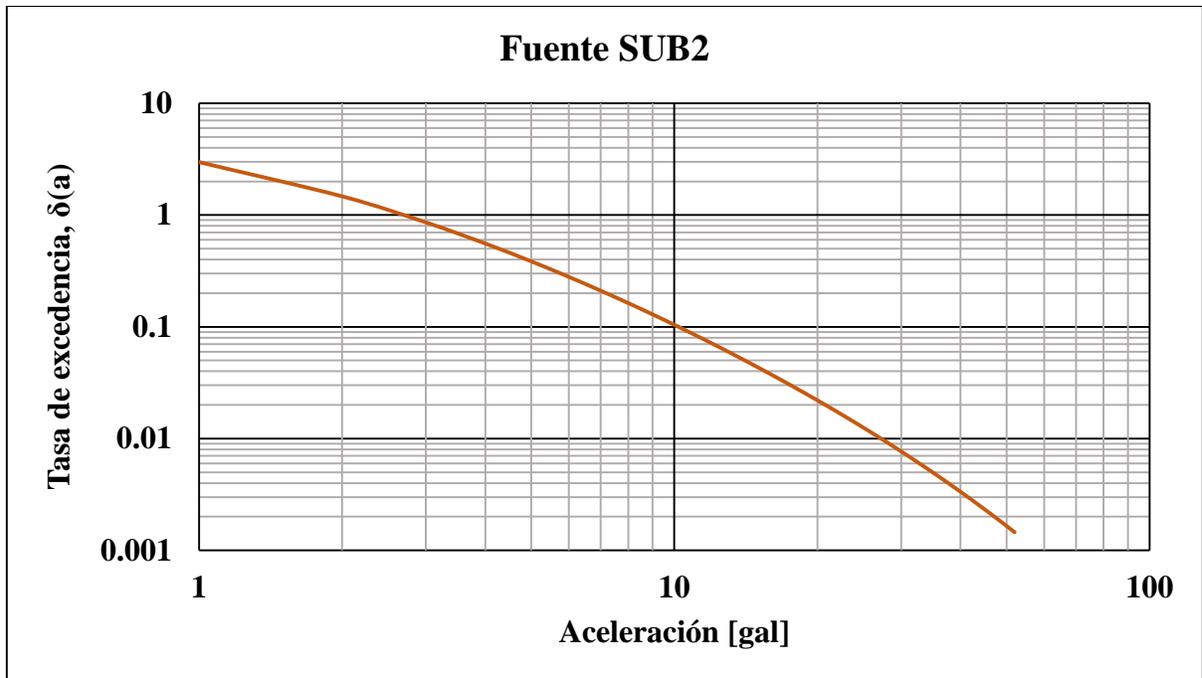


Figura 26. Tasa de excedencia de aceleraciones de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente SUB2. Método probabilista

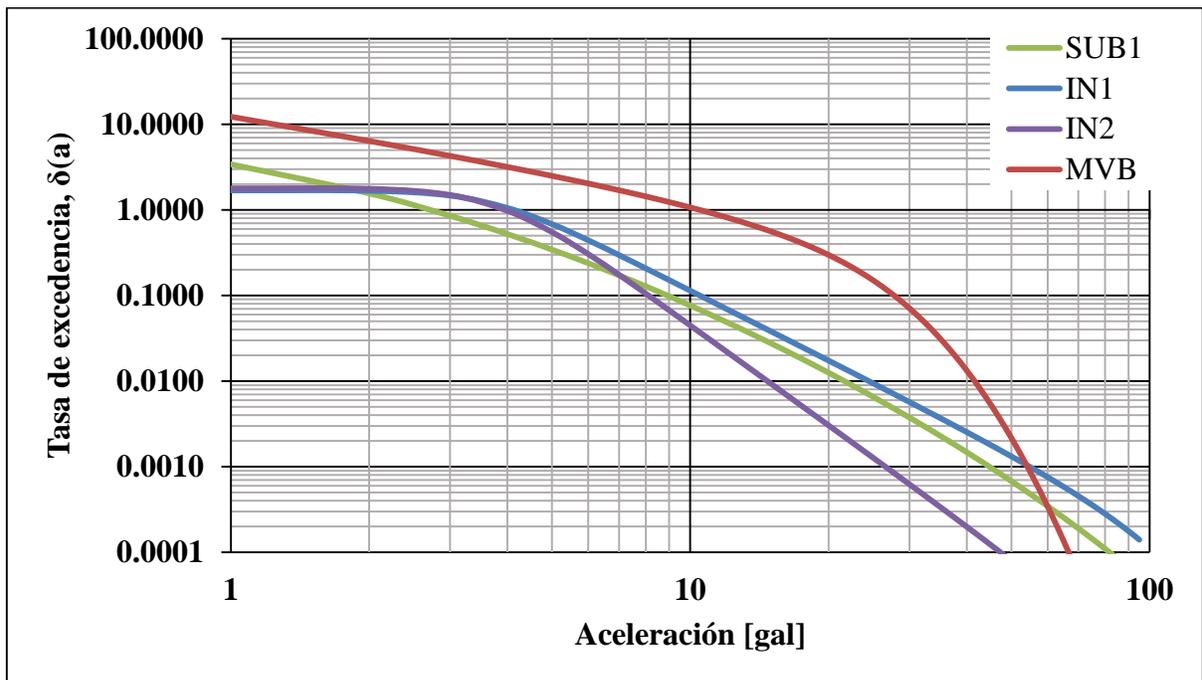


Figura 27. Tasa de excedencia de aceleraciones para cuatro fuentes sísmicas. Método probabilista

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

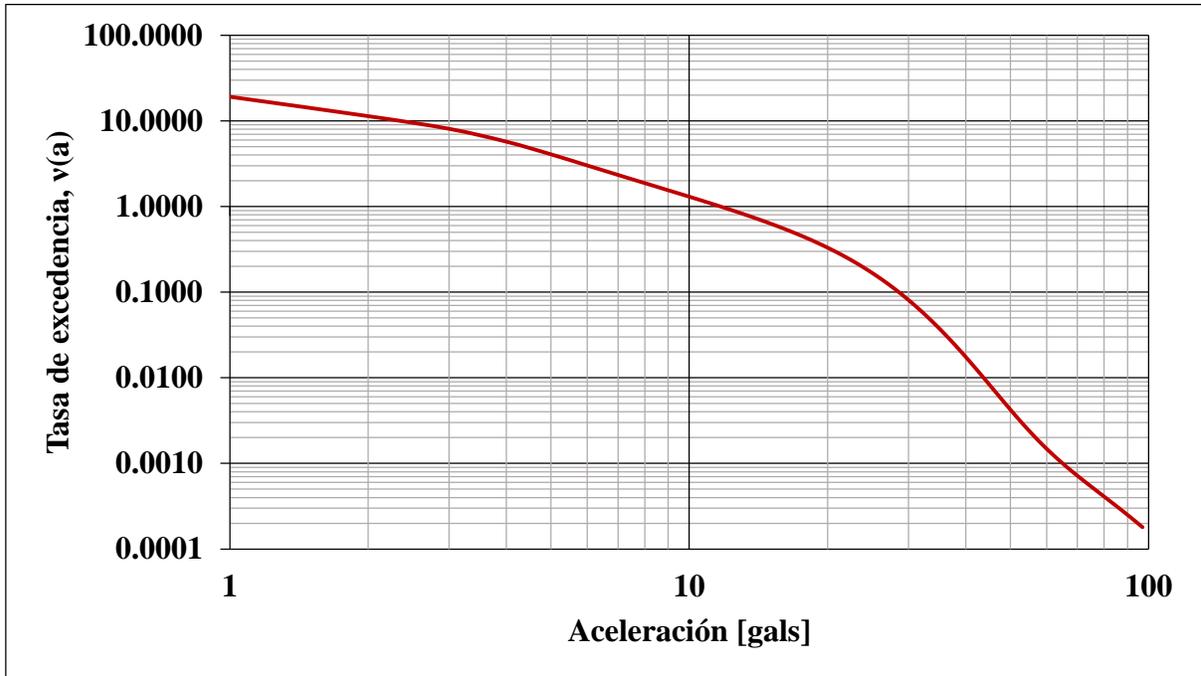


Figura 28. Tasa de excedencia de aceleraciones para el municipio de Naucalapan considerando el efecto de cuatro fuentes sísmicas. Método probabilista

4.5 Implicaciones en el diseño sísmico de construcciones

La demanda que las estructuras puedan experimentar durante su vida útil debido a la ocurrencia de uno o varios sismos puede obtenerse de la forma y valores de los espectros de diseño. El espectro de diseño se fija en función de la aceleración máxima del suelo, recordando que es el único valor con probabilidad de excedencia, lo que puede conducir a una distribución no uniforme del peligro en el rango de periodos estructurales.

Se ha mostrado, a través de diversos estudios, que la forma espectral depende de la magnitud y distancia del sismo al sitio, por lo que es necesario tener espectros que tengan en cuenta sus posibles combinaciones para la misma probabilidad de excedencia. El espectro de peligro uniforme (EPU), toma en cuenta la dependencia de la forma espectral con la magnitud y la distancia, ya que su forma es obtenida directamente sin escalar una forma estándar y sus valores tienen la misma probabilidad de excedencia. Aunque no es la intención proponer EPU se elabora con fines ilustrativos para la aplicación de esta tesis.

Una vez obtenida la curva de peligro sísmico, por procedimientos convencionales, se puede calcular la curva de tasa de excedencia de las ordenadas espectrales de aceleraciones

en diferentes periodos estructurales, por ejemplo para la región IN1, que es una de las fuentes que representan mayor peligro para Naucalpan, se obtiene el resultado mostrado en la siguiente figura.

Este tipo de espectro para condiciones de suelo firme puede calcularse para cualquier periodo de retorno y zona del municipio. Si sobre la figura 29 se establece una tasa de excedencia para un estado de funcionalidad es posible trazar líneas horizontales que intercepten a las curvas de las tasas de los diferentes periodos estructurales. Por ejemplo al establecer tres periodos de retorno 10, 50 y 475 años, tasas de excedencia 0.1, 0.02 y 0.0021/año respectivamente, que al ser unidos se forman los espectro de peligro uniforme en roca como se muestra en la figura 30. Sin embargo, para cuestiones de diseño y evaluación de las estructuras se requiere considerar los efectos de sitio.

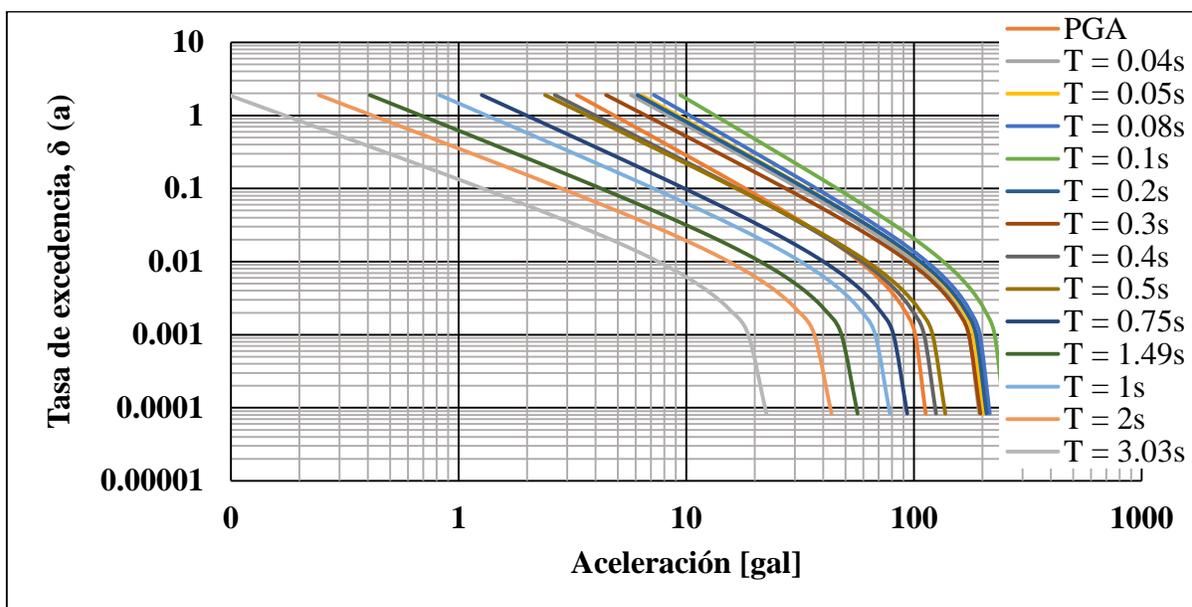


Figura 29. Tasa de excedencia de aceleraciones para distintos periodos, correspondiente a la fuente sísmica IN1

Se conoce como efecto de sitio a la respuesta sísmica del terreno con características significativamente distintas en amplitud, duración y contenido de frecuencias de un área relativamente reducida, con respecto al entorno regional. En otras palabras, podría decirse que el efecto de sitio es aquella condición bajo la cual se llegan a observar intensidades sísmicas notablemente distintas y bien localizadas sin que haya una correlación con la atenuación normal de la energía sísmica con la distancia (CENAPRED, 2006).

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

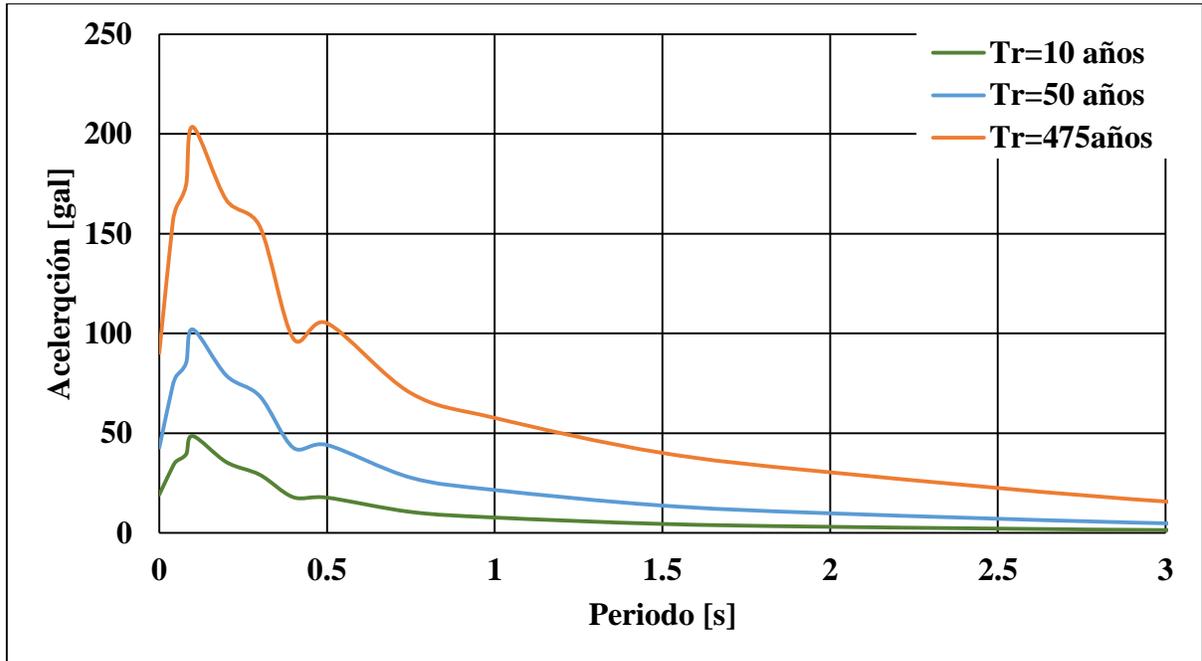


Figura 30. Espectro de Peligro Uniforme de aceleración en roca para varios periodos de retorno, de acuerdo a la sismicidad de la fuente IN1

Como se sabe, los suelos blandos de la cuenca de México provocan amplificaciones de las ondas sísmicas y variación en ciertas frecuencias. En el trabajo desarrollado por Ángeles (2014) se define el mapa de amplificación de aceleraciones en suelo firme por efectos de sitio para el municipio de Naucalpan, figura 31. Con el cual, se puede formar el espectro de peligro uniforme considerando los efectos de sitio para una región en específico, considerando una o varias fuentes sísmicas. Por ejemplo, de acuerdo al mapa de la figura 31, si se quiere conocer el espectro de peligro uniforme, considerando los efectos únicamente de la región IN1, para la zona de media sismicidad, las ordenadas del espectro de tasas, figura 30, se verán amplificadas, de acuerdo a las funciones de transferencia, definidas en la investigación de Ángeles (2014).

Si bien, los espectros de peligro uniforme mostrados en la figura 30 no son la base del espectro de diseño, representan el procedimiento a desarrollar en cada una de las fuentes sísmicas, en este caso particular se refiere a la de intraplaca, por lo que el espectro de peligro uniforme base para el diseño, requiere la contribución de todas las fuentes sísmicas consideradas en este estudio. Lo cuál será objeto de un estudio a futuro.

La definición de riesgo sísmico es más extenso y subjetivo que el peligro sísmico. El riesgo sísmico se define como la probabilidad de que se presente cierto grado de pérdidas para un nivel de intensidad; al igual que el peligro sísmico, el riesgo se define con las tasas de excedencia derivadas para una estructura dada por medio de su vulnerabilidad. Entonces el riesgo resulta de variables como el peligro sísmico descrito anteriormente y la vulnerabilidad que se encuentra fuera de los alcances de este trabajo.

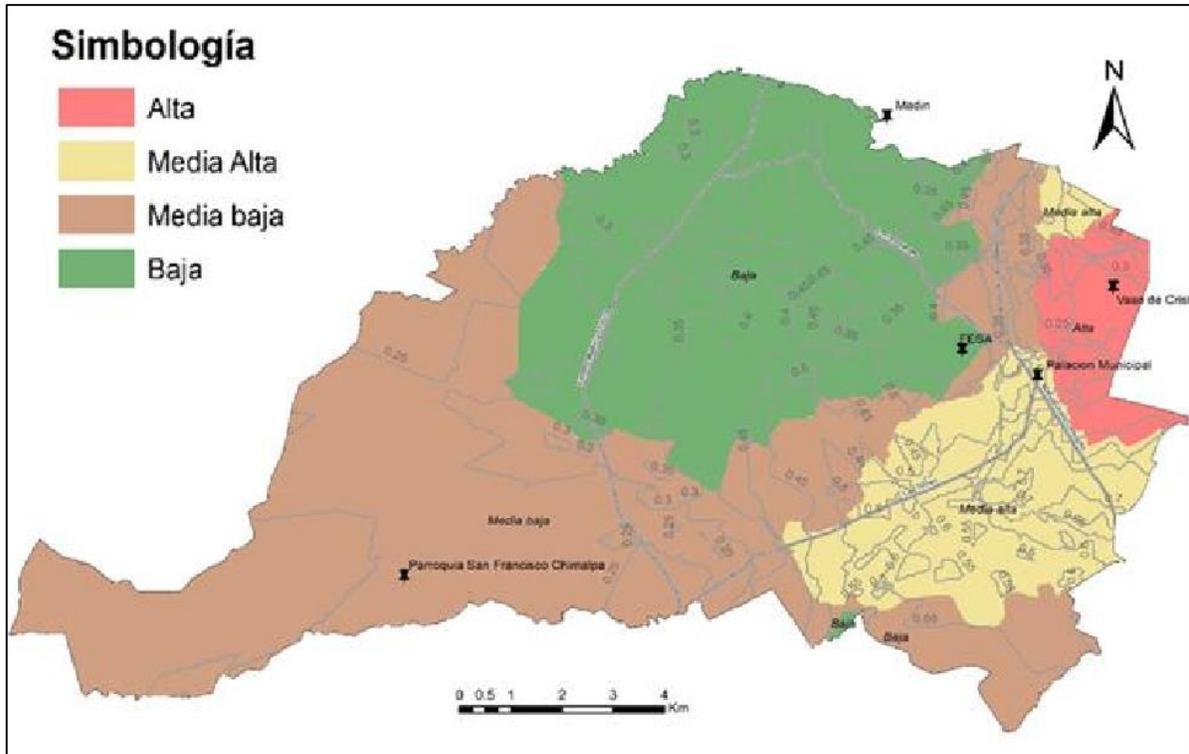


Figura 31. Mapa de amplificación relativa de las aceleraciones del terreno en el municipio de Naucalpan. Rivera y Ángeles (2014)

Los estudios de peligro y riesgo sísmico permiten elaborar “Planes de Desarrollo”. Un plan de desarrollo es un instrumento de gestión que promueve el desarrollo social de un determinado territorio, dicho de otra manera, los planes de desarrollo de una comunidad establecen el ordenamiento de las construcciones en el entorno geográfico.

Desde el inicio de las civilizaciones y las comunidades, se puede observar en todo rastro de asentamientos una noción de planeación de zonas. Al día de hoy, existen profesionistas que se dedican a la planeación y desarrollo, que junto con instancias gubernamentales regulan y vigilan dichos ordenamientos.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

La incorporación de la gestión de riesgos en el ordenamiento territorial permite la prevención y mitigación de los impactos que pudieran causar los fenómenos naturales, en este caso los sismos; el uso racional del suelo urbano para el desarrollo de las actividades urbanas, mediante el aprovechamiento de las ventajas comparativas de localización.

CONCLUSIONES

Con base al trabajo desarrollado por Zúñiga *et. al* (1997) y al análisis realizado destacan cuatro fuentes de peligrosidad sísmica para el municipio de Naucalpan de Juárez. La región SUB2 la cual comprende la zona de subducción de la parte oriental de la placa de Rivera por debajo de la Placa Norteamericana, abarcando principalmente las costas de Michoacán y Guerrero; la fuente IN1 que comprende la sección profunda de la zona de subducción y corresponde la extensión de las zonas SUB1 y SUB2; la región IN2 definida como zona de transición entre IN1 e IN3 y corresponde a la extensión a profundidad de la zona SUB3 y la región MVB, comprende eventos que ocurren en la parte somera de la placa continental relacionados con la ubicación del Cinturón Volcánico Mexicano.

Este trabajo permite dar las bases de la evaluación de la demanda sísmica en Naucalpan bajo las distintas condiciones tectónicas. De acuerdo a la actividad sísmica los sismos de tipo cortical, con origen en el MVB, y de profundidad intermedia, fuentes IN1 e IN2, podrían

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

provocar daños considerables al municipio, se hace notar que los sismos cuyas distancias epicentrales inferiores a 200 *km* provocan mayor intensidad de movimiento.

Cada fuente sismogénica es asociada a una ley de atenuación; para la región SUB2 la ecuación propuesta por Youngs *et. al.* (1997) es la que se asemeja a la estimación de los eventos generados en la zona de subducción y para las regiones IN1, IN2 y MVB se utiliza la expresión desarrollada por García (2007).

La consideración de la de la interpretación tectónica que plantea la fuente sismogénica MVB tiene efectos de aumento en la amenaza sísmica, que a pesar de ser una fuente de escasa actividad sísmica tiene un gran potencial (Langridge 2000) destacando el sismo de Acambay $M=6.9 (\pm 0.1)$ en 1912, siendo el último evento importante y el único instrumentado, de esta fuente. La curva de tasas de excedencia obtenida para esta fuente, es característica debido a la incompletitud del catálogo sísmico, ya que no se tienen registros e información de eventos con magnitud entre 4.5 y 6.9 y de considerar la incertidumbre para los eventos con magnitud mayor a 4.5.

Las aceleraciones obtenidas no toman en cuenta la amplificación debido a efectos de sitio, por lo tanto, son aceleraciones en roca y el espectro que se obtenga, con los resultados conseguidos, deberá amplificarse de acuerdo a las recomendaciones establecidas por Ángeles (2014), con la finalidad de poder proponer bases propias de evaluación y diseño estructural.

Es recomendable mantener actualizados y revisados los catálogos sísmicos, ya que a medida que se cuente con datos suficientes se podrán generar leyes de atenuación locales, aumentando la precisión de los resultados y permitir completar el catálogo de sismos existente.

Los resultados obtenidos permiten la evaluación y elaboración de mapas de riesgo sísmico, los cuales permiten una visualización de la distribución geográfica de las pérdidas económicas. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que el riesgo preferiblemente debe expresarse en tasas de excedencia de pérdidas y no únicamente a través de mapas. Además, permitirá elaborar un plan de desarrollo y de contingencia para el ayuntamiento.

REFERENCIAS

Abrahamson N. A. y Shedlock K. M. (1997). **“Overview”**, Seismological Research Letters, Vol. 68, pp. 9-23.

Ambraseys, N. (1983). **“Evaluation of seismic risk in seismicity and seismic risk in the offshore North Sea Area”**, A. R. Ritsema and A. Gürpınar (eds). D. Reidel Publishing Company, pp. 317-345

Ángeles B. (2014). **“Amplificación sísmica del municipio de Naucalpan de Juárez en términos del espectro de Fourier”**, Tesis de licenciatura para obtener el título de Ingeniero Civil, FES Acatlán, UNAM, en proceso de elaboración.

Atkinson M. y Boore D. M. (2003) **“Empirical ground motion relations for subduction zone earthquakes and their application to Cascadia and other Regions”**, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 93, No. 4, pp. 1703–1729.

Esteva L. y Villaverde R. (1973). **“Seismic risk, design spectra and structural reliability”**, Proc. 5th World Conf. Earthquake Eng., Rome.

Bazán E. y Meli R. (2004) **“Diseño sísmico de edificios”**, Editorial Limusa, México D.F.

Bozorgnia Y., Bertero V. (2004). **“Earthquake engineering from engineering seismology to performance-based engineering”**, International Code Council, United States of America.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

Brune J. (1970), “**Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves**”, Journal of Geophysical Research, Vol. 75, pp. 4997-5009.

Brune J. (1971), “**Correction: Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves**”. Journal of Geophysical Research, Vol. 76, pp. 5002.

Campbell K. W. (2000). “**Erratum: Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra**”. Seismological Research Letters, Vol. 71, pp. 353-355.

Carta P. (2006). “**Conceptos básicos para el análisis del riesgo sísmico**”. Tesis de licenciatura para obtener el título de Ingeniero Civil, FES Aragón, UNAM

CENAPRED (2001), “**Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México**”, Atlas nacional de riesgos de la República Mexicana, 1ra. Edición, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación, México.

CENAPRED (2006), “**Sismos**”, Serie Fascículos, 5ta. Edición, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación, México.

Chávez J., Rivera D., Arce C. (2014). “**Mapa de isoperiodos y amplificación relativa del terreno en el municipio de Naucalpan**”, Memorias de la XXVII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Puerto Vallarta, Jalisco.

Clemente A, Arroyo G., Zuñiga R., Figueroa A., Pérez M. y López C. (2012). “**Relación de atenuación del movimiento del suelo para aceleración máxima (PGA) sobre el cinturón volcánico mexicano (MVB); Análisis por trayectoria: Guerrero-Querétaro**”, Revista de Ingeniería Sísmica No.87, pp. 67-93.

Cornell C. A. and Winterstein (1986). “**Applicability of the Poisson earthquake occurrence model**”. Technical Report NP-4770, Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA.

Cuenca Sánchez (2008). “**Red sismológica digital autónoma del Valle de México registros sísmicos 2006 – 2008**”. Informe, Coordinación de Ingeniería Sismológica, Instituto de Ingeniería, UNAM.

Day R. (2002). “**Geotechnical earthquake engineering handbook**”, McGraw-Hill, First edition, United States of America.

Devore J. (2012). “**Probability and statistics for engineering and the sciences**”, Cengage Learning, 8th. Edition, United States of America.

DGDU (2007). “**Plan Nacional de Desarrollo Urbano de Naucalpan de Juárez, 2006-2009**”. Dirección General de Desarrollo Urbano.

Díaz J. (2006), “**Los suelos lacustres de la Ciudad de México**”, Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, Vol. 6(2), Universidad de Puerto Rico, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Esteva L. (2014), Comunicación Personal.

Frohlich C. y Davis S. C. (1993). “**Teleseismic b values: or much ado about 1.0**”. J.Geophys. Res., 98, 631-644.

García V. y Suárez G. (1996). “**Los sismos en la historia de México**”. Tomo I. Fondo de Cultura Económica. México, D. F.

García D. (2007). **“Estimación de parámetros del movimiento fuerte del suelo para terremotos interplaca e intraslab en México central”**. Memoria para optar al grado de Doctor, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, España.

Gómez-Bernal A, Juárez H. y Corona M. (1999). **“Peligro sísmico en el Valle de Chilpancingo, Guerrero”**, Memoria del XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Morelia Michoacán.

Hanks, T.C. y Kanamori, H. (1979). **“A moment magnitude scale”**. Journal of Geophysical Research No. 84.

Hernández J. J., Jaimes M. A., Huerta B. y Quiroga S. R. (2012). **“Cien años del sismo de Acambay”**. ERNtérate Nota de Interés, Evaluación de Riesgos Naturales, ern.com.mx.

Herráiz Sarachaga Miguel. (1997). **“Conceptos básicos de sismología para ingenieros”**, 1ra. Edición. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.

INEGI <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=15#N>

Jaimes M. A. y Reinoso E. (2006). **“Comparación del comportamiento de edificios en el valle de México ante sismos de subducción y de falla normal”**, Revista de ingeniería sísmica, No. 75, pp. 1-22.

Kossobokov V. G. y Keilis-Borok V. I. (2000). **“Implications of a statistical physics approach for earthquake hazard assessment and forecasting”**. Pure Appl. Geophys., 157, 11, pp 2323-2349.

Lay T. y Wallace T. C. (1995). **“Modern Global Seismology”**, Academic Press, San Diego C.A.

Langridge R., Weldon II R., Moya J., Suárez G. (2000). **“Paleoseismology of the 1912 Acambay earthquake and the Acambay-Tixmadejé fault, Trans-Mexican Volcanic Belt”**. Journal of Geophysical Research, Vol. 105, No. B2, pp 3019-3037.

López Arroyo, A., A. F. Espinosa (1978), **“Deterministic and probabilistic approaches to seismic risk determinations”**, Proc. Of Symposium on the Analysis of Seismicity and on Seismic Risk. Liblice, pp. 487-496. Czechoslovak Academy of Sciences. Praga.

Martínez D. (2012). **“Estudio del movimiento sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez”**, Tesis de licenciatura para obtener el título de Ingeniero Civil, FES Acatlán, UNAM.

Muñoz D., (1989). **“Conceptos básicos en riesgo sísmico”**, Física de la Tierra, Ed. Universidad Complutense de Madrid, No. 1, pp 199-215, España.

Naucalpan (2014), www.naucalpan.gob.mx.

Ordaz M., Reyes C. (1999) **“Earthquake hazard in Mexico city: Observations versus computations”**, Bulletin of the Seismic Society of America, Vol. 89, No. 5, pp. 1379-1383.

Ordaz M. y Singh S. (1992) **“Source spectra and spectral attenuation of seismic waves from Mexican earthquakes, and evidence of amplification in the hill zone of Mexico City”**, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 82, pp 24-43.

Reyes C, Miranda E., Ordaz M., y Meli R. (2002). **“Estimación de espectros de aceleraciones correspondientes a diferentes periodos de retorno para distintas zonas sísmicas de la Ciudad de México”**, Revista de Ingeniería Sísmica, pp. 95-121.

Rivera D., Arce C. y Martínez D. (2009). **“Peligro sísmico en el municipio de Naucalpan”**, XVII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Puebla Puebla.

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

- Rivera D., Arce C. y Martínez D. (2011). **“Leyes de atenuación para estimar la intensidad sísmica del municipio de Naucalpan”**, Memoria de XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Aguascalientes.
- Rivera D., Arce C. y Zetina J. (2013). **“Propuesta de microzonificación sísmica para el municipio de Naucalpan”**, Memoria de XIX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Boca del Río Veracruz.
- Rosenblueth E. y Jara J. M. (1991). **“Constant versus time dependent seismic design coefficients”**, Proceedings of the 3rd IFIP WG 7.5 Conference on Reliability and Optimization of Structural Systems '90, Springer-Verlag, Berlin, Germany, Vol. 1, pp. 315-327.
- Rosenblueth E. y Newmark N. (1976). **“Fundamentos de ingeniería sísmica”**, Editorial Diana, 1ra. Edición, México.
- Rosenblueth E., Ordaz M., Sánchez-Sesma F. y Singh (1989). **“The Mexico Earthquake of September 19,1985 Design Spectra for México’s Federal District”**, Earthquake Spectra, Vol. 5, No. 1.
- Ruíz S. (2000) **“Apuntes de la material de Ingeniería Sísmica II”**, Programa de Posgrado de Ingeniería, UNAM.
- Santana H. (2011), **“Agrietamiento en la zona de Naucalpan”**, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, FES Acatlán, UNAM.
- Santoyo E., Ovando E., Mosser F. y León E. (2005). **“Síntesis geotécnica de la Cuenca del Valle de México”**, TGC, México D.F.
- Sadigh K, Chang C-Y-, Egan J. A., Makdisi F. y Youngs R. R., (1997). **“Attenuation Relationship for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data”**, Seismological Research Letters, Vol. 68, No. 1.
- Singh S., Mena E., Castro R. y Carmona C. (1987), **“Empirical prediction of ground motion in Mexico City from coastal earthquakes”**, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 87, No. 5, pp 1862-1867.
- Singh S., Ordaz M., Pacheco J. F., Quaas R., Alcántara L., Alcocer S. y otros (1999). **“A preliminary report on the Tehuacan, México Earthquake of June 15, 1999 (Mw = 7.0)”**, Seismological Research Letters, UNAM.
- Soberón M., Ordaz M. y Tena A. (2005). **“Leyes de atenuación en desplazamiento y aceleración para el diseño sísmico de estructuras con aislamiento en la costa del Pacífico”**, Memorias del XV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, México D.F.
- Urbina F. y Camacho H. (1913). **“La zona megaseísmica Acambay-Tixmadeje Estado de México conmovida el 19 de noviembre de 1912”**, Instituto Geológico de México, Boletín No. 32.
- Wells D. L. y Coppersmith K. J. (1994). **“New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and Surface displacement”**, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, pp. 974-1002.
- Zúñiga R., Suárez G., Ordaz M., y García Acosta V. (1997). **“Peligro sísmico en Latinoamérica y el Caribe”**, Instituto Paleoamericano de Geografía e Historia. Ottawa, Canada.

ANEXOS

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

ANEXO 1 CATÁLOGO DE SISMOS

Los eventos sísmicos que se muestran a continuación se encuentran clasificados de acuerdo a las fuentes sísmicas consideradas en este trabajo, el ID asignado corresponde al catálogo general de sismos.

Fuente SUB2

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
7	11/04/1966	5:17:26 p.m.	17.98	-102.75	33	5.3
9	03/02/1968	5:36:12 a.m.	16.37	-99.40	33	5.6
15	05/09/1971	9:13:15 a.m.	17.09	-99.81	50	5.2
21	21/07/1972	5:10:19 a.m.	17.72	-102.09	33	4.8
23	30/01/1973	9:01:00 p.m.	18.27	-102.88	43	7.5
24	10/02/1973	11:53:27 a.m.	18.41	-103.98	33	5.4
34	06/10/1974	5:09:33 p.m.	16.69	-99.89	50	5.5
36	17/11/1974	10:57:40 p.m.	16.92	-100.14	33	5.1
42	22/02/1975	12:47:22 a.m.	17.16	-100.54	40	5.3
50	11/10/1975	2:41:09 p.m.	17.58	-102.28	33	5.5
52	29/10/1975	4:53:59 a.m.	16.86	-99.67	33	5.7
56	01/02/1976	11:14:57 a.m.	17.17	-100.19	52	5.7
57	07/06/1976	2:26:34 p.m.	17.09	-100.85	20	6.3
77	19/03/1978	1:39:14 a.m.	17.09	-99.79	36	5.8
83	14/03/1979	11:07:15 a.m.	17.49	-101.26	28	7.0
92	05/09/1980	8:01:40 p.m.	16.66	-100.32	20	4.8
97	26/07/1981	5:14:22 a.m.	17.79	-102.01	21	6.5
98	17/09/1981	9:50:30 a.m.	16.70	-99.48	8	5.4
100	25/10/1981	3:22:14 a.m.	17.88	-102.15	14	7.3
101	25/10/1981	7:39:47 a.m.	17.92	-102.39	13	4.5
112	02/10/1982	3:42:59 p.m.	16.68	-99.88	33	4.8
118	23/07/1983	5:07:39 a.m.	17.03	-99.73	13	4.7
148	19/09/1985	1:17:43 p.m.	18.08	-102.94	15	8.1
153	19/09/1985	3:50:45 p.m.	17.71	-102.13	33	4.8
154	19/09/1985	6:29:27 p.m.	17.24	-101.98	33	5.0
155	20/09/1985	7:30:02 p.m.	17.80	-102.35	33	4.9
164	24/09/1985	7:03:02 a.m.	17.79	-102.94	33	4.5
165	24/09/1985	10:37:22 p.m.	17.67	-102.69	33	4.5
166	27/09/1985	11:16:22 a.m.	17.83	-102.43	33	4.7
167	28/09/1985	3:52:50 a.m.	17.53	-101.11	9.8	5.1
175	29/10/1985	3:02:26 p.m.	17.58	-102.64	20.3	5.6
195	24/01/1986	6:03:33 p.m.	17.24	-101.14	20.3	4.6
199	29/01/1986	8:01:21 p.m.	17.36	-101.43	<5	4.7
202	07/02/1986	9:26:53 p.m.	17.65	-101.46	19.7	4.9

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
208	30/04/1986	7:07:19 a.m.	18.02	-103.06	20	7.0
210	05/05/1986	5:46:35 a.m.	17.77	-102.80	19.9	5.6
224	04/11/1986	1:58:07 a.m.	17.79	-102.02	15.2	4.8
245	26/03/1987	6:38:28 p.m.	16.90	-100.06	17.2	4.8
247	02/04/1987	4:01:53 p.m.	16.84	-99.69	18	4.8
257	07/06/1987	1:30:14 p.m.	16.65	-98.91	22.9	5.5
287	08/02/1988	1:51:30 p.m.	17.49	-101.16	19.2	5.7
292	03/03/1988	12:23:13 a.m.	17.57	-101.39	20	4.5
312	16/08/1988	4:20:50 a.m.	16.97	-99.80	21.1	4.6
342	10/03/1989	5:19:51 a.m.	17.45	-101.09	17.6	5.3
349	08/04/1989	9:58:44 p.m.	17.41	-101.32	17.1	4.5
354	25/04/1989	2:29:00 p.m.	16.60	-99.40	19	6.9
356	25/04/1989	4:26:47 p.m.	16.64	-99.30	18.5	4.8
360	02/05/1989	9:30:17 a.m.	16.64	-99.51	13.4	5.4
376	06/07/1989	11:21:02 p.m.	17.41	-101.49	7.6	4.9
383	17/08/1989	12:54:03 a.m.	17.12	-100.04	25.6	4.9
385	24/08/1989	1:36:05 a.m.	17.14	-100.98	<5	4.5
396	08/10/1989	10:32:41 p.m.	17.19	-100.21	36	5.0
404	25/10/1989	3:59:19 a.m.	16.76	-99.60	9.7	4.6
405	28/10/1989	5:01:13 p.m.	16.50	-99.94	12.6	4.9
406	02/11/1989	7:34:57 a.m.	17.76	-101.80	5	4.9
411	09/11/1989	8:36:41 a.m.	16.84	-99.65	9.9	5.1
419	13/01/1990	2:07:28 a.m.	16.82	-99.63	12.2	5.3
434	04/04/1990	4:59:59 p.m.	16.66	-99.37	14.5	4.8
435	04/04/1990	5:08:17 p.m.	16.65	-99.37	15.4	5.0
444	11/05/1990	11:43:49 p.m.	17.05	-100.84	11.7	5.3
447	19/05/1990	1:37:35 p.m.	17.21	-101.34	5.2	5.1
450	31/05/1990	7:35:27 a.m.	17.11	-100.89	15.8	5.9
454	28/06/1990	4:58:15 a.m.	17.16	-100.06	32.3	4.5
458	09/07/1990	3:04:24 a.m.	16.86	-99.67	16.2	4.5
460	10/07/1990	6:44:51 a.m.	16.83	-99.57	17.9	4.8
468	27/08/1990	2:20:14 a.m.	17.17	-100.99	8.4	4.8
469	10/09/1990	3:45:28 p.m.	16.88	-99.29	30.2	4.8
493	25/12/1990	2:24:39 a.m.	16.80	-99.61	18.4	4.6
495	29/12/1990	6:20:45 p.m.	17.13	-101.03	7.2	4.7
496	05/01/1991	5:10:29 a.m.	16.89	-100.05	27	4.5
497	13/01/1991	8:07:20 p.m.	17.21	-100.90	11.1	4.5
498	14/01/1991	9:11:06 p.m.	17.84	-101.85	24.7	5.3
502	15/01/1991	3:33:26 a.m.	17.85	-102.00	21.7	4.7
503	17/01/1991	6:23:17 p.m.	17.86	-101.93	23.3	4.8
525	21/04/1991	10:04:05 a.m.	16.46	-99.16	15.9	5.0

Ing. Rodrigo Martín Sánchez Flores

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
526	27/04/1991	2:48:43 p.m.	17.22	-100.37	29.2	4.9
528	07/05/1991	2:34:27 a.m.	16.70	-99.50	19.2	4.7
531	16/05/1991	6:15:38 a.m.	16.391	-99.119	12.8	4.7
534	22/05/1991	12:57:06 a.m.	18.41	-103.21	18	5.1
535	28/05/1991	12:56:37 a.m.	16.897	-99.809	27.3	4.9
548	03/07/1991	11:19:20 p.m.	17.65	-101.42	5	4.6
558	19/08/1991	9:51:58 p.m.	17.00	-100.70	9.9	4.6
589	09/01/1992	4:03:19 a.m.	17.01	-99.65	32.3	4.7
596	14/02/1992	11:43:11 p.m.	17.68	-102.05	12	4.7
602	29/03/1992	4:58:39 p.m.	16.54	-99.99	6	4.5
603	31/03/1992	4:16:49 a.m.	16.55	-100.07	22	4.5
604	31/03/1992	7:43:14 p.m.	17.28	-101.30	19.1	4.7
605	31/03/1992	8:56:34 p.m.	17.23	-101.30	11	5.2
606	31/03/1992	9:24:56 p.m.	17.17	-101.35	6.9	4.7
607	01/04/1992	12:31:49 a.m.	17.33	-101.27	18	4.9
622	29/05/1992	6:54:21 p.m.	18.23	-103.02	61	4.5
626	01/06/1992	1:08:59 p.m.	18.35	-103.10	74	4.8
638	24/07/1992	6:04:54 a.m.	18.15	-102.58	10	4.5
668	30/10/1992	8:24:30 a.m.	17.14	-100.80	20.9	4.7
672	10/11/1992	2:13:25 a.m.	16.89	-100.10	5.6	4.6
682	24/12/1992	6:50:47 p.m.	16.56	-99.31	14.6	4.5
683	24/12/1992	7:01:21 p.m.	16.60	-99.31	15.3	4.5
693	18/03/1993	6:51:08 p.m.	17.36	-101.44	34	4.7
695	20/03/1993	5:41:47 p.m.	18.41	-103.50	10	5.0
696	31/03/1993	10:18:16 a.m.	17.18	-101.02	8	5.3
720	29/07/1993	8:17:02 p.m.	17.38	-100.65	43	5.0
727	27/08/1993	1:45:26 a.m.	17.44	-101.05	35	4.8
748	10/09/1993	10:50:24 a.m.	16.57	-98.94	20	4.8
767	24/10/1993	7:52:18 a.m.	16.54	-98.98	19	6.6
776	06/11/1993	7:45:19 a.m.	16.40	-98.93	5	4.9
805	08/12/1993	3:34:58 p.m.	17.02	-99.95	34	4.5
820	30/12/1993	1:21:36 a.m.	16.84	-99.15	20	4.5
824	11/01/1994	8:09:05 p.m.	17.32	-100.87	27	4.6
825	15/01/1994	3:18:57 a.m.	17.41	-101.91	10	4.6
842	15/04/1994	4:48:19 a.m.	16.74	-99.63	7	4.7
856	14/05/1994	6:53:12 a.m.	16.25	-99.17	17	4.8
941	29/10/1994	4:44:04 p.m.	16.97	-99.89	24	5.1
992	25/01/1995	9:13:09 a.m.	16.38	-99.44	21	4.5
1027	14/04/1995	6:01:08 a.m.	16.44	-99.09	15	4.8
1028	15/04/1995	11:41:57 a.m.	16.38	-99.11	12	4.9
1047	15/05/1995	10:36:15 p.m.	16.50	-100.02	5	4.6

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
1053	07/06/1995	9:51:21 a.m.	16.49	-99.98	5	4.6
1078	17/09/1995	6:39:30 a.m.	16.20	-99.04	7	4.9
1080	20/09/1995	1:13:22 a.m.	16.23	-99.00	14	4.9
1082	22/09/1995	8:36:18 a.m.	16.37	-99.62	24	4.6
1102	27/10/1995	10:03:01 p.m.	16.29	-99.49	27	4.6
1119	23/12/1995	1:27:31 p.m.	17.27	-101.33	98	4.7
1169	13/03/1996	9:04:20 p.m.	16.52	-99.08	18	5.2
1189	10/04/1996	9:52:17 a.m.	17.30	-101.34	5	4.7
1190	13/04/1996	7:49:41 p.m.	16.23	-99.26	16	4.7
1192	18/04/1996	10:16:23 p.m.	17.26	-101.37	<5	4.9
1193	23/04/1996	6:53:35 a.m.	17.11	-101.60	17	5.3
1195	29/04/1996	6:35:22 p.m.	17.28	-100.62	33	4.5
1199	08/05/1996	1:24:44 a.m.	16.83	-100.21	5	4.6
1201	08/05/1996	8:27:23 a.m.	16.85	-100.22	<5	4.6
1202	08/05/1996	1:32:20 p.m.	16.82	-100.29	7	4.6
1233	30/06/1996	12:50:41 p.m.	17.5	-101.25	57	4.6
1240	15/07/1996	9:23:39 p.m.	17.45	-101.16	20	6.5
1244	16/07/1996	12:40:36 a.m.	17.06	-101.50	41	4.9
1245	16/07/1996	11:39:54 a.m.	17.36	-101.22	10	4.7
1249	18/07/1996	8:16:47 a.m.	17.54	-101.20	20	5.1
1271	27/08/1996	12:55:34 p.m.	16.60	-99.35	14	4.6
1276	03/09/1996	11:45:05 a.m.	16.72	-99.85	9	4.9
1284	20/09/1996	10:20:59 p.m.	17.33	-101.56	16	4.9
1302	17/10/1996	1:51:50 p.m.	16.50	-99.00	11	4.9
1303	17/10/1996	6:04:59 p.m.	16.36	-99.09	9	4.6
1337	28/12/1996	5:33:39 p.m.	16.87	-100.43	15	4.5
1348	11/01/1997	8:28:27 p.m.	17.91	-103.04	16	6.9
1349	11/01/1997	8:48:05 p.m.	17.73	-102.99	16	4.7
1350	12/01/1997	12:10:29 a.m.	17.91	-102.94	25	4.6
1351	12/01/1997	1:28:29 a.m.	17.92	-102.53	14	4.9
1357	16/01/1997	9:41:10 p.m.	17.94	-102.76	25	5.6
1362	27/01/1997	4:47:34 p.m.	17.91	-102.62	23	5.0
1385	22/03/1997	3:49:16 a.m.	17.04	-99.76	30	4.7
1387	23/03/1997	8:23:17 p.m.	17.39	-100.88	31	4.9
1416	08/05/1997	3:58:30 p.m.	17.32	-100.44	12	5.0
1454	11/07/1997	10:23:34 p.m.	16.76	-99.70	10	4.5
1459	19/07/1997	7:34:37 a.m.	17.22	-100.56	51	4.9
1504	27/08/1997	12:13:26 a.m.	16.76	-99.88	28	5.0
1557	22/12/1997	5:22:08 a.m.	17.14	-101.24	5	5.1
1637	25/02/1998	11:09:32 a.m.	17.18	-101.37	20	4.8
1690	13/03/1998	8:57:41 a.m.	18.11	-102.89	4	4.7

Ing. Rodrigo Martín Sánchez Flores

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
1781	09/05/1998	12:03:13 p.m.	17.41	-101.46	30	5.2
1791	16/05/1998	12:41:56 p.m.	17.21	-101.40	20	5.2
1794	17/05/1998	2:19:38 a.m.	18.14	-102.82	100	4.5
1796	17/05/1998	6:15:30 p.m.	17.15	-101.33	7	4.5
1807	01/06/1998	2:59:32 a.m.	16.77	-100.07	5	4.8
1808	01/06/1998	2:59:33 a.m.	16.82	-100.11	10	4.8
1870	05/07/1998	2:55:07 p.m.	16.83	-100.12	5	5.2
1891	12/07/1998	3:11:29 a.m.	16.97	-100.46	5	5.4
1902	17/07/1998	6:18:03 a.m.	16.98	-100.16	26	5.2
1923	26/07/1998	11:24:24 a.m.	17.52	-101.47	5	4.7
1937	09/08/1998	11:18:07 a.m.	16.9	-100.23	5	4.5
2320	24/04/1999	10:08:57 p.m.	17.24	-100.80	16	4.6
2475	05/07/1999	6:31:38 p.m.	17.76	-101.84	40	5.0
2617	01/10/1999	2:46:15 a.m.	16.93	-100.85	16	4.5
2689	07/11/1999	8:36:39 p.m.	17.17	-101.52	60	4.6
2741	07/12/1999	8:49:34 a.m.	17.19	-101.70	15	4.8
2924	21/03/2000	12:28:10 p.m.	16.31	-99.12	8	4.8
2959	11/04/2000	1:35:38 p.m.	17.67	-102.92	10	5.1
2965	14/04/2000	8:43:00 p.m.	16.91	-100.27	15	4.6
3017	14/05/2000	4:00:21 a.m.	17.89	-103.01	16	4.6
3020	15/05/2000	2:26:11 a.m.	17.09	-100.69	8	4.5
3088	30/06/2000	4:20:52 a.m.	17.73	-103.04	12	4.5
3159	09/08/2000	6:41:46 a.m.	17.94	-102.71	9	7.0
3160	09/08/2000	8:02:25 a.m.	17.89	-102.61	10	4.6
3163	09/08/2000	2:44:59 p.m.	17.93	-102.54	10	4.5
3166	10/08/2000	5:17:02 a.m.	18.02	-102.49	10	4.5
3170	12/08/2000	9:11:03 p.m.	17.76	-102.90	10	4.5
3280	01/12/2000	8:07:45 a.m.	17.94	-102.59	16	5.5
3328	18/01/2001	9:02:05 a.m.	16.38	-99.58	10	4.5
3376	05/03/2001	4:17:29 a.m.	16.49	-100.03	33	5.4
3379	06/03/2001	3:57:56 p.m.	17.18	-100.11	20	5.3
3477	15/06/2001	10:46:21 p.m.	17.89	-102.73	10	5.3
3496	06/07/2001	2:02:04 a.m.	17.98	-102.57	24	4.5
3501	08/07/2001	11:28:15 p.m.	16.38	-99.48	1	4.5
3513	19/07/2001	10:48:59 p.m.	16.51	-99.35	26	4.5
3518	21/07/2001	8:04:34 p.m.	16.71	-100.34	20	4.5
3587	13/09/2001	3:08:03 p.m.	17.53	-102.62	10	5.1
3628	07/10/2001	9:39:20 p.m.	16.98	-100.16	10	6.1
3630	07/10/2001	9:59:57 p.m.	16.89	-100.15	10	4.5
3754	28/10/2001	11:23:12 p.m.	16.81	-99.94	15	5.3
3878	19/11/2001	7:48:17 a.m.	17.12	-101.47	11	4.7

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
3896	23/11/2001	12:41:39 a.m.	17.03	-100.20	5	5.0
4101	20/01/2002	2:34:34 a.m.	16.80	-100.29	13	4.7
4123	23/01/2002	3:24:00 a.m.	16.90	-100.10	10	4.6
4192	13/02/2002	11:05:22 p.m.	16.97	-100.17	10	4.6
4196	14/02/2002	9:30:23 a.m.	16.97	-100.14	5	4.7
4212	16/02/2002	10:10:19 p.m.	16.92	-99.91	28	4.6
4217	19/02/2002	12:07:28 a.m.	16.91	-100.11	4	4.6
4226	21/02/2002	1:21:51 p.m.	17.01	-99.65	29	4.5
4272	07/03/2002	4:08:10 p.m.	16.89	-100.26	10	4.5
4400	18/04/2002	6:00:40 a.m.	16.98	-101.38	20	4.9
4403	18/04/2002	1:00:41 p.m.	17.10	-101.82	20	5.5
4439	28/04/2002	12:50:09 p.m.	16.65	-99.70	7	4.6
4440	28/04/2002	2:56:43 p.m.	17.10	-101.22	14	4.7
4456	07/05/2002	7:52:36 a.m.	16.82	-100.95	26	4.5
4464	10/05/2002	9:49:35 p.m.	17.06	-100.10	33	4.5
4488	19/05/2002	6:12:37 a.m.	16.93	-100.10	20	4.6
4528	28/05/2002	4:33:57 p.m.	16.30	-99.55	20	4.9
4576	10/06/2002	3:58:15 p.m.	16.82	-100.22	5	4.8
4624	28/06/2002	1:08:32 p.m.	16.66	-99.90	10	4.9
4705	09/08/2002	4:10:01 a.m.	17.34	-101.60	8	4.6
4758	23/08/2002	3:16:42 p.m.	16.93	-100.07	5	4.5
4832	16/09/2002	4:07:19 p.m.	18.54	-103.27	81	4.5
4864	25/09/2002	1:14:48 p.m.	16.85	-100.13	10	5.3
4874	27/09/2002	2:04:58 a.m.	17.16	-100.59	36	4.9
4888	30/09/2002	4:47:00 p.m.	17.88	-103.14	7	4.5
4919	10/10/2002	6:03:12 p.m.	17.39	-101.69	9	4.5
4936	14/10/2002	10:08:25 a.m.	16.98	-100.66	6	4.5
4959	22/10/2002	10:21:25 a.m.	17.82	-101.87	41	4.5
5002	04/11/2002	4:00:45 a.m.	17.24	-101.57	4	5.3
5003	04/11/2002	7:57:31 a.m.	17.49	-101.68	12	4.5
5122	09/12/2002	9:09:36 p.m.	17.48	-101.18	20	5.7
5127	13/12/2002	7:37:48 p.m.	17.25	-101.54	12	4.6
5150	21/12/2002	2:01:31 a.m.	16.54	-99.06	20	4.5
5191	09/01/2003	8:08:02 p.m.	16.91	-100.39	25	5.3
5282	31/01/2003	9:56:52 a.m.	17.00	-100.16	5	4.5
5313	07/02/2003	1:41:17 a.m.	17.00	-100.18	3	4.5
5366	25/02/2003	3:38:48 p.m.	17.56	-101.51	42	4.5
5441	22/03/2003	5:36:24 p.m.	17.79	-102.35	20	4.5
5534	21/04/2003	2:56:26 a.m.	17.34	-101.36	26	4.6
5595	17/05/2003	2:16:02 a.m.	16.47	-99.21	20	4.5
5829	21/09/2003	2:38:55 a.m.	18.32	-103.49	17	4.6

Ing. Rodrigo Martín Sánchez Flores

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
5992	01/01/2004	5:31:50 p.m.	17.39	-101.37	10	6.3
6002	03/01/2004	11:01:37 p.m.	16.78	-99.73	17	4.6
6083	06/02/2004	1:11:35 p.m.	18.26	-102.80	10	5.0
6190	07/04/2004	7:26:54 a.m.	17.17	-101.33	20	4.6
6195	09/04/2004	2:00:51 p.m.	18.18	-102.84	15	4.5
6278	20/05/2004	11:09:57 p.m.	17.90	-103.04	16	4.9
6547	28/09/2004	3:47:07 a.m.	16.65	-99.07	16	4.5
6873	24/02/2005	6:43:19 p.m.	17.45	-101.28	20	4.6
7664	25/02/2006	3:52:01 p.m.	17.27	-101.42	20	4.5
7684	03/03/2006	9:17:57 a.m.	16.94	-100.94	29	4.5
7692	06/03/2006	3:37:29 p.m.	16.71	-99.30	20	4.5
8102	13/08/2006	10:14:26 a.m.	18.23	-103.62	13	5.1
8339	07/11/2006	2:34:10 a.m.	17.24	-101.26	23	4.5
8443	10/12/2006	1:40:32 p.m.	18.31	-103.44	7	4.6
8507	31/12/2006	3:11:46 a.m.	17.14	-101.03	13	4.5
8510	01/01/2007	2:24:49 a.m.	16.78	-100.35	16	4.7
8630	11/02/2007	2:22:51 p.m.	16.91	-99.25	16	4.5
8649	17/02/2007	11:39:51 a.m.	16.97	-100.14	5	4.5
8694	26/02/2007	12:39:14 a.m.	16.4	-99.08	6	4.6
8709	01/03/2007	12:45:21 a.m.	16.42	-99.11	0	4.5
8840	31/03/2007	12:18:56 a.m.	17.00	-99.79	34	4.7
8875	13/04/2007	12:42:22 a.m.	17.09	-100.44	41	6.3
8880	13/04/2007	3:43:50 a.m.	17.27	-100.27	51	5.4
8886	13/04/2007	9:42:31 a.m.	18.33	-103.06	30	4.9
8921	18/04/2007	8:32:28 p.m.	16.92	-99.53	4	4.8
8922	19/04/2007	5:02:09 a.m.	17.21	-101.37	24	5.2
8949	28/04/2007	8:56:35 a.m.	16.94	-99.82	9	5.0
9035	31/05/2007	1:05:45 p.m.	18.20	-103.49	5	4.5
9354	08/09/2007	6:45:02 a.m.	16.72	-99.74	6	4.6
9530	06/11/2007	12:35:42 a.m.	17.08	-100.14	9	5.6
9679	13/12/2007	4:07:26 a.m.	17.43	-101.66	6	4.5
9997	29/02/2008	10:44:15 p.m.	16.87	-100.20	9	4.8
10229	12/04/2008	3:23:18 a.m.	17.03	-100.84	20	4.5
10272	17/04/2008	10:46:33 a.m.	16.88	-100.18	10	4.5
10325	28/04/2008	3:18:02 a.m.	16.61	-100.39	7	4.6
11144	20/10/2008	12:00:52 a.m.	17.25	-102.09	25	5.1
11183	28/10/2008	3:10:19 a.m.	17.16	-100.07	25	4.5
11341	24/11/2008	2:22:12 a.m.	18.02	-103.11	8	4.5
11342	24/11/2008	2:33:45 a.m.	17.94	-103.04	7	4.6
11595	19/01/2009	10:11:26 a.m.	17.26	-101.39	5	4.6
11667	31/01/2009	7:24:58 a.m.	17.54	-101.96	25	5.3

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
11750	13/02/2009	5:00:15 p.m.	16.46	-99.64	19	4.5
11907	16/03/2009	8:31:25 p.m.	16.82	-100.25	12	4.9
11964	27/03/2009	2:48:16 a.m.	17.35	-100.82	30	5.3
12069	11/04/2009	4:22:12 a.m.	17.64	-102.44	20	4.8
12151	27/04/2009	11:46:27 a.m.	16.90	-99.58	7	5.7
12180	01/05/2009	6:38:39 p.m.	17.06	-99.68	51	4.7
12597	09/07/2009	3:42:23 a.m.	17.19	-100.49	21	4.6
13450	22/11/2009	7:56:48 p.m.	17.45	-101.72	10	4.6
13726	06/01/2010	3:17:34 a.m.	17.01	-100.86	30	4.7
14191	19/03/2010	2:48:49 p.m.	17.22	-100.97	15	4.9
15121	25/05/2010	5:44:34 p.m.	17.06	-100.58	13	4.5
15124	25/05/2010	6:36:15 p.m.	17.11	-101.20	15	5.0
15279	05/06/2010	7:33:23 p.m.	18.39	-103.07	55	4.5
16589	30/10/2010	9:22:04 p.m.	17.98	-102.28	15	4.5
16728	14/11/2010	11:22:23 p.m.	17.18	-101.12	16	4.5
18444	26/04/2011	6:07:28 a.m.	16.71	-99.69	7	5.5
18445	26/04/2011	6:18:33 a.m.	16.70	-99.69	8	4.7
18576	05/05/2011	8:24:07 a.m.	16.61	-98.91	11	5.5
19097	18/06/2011	5:54:44 p.m.	16.92	-99.60	26	5.2
20273	22/09/2011	9:59:18 p.m.	17.00	-100.10	5	4.8
22536	03/04/2012	11:28:50 p.m.	18.46	-103.84	12	4.8
22658	11/04/2012	5:55:10 p.m.	17.90	-103.06	16	6.4
23546	06/06/2012	3:15:41 a.m.	16.97	-101.37	4	4.7
24202	30/07/2012	12:00:07 p.m.	16.83	-100.25	9	4.5
25123	12/10/2012	8:24:53 p.m.	16.90	-100.36	10	4.6
25289	26/10/2012	3:42:42 a.m.	18.23	-103.64	3	4.8
27573	04/04/2013	7:58:48 p.m.	17.08	-100.82	17	5.3
27804	21/04/2013	8:16:34 p.m.	17.87	-102.19	10	5.8
29358	21/08/2013	7:38:30 a.m.	16.79	-99.56	20	6.0
29359	21/08/2013	7:56:07 a.m.	16.73	-99.64	9	4.5
29360	21/08/2013	8:02:18 a.m.	16.73	-99.70	11	5.0
29450	26/08/2013	7:54:01 a.m.	16.65	-99.60	10	4.8
30168	06/10/2013	9:27:52 a.m.	16.83	-100.10	10	4.9
30174	06/10/2013	10:10:56 a.m.	16.81	-100.11	10	5.0
31003	30/11/2013	7:30:12 p.m.	17.35	-101.76	3	5.0
31008	30/11/2013	9:20:54 p.m.	17.32	-101.7	10	5.4
33106	18/04/2014	9:27:23 a.m.	17.18	-101.19	10	7.2
33110	18/04/2014	9:57:43 a.m.	17.36	-101.38	5	4.8
33119	18/04/2014	10:54:56 a.m.	17.33	-101.30	20	4.8
33175	19/04/2014	9:58:15 a.m.	17.24	-101.45	20	5.2
33206	20/04/2014	7:40:36 a.m.	17.51	-101.38	15	4.7

Ing. Rodrigo Martín Sánchez Flores

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
33587	08/05/2014	12:00:16 p.m.	17.11	-100.87	17	6.4
33588	08/05/2014	12:16:30 p.m.	17.12	-100.86	10	5.1
33589	08/05/2014	12:26:02 p.m.	17.01	-100.93	8	4.9
33590	08/05/2014	12:47:00 p.m.	17.08	-100.97	20	4.6
33627	10/05/2014	2:36:01 a.m.	17.06	-100.95	12	6.1
33640	10/05/2014	8:55:23 a.m.	16.97	-100.94	15	4.6
33646	10/05/2014	12:26:35 p.m.	16.91	-100.95	20	4.9

Fuente IN1

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
3	19/05/1962	2:58:28 p.m.	17.12	-99.57	33	7.20
5	06/07/1964	7:22:09 a.m.	18.03	-100.70	100	6.70
8	25/09/1966	6:02:33 a.m.	18.03	-100.70	99	5.80
26	03/07/1973	3:59:52 a.m.	19.18	-101.81	125	5.60
31	04/07/1974	10:27:48 p.m.	18.03	-100.86	33	4.60
33	12/08/1974	9:27:19 p.m.	17.45	-100.29	73	5.10
38	04/01/1975	4:30:15 a.m.	18.29	-102.59	47	4.90
41	13/02/1975	6:45:30 p.m.	17.37	-99.62	80	4.80
54	15/11/1975	3:28:30 p.m.	18.23	-102.18	33	5.90
103	01/11/1981	11:18:41 p.m.	17.96	-101.31	33	5.50
123	08/12/1983	10:21:58 a.m.	18.30	-102.42	67	5.50
215	11/06/1986	9:39:53 p.m.	17.86	-100.35	50	5.10
216	16/06/1986	5:51:06 a.m.	17.08	-99.62	34	4.50
265	26/07/1987	12:22:38 a.m.	18.73	-101.78	63	5.00
301	29/05/1988	6:11:41 a.m.	18.11	-100.05	54	4.60
323	14/09/1988	8:36:38 p.m.	18.34	-102.43	38	4.90
341	09/03/1989	10:10:38 a.m.	17.21	-99.86	40	4.50
345	13/03/1989	4:08:41 a.m.	16.96	-99.05	32	4.80
382	12/08/1989	3:31:49 p.m.	18.13	-101.03	57	5.50
384	21/08/1989	9:33:41 a.m.	17.04	-99.49	35	4.70
425	29/01/1990	2:41:24 a.m.	18.27	-102.55	39	5.40
488	24/11/1990	2:59:58 a.m.	18.03	-100.41	48	4.60
514	25/03/1991	7:32:58 p.m.	17.17	-99.87	33	4.70
533	21/05/1991	5:58:27 a.m.	17.12	-99.33	39	5.00
543	23/06/1991	8:44:25 a.m.	18.38	-101.31	78	4.90
578	17/11/1991	6:50:57 a.m.	18.36	-101.30	50	4.70
653	18/09/1992	4:58:22 a.m.	18.09	-101.41	47	4.50
717	19/07/1993	3:11:28 p.m.	18.26	-100.56	51	4.80
728	29/08/1993	8:40:43 a.m.	18.14	-100.83	69	4.80
754	02/10/1993	2:26:48 a.m.	17.96	-101.59	32	4.50

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
870	24/06/1994	7:49:42 p.m.	19.17	-104.07	52	4.80
878	12/07/1994	5:47:36 a.m.	18.12	-100.50	62	4.50
924	25/09/1994	5:02:55 p.m.	17.90	-100.95	102	4.70
934	18/10/1994	4:46:40 a.m.	18.44	-101.58	147	4.80
950	27/11/1994	6:00:30 p.m.	18.28	-101.48	80	4.50
956	10/12/1994	4:46:46 p.m.	18.02	-101.56	78	6.30
1036	27/04/1995	6:42:24 a.m.	17.88	-101.64	61	4.90
1081	21/09/1995	10:52:58 a.m.	18.26	-101.53	83	4.60
1111	28/11/1995	9:45:55 p.m.	18.51	-101.33	82	4.70
1115	20/12/1995	9:52:28 p.m.	18.43	-101.16	30	5.30
1230	21/06/1996	4:12:53 p.m.	18.34	-100.32	44	4.70
1331	17/12/1996	2:46:39 p.m.	17.54	-100.87	70	4.50
1429	22/05/1997	7:50:56 a.m.	18.41	-101.81	59	6.00
1499	18/08/1997	3:26:36 a.m.	17.99	-101.78	50	4.50
1527	12/10/1997	2:43:13 a.m.	18.46	-101.80	63	4.60
1613	06/02/1998	7:24:52 p.m.	18.97	-102.72	96	4.50
1762	20/04/1998	5:59:18 p.m.	18.34	-101.20	32	5.40
2546	14/08/1999	11:11:43 p.m.	18.90	-103.27	31	4.80
4036	01/01/2002	7:28:46 p.m.	18.61	-101.61	48	4.60
4469	12/05/2002	10:27:01 a.m.	18.30	-100.94	63	4.70
4620	26/06/2002	11:59:49 p.m.	17.82	-100.46	45	4.50
4852	20/09/2002	9:12:54 p.m.	18.41	-101.30	40	4.60
5288	02/02/2003	6:16:18 a.m.	18.64	-102.02	74	4.50
5594	16/05/2003	4:09:24 a.m.	18.29	-101.23	67	4.60
5725	21/07/2003	6:53:44 p.m.	18.43	-101.05	72	4.70
5923	19/11/2003	7:50:28 a.m.	17.83	-99.49	48	4.90
6372	12/07/2004	11:16:27 p.m.	17.91	-101.70	46	4.50
6601	28/10/2004	3:30:02 p.m.	18.34	-99.74	51	4.60
6665	21/11/2004	9:49:26 p.m.	17.93	-99.60	50	4.50
7051	26/05/2005	10:55:56 a.m.	17.94	-99.98	62	4.60
7505	14/12/2005	3:22:36 p.m.	18.39	-101.21	49	4.50
7550	08/01/2006	1:10:06 a.m.	18.56	-101.22	48	4.50
7590	23/01/2006	3:04:42 a.m.	18.56	-101.93	66	4.50
7650	20/02/2006	4:54:23 a.m.	18.16	-100.75	41	5.00
7726	20/03/2006	5:37:04 p.m.	18.57	-102.05	67	4.60
7958	26/06/2006	10:49:20 a.m.	18.03	-100.00	57	4.50
8095	11/08/2006	9:30:41 a.m.	18.32	-101.27	51	5.90
8096	11/08/2006	9:38:38 a.m.	18.45	-101.30	55	4.90
8097	11/08/2006	11:46:26 a.m.	18.39	-101.25	50	4.60
8115	17/08/2006	6:34:53 p.m.	18.71	-102.47	63	4.60
8461	16/12/2006	9:17:50 p.m.	17.91	-101.31	60	4.70

Ing. Rodrigo Martín Sánchez Flores

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
8610	06/02/2007	4:55:31 a.m.	18.14	-100.82	51	4.60
8764	12/03/2007	10:19:32 p.m.	18.70	-101.58	32	4.50
8966	07/05/2007	7:34:04 a.m.	18.02	-101.41	77	4.60
9163	18/07/2007	10:13:35 a.m.	17.78	-101.65	63	4.70
9200	28/07/2007	8:45:24 a.m.	18.05	-100.84	48	4.80
9220	02/08/2007	2:47:24 a.m.	17.67	-101.34	57	4.50
9424	03/10/2007	12:47:58 p.m.	18.42	-101.32	61	4.70
9447	11/10/2007	10:32:26 p.m.	18.08	-99.86	40	4.50
9607	26/11/2007	3:56:16 p.m.	18.50	-101.31	53	5.60
9608	26/11/2007	4:04:33 p.m.	18.67	-101.74	66	4.50
9609	26/11/2007	6:50:09 p.m.	17.91	-101.65	36	4.50
9974	22/02/2008	10:29:49 a.m.	18.08	-101.97	30	4.70
10247	15/04/2008	2:31:43 a.m.	18.31	-101.01	65	4.60
10321	27/04/2008	7:06:29 p.m.	18.05	-100.01	52	5.60
10328	29/04/2008	5:56:42 a.m.	18.47	-101.19	60	5.40
12821	15/08/2009	8:22:45 a.m.	18.06	-100.67	55	5.40
13821	21/01/2010	11:03:55 a.m.	18.86	-102.95	80	4.50
14511	14/04/2010	12:16:14 a.m.	18.00	-101.75	36	4.90
16090	08/09/2010	9:17:23 a.m.	18.52	-101.58	67	4.60
21094	10/12/2011	7:47:25 p.m.	17.84	-99.98	58	6.50
21755	05/02/2012	11:01:11 a.m.	18.37	-101.43	54	4.70
23039	01/05/2012	11:37:59 a.m.	18.20	-101.01	51	5.60
25739	15/11/2012	3:20:22 a.m.	18.17	-100.52	40	6.10
27677	11/04/2013	10:45:09 p.m.	17.78	-101.58	35	5.20
28366	02/06/2013	2:13:32 p.m.	17.84	-100.84	54	4.60
28528	16/06/2013	12:19:03 a.m.	18.04	-99.25	60	5.80
28696	29/06/2013	4:19:26 p.m.	18.14	-99.26	49	4.70
33797	19/05/2014	8:39:14 p.m.	18.04	-100.10	53	5.00

Fuente IN2

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
27	28/08/1973	9:50:38 a.m.	18.29	-96.45	84	6.8
30	27/05/1974	5:01:15 a.m.	17.65	-98.53	50	5.3
93	24/10/1980	2:53:34 p.m.	18.03	-98.29	70	7.0
125	04/06/1984	4:34:02 a.m.	18.18	-98.32	85	5.4
131	11/02/1985	12:13:52 a.m.	16.24	-95.10	74	5.2
147	15/09/1985	7:57:55 a.m.	17.94	-97.15	63	5.9
212	29/05/1986	8:31:21 p.m.	16.85	-98.93	36	5.2
264	15/07/1987	7:16:13 a.m.	17.39	-97.26	68	6.0
685	07/01/1993	11:45:34 p.m.	17.06	-95.37	63	4.6

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
722	05/08/1993	1:20:48 a.m.	17.08	-98.53	32	5.1
725	20/08/1993	6:12:32 p.m.	17.28	-95.21	94	4.5
829	23/02/1994	2:13:51 p.m.	17.82	-97.30	53	5.4
852	06/05/1994	9:09:37 p.m.	18.17	-98.16	96	4.9
1021	31/03/1995	7:58:12 a.m.	16.87	-96.15	110	4.5
1184	01/04/1996	3:43:06 a.m.	16.61	-96.02	39	5.0
1300	12/10/1996	2:06:44 p.m.	17.15	-95.33	121	4.5
1392	03/04/1997	9:22:32 p.m.	17.98	-98.33	30	5.1
1399	15/04/1997	1:12:06 a.m.	17.57	-95.67	110	4.5
1453	09/07/1997	3:54:25 p.m.	17.05	-95.64	127	4.5
1802	24/05/1998	1:23:33 p.m.	16.28	-96.05	109	4.5
1803	25/05/1998	5:05:47 a.m.	16.61	-95.06	178	4.5
1848	20/06/1998	5:07:35 p.m.	17.12	-95.26	113	4.9
1991	16/09/1998	7:31:17 p.m.	17.01	-95.23	83	4.5
2222	26/01/1999	8:59:45 p.m.	16.25	-95.37	78	4.5
2418	15/06/1999	3:42:05 p.m.	18.20	-97.47	92	6.7
2419	15/06/1999	4:52:10 p.m.	18.52	-97.58	60	4.5
2686	06/11/1999	9:03:41 a.m.	17.60	-96.79	70	4.5
2761	14/12/1999	1:12:17 a.m.	17.99	-98.60	57	4.6
2782	27/12/1999	3:21:33 p.m.	17.71	-98.29	44	4.7
2870	25/02/2000	9:57:27 a.m.	17.03	-95.57	149	4.5
3130	21/07/2000	1:13:40 a.m.	18.09	-98.97	47	5.9
3445	15/05/2001	6:37:55 p.m.	16.32	-95.32	65	4.6
3550	06/08/2001	8:13:15 a.m.	16.71	-95.22	87	4.5
3656	10/10/2001	2:09:16 p.m.	16.83	-95.03	117	4.5
4146	30/01/2002	2:42:03 a.m.	18.21	-96.02	115	5.1
4378	13/04/2002	2:05:59 p.m.	16.21	-95.20	57	4.7
4938	15/10/2002	1:47:15 a.m.	16.82	-98.60	40	4.5
6044	17/01/2004	3:13:09 p.m.	17.68	-95.66	109	4.7
6053	22/01/2004	1:29:21 a.m.	16.72	-98.38	30	4.5
6443	07/08/2004	6:49:12 a.m.	17.10	-95.48	106	5.3
6471	18/08/2004	4:03:10 a.m.	16.33	-95.14	66	5.7
6596	25/10/2004	6:02:02 a.m.	16.68	-96.42	70	4.5
6607	02/11/2004	12:00:06 a.m.	16.47	-95.86	62	4.5
7321	23/09/2005	8:14:02 p.m.	17.88	-97.03	104	4.7
7326	29/09/2005	10:31:17 a.m.	16.49	-96.01	76	4.5
7512	17/12/2005	10:51:09 a.m.	16.73	-95.05	94	4.5
7714	17/03/2006	4:43:25 a.m.	17.80	-95.86	107	4.5
8642	14/02/2007	12:04:40 p.m.	16.76	-96.18	78	4.6
8957	04/05/2007	5:21:10 a.m.	17.20	-96.84	70	4.8
9038	01/06/2007	7:20:06 p.m.	17.03	-95.61	73	4.5

Ing. Rodrigo Martín Sánchez Flores

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
9270	20/08/2007	12:01:30 a.m.	17.34	-95.96	92	4.5
9681	13/12/2007	11:08:54 a.m.	17.26	-96.70	82	4.5
9812	18/01/2008	3:34:24 p.m.	16.88	-95.10	107	4.5
10709	18/07/2008	12:00:30 a.m.	17.95	-97.49	51	4.5
11405	09/12/2008	5:44:11 p.m.	18.01	-98.48	80	4.6
11643	27/01/2009	5:22:59 a.m.	18.08	-97.65	64	4.5
12326	22/05/2009	2:24:18 p.m.	18.13	-98.44	45	5.7
12947	08/09/2009	12:14:31 a.m.	17.68	-95.77	102	5.1
13897	02/02/2010	10:59:42 p.m.	17.97	-98.20	59	4.7
14401	08/04/2010	12:25:32 a.m.	16.81	-95.26	91	4.5
15768	24/07/2010	1:20:28 a.m.	17.06	-95.13	118	4.6
16085	07/09/2010	5:44:51 p.m.	18.11	-98.57	50	4.5
17476	04/02/2011	11:32:02 a.m.	17.25	-96.56	76	4.5
18269	14/04/2011	11:33:45 a.m.	16.70	-95.09	102	4.7
18660	11/05/2011	12:31:44 p.m.	16.24	-96.16	60	4.5
19021	12/06/2011	6:17:47 a.m.	17.19	-95.15	116	4.8
19350	10/07/2011	10:19:20 a.m.	16.58	-95.21	127	4.8
20288	23/09/2011	12:14:03 p.m.	17.30	-95.67	101	4.9
26433	06/01/2013	12:24:44 p.m.	16.87	-95.02	55	5.0
32834	25/03/2014	10:42:28 p.m.	16.17	-95.75	60	4.6
33826	21/05/2014	5:06:15 a.m.	17.11	-95.07	121	5.8

Fuente MVB

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
	12/10/1912		19.95364	-99.8436		6.9
1	10/12/1961		20.1	-99.1	15	5
210	19/10/1985		19.09	-99.2	5	0
211	20/10/1985		19.4	-99.67	9	3.2
214	30/10/1985		19.712	-99.087	5	2.7
223	22/12/1985		19.774	-99.301	8	3
285	27/01/1987		20.31	-99.21	15	4.1
971	04/08/1994		20.67	-99.5	16	2.8
989	01/09/1994		20.7	-99.46	18	2.5
1001	11/09/1994		20.67	-99.48	5	2.7
1004	15/09/1994		20.67	-99.5	16	2.7
1005	22/09/1994		20.66	-99.48	9	2.8
1008	28/09/1994		20.68	-99.47	5	2.7
1010	07/10/1994		20.66	-99.48	7	2.7
1013	10/10/1994		20.66	-99.47	10	2.4
1070	21/01/1995		19.29	-98.92	15	3.8

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
1075	26/01/1995		19.018	-98.621	5.3	2.7
1104	03/04/1995		19.019	-98.639	10.8	2.3
1139	29/06/1995		20.66	-99.54	6	2.6
1141	04/07/1995		20.67	-99.57	9	2.8
1171	01/10/1995		19.23	-102.04	5	3.9
1200	22/12/1995		20.65	-99.56	13	2.7
1212	21/01/1996		20.689	-99.536	11	2.7
1215	01/02/1996		20.673	-99.56	8	2.5
1249	06/03/1996		20.648	-99.578	5	2.3
1250	09/03/1996		20.68	-99.565	5	2.7
1252	18/03/1996		20.679	-99.57	6	2.5
1276	27/04/1996		20.681	-99.577	17	3.2
1285	11/05/1996		20.671	-99.572	5	2.6
1289	24/05/1996		20.707	-99.569	5	3.3
1295	03/06/1996		20.715	-99.57	12	3.1
1296	03/06/1996		20.703	-99.543	13	2.8
1297	03/06/1996		20.676	-99.546	19	2.9
1298	03/06/1996		20.695	-99.566	10	2.5
1299	03/06/1996		20.706	-99.558	6	2.9
1300	05/06/1996		20.7	-99.5	19	4.2
1301	05/06/1996		20.706	-99.561	13	3
1304	05/06/1996		20.695	-99.534	14	2.8
1334	22/07/1996		20.541	-99.378	11	2.8
1339	30/07/1996		20.649	-99.872	5	2.4
1340	01/08/1996		20.707	-99.586	5	2.6
1341	01/08/1996		20.701	-99.586	5	2.8
1346	08/08/1996		20.69	-99.592	7	3.2
1350	23/08/1996		20.702	-99.57	5	2.7
1352	26/08/1996		20.674	-99.605	12	3.2
1368	22/09/1996		20.81	-99.4	20	4.2
1370	22/09/1996		20.692	-99.587	9	2.8
1371	22/09/1996		20.696	-99.587	8	2.9
1372	22/09/1996		20.701	-99.603	9	2.6
1375	03/10/1996		20.705	-99.57	5	3.5
1379	07/10/1996		20.686	-99.581	8	2.6
1380	08/10/1996		20.699	-99.577	5	3.5
1393	31/10/1996		20.712	-99.534	12	3.2
1396	08/11/1996		20.688	-99.579	5	2.2
1590	01/09/1997		19.13	-95.97	16	4.4
1702	11/02/1998		18.99	-98.58	4	3.9
1775	14/03/1998		19.52	-100.34	15	4.3

Ing. Rodrigo Martín Sánchez Flores

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
1789	18/03/1998		20.09	-99.23	11	4.3
1790	18/03/1998		20.13	-99.19	20	3.3
1791	18/03/1998		20.18	-99.19	3	2.8
1798	21/03/1998		19.11	-98.6	5	4.1
1802	23/03/1998		20.08	-99.19	3	3.3
1803	23/03/1998		19.42	-98.86	4	3.7
1807	25/03/1998		20.11	-99.28	9	3.2
1813	29/03/1998		20.1	-99.51	8	3.3
1819	02/04/1998		20.2	-99.57	3	3.3
1820	02/04/1998		20.1	-99.22	2	3.1
1842	20/04/1998		20.04	-99.2	3	3.3
1897	06/06/1998		19.82	-100.3	3	3.7
1898	06/06/1998		19.96	-100.69	4	3.7
1899	06/06/1998		19.89	-100.64	4	4
1900	06/06/1998		19.77	-100.43	11	3.8
1904	07/06/1998		19.91	-100.3	5	4.3
1905	07/06/1998		19.66	-100.37	3	4
1909	09/06/1998		19.95	-100.36	5	4.1
1910	09/06/1998		19.84	-100.35	3	3.9
1911	09/06/1998		19.69	-100.84	6	3.9
1914	13/06/1998		19.99	-99.6	5	3.2
1915	13/06/1998		19.81	-99.64	5	3
1941	24/06/1998		19	-98.64	1	3.5
1950	04/07/1998		19.82	-99.16	11	3.2
1967	08/07/1998		19.33	-98.73	5	3.4
2022	13/08/1998		18.98	-98.59	3	3.9
2027	18/08/1998		19.19	-98.98	3	2.9
2028	18/08/1998		19.19	-98.99	1	2.9
2066	08/09/1998		19.37	-99.03	5	3.2
2086	21/09/1998		18.87	-98.58	10	4.2
2090	22/09/1998		19.03	-98.56	0	4
2092	23/09/1998		19.09	-98.53	2	3.9
2146	30/10/1998		19.22	-98.84	2	3.3
2208	25/11/1998		19.15	-98.54	3	3.8
2209	25/11/1998		19.09	-98.55	4	3.8
2210	25/11/1998		19.12	-98.78	1	3.8
2211	25/11/1998		19.58	-99.91	16	3.1
2213	26/11/1998		19.12	-98.62	0	3.8
2214	26/11/1998		19.08	-98.6	1	3.6
2215	26/11/1998		19.08	-98.59	7	3.7
2218	27/11/1998		19.07	-98.61	1	3.6

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
2220	28/11/1998		19.09	-98.49	2	3.4
2221	29/11/1998		19.1	-98.79	0	3.9
2222	30/11/1998		18.94	-98.63	1	3.7
2228	03/12/1998		19.08	-98.57	0	3.9
2231	04/12/1998		19.21	-98.61	1	3.8
2239	15/12/1998		19.07	-98.65	0	3.8
2241	17/12/1998		19.16	-98.64	1	3.7
2267	31/12/1998		18.98	-98.65	2	3.5
2272	04/01/1999		20.13	-99.06	2	3.5
2289	14/01/1999		19.14	-98.61	0	3
2300	21/01/1999		18.28	-94.63	15	4.2
2305	27/01/1999		18.78	-98.52	4	3.4
2312	28/01/1999		19.49	-99.34	1	2.7
2343	16/03/1999		19.68	-98.63	5	3
2346	18/03/1999		18.91	-98.75	0	3.9
2348	19/03/1999		19.23	-98.61	0	3.4
2350	22/03/1999		18.99	-98.53	0	3.8
2353	23/03/1999		20.92	-99.03	5	3.5
2368	04/04/1999		19.02	-98.55	0	3.3
2371	04/04/1999		19.21	-96.38	18	3.8
2387	15/04/1999		18.73	-98.75	13	3.6
2395	20/04/1999		19.53	-99.2	2	2.3
2458	19/05/1999		19.19	-98.95	5	3.1
2461	22/05/1999		19.21	-98.97	3	3.1
2472	30/05/1999		19.83	-98.85	7	2.4
2485	06/06/1999		19.18	-98.96	3	3.5
2494	12/06/1999		19.23	-98.57	0	3.4
2495	12/06/1999		19.23	-98.56	0	3.2
2506	16/06/1999		18.97	-98.51	0	3.6
2507	16/06/1999		19.16	-98.66	0	3.3
2508	16/06/1999		19	-98.59	12	3.5
2515	20/06/1999		19.25	-98.45	3	3.7
2516	20/06/1999		19.3	-98.47	3	4
2579	14/07/1999		19.06	-98.65	1	3.3
2606	25/07/1999		19.16	-98.94	11	3.5
2610	27/07/1999		19.43	-98.79	0	3.6
2633	21/08/1999		19.4	-98.82	9	3.3
2649	30/08/1999		19.76	-96.39	10	3.6
2679	18/09/1999		20.55	-99.23	13	3.4
2681	19/09/1999		20.35	-99.28	8	3.2
2686	27/09/1999		18.67	-98.57	7	3.5

Ing. Rodrigo Martín Sánchez Flores

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
2761	02/11/1999		19.32	-98.62	11	3.2
2783	13/11/1999		19.41	-98.89	14	3.3
2822	07/12/1999		19.25	-98.92	4	3.3
2829	08/12/1999		19.2	-98.92	3	2.9
2835	09/12/1999		19.24	-98.93	6	3.1
2844	14/12/1999		19.94	-105.07	20	4.5
2872	31/12/1999		19.36	-96.36	15	3.6
2903	23/01/2000		19.38	-103.15	16	4.1
2933	14/02/2000		19.91	-100.15	5	3.4
2968	04/03/2000		18.94	-98.56	1	3.9
2980	11/03/2000		20.08	-99.27	5	4.1
3003	18/03/2000		19.41	-97.6	8	3.8
3012	24/03/2000		18.91	-95.58	20	4.1
3028	05/04/2000		18.82	-99.18	1	3.4
3032	10/04/2000		19.23	-98.89	17	2.6
3065	27/04/2000		18.92	-99.29	2	3.3
3128	03/06/2000		19.84	-100.25	3	3.9
3130	05/06/2000		18.95	-96.06	8	4.4
3143	10/06/2000		19.16	-98.95	14	3
3166	26/06/2000		20.72	-99.48	14	3.4
3182	06/07/2000		19.16	-98.93	14	3.3
3183	06/07/2000		19.2	-98.97	9	3.2
3250	11/08/2000		19.55	-96.41	4	4.1
3303	25/09/2000		19.22	-96.04	16	3.8
3319	05/10/2000		19.44	-99.38	14	2.8
3344	10/11/2000		18.95	-96.89	16	3.9
3370	05/12/2000		18.97	-98.43	1	3.3
3401	09/01/2001		19.46	-100.22	6	3.7
3491	18/04/2001		20.68	-98.95	16	3.6
3492	19/04/2001		19.13	-96.26	18	4.1
3506	01/05/2001		20.05	-96.38	10	3.8
3522	12/05/2001		18.77	-96.98	2	3.7
3549	01/06/2001		19.66	-96.5	15	3.7
3557	12/06/2001		19.29	-99.44	14	3.2
3584	09/07/2001		19.24	-96.28	25	3.7
3604	23/07/2001		18.5	-95.48	26	4
3670	14/09/2001		19.49	-99.24	5	2.8
3938	15/11/2001		19.55	-99.16	3	3.5
4060	12/12/2001		19.66	-103.25	4	4.2
4230	01/02/2002		19.5	-99.25	1	2.4
4496	21/04/2002		19.5	-98.91	17	3.2

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
4497	21/04/2002		19.49	-98.92	19	2.8
4498	21/04/2002		19.5	-99.02	24	3.1
4499	21/04/2002		19.44	-99.02	11	3
4542	09/05/2002		19.51	-99.03	26	3.7
4543	09/05/2002		19.49	-99.02	20	3.3
4544	09/05/2002		19.49	-99	16	3.4
4547	11/05/2002		19.51	-99.01	24	3.1
4560	15/05/2002		19.01	-98.59	1	3.3
4878	02/09/2002		20.13	-96.75	6	3.3
4886	04/09/2002		19.82	-101.25	10	4.1
5082	03/11/2002		19.04	-97.82	5	4
5129	16/11/2002		19.16	-98.68	1	3.9
5133	16/11/2002		19.2	-98.53	7	3.4
5135	17/11/2002		19.2	-98.54	4	3.4
5136	17/11/2002		19.2	-98.64	4	3.4
5237	21/12/2002		19.31	-98.75	23	3.3
5272	08/01/2003		19.18	-98.97	12	3
5379	04/02/2003		19.12	-98.78	5	4.1
5418	14/02/2003		19.05	-98.48	1	3.8
5575	07/04/2003		19.65	-102.58	3	4
5576	07/04/2003		19.61	-102.53	15	3.9
5592	12/04/2003		19.6	-102.38	16	3.6
5594	12/04/2003		19.1	-99.17	9	3
5623	24/04/2003		18.99	-98.55	13	3.7
5697	24/05/2003		19.11	-95.87	26	4.1
5774	26/06/2003		20.13	-99.34	15	3.6
5785	05/07/2003		18.8	-99.08	10	3.5
5815	25/07/2003		19.09	-98.47	1	3.6
5860	16/08/2003		19.17	-97.44	7	3.6
5861	16/08/2003		19.14	-97.4	11	3.5
5862	16/08/2003		19.14	-97.42	10	3.5
5945	13/10/2003		19.04	-96.41	16	3.9
5959	20/10/2003		18.35	-95.3	20	3.7
5973	01/11/2003		19.29	-98.99	5	3.6
5984	10/11/2003		19.16	-99	21	3.1
5985	11/11/2003		19.18	-98.94	14	3.2
5997	15/11/2003		19.18	-98.95	5	3.8
5998	15/11/2003		19.18	-98.93	12	3.3
6023	25/11/2003		19.19	-98.96	3	3.5
6042	05/12/2003		19.78	-101.29	5	4.2
6052	15/12/2003		20.56	-99.53	25	4.1

Ing. Rodrigo Martín Sánchez Flores

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
6445	08/07/2004		19.43	-99	5	3.3
6584	31/08/2004		19.5	-97.42	16	3.7
6598	13/09/2004		19.37	-99.11	10	3.1
6647	07/10/2004		19.32	-98.94	2	3.3
6649	08/10/2004		19.64	-99.18	20	2.8
6652	08/10/2004		20	-102.86	16	3.6
6808	14/12/2004		19.27	-98.9	14	3.2
6824	19/12/2004		19.23	-98.85	11	3
6920	06/02/2005		20.41	-99.12	15	3.7
6924	07/02/2005		19.27	-98.91	10	3.3
7103	12/05/2005		19.48	-102.58	22	3.7
7208	29/06/2005		19.06	-98.69	5	3.2
7210	29/06/2005		18.92	-95.82	16	3.9
7289	06/08/2005		19.8	-98.58	21	4
7341	31/08/2005		19.94	-100.36	5	3.7
7396	21/09/2005		19.88	-101.05	5	3.9
7445	16/10/2005		19.29	-99.19	10	3.5
7537	24/11/2005		18.4	-94.92	5	3.9
7680	24/01/2006		20.3	-99.2	5	3.7
7698	02/02/2006		19.25	-98.94	14	3.5
7702	04/02/2006		19.27	-96.25	16	3.8
7717	11/02/2006		19.32	-98.95	5	3.5
7760	01/03/2006		19.62	-100.91	10	3.6
7780	11/03/2006		19.15	-98.96	5	3.7
7781	11/03/2006		19.17	-98.95	5	3.5
7917	30/04/2006		19.99	-100.84	15	4.2
8449	15/11/2006		19.02	-98.6	1	3.5
8488	27/11/2006		18.39	-94.76	20	4
8535	14/12/2006		19.48	-98.55	20	3.8
8656	25/01/2007		19.06	-99.06	14	3.8
8717	12/02/2007		19.2	-95.9	16	3.8
8733	17/02/2007		19.29	-102.68	20	3.6
9114	30/05/2007		19.22	-99.24	14	3.9
9173	20/06/2007		18.85	-98.81	1	3.7
9258	20/07/2007		19.47	-100.37	6	3.9
9550	17/10/2007		19.65	-101.03	5	3.8
9551	17/10/2007		19.72	-101.15	1	3.6
9552	17/10/2007		19.71	-101.17	5	3.5
9554	17/10/2007		19.67	-101.27	6	3.5
9685	25/11/2007		18.73	-99.34	2	3.8
9982	06/02/2008		19.7	-100.16	16	3.7

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
10083	01/03/2008		19.44	-100.41	19	3.9
10367	19/04/2008		18.72	-99.37	5	3.3
10536	25/05/2008		19.76	-103.73	27	3.6
10554	28/05/2008		19.5	-100.33	5	3.7
10696	26/06/2008		19.4	-95.91	22	4
10868	07/08/2008		18.21	-94.6	20	4.2
10877	08/08/2008		19.38	-98.36	10	3.6
10891	12/08/2008		19.6	-97.91	20	3.8
11415	23/11/2008		20.11	-98.69	20	3.6
11490	09/12/2008		19.49	-102.52	12	3.6
11509	12/12/2008		19.68	-98.68	2	3.2
11531	17/12/2008		19.28	-102.71	5	3.7
11595	31/12/2008		20.36	-99.16	16	3.6
11607	02/01/2009		18.92	-98.86	5	3.7
11669	17/01/2009		20.39	-99.06	10	3.5
11776	04/02/2009		19.66	-100.2	4	3.6
11958	10/03/2009		19.76	-104.34	4	3.7
12026	22/03/2009		18.97	-97.04	28	3.7
12290	03/05/2009		19.28	-98.82	17	3.2
12291	03/05/2009		19.31	-100.32	4	3.5
12307	06/05/2009		20.34	-99.11	10	3.5
12632	30/06/2009		20.91	-99.34	13	3.6
12648	03/07/2009		19.75	-104.45	21	3.4
12652	04/07/2009		18.66	-99.99	20	3.5
12703	11/07/2009		19.33	-99.13	10	2.9
12717	14/07/2009		19.83	-99.14	13	3.6
12779	26/07/2009		19.92	-100.95	10	3.8
12828	03/08/2009		20.07	-99.11	5	3.4
12906	15/08/2009		18.74	-99.28	20	3.3
12941	20/08/2009		20.08	-99.22	14	3.2
13309	20/10/2009		19.19	-96.36	16	3.6
13360	29/10/2009		18.89	-95.81	13	5.5
13364	29/10/2009		18.93	-95.74	21	4.2
13382	01/11/2009		19	-95.66	24	3.8
13384	01/11/2009		18.98	-98.77	10	3.7
13442	09/11/2009		18.97	-98.61	5	3.6
13561	29/11/2009		18.99	-95.59	22	4
13603	06/12/2009		19.17	-96.25	16	3.5
13670	15/12/2009		19.66	-96.84	20	3.8
13827	08/01/2010		18.92	-99.21	5	3.2
14029	09/02/2010		19.7	-98.62	4	2.9

Ing. Rodrigo Martín Sánchez Flores

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
14032	10/02/2010		18.63	-99.34	13	3.2
14037	11/02/2010		19.28	-99.16	11	2.6
14098	18/02/2010		19.04	-95.65	16	4.3
14187	05/03/2010		19.18	-98.89	5	3
14217	11/03/2010		19.37	-98.52	4	3.1
14302	23/03/2010		20.49	-99.11	5	3.1
14318	25/03/2010		20.46	-99.04	5	3.4
14473	07/04/2010		20.55	-99.11	5	3.8
14645	17/04/2010		20.38	-98.96	2	4.1
14662	17/04/2010		20.4	-99.12	2	3.3
14853	27/04/2010		20.46	-98.99	5	3.5
14917	02/05/2010		18.58	-99.84	23	3.3
15106	18/05/2010		20.27	-99.04	3	4.3
15107	18/05/2010		20.35	-98.92	5	3.6
15108	18/05/2010		20.38	-98.96	5	3.3
15110	18/05/2010		20.34	-98.88	5	3.2
15121	18/05/2010		20.35	-98.89	5	3.2
15133	20/05/2010		20.47	-99.01	4	3.1
15140	20/05/2010		19.14	-98.55	10	3.5
15141	20/05/2010		20.33	-99.21	2	3
15142	20/05/2010		20.35	-98.9	2	3.9
15145	21/05/2010		20.35	-98.91	2	3.3
15146	21/05/2010		20.44	-98.94	2	3.2
15150	21/05/2010		20.41	-98.9	2	3.1
15170	23/05/2010		20.33	-98.96	3	3.7
15351	04/06/2010		20.39	-98.88	2	3.3
15366	06/06/2010		20.39	-97.35	26	3.5
15545	24/06/2010		19.3	-99.04	2	3.4
15548	24/06/2010		19.33	-99.09	9	2.9
15605	28/06/2010		19.44	-98.82	14	3.5
15693	05/07/2010		19.2	-98.94	10	3.7
15694	05/07/2010		19.27	-98.88	9	3.2
15748	11/07/2010		20.4	-98.94	10	3.4
15749	11/07/2010		19.91	-99.94	16	3.6
15783	15/07/2010		19.52	-103.06	16	4.1
15817	19/07/2010		19.28	-98.38	15	3.8
16424	03/10/2010		19.48	-103.52	6	4
16471	08/10/2010		18.2	-94.56	20	4
16502	11/10/2010		19.7	-103.27	12	3.6
16507	12/10/2010		19.74	-103.55	20	3.5
16634	26/10/2010		19.31	-102.65	16	3.4

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
16833	17/11/2010		18.81	-101	3	3.3
16955	03/12/2010		19.12	-99.2	5	3.7
17050	14/12/2010		19.73	-98.58	1	3.8
17075	18/12/2010		18.94	-97.19	7	4.1
17587	08/02/2011		20.53	-99.1	3	3.4
17590	08/02/2011		20.91	-99.4	5	3.5
18236	06/04/2011		18.7	-100.4	16	3.6
18674	06/05/2011		19.27	-102.7	16	3.4
18754	12/05/2011		19.27	-96.76	24	4
18798	15/05/2011		20	-104.07	16	3.7
18861	20/05/2011		19.29	-96.11	16	3.7
19257	26/06/2011		19.04	-99.16	20	3.3
19870	08/08/2011		19.93	-104.39	15	3.9
20012	19/08/2011		19.57	-96.11	20	3.9
20016	19/08/2011		18.37	-94.38	15	2.7
20051	22/08/2011		19.27	-96.23	20	3.7
20190	05/09/2011		19.18	-98.75	16	3.1
20200	05/09/2011		19.15	-98.55	20	3.1
20256	13/09/2011		19.09	-95.83	25	3.9
20319	19/09/2011		19.17	-98.62	2	3.7
20367	23/09/2011		19.14	-98.54	20	3.3
20423	28/09/2011		19.71	-96.65	17	4.1
20772	30/10/2011		19.88	-104.41	7	3.9
20788	01/11/2011		19.88	-96.41	3	3
20982	21/11/2011		19.28	-97.75	6	4.2
21018	24/11/2011		19.32	-97.82	13	3.9
21121	04/12/2011		19	-95.52	16	3.9
21172	10/12/2011		19.08	-98.79	9	3.2
21371	31/12/2011		19.36	-98.77	4	3.1
21412	05/01/2012		19.09	-98.71	1	3.2
21923	14/02/2012		19.27	-96.1	16	4.5
22851	14/04/2012		19.07	-98.68	2	3.6
22903	17/04/2012		19.39	-99.28	7	2.4
22920	18/04/2012		19.15	-98.55	10	3.1
23360	17/05/2012		19.09	-95.99	18	4.3
23786	20/06/2012		19.8	-104.45	6	3.9
23828	25/06/2012		19.4	-99.03	3	3.4
23830	25/06/2012		18.04	-94.54	11	3.5
23969	06/07/2012		19.48	-96.54	16	4.1
24002	08/07/2012		19.23	-98.93	5	3.4
24005	08/07/2012		19.25	-98.82	14	3.4

Ing. Rodrigo Martín Sánchez Flores

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
24006	08/07/2012		19.32	-98.96	2	3.5
24010	09/07/2012		19.23	-98.93	5	3.5
24080	14/07/2012		19.27	-98.86	6	3.5
24083	14/07/2012		19.28	-98.89	3	3.4
24086	15/07/2012		19.23	-98.86	2	3.4
24318	02/08/2012		19.77	-104.25	16	3.4
24861	22/09/2012		19.56	-103.45	22	3.4
25104	04/10/2012		19.44	-102.25	16	4.2
25159	09/10/2012		19.2	-95.78	15	3.9
25177	11/10/2012		19.79	-104.43	8	3.6
25226	14/10/2012		18.15	-94.62	18	3.6
25305	21/10/2012		19.12	-99.26	5	3.6
25418	29/10/2012		19.18	-96.05	20	3.8
25653	09/11/2012		20.38	-98.96	20	3.1
26076	30/11/2012		18.25	-94.59	22	4
26092	02/12/2012		19.51	-96.25	11	4
26102	03/12/2012		20.35	-97.14	24	3.9
26424	27/12/2012		19.57	-102.42	12	3.9
26563	10/01/2013		19.11	-98.73	4	3.9
26622	15/01/2013		19.3	-97.54	20	3.8
26649	18/01/2013		19.33	-99.12	4	2.7
26817	03/02/2013		19.04	-98.7	5	3.2
26845	05/02/2013		18.9	-95.92	16	3.9
26922	09/02/2013		19.04	-98.6	10	3.3
27324	12/03/2013		19.52	-102.32	2	3.6
27358	15/03/2013		18.76	-96.72	16	3.6
27383	17/03/2013		19.14	-98.57	2	3
27437	21/03/2013		19.92	-104.88	10	3.9
27476	25/03/2013		19	-98.67	7	3.8
27545	28/03/2013		19.64	-103.84	1	3.1
28008	30/04/2013		19.451	-99.299	5	3.2
28075	04/05/2013		19.97	-105.37	16	4.6
28076	04/05/2013		19.96	-105.33	16	4
28080	05/05/2013		19.97	-105.31	16	3.8
28089	06/05/2013		19.01	-98.61	3	3.4
28137	08/05/2013		19.13	-98.48	5	3.5
28280	19/05/2013		19.78	-103.91	5	3.7
28284	19/05/2013		19.67	-103.9	5	3.4
28285	19/05/2013		19.65	-103.85	5	3.4
28287	19/05/2013		19.65	-103.87	10	3.5
28587	13/06/2013		20.07	-96.83	18	3.5

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
28625	16/06/2013		19.398	-99.122	4	2.9
28629	16/06/2013		19.4	-99.23	4	2.7
28640	17/06/2013		19.42	-99.19	1	2.6
28641	17/06/2013		19.37	-99.09	1	2.9
28689	21/06/2013		18.6	-98.72	20	4
28716	23/06/2013		19.46	-98.89	5	3.4
28741	25/06/2013		19	-98.65	1	3.6
28746	26/06/2013		19.14	-98.55	2	3.2
28768	28/06/2013		19.15	-98.55	2	2.9
29176	02/08/2013		19.15	-98.55	20	2.8
29237	07/08/2013		19.01	-99.15	1	3.1
29238	07/08/2013		19.04	-99.08	5	3.2
29249	08/08/2013		18.55	-98.75	10	3.8
29308	11/08/2013		19.78	-98.94	10	3.1
29514	25/08/2013		19.36	-99.07	5	3.1
29520	25/08/2013		19.34	-99.02	5	3.1
29523	25/08/2013		19.41	-99.04	5	3
29524	25/08/2013		19.44	-99.07	5	3.2
29525	25/08/2013		19.36	-99.16	2	2.2
29670	03/09/2013		20.25	-96.69	16	4.2
29681	04/09/2013		19.43	-98.87	5	3.1
29685	04/09/2013		19.36	-99.03	5	3.2
29921	16/09/2013		19.08	-98.47	2	3.7
29941	17/09/2013		20.29	-99.12	1	3.8
29947	17/09/2013		20.22	-99.25	1	3.7
29952	17/09/2013		20.26	-98.9	5	3.5
29957	17/09/2013		20.31	-99.15	1	3.7
29963	17/09/2013		20.27	-99.16	1	3.7
29965	17/09/2013		20.29	-99.15	2	3.4
29966	17/09/2013		20.29	-99.12	1	3.8
29971	17/09/2013		20.32	-99.24	2	3.4
29981	18/09/2013		20.31	-99.21	3	3.4
29991	18/09/2013		20.4	-99.2	7	3.3
30069	23/09/2013		20.34	-99.21	5	4
30072	23/09/2013		19.92	-99.09	3	3.4
30296	08/10/2013		20.3	-99.05	3	1.6
30519	23/10/2013		19.06	-95.88	15	3.7
30604	29/10/2013		19.61	-96.18	5	3.3
30720	06/11/2013		20.38	-98.96	5	2.5
30761	09/11/2013		19.14	-96.29	15	3.9
30801	12/11/2013		20.41	-98.96	1	3.2

Ing. Rodrigo Martín Sánchez Flores

ID	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	M
30845	15/11/2013		20.38	-98.96	10	2.8
30853	15/11/2013		20.38	-98.96	20	2.2
30908	19/11/2013		20.38	-98.96	20	3
30942	21/11/2013		18.93	-98.54	3	3.7
31034	26/11/2013		20.24	-98.99	20	3.9
31100	01/12/2013		19.4	-99.16	11	3.1
31109	02/12/2013		19.339	-99.195	1	2
31193	05/12/2013		20.38	-98.96	1	2.7
31205	05/12/2013		20.32	-98.89	20	2.6
31297	10/12/2013		20.41	-99.05	1	3.6
31299	10/12/2013		20.45	-99.14	1	2.5
31300	10/12/2013		20.46	-99.12	1	3
31301	10/12/2013		20.44	-99.16	1	3.2
31516	24/12/2013		19.14	-98.74	2	3.7
31519	24/12/2013		19.19	-98.72	2	3.4

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

ANEXO 2 PARÁMETROS Y RESULTADOS

A continuación, se muestran los parámetros y tasas de excedencia, determinados de acuerdo a los diferentes métodos. Así como, los resultados obtenidos, de forma gráfica, para cada fuente sismogénica.

Fuente SUB2

Parámetros

n	328	M₀	4.5
t	48.1123288	M_u	8.1
λ₀	6.81737942	ΣM-M₀	144.3
		β	2.27304227

Método Determinista

Tasa de excedencia de magnitudes.

Tabla 12. Valores de tasa de excedencia de magnitudes de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente SUB2. Método determinista

M	λ(M)	Tr	M	λ(M)	Tr	M	λ(M)	Tr
4.5	6.8174	0.1467	6	0.2239	4.4666	7.5	0.0059	168.5450
4.6	5.4310	0.1841	6.1	0.1781	5.6162	7.6	0.0044	226.3356
4.7	4.3264	0.2311	6.2	0.1415	7.0649	7.7	0.0032	311.3986
4.8	3.4465	0.2902	6.3	0.1125	8.8923	7.8	0.0022	444.4827
4.9	2.7454	0.3642	6.4	0.0893	11.2003	7.9	0.0015	673.9496
5	2.1869	0.4573	6.5	0.0708	14.1200	8	0.0009	1144.7903
5.1	1.7419	0.5741	6.6	0.0561	17.8210	8.1	0.0004	2581.7445
5.2	1.3875	0.7207	6.7	0.0444	22.5246	8.2	0.0000	0.0000
5.3	1.1051	0.9049	6.8	0.0351	28.5220			
5.4	0.8801	1.1363	6.9	0.0276	36.2011			
5.5	0.7008	1.4269	7	0.0217	46.0863			
5.6	0.5580	1.7921	7.1	0.0170	58.8994			
5.7	0.4443	2.2510	7.2	0.0132	75.6573			
5.8	0.3536	2.8279	7.3	0.0102	97.8329			
5.9	0.2814	3.5535	7.4	0.0078	127.6377			

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

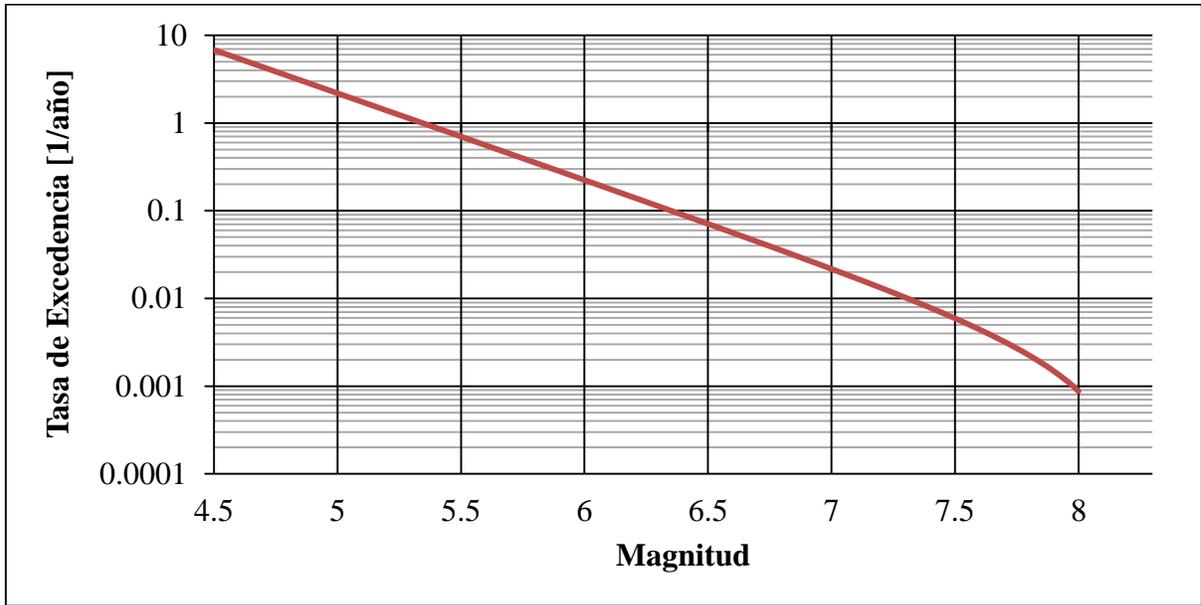


Figura 32.-Tasa de excedencia de magnitudes de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente SUB2. Método determinista

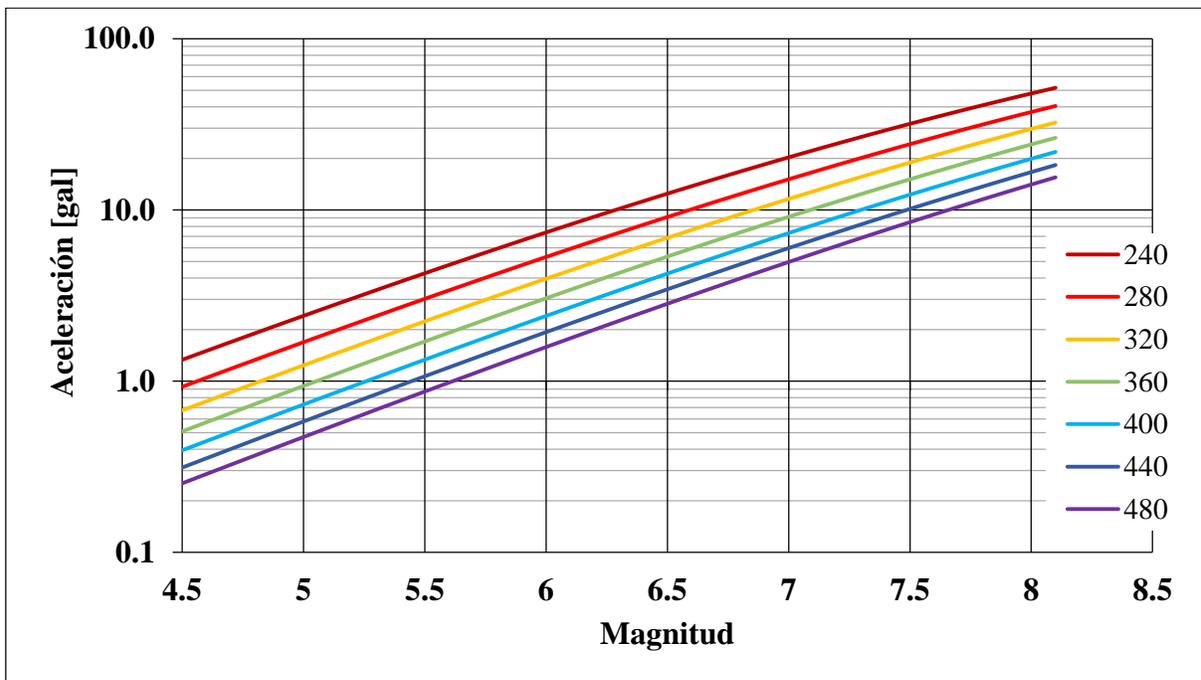


Figura 33. Aceleración esperada en función de la magnitud y la distancia para la fuente SUB2. Método determinista. Distancia en km

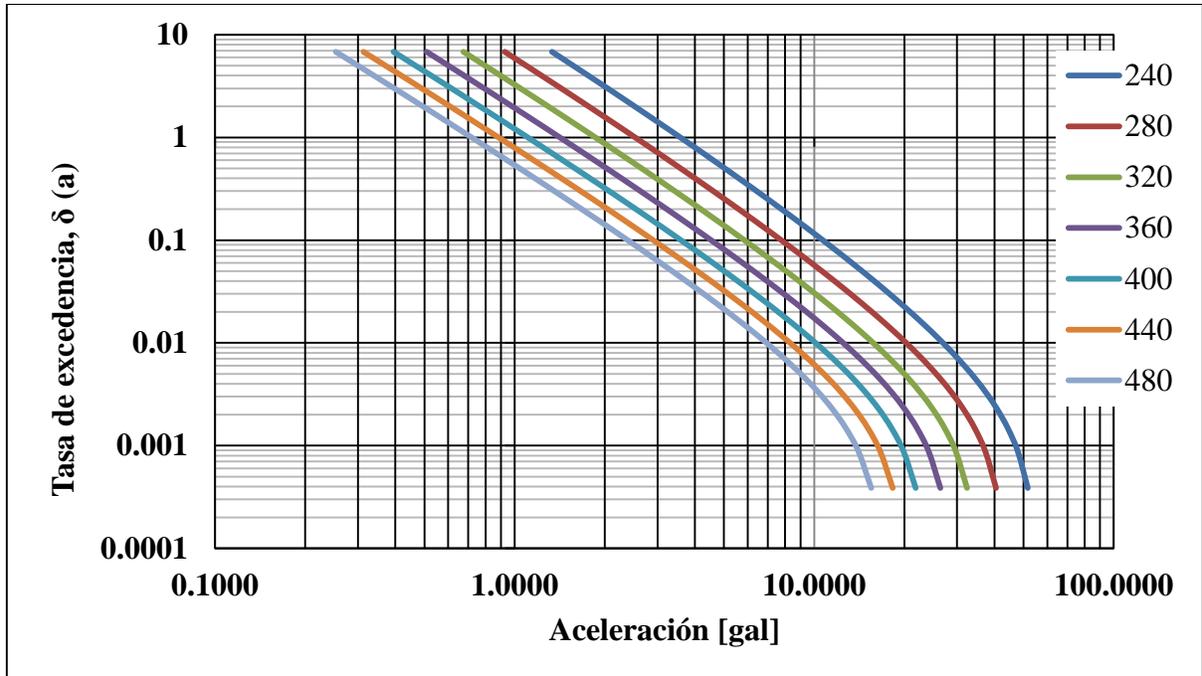


Figura 34. Tasa de excedencia de aceleraciones para la fuente SUB2 de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente SUB2. Método determinista

Método Probabilista

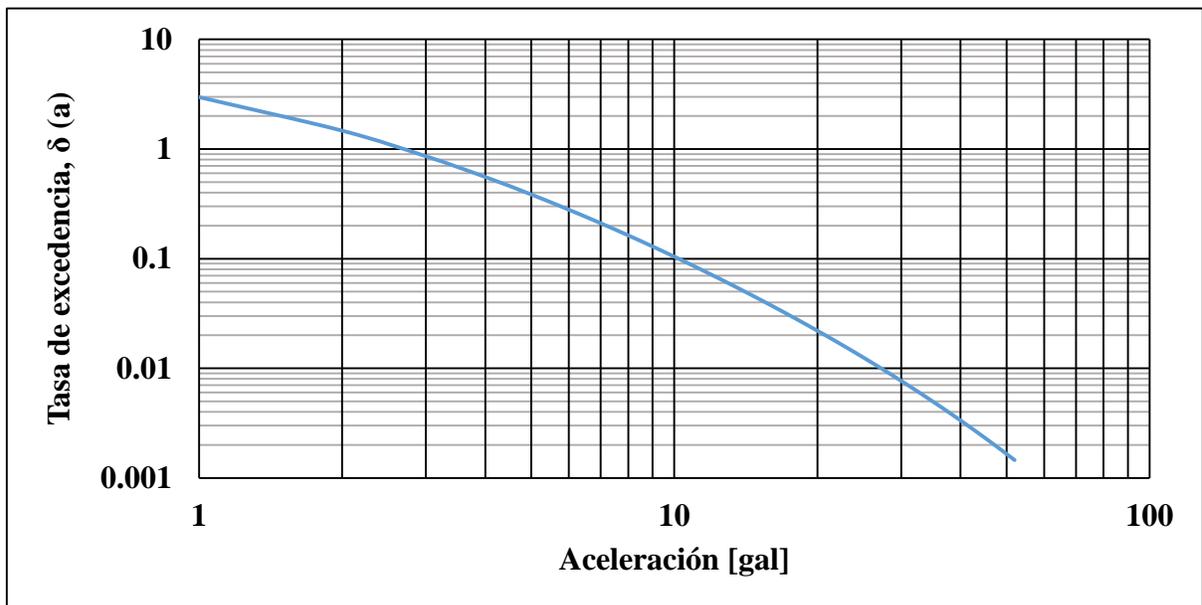


Figura 35. Tasa de excedencia de aceleraciones de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente SUB2. Método probabilista

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

Tabla 13. Valores de tasa de excedencia de aceleraciones de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente SUB2. Método probabilista

a[gal]	v(a)	a[gal]	v(a)	a[gal]	v(a)	a[gal]	v(a)
1	2.9726	26	0.0113	51	0.0015	76	0.0004
2	1.4697	27	0.0102	52	0.0015	77	0.0004
3	0.8597	28	0.0093	53	0.0014	78	0.0003
4	0.5562	29	0.0084	54	0.0013	79	0.0003
5	0.3849	30	0.0077	55	0.0012	80	0.0003
6	0.2794	31	0.0070	56	0.0011	81	0.0003
7	0.2104	32	0.0064	57	0.0011	82	0.0003
8	0.1629	33	0.0059	58	0.0010	83	0.0003
9	0.1291	34	0.0054	59	0.0009	84	0.0003
10	0.1042	35	0.0050	60	0.0009	85	0.0002
11	0.0855	36	0.0046	61	0.0008	86	0.0002
12	0.0710	37	0.0042	62	0.0008	87	0.0002
13	0.0597	38	0.0039	63	0.0007	88	0.0002
14	0.0506	39	0.0036	64	0.0007	89	0.0002
15	0.0433	40	0.0033	65	0.0007	90	0.0002
16	0.0374	41	0.0031	66	0.0006	91	0.0002
17	0.0325	42	0.0029	67	0.0006	92	0.0002
18	0.0284	43	0.0027	68	0.0006	93	0.0002
19	0.0249	44	0.0025	69	0.0005	94	0.0002
20	0.0220	45	0.0023	70	0.0005	95	0.0002
21	0.0195	46	0.0022	71	0.0005	96	0.0001
22	0.0174	47	0.0020	72	0.0005	97	0.0001
23	0.0155	48	0.0019	73	0.0004		
24	0.0139	49	0.0018	74	0.0004		
25	0.0125	50	0.0017	75	0.0004		

Fuente IN1

Parámetros

n	99	M₀	4.5
t	52.035616	M_u	7.2
λ₀	1.902543	ΣM-M₀	42.7
		β	2.3185012

Método Determinista

Tasa de excedencia de magnitudes.

Tabla 14. Valores de tasa de excedencia de magnitudes de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente IN1. Método determinista

M	λ(M)	M	λ(M)
4.5	1.9025	5.9	0.0707
4.6	1.5081	6	0.0553
4.7	1.1953	6.1	0.0431
4.8	0.9472	6.2	0.0335
4.9	0.7505	6.3	0.0258
5	0.5944	6.4	0.0197
5.1	0.4707	6.5	0.0149
5.2	0.3725	6.6	0.0111
5.3	0.2947	6.7	0.0081
5.4	0.2330	6.8	0.0057
5.5	0.1840	6.9	0.0037
5.6	0.1452	7	0.0022
5.7	0.1144	7.1	0.0010
5.8	0.0900	7.2	0.0001

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

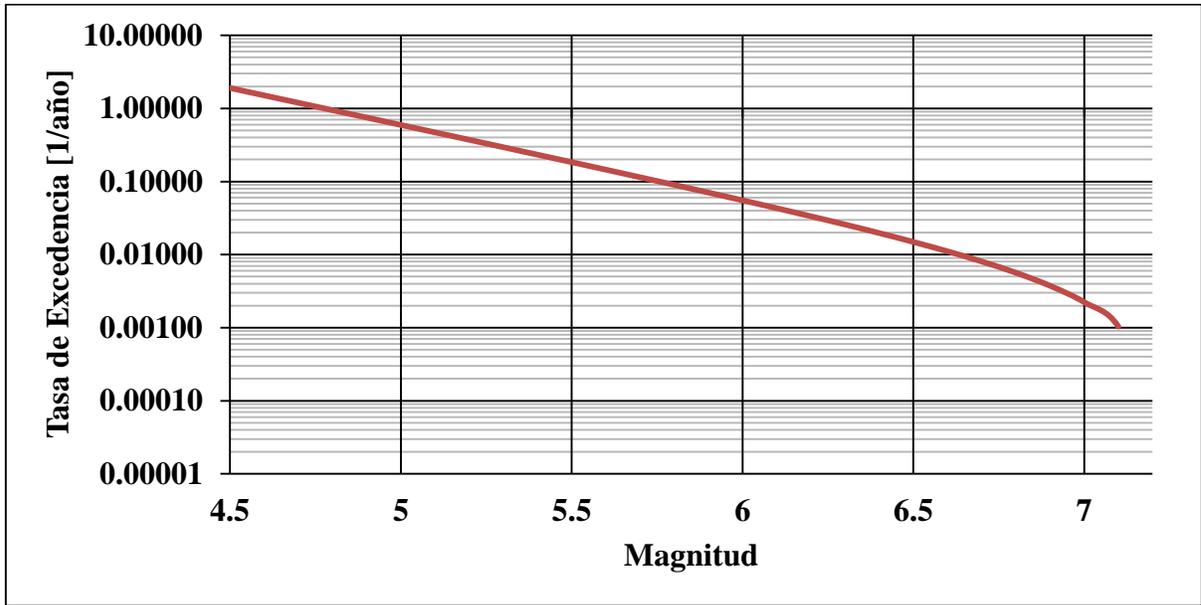


Figura 36. Tasa de excedencia de magnitudes de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente IN1. Método determinista

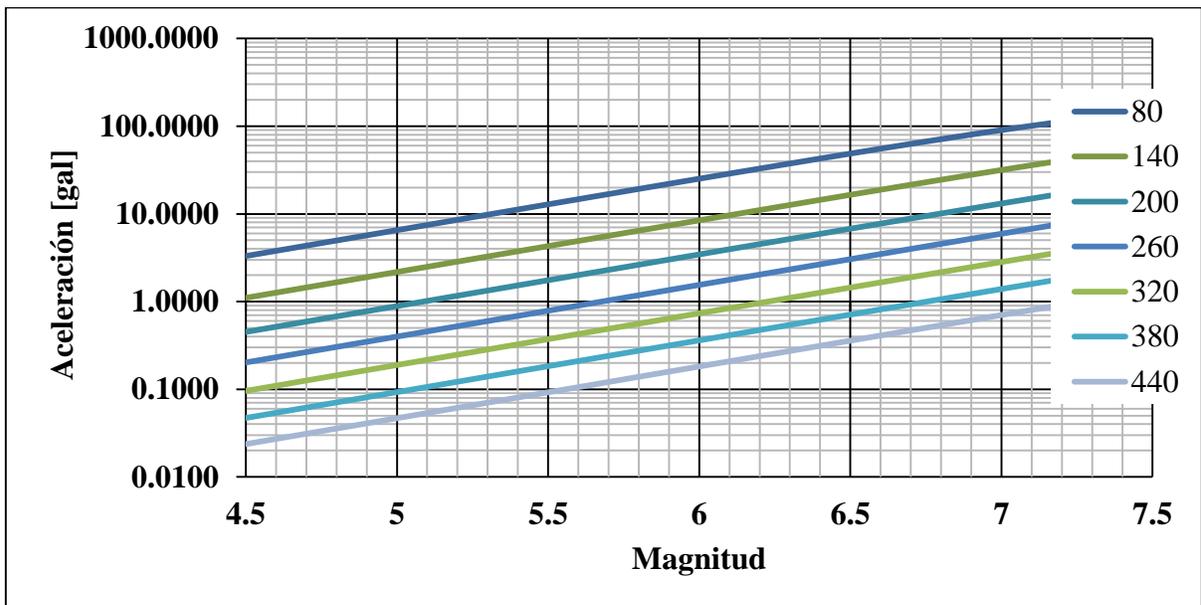


Figura 37. Aceleración esperada en función de la magnitud y la distancia para la fuente IN1. Método determinista. Distancia en km

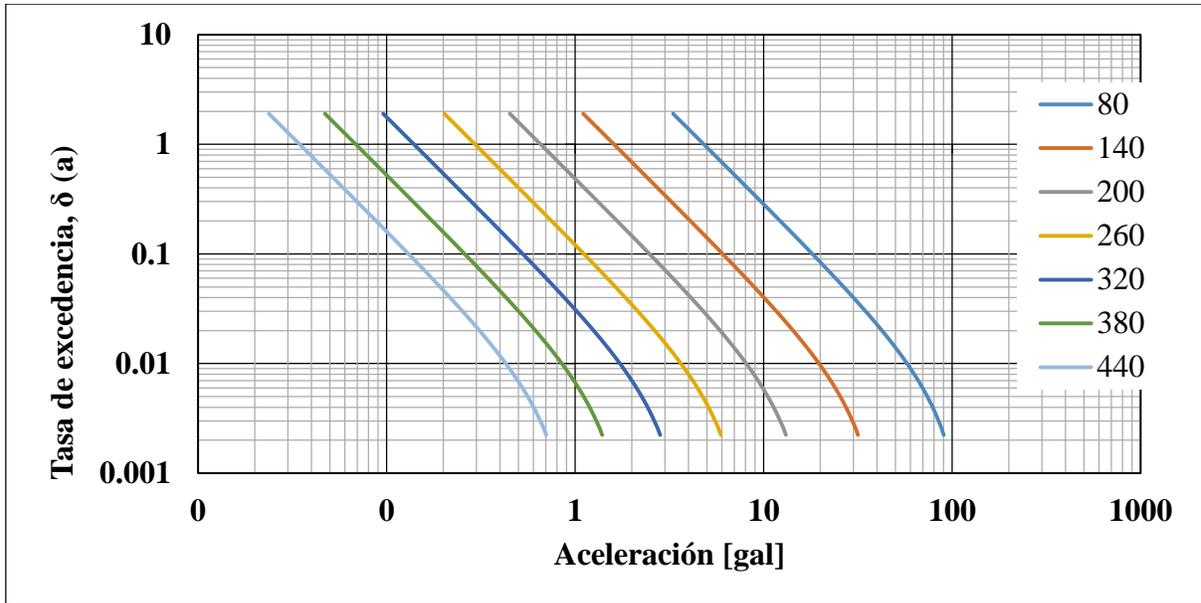


Figura 38. Tasa de excedencia de aceleraciones para la fuente IN1 de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente IN1. Método determinista

Método Probabilista

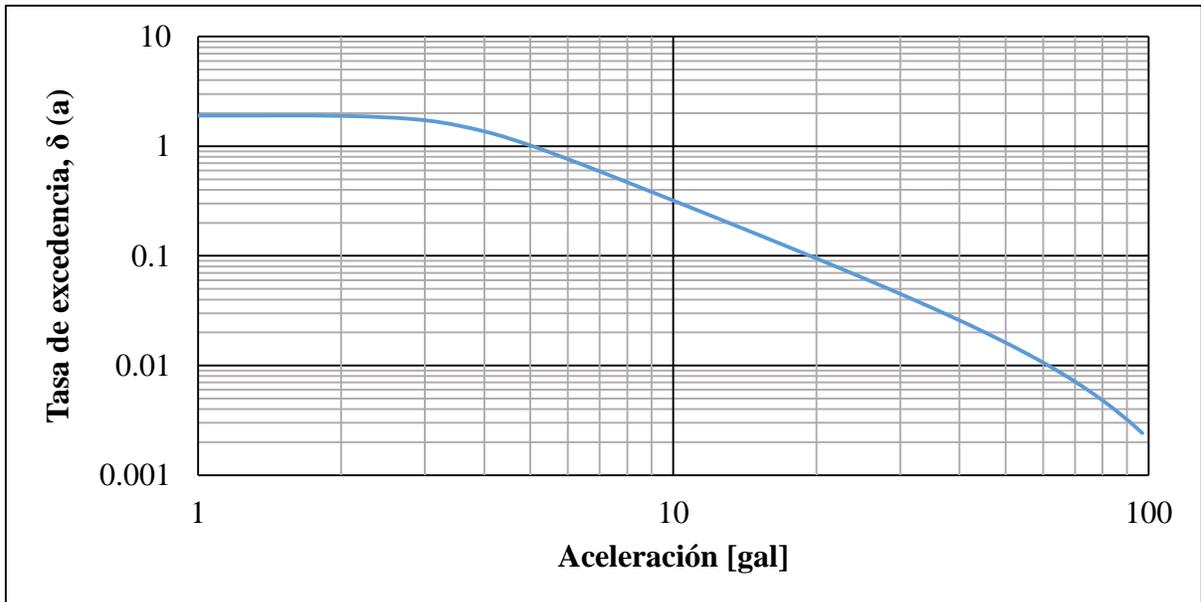


Figura 39. Tasa de excedencia de aceleraciones de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente IN1. Método probabilista

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

Tabla 15. Valores de tasa de excedencia de aceleraciones de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente IN1. Método probabilista

a[gal]	v(a)	a[gal]	v(a)	a[gal]	v(a)	a[gal]	v(a)
1	1.9025	26	0.0588	51	0.0155	76	0.0056
2	1.8914	27	0.0549	52	0.0148	77	0.0054
3	1.7253	28	0.0513	53	0.0142	78	0.0052
4	1.3664	29	0.0481	54	0.0136	79	0.0050
5	1.0179	30	0.0451	55	0.0131	80	0.0048
6	0.7634	31	0.0424	56	0.0125	81	0.0046
7	0.5896	32	0.0399	57	0.0120	82	0.0044
8	0.4692	33	0.0376	58	0.0115	83	0.0043
9	0.3831	34	0.0355	59	0.0111	84	0.0041
10	0.3193	35	0.0336	60	0.0106	85	0.0039
11	0.2707	36	0.0318	61	0.0102	86	0.0038
12	0.2327	37	0.0302	62	0.0098	87	0.0036
13	0.2024	38	0.0286	63	0.0094	88	0.0035
14	0.1778	39	0.0272	64	0.0091	89	0.0034
15	0.1576	40	0.0258	65	0.0087	90	0.0032
16	0.1407	41	0.0246	66	0.0084	91	0.0031
17	0.1264	42	0.0234	67	0.0080	92	0.0030
18	0.1142	43	0.0223	68	0.0077	93	0.0028
19	0.1038	44	0.0213	69	0.0074	94	0.0027
20	0.0947	45	0.0203	70	0.0071	95	0.0026
21	0.0867	46	0.0194	71	0.0069	96	0.0025
22	0.0798	47	0.0185	72	0.0066	97	0.0024
23	0.0736	48	0.0177	73	0.0063		
24	0.0681	49	0.0169	74	0.0061		
25	0.0632	50	0.0162	75	0.0059		

Fuente IN2

Parámetros

n	71	M₀	4.5
t	40.756164	M_u	7.0
λ₀	1.7420678	ΣM-M₀	27.2
		β	2.6102941

Método Determinista

Tasa de excedencia de magnitudes.

Tabla 16. Valores de tasa de excedencia de magnitudes de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente IN2. Método determinista

M	λ(M)	M	λ(M)
4.5	1.74206776	5.8	0.05611784
4.6	1.34126996	5.9	0.04265309
4.7	1.03255213	6	0.03228176
4.8	0.79475968	6.1	0.02429316
4.9	0.61159808	6.2	0.01813987
5	0.47051634	6.3	0.01340025
5.1	0.36184696	6.4	0.00974952
5.2	0.27814348	6.5	0.00693751
5.3	0.21367018	6.6	0.00477154
5.4	0.16400909	6.7	0.00310319
5.5	0.12575722	6.8	0.00181812
5.6	0.0962934	6.9	0.00082829
5.7	0.07359866	7	6.5861E-05

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

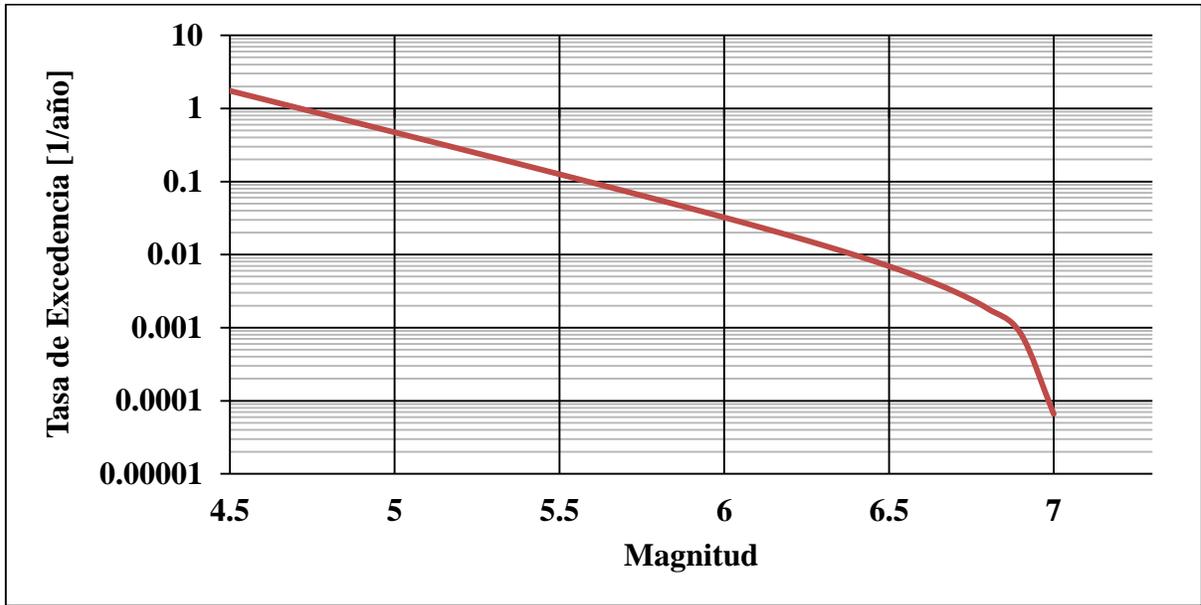


Figura 40. Tasa de excedencia de magnitudes de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente IN2. Método determinista

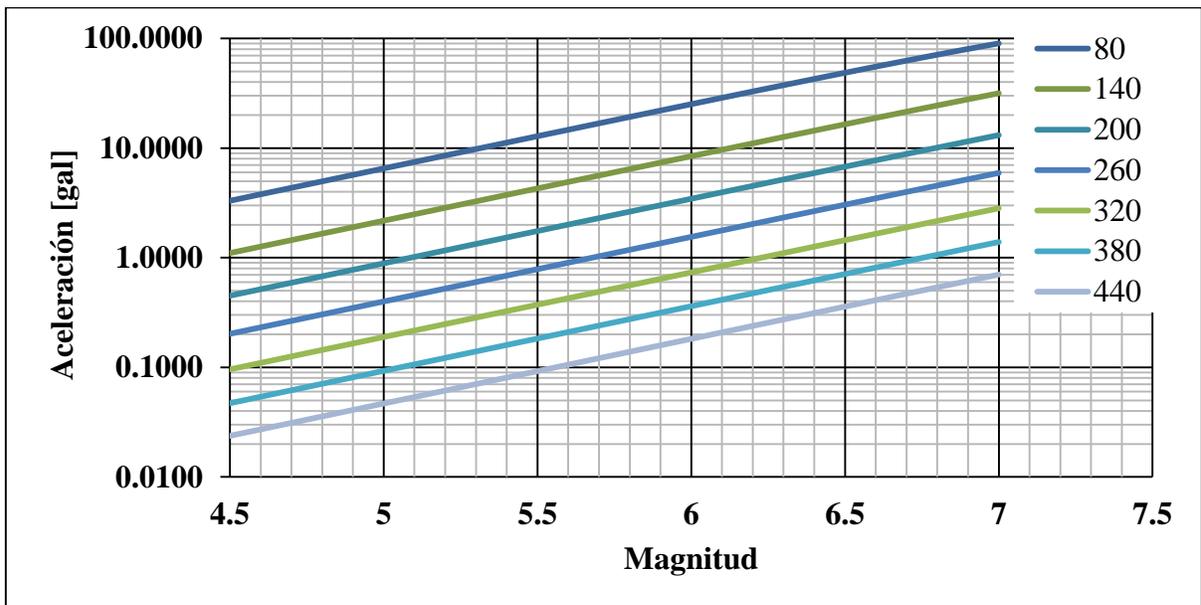


Figura 41.-Aceleración esperada en función de la magnitud y la distancia para la fuente IN2. Método determinista. Distancia en km

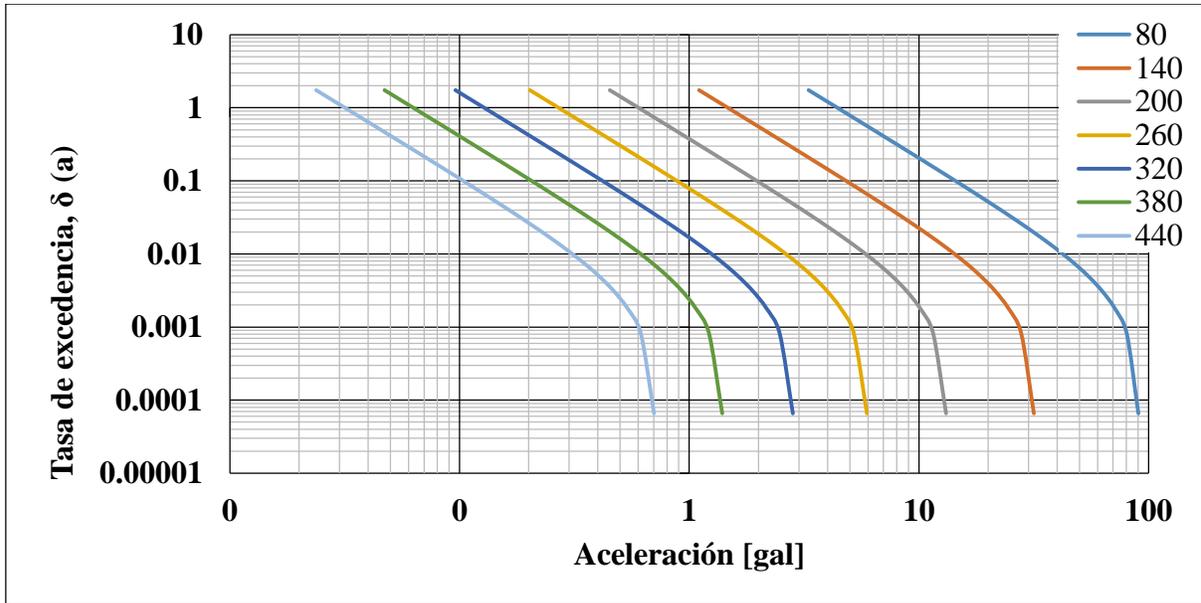


Figura 42. Tasa de excedencia de aceleraciones para la fuente IN2 de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente IN2. Método determinista

Método Probabilista

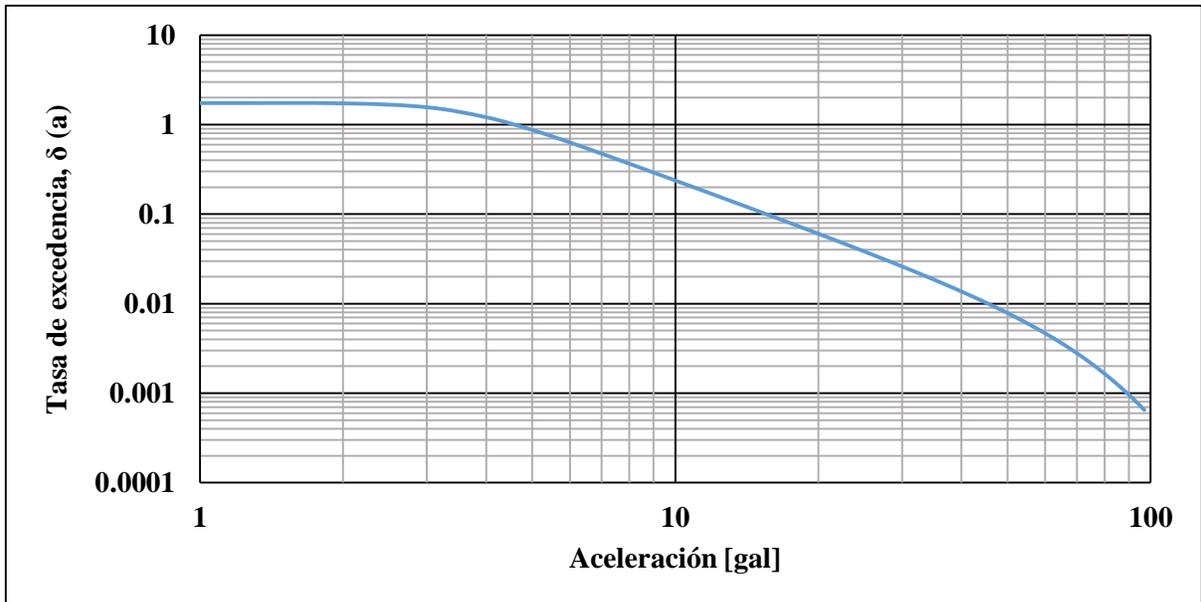


Figura 43. Tasa de excedencia de aceleraciones de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente IN2. Método probabilista

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

Tabla 17. Valores de tasa de excedencia de aceleraciones de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente IN2. Método probabilista

a[gal]	v(a)	a[gal]	v(a)	a[gal]	v(a)	a[gal]	v(a)
1	1.7421	26	0.0353	51	0.0074	76	0.0020
2	1.7308	27	0.0326	52	0.0071	77	0.0019
3	1.5644	28	0.0302	53	0.0067	78	0.0018
4	1.2100	29	0.0280	54	0.0064	79	0.0017
5	0.8728	30	0.0260	55	0.0060	80	0.0017
6	0.6330	31	0.0243	56	0.0057	81	0.0016
7	0.4737	32	0.0226	57	0.0055	82	0.0015
8	0.3665	33	0.0212	58	0.0052	83	0.0014
9	0.2918	34	0.0198	59	0.0049	84	0.0013
10	0.2377	35	0.0186	60	0.0047	85	0.0013
11	0.1974	36	0.0174	61	0.0044	86	0.0012
12	0.1665	37	0.0164	62	0.0042	87	0.0011
13	0.1423	38	0.0154	63	0.0040	88	0.0011
14	0.1230	39	0.0145	64	0.0038	89	0.0010
15	0.1074	40	0.0137	65	0.0036	90	0.0010
16	0.0945	41	0.0129	66	0.0034	91	0.0009
17	0.0837	42	0.0122	67	0.0033	92	0.0009
18	0.0747	43	0.0115	68	0.0031	93	0.0008
19	0.0670	44	0.0109	69	0.0029	94	0.0008
20	0.0604	45	0.0103	70	0.0028	95	0.0007
21	0.0547	46	0.0097	71	0.0027	96	0.0007
22	0.0498	47	0.0092	72	0.0025	97	0.0007
23	0.0455	48	0.0087	73	0.0024		
24	0.0417	49	0.0083	74	0.0023		
25	0.0383	50	0.0079	75	0.0022		

Fuente MVB

Parámetros

n	480	M₀	2
t	101.26849	M_u	6.9
λ₀	4.739875	ΣM-M₀	703.1
		β	0.6826909

Método Determinista

Tasa de excedencia de magnitudes.

Tabla 18 Valores de tasa de excedencia de magnitudes de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente MVB con incertidumbre para M>4.5. Método determinista

M	λ(M)	M	λ(M)	M	λ(M)
2	4.739875	3.7	1.3660936	5.4	0.3090673
2.1	4.4156565	3.8	1.264514	5.5	0.2772418
2.2	4.1128335	3.9	1.1696377	5.6	0.0593203
2.3	3.829994	4	1.0810223	5.7	0.0509401
2.4	3.5658194	4.1	0.9982548	5.8	0.0434604
2.5	3.3190779	4.2	0.9209492	5.9	0.03679
2.6	3.0886191	4.3	0.848745	6	0.0308466
2.7	2.8733684	4.4	0.7813057	6.1	0.0255564
2.8	2.6723224	4.5	0.7183167	6.2	0.0208528
2.9	2.4845435	4.6	0.6594845	6.3	0.0166758
3	2.3091564	4.7	0.6045346	6.4	0.0129714
3.1	2.1453432	4.8	0.5532109	6.5	0.0096912
3.2	1.9923402	4.9	0.5052742	6.6	0.0067913
3.3	1.849434	5	0.4605008	6.7	0.0042324
3.4	1.7159583	5.1	0.418682	6.9	0.0002273
3.5	1.5912908	5.2	0.3796229		
3.6	1.4748502	5.3	0.3431414		

Evaluación del peligro sísmico en el municipio de Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

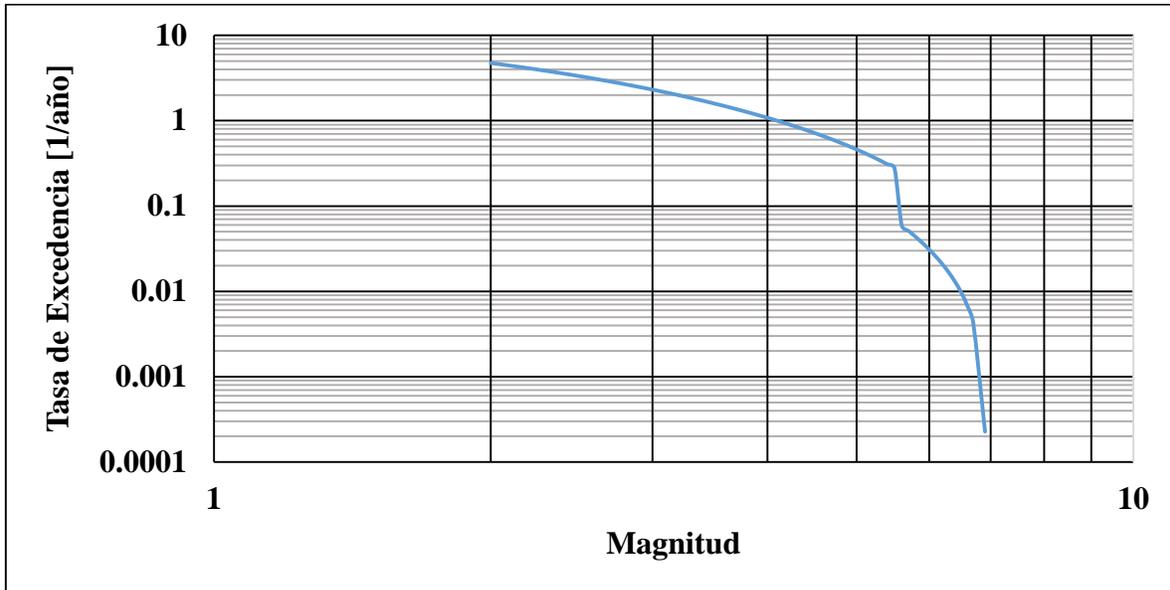


Figura 44. Tasa de excedencia de magnitudes de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente MVB. Método determinista

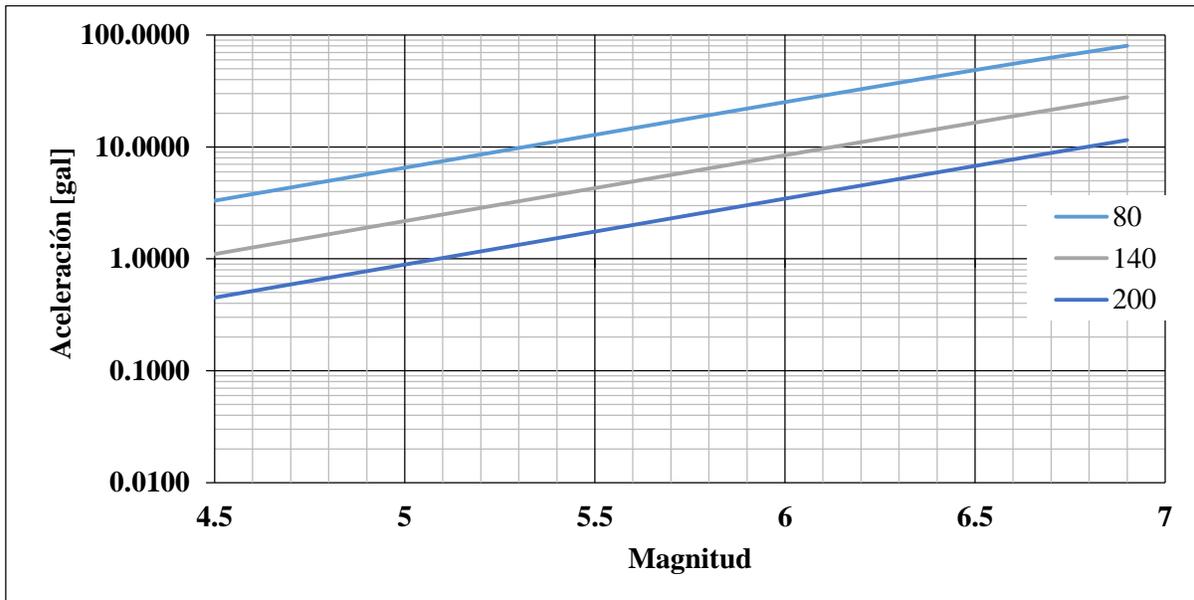


Figura 45. Aceleración esperada en función de la magnitud y la distancia para la fuente IN2. Método determinista. Distancia en km

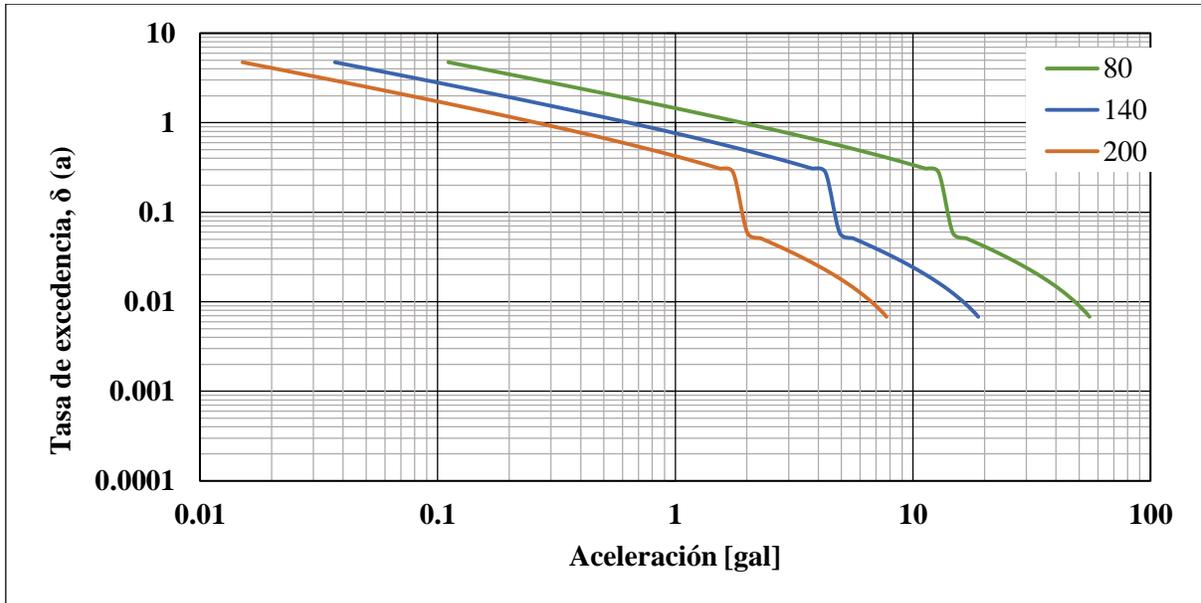


Figura 46. Tasa de excedencia de aceleraciones para la fuente MVB de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente MVB. Método determinista

Método Probabilista

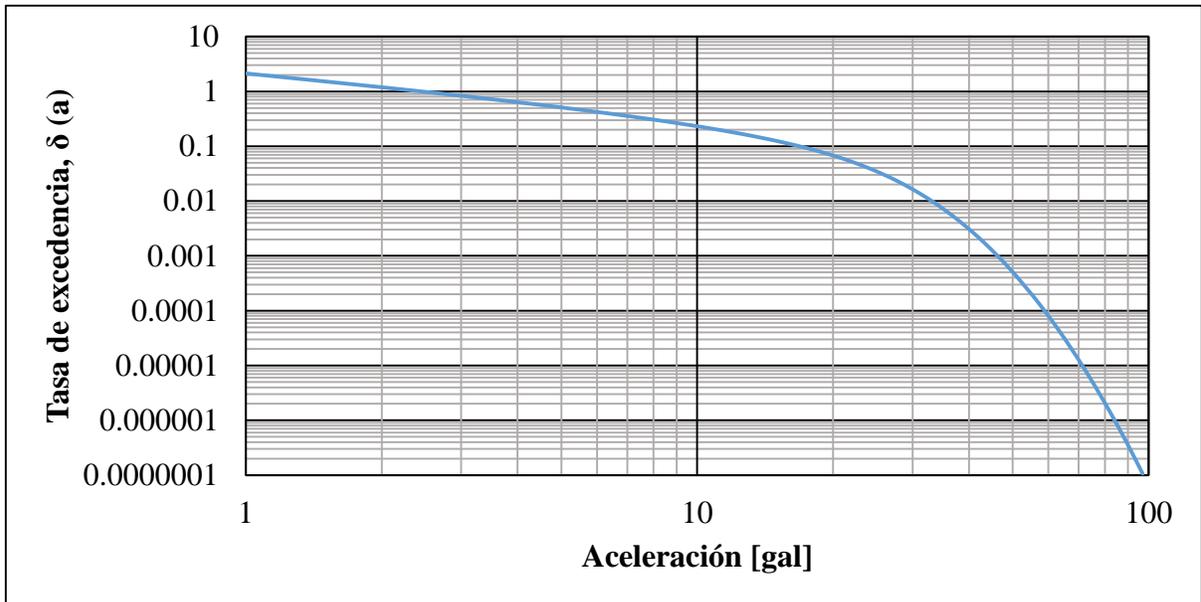


Figura 47. Tasa de excedencia de aceleraciones de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente MVB. Método probabilista

**Evaluación del peligro sísmico en el municipio de
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.**

Tabla 19. Valores de tasa de excedencia de aceleraciones de acuerdo a la actividad sísmica presentada en la fuente MVB. Método probabilista

a[gal]	v(a)	a[gal]	v(a)	a[gal]	v(a)	a[gal]	v(a)
1	2.1310062	26	0.0299856	51	0.0004226	76	0.0000043
2	1.1919102	27	0.0259053	52	0.0003515	77	0.0000036
3	0.8317958	28	0.0223140	53	0.0000000	78	0.0000030
4	0.6355096	29	0.0191655	54	0.0002430	79	0.0000025
5	0.5100651	30	0.0164159	55	0.0002019	80	0.0000021
6	0.4221542	31	0.0140238	56	0.0001678	81	0.0000017
7	0.3567096	32	0.0119503	57	0.0001395	82	0.0000015
8	0.3058616	33	0.0101593	58	0.0001159	83	0.0000012
9	0.2650749	34	0.0086176	59	0.0000963	84	0.0000010
10	0.2315406	35	0.0072947	60	0.0000800	85	0.0000009
11	0.2034212	36	0.0061628	61	0.0000665	86	0.0000007
12	0.1794616	37	0.0051972	62	0.0000553	87	0.0000006
13	0.1587752	38	0.0043756	63	0.0000460	88	0.0000005
14	0.1407190	39	0.0036782	64	0.0000382	89	0.0000004
15	0.1248173	40	0.0030876	65	0.0000318	90	0.0000004
16	0.1107126	41	0.0025885	66	0.0000264	91	0.0000003
17	0.0981335	42	0.0021675	67	0.0000220	92	0.0000003
18	0.0868713	43	0.0018130	68	0.0000183	93	0.0000002
19	0.0767641	44	0.0015150	69	0.0000152	94	0.0000002
20	0.0676841	45	0.0012649	70	0.0000127	95	0.0000001
21	0.0595282	46	0.0010552	71	0.0000106	96	0.0000001
22	0.0522112	47	0.0008797	72	0.0000088	97	0.0000001
23	0.0456599	48	0.0007329	73	0.0000073		
24	0.0398102	49	0.0006103	74	0.0000061		
25	0.0346035	50	0.0005080	75	0.0000051		