

PROPUESTA DE MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE ZAMORA MICHOACAN

Ricardo Vázquez Rosas ⁽¹⁾, Jorge Aguirre González ⁽¹⁾, Horacio Mijares A. ⁽¹⁾, Víctor H. Garduño Monroy y Eleazar Arreygue Rocha ⁽²⁾

Artículo III-02

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta una propuesta de Microzonificación sísmica usando el método de Nakamura. Basado en la medición de vibración ambiental, con el fin de obtener el periodo fundamental del suelo para tener un mejor conocimiento del comportamiento ante un evento sísmico.

ABSTRACT

Presently work is presented a proposal of seismic Microzonificación using the method of Nakamura. Based on the mensuration of environmental vibration, with the purpose of obtaining the fundamental period of the floor to have a better knowledge of the behavior before a seismic event.

INTRODUCCION

El Estado de Michoacán forma parte de una de las zonas con mas alta sismicidad de nuestro país, donde se han generado sismos históricos de más de 8.0 grados de magnitud (Jara y Sánchez, 2001) por lo que se realizó una recopilación histórica desde 1882 y 1943.

En el estado, se tienen tres fuentes potenciales de generación de sismos:

Los generados por la actividad Volcánica (como los sismos que se produjeron en las erupciones de los volcanes Jorullo en 1759 y Parícutín en 1943).

Los generados por la Tectónica.

-
- (1) Coordinación de Ingeniería Sismológica, Instituto de Ingeniería, UNAM. Ciudad Universitaria. Apdo. postal 70-472, Coyoacán, 04510 México DF. RvazquezR@iingen.unam.mx , joagg@pumas.iingen.unam.mx
 - (2) Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, UMSNH. Ciudad Universitaria, edificio U, Morelia Michoacán. vgmonroy@zeus.unimich.mx , arrocha@zeus.unimich.mx

- Subducción : sismos producidos por la Placa de Cocos, estos sismos ocurren a profundidades de entre 10 y 30 Km. aproximadamente como ejemplo podemos mencionar los sismos de, 1979 (M 7.4) y 1985 (8.1).

- Intraplaca (rompimiento de litósfera oceánica subducida) : son producto de la subducción pero con epicentro dentro de la placa oceánica bajo el continente. Son sismos poco frecuentes y a mayores profundidades (alrededor de 60 Km.) donde la placa comienza a fundirse, pero que pueden causar grandes daños.

- Fallas Locales (intraplaca dentro de la placa continental). Puesto que los sismos producto de las fallas locales son focos superficiales, esto provoca que la energía liberada, producto de un evento de este tipo incida casi directamente (por ejemplo Falla de Acambay 1912, M = 7.0)

Y eventualmente los artificiales (por ejemplo construcción de presas).

Por lo cual es importante tener conocimiento de como se va a comportar el suelo ante un evento sísmico, ya que en la actualidad no se conocen los parámetros de seguridad de riesgo sísmico de cada ciudad, por lo que, los reglamentos de construcción se basan en el establecido para la ciudad de México.

CONTEXTO GEODINAMICO Y GEOLOGIA REGIONAL DE ZAMORA MICHOACAN.

En Michoacán el fenómeno de los terremotos es una realidad que desde hace siglos ha causado daños en varias poblaciones del estado. Su ubicación geográfica es la principal causa de estos acontecimientos, ya que por un lado, Michoacán se encuentra en el límite de dos placas tectónicas (Pacífica y Norteamericana), además de estar ligado al movimiento de subducción de otra micro placa (Cocos).

Conjuntamente a lo anterior, Michoacán está ubicado en el límite de dos provincias geológicas, al sur del estado la Sierra Madre del Sur, y al norte el Cinturón Volcánico Transmexicano (figura 1). Este último, causante de la formación de varios volcanes dentro y fuera del estado; el más reciente de ellos el Parícutín (1943).

Por éstas causas, Michoacán a través de la historia, ha sido testigo de infinidad de movimientos telúricos, como el del 19 de Junio de 1858 (Mg = 7.0), o el del 19 de Septiembre de 1985 (Mg = 8.1), que desgraciadamente, derivaron en pérdidas humanas y materiales (Martínez y Javier, 1991).

Por su parte, Garduño (1999) afirma que los arcos volcánicos del Mesozoico (terreno Guerreo) y la Tectónica edificaron a la Sierra Madre del Sur, ésta es una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias donde se desarrollaron algunas incipientes plataformas calcáreas o en otros casos secuencias distales de rocas terrígenas tipo turbiditas. Estas secuencias han sido deformadas por dos fases plicativas durante el Cretácico superior, por una tectónica de fallas transcurrentes del Mioceno y por una tectónica primero transtensiva y después distensiva, que afecta al Cinturón Volcánico Transmexicano.

GEOLOGÍA Y TECTONISMO DE ZAMORA MICHOACAN.

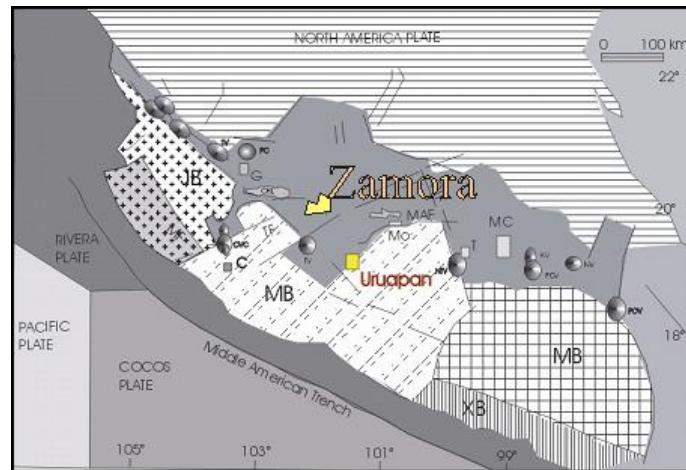


Figura1. Ambiente tectónico regional.

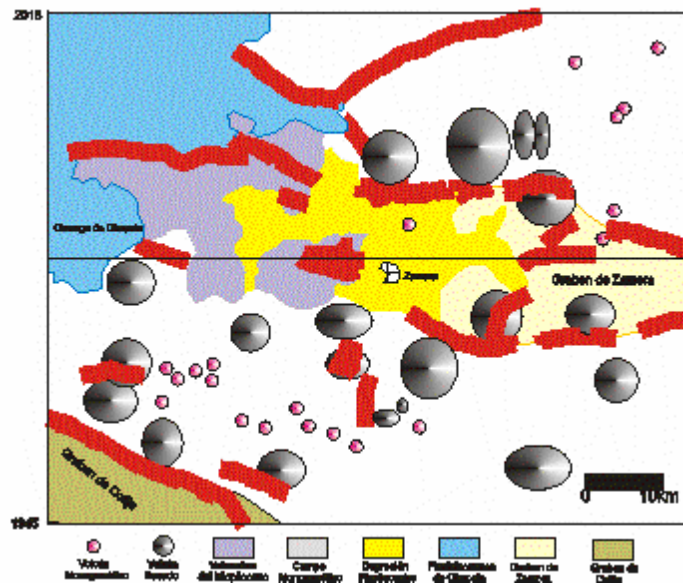


Figura2. Geología regional de la ciudad de Zamora Michoacán.

SÍSMICIDAD.

El Estado de Michoacán forma parte de una de las zonas con más alta sismicidad de nuestro país, donde se han generado sismos históricos de más de 8.0 grados de magnitud (Jara J.M., Sánchez A. R., 2001). Al

realizar una recopilación histórica con datos que se remontan a 1882 se encontró que en el estado, se tienen tres fuentes potenciales de generación de sismos:

- Los generados por la actividad volcánica (Jorullo 1759, Parícutín 1943).

-Tectónicos. 1) Subducción : sismos producidos por al Placa de Cocos (p.e.1979, M 7.4 y 1985 ,M 8.1).

2) Intraplaca: son producto de la subducción pero con epicentro dentro de la placa continental, son sismos pequeños y a grandes profundidades donde la placa comienza a fundirse.

-Fallas Locales. Puesto que los sismos producto de las fallas locales son focos superficiales, esto provoca que la energía liberada, producto de un evento de este tipo, incida directamente (Falla de Acambay 1912).

- eventualmente los artificiales (construcción de presas)

Regionalización sísmica de la República Mexicana.(tomada SSN).



Regionalización Sísmica del Estado de Michoacán (1986, tomada del colegio de Ingenieros de Civiles de Michoacán A.C).



Regionalización Sísmica del Estado de Michoacán (1999 tomada del reglamento de construcciones).



Propuesta de Regionalización Sísmica del Estado de Michoacán(2000 Sanchez Garcilazo).



Figura 3. Regionalización sísmica del Estado de Michoacán

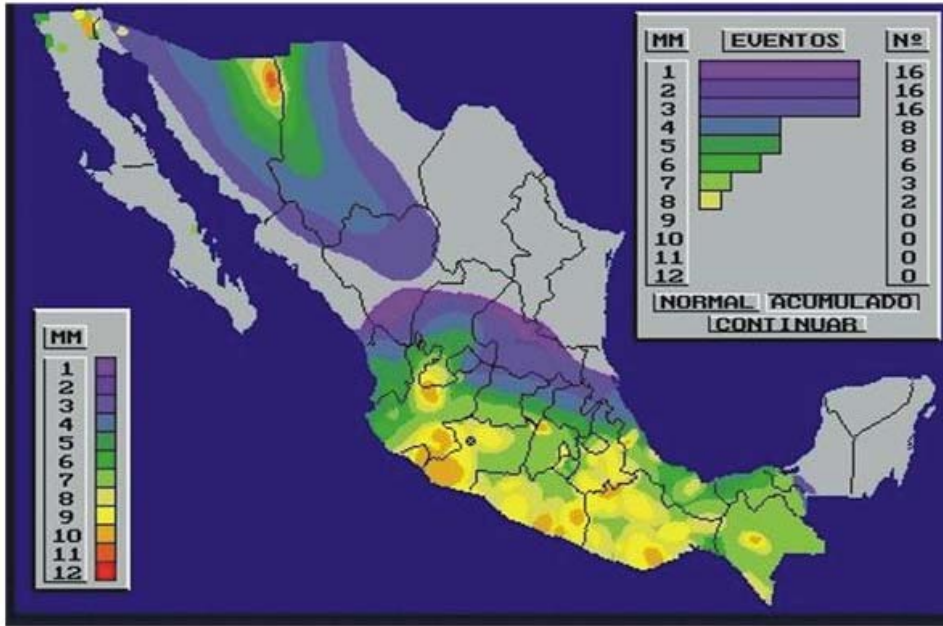


Figura 4. Mapa de intensidades de la sismicidad de la república Mexicana representando el acumulado para Zamora Michoacán de 1945-1985 (CENAPRED)

REVISIÓN HISTÓRICA DE LA SISMICIDAD DE LA CIUDAD DE ZAMORA.

En la tabla 1 se hace una descripción de los efectos de los sismos históricos que han sacudido la ciudad de Zamora. Para realizarla, se consultaron catálogos realizados por investigadores que han estudiado la sismicidad del estado de Michoacán, dichos catálogos se tomarán como base para ésta descripción. Además se complementará esta información con lo recopilado en más bibliografía existente; para tal caso, las fuentes consultadas son: cartas sísmicas, fuentes bibliográficas, datos de historiadores y datos recabados en hemerotecas.

MÉTODO DE NAKAMURA.

De acuerdo con la información recopilada es una de las tantas justificaciones que nos dan mayor robustez para realizar esta microzonificación en la ciudad de Zamora Michoacán y aplicar el método de Nakamura, pero antes haremos una breve descripción del método de Nakamura.

$$S_{TT} = SH_s / SV_s \tag{1}$$

Donde:

SHS: es el componente horizontal del tremor en la superficie.

SVS: es el componente vertical del tremor en la superficie.

Tabla 1. Efectos de sismos históricos

Fecha			Hora	LAT	LONG	Prof.	MAG	Observaciones
D	M	AÑ	TMG	°N	°W	Km		
D	M	O						
		1611						Ruinoso, sentido en Zamora.
		1711						Ruinoso, sentido en Zamora.
	11	1734						Ruinoso, sentido en Zamora.
		1739						Ruinoso, sentido en Zamora.
		1749						Ruinoso, sentido en Zamora.
		1750						Ruinoso, sentido en Zamora.
10	03	1771						Sentido muy fuerte en Michoacán. Ruinoso.
23	08	1784						Ruinoso, sentido en Zamora. “El 23 de agosto de 1784, a las 9 hrs., en el pueblo de La Piedad aconteció “un temblor de tierra cual no se había experimentado nunca, por estar situado en cantera muy firme, el que no se sintió en los lugares circunvecinos sin embargo de ser más propensos a temblores... de igual modo fue sentido en Zamora, además de ser ruinoso”.
		1818						Ruinoso, sentido en Zamora.
22	11	1837	18:30					Sentido fuerte en Maravatío, Ario, Tacámbaro, Pátzcuaro, Morelia, Uruapan, Zamora y La Piedad. Ruinoso. “... en el occidente el sismo se sintió fuerte en: Maravatío, Ario, Tacámbaro, Pátzcuaro, Morelia, Uruapan, Zamora, La Piedad y otras poblaciones de Mich.”
		1848						Ruinoso, sentido en Zamora.
19	06	1958	14:05					“... fue sentido un terremoto que se extendió a toda la República de N a S, es uno de los más fuertes que se hayan sentido en México, Morelia y Colima...”
26	02	1860						“Por estos días se han sentido temblores muy repetidos en Zamora y pueblos inmediatos... se oyeron ruidos subterráneos; en Tangancicuaro se derrumbó la Iglesia.

Siguiendo la metodología utilizada por Nakamura (1989), la pseudo-función de transferencia de las capas superficiales se puede definir como el cociente (ec. 1).

Se asume que el componente vertical del tremor refleja el efecto de las fuentes locales, que no es amplificado por las capas superficiales, y que el efecto de las ondas Rayleigh (ES) puede ser estimado por el cociente.

$$ES = SV_S / SV_B \quad (2)$$

SVS: es el componente vertical del tremor en la superficie.

SVB: es el componente vertical del tremor en el substrato.

Si $ES = 1$, no existe contribución de ondas Rayleigh; y si ES mayor que 1, el efecto de las ondas Rayleigh también es mayor (ec.2).

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE NAKAMURA.

Para encontrar la frecuencia fundamental de suelo en la ciudad de Zamora Michoacán se aplicó el método de Nakamura. Con el fin de obtener mejores resultados, se probaron distintas posibilidades para considerar los datos y los cocientes espectrales, se compararon de una manera estadística los resultados, también se analizaron las ventanas de registro de 30 minutos para obtener una mejor definición de los cocientes espectrales hacia bajas frecuencias.

Los equipos que se utilizaron.

Los equipos que se utilizaron para medir microtremores fueron sensores de banda ancha GURALP de 3 canales conectados a digitalizadores REFTEK junto con DAS y una antena de GPS. También se utilizaron cubetas para cubrir los sensores del efecto del viento.



Sensor Guralp



Das Reftek y disco SCSI



Acelerómetro K2.

Figura 5. Equipos de medición

Se instalaron dos estaciones fijas con dos acelerómetros de banda ancha K2, que constaban también con una antena de GPS.

Se usaron GPS (Garmins plus III y 12XI) portátiles para la ubicación y para obtener las coordenadas en UTM de cada uno de los vértices de los triángulos.

PROCESADO DE LA INFORMACIÓN.

Los registros de microtemores se grabaron en formatos binarios, se utilizó unas de las utilerías del programa Pascal para unir las tres ventanas de registro de 10 minutos cada una (10 minutos = 600 segundos, por lo que al unir las obtuvimos ventanas de 1800 segundos de grabación, que es el equivalente a 180x103 muestras).

El contar con un número grande de muestras nos permite tener resultados mas confiables desde al punto de vista estadístico. Con la longitud de estos registros se pudieron realizar los análisis en varias ventanas de tiempo.

Una vez unidas las ventanas se pasaron de formato binario a formato ASCII, con el propósito de visualizarlas en MATLAB*.

*En MATLAB se realiza la aplicación del método de Nakamura en el siguiente orden.

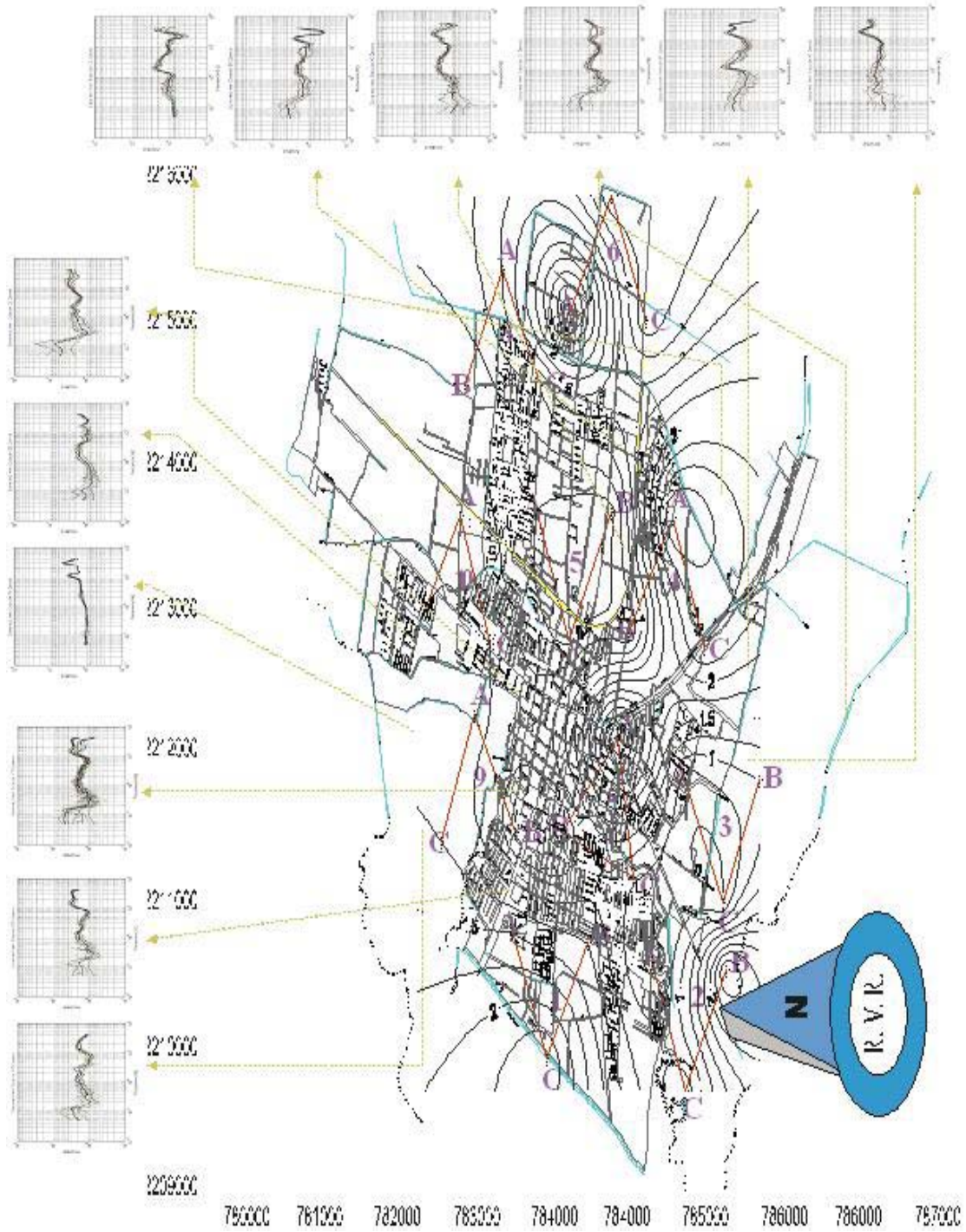
- Se seleccionaron once ventanas (de 40 segundos cada una) para cada estación.
- Se realizaron el suavizado de los bordes con las ventana de Von Hann (Kulhanek, 1976).
- Se calcularon la transformada de Fourier (FFT).
- Se calcularon la suma vectorial de los componentes horizontales en el dominio de las frecuencias.
- Se calcularon los cocientes espectrales para las once ventanas.
- Se obtuvo el promedio de los once cocientes espectrales y se calcula desviación estándar.
- Se grafico el promedio resultante mas/menos una desviación estándar.

En las señales de microtemores se toma en cuenta que las fuentes de energía son multidireccionales y por lo tanto, no se conoce la dirección de máximo movimiento. Esto permite esperar, que al considerar el vector de máxima energía horizontal, se obtengan amplitudes mayores. Esto implicaría tomar una postura conservadora en cuanto a la evaluación de la amplitud de la amplificación del sitio (ec.3).

$$|F(w)| = \frac{\sqrt{(EW)^2 + (NS)^2}}{V} \quad (3)$$

Una vez aplicado el método se obtienen los cocientes espectrales en 30 sitios de la ciudad de Zamora, a partir de los cuales se identificaron las frecuencias fundamentales, y los periodos fundamentales (los inversos de las frecuencias) como los observamos en el mapa. Las cotas del mapa en el eje de las abscisas y las ordenadas están dados en metros y los contornos están dados en segundos.

MICROZONIFICACIÓN DE ZAMORA MICHOACÁN



CONCLUSIONES.

Usando los registros de microtemores en 30 sitios de la ciudad de Zamora se construyó el mapa de isoperiodos. Los valores obtenidos de los periodos fundamentales oscilan entre $T = 0.5 \text{ seg.}$ y $T = 3 \text{ seg.}$ Cabe mencionar que para tener una mejor robustez en los resultados es necesario compararlos con datos de aceleración de un evento sísmico. Ya que en este trabajo no se logro registrar un evento sísmico en la estación fija instalada en roca durante un mes .

REFERENCIAS

- Flores Estrella H., (2001), “Métodos alternos para la estimación de efectos de sitio mediante el uso de arreglos de microtemores”. *Tesis de licenciatura ., Facultad de Ingeniería. UNAM México*, Marzo 2001.
- García Acosta V. y F. Suárez Reynoso (1996), Los sismos en la historia de México, primera edición, tomo 1, Ediciones Científicas Universitarias, coedición UNAM y el Fondo de cultura económica.
- Garduño M. V. H., R. E. Arreigue, S. Chiesa, L. Israde Alcantar, T. G. M. Rodríguez y G. M. Ayala (1998), “Las Fallas geológicas y sísmicas de la ciudad de Morelia y su influencia en la amplificación del territorio”. *Ingeniería civil*, Vol. 1, No5. p. 3-12.
- Información proporcionada en las oficinas de INEGI en la ciudad de Morelia Michoacán, (2001).
- Iris. Servicios de consulta en línea, (2001), <http://www.iris.Washington.edu>.
- Jara J. M. y A. R. Sánchez (2001). “Estimación de Riesgo Sísmico de Morelia”. *Revista de la coordinación científica de UMNSH*. No. 29.
- Kulhánek, O., (1976), “Introduction to digital filtering in Geophysics.” *Elsevier Scientific Publishing Company*, The Netherlands, 168 pp.
- Nakamura, Y., (1989), “A method for dynamic characteristics estimation of surface using microtemor on the ground surface. *QR of R..T. r.*, 30-1.
- Singh S. K., M. Rodriguez y L. Esteva (1983), “Statistics of Small Earthquakes and frequency of Occurrence of large Earthquakes Along the Mexican Subduction Zone”. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.73 No.6, pp 1779-1796.
- Vazquez Rosas R.,(2002), “Propuesta de microzonificación sísmica para la ciudad de Uruapan Michoacán”. *Tesis de licenciatura ., Facultad de Ingeniería UMSNH Morelia Mich. Noviembre 2002.*