

CAPITULO 7: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Para justificar la agrupación de la FTEP en tres familias espectrales, es necesario analizar en conjunto los resultados obtenidos con el método geofísico de sismica de refracción, y las características sedimentológicas de las formas acumulativas del relieve de la zona de estudio.

Los resultados de los siete perfiles sísmicos realizados y obtenidos a través del análisis de las domocrónicas, permitieron inferir la velocidad de propagación de las ondas sísmicas y la profundidad de los medios refractores hasta 25 metros, aproximadamente. Los datos obtenidos son un buen indicador de algunas propiedades geológicas de los materiales debido, a que, permiten relacionar la velocidad de transmisión de las ondas sísmicas con el medio de propagación. De esta manera, se infirió de forma teórica el tipo y las características del suelo presentes en la región.

Los valores del periodo teórico calculados con los estudios de sismica de refracción que se localizaron en diversos puntos del área de estudio dan sustento y validan los valores del periodo del suelo obtenidos a través del método microzonificación sísmica, ya que ambos valores por los dos métodos son similares (Tabla 27).

Tabla 27. Periodos del suelo obtenidos con los métodos geofísicas: refracción y microzonificación sísmica.

Registro Sísmico	Periodo calculado con refracción sísmica [Tc]	Periodo obtenido con microzonificación sísmica [To]
Registro Sísmico N°1 (Canchas de futbol)	0.48	0.5
Registro Sísmico N° 2 (Deportivo)	0.39	0.4
Registro Sísmico N° 3 (Tejería)	0.09	0.1
Registro Sísmico N° 4 (San Caralampio)	0.48	0.5
Registro Sísmico N° 5 (Protección Civil)	0.20	0.2
Registro Sísmico N° 6 (Basurero)	0.45	0.45
Registro Sísmico N° 7 (Milenio)	0.49	0.5

Las FTEP clasificadas como ZONA BLANDA, se agruparon de acuerdo a la posición de los registros de microtemores que presentan el mismo comportamiento dinámico, tomando en cuenta la ubicación de la parte más baja de la cuenca, mediante el análisis del modelo digital de la zona.

Al analizar la ubicación de la FTEP, para esta zona, destaca el hecho de que la mayoría de ellos se registraron en la parte más baja de la cuenca de Motozintla (dentro del antiguo y actual cause del rio Xelajú); la forma espectral de esta zona indica que en este lugar el espesor de los sedimentos, en respecto al basamento, es mayor en comparación con las otras dos zonas propuestas.

Con el propósito de validar la FTEP y conocer la amplificación de las ondas sísmicas en la Figura 29 se presenta la FTE con el método estándar (SSR), la técnica de Nakamura (1989) para sismos y microtemores. En la grafica se observa que la mayor amplificación de las ondas sísmicas es de seis veces, en promedio las tres técnicas muestran que este valor se encuentra alrededor de los 2 Hz, lo cual concuerda con el ancho de banda establecido para la zona blanda que es de 1-3 Hz.

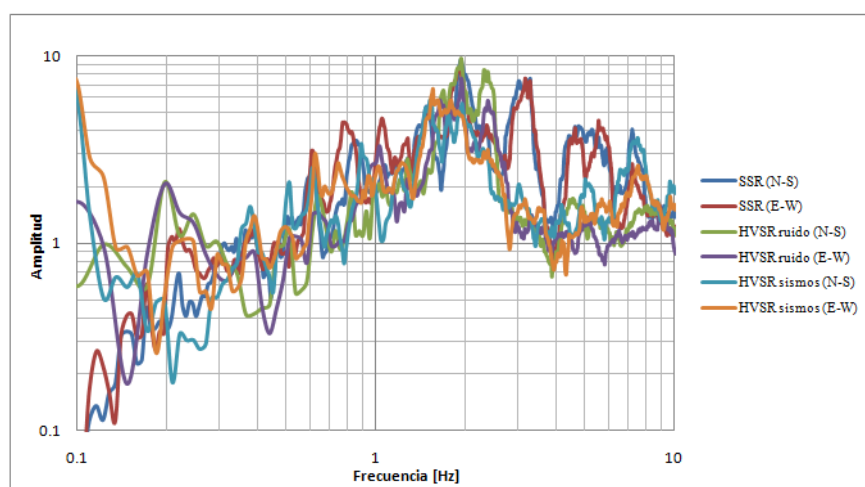


Figura 29. FTE determinada con el método “Razón Espectral Estándar” y la “Técnica de Nakamura para sismos y microtemores”.

En el área denominada como ZONA MODERADA, las FTEP se reagruparon teniendo en cuenta la localización de los registros de microtemores que presentan un máximo espectral entre 3-10 Hz; así como la distribución de los abanicos y de las terrazas de mayor antigüedad. La edad relativa de estas formas acumulativas del relieve se determinó al observar y aplicar el principio de superposición a la Figura 8. Al analizar la familia espectral de esta zona, se observa que el espesor de los sedimentos, respecto al basamento, en esta área, es menor en comparación con la zona anterior.

Con la finalidad de conocer la amplificación de las ondas sísmicas y sustentar la clasificación de esta zona, en la Figura 30 se presenta la FTE obtenida con el método Razón Espectral Estándar (SSR) y la Técnica de Nakamura con sismos (HVSR). Se aprecia que la amplificación de la onda sísmica es cinco veces, en promedio, mayor que en la zona definida como estable (zona firme). Las funciones generadas por el método estándar ponen en evidencia la anisotropía del medio de propagación de las ondas sísmicas. Esto se observa en la componente E-W la cual se encuentra en el ancho de banda de la zona alta (3-10 Hz).

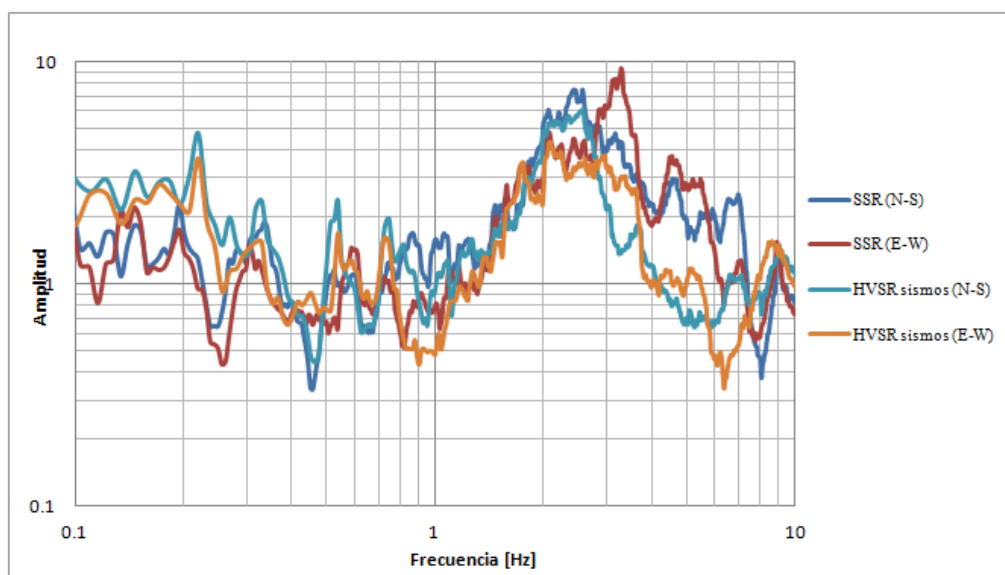


Figura 30. FTE determinada con el método “Razón Espectral Estándar” y la “Técnica de Nakamura para sismos y microtemores”.

Con estos resultados se valida la FTEP obtenida con la técnica HVSR para microtremores ya que la forma espectral que presenta concuerda con las FTE obtenidas con los métodos empíricos HVSR para sismos y SSR.

Los registros de microtremores de las formas espectrales que presenta la ZONA FIRME se localizan sobre el Tronco de Amatenango, Buenos Aires y el Macizo de Chiapas. Aunque el grado de alteración físico-químico que presentan estos cuerpos rocosos es alto, la amplificación de las ondas sísmicas es mínima, por lo cual no existe efecto de sitio en esta zona.

Por medio de la determinación de las familias espectrales y de la generación de curvas con igual periodo natural de vibración del suelo (curvas de isoperiodos) se elaboró el mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Motozintla, Chiapas (Figura 29).

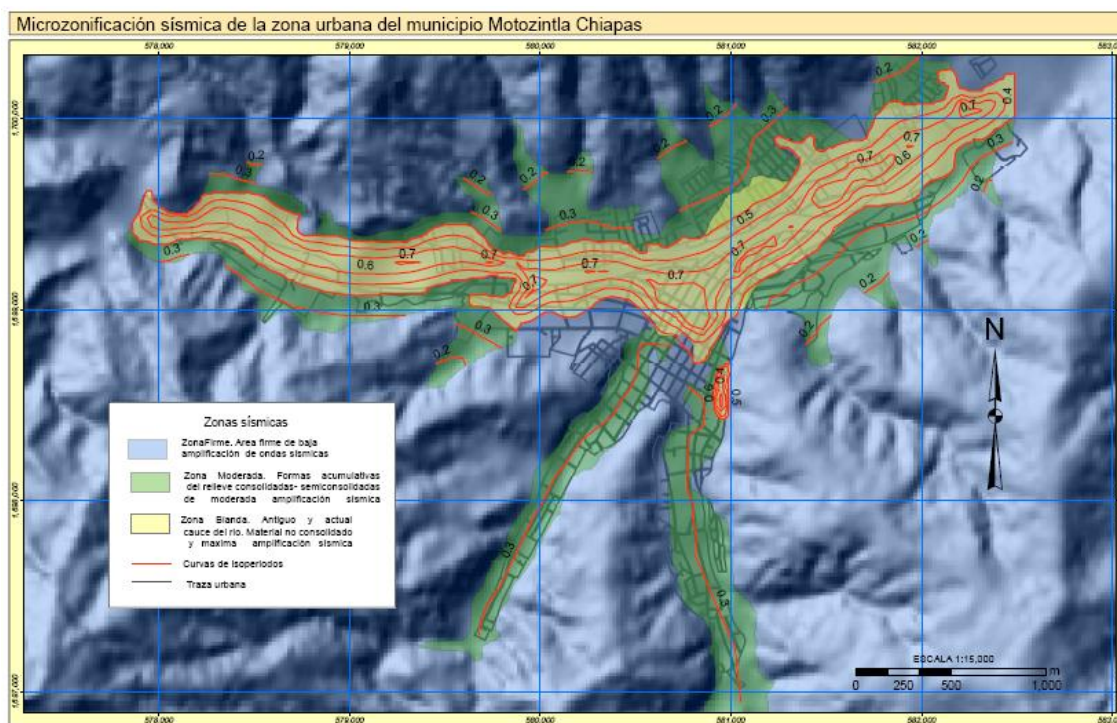


Figura 29. Mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Motozintla, Chiapas.

En él se delimitan tres zonas sísmicas de acuerdo al comportamiento dinámico del suelo. Las características que presentan estas zonas sísmicas se definen a continuación:

La Zona Firme representa el área estable, en ella la amplificación de las ondas sísmicas (efecto de sitio) es mínima. Geográficamente se localiza en las inmediaciones de las montañas.

La Zona Moderada se establece sobre los abanicos aluviales, coalescencia de algunos de ellos y sobre las terrazas aluviales de mayor antigüedad, que presentan una alta o mediana consolidación. La amplificación de las ondas sísmicas en esta zona es moderada (cinco veces más en promedio, al compararlo con la zona firme).

La Zona Blanda es delimitada por el antiguo y actual cauce del río Xelajú el cual está conformado por sedimentos (material no consolidado). En este sitio la amplificación de las ondas sísmicas es máxima (seis veces más en promedio, al compararlo con la zona firme).

La importancia de este y cualquier estudio de microzonificación sísmica radica, en que, a través de ellos, se evalúa la peligrosidad sísmica de las zonas urbanas. El mapa que se genera apoya los planes de planificación territorial urbana (uso del suelo). Es útil para la proyección de la localización de las edificaciones y constituye la base para establecer las normas de construcción sísmica de una determinada localidad.

La respuesta dinámica de las estructuras depende de sus características físicas, siendo el periodo natural de vibración la propiedad más importante de las construcciones. Además, debe considerarse la respuesta dinámica del medio en el que se propagan las ondas sísmicas y la intensidad del sismo. Esto se debe a que las perturbaciones del subsuelo generadas por un movimiento sísmico actúan en los cimientos de la estructura, posteriormente se propagan al resto de sus elementos, manifestándose como un movimiento oscilatorio, cuyos principales componentes son la frecuencia y la amplitud (Beles, 1975).

El medio de propagación de las ondas sísmicas posee un propio modo de vibración y las máximas oscilaciones de las estructuras dependen de su periodo propio. Si en el sistema

suelo-estructura coinciden los periodos propios de las ondas sísmicas y la estructura, se producirá el fenómeno de resonancia, provocando la máxima oscilación (distancia que alcanza un cuerpo a partir de la posición de equilibrio) de la estructura. A fin de evitar este fenómeno es importante lograr una discrepancia entre los periodos de estos elementos. Con este propósito es indispensable determinar la distribución espacial del periodo natural de vibración del suelo de las ciudades. En el caso de la zona urbana de Motozintla esta distribución se muestra en las curvas de isoperiodos desplegadas en la Figura 29. Considerando los resultados de la Figura 29 y el período de vibración de las construcciones de acuerdo al número de niveles (Tabla 28) se puede determinar el nivel de peligro que tienen las instalaciones y viviendas ubicadas en las zonas con diferentes propiedades de respuesta sísmica de esta localidad. De esta forma las edificaciones con más de cuatro niveles que se localizan en la zona baja están expuestas a un peligro mayor que las viviendas que presentan entre uno y tres niveles de construcción. Sin embargo, las viviendas que se localizan en el área clasificada como, Zona Moderada, están más expuestas al impacto de un sismo.

Tabla 28. Periodo natural de vibración de las construcciones de acuerdo al número de niveles que presenta (González, 2004).

Número de niveles de las construcciones	Periodo natural de vibración
una planta	0.1
Dos plantas	0.2
Cinco niveles	0.5
Diez niveles	1.0
Quince niveles	1.5
Veinte niveles y depósitos	2.0
Torres muy altas	2.5

Si se asocia el mapa de microzonificación sísmica (Figura 29) con las características de las viviendas e instalaciones es posible determinar que estructuras son más vulnerables ante un evento sísmico. También, se puede establecer el probable nivel de daños materiales así como ubicar las instalaciones estructuralmente estables o las que puedan ser seriamente afectadas.

La superposición de la microzonificación sísmica con los datos de ubicación de las viviendas e instalaciones es de gran importancia, debido a que apoyan los planes de respuesta o mitigación de las autoridades de Protección Civil. En este caso a la comunidad de Motozintla, como parte de las acciones a implementar, se pueden considerar, el desarrollo de programas para evitar construir viviendas, cuyo periodo dominante coincida con el de la respuesta del suelo, y realizar cimentaciones más resistentes y a mayor profundidad. Es recomendable considerar el apartado 6.1 de Las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismos (Gaceta oficial del D.F, 2004) que establece las características de las estructuras regulares:

1. Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes; éstos son, además, sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.
2. La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5 m.
3. La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5 m.
4. En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20% de la dimensión de la planta medida, paralelamente a la dirección que se considera del entrante o saliente.
5. Cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.

6. No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20% de la dimensión en planta medida, paralelamente a la abertura; las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro, y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20% del área de la planta.
7. El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para el diseño sísmico, no es mayor que 110 por ciento del correspondiente al piso inmediato inferior ni, excepción hecha del último nivel de la construcción, es menor que 70% de dicho peso.
8. Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110% del piso inmediato inferior, ni menor que 70% de ésta. Se exime de este último requisito únicamente al último piso de la construcción. Además, el área de ningún entrepiso excede en más de 50% a la menor de los pisos inferiores.
9. Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones sensiblemente ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.
10. Ni la rigidez ni la resistencia al corte de ningún entrepiso difieren en más de 50% del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.
11. En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente excede el 10% de la dimensión en planta de ese entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada.

Existen dos fuentes sísmicas capaces de generar terremotos que afecten la ciudad de Motozintla; la primera es la Fosa Mesoamericana ubicada en la costa de Chiapas y Centro

América, la segunda es el sistema de fallas Polochic-Motagua, que se extiende hasta la ciudad de Motozintla, y rige la dirección del río Xelajú (J. M. Sánchez, comunicación personal, 2011). Si en determinado momento ocurriese un evento sísmico de una magnitud de 7.5 o mayor en la costa y otro de la misma magnitud, pero con epicentro en la falla Polochic, el segundo tendría mayor impacto en el área de estudio, debido a la cercanía que presenta con la ciudad en cuestión. Esto se justifica, al tomar en cuenta que el medio por el que se propagan las perturbaciones sísmicas actúa como un filtro que absorbe las ondas de mayor frecuencia; la absorción de la energía es de tipo exponencial y está en función de la distancia del epicentro. Las ondas sísmicas transversales decrecen con la distancia, por lo que, solo se consideran en las cercanías del origen del movimiento telúrico; en el caso de las construcciones que se encuentran apartadas de este punto, solo se consideran las oscilaciones longitudinales (Beles, 1975).

En diversas ciudades de México (Morelia, Michoacán; Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; Tapachula, Chiapas; Toluca, Estado de México; Tlalnepantla, Estado de México; Zona Metropolitana de Guadalajara; Puebla, Puebla; Tehuacán, Puebla, Apizaco, Tlaxcala, Oaxaca, Oaxaca; Acapulco, Guerrero; Boca del Río, Veracruz; Santiago de Querétaro, Qro; Celaya, Gto; y Aguascalientes, Ags.), se han realizado estudios de microzonificación sísmica (Lermo et al., 1999; Alonso et al., 1997; Cruz et al., 1997; Ramírez et al., 1993; Ramírez-Centeno et al., 1997b; 1999; Ruiz et al., 1993; Osorio-Carrera et al., 1997; Hernández et al., 2011; Limaymanta, 2009; Arroyo, 2001, etc.), siendo el Distrito Federal la ciudad que cuenta con el estudio más completo de este tipo (Ordaz y Singh, 1991; Reinoso et al., 1999; Sánchez-Sesma et al., 1988; Lermo et al., 1994b; Singh et al., 1988a; 1988b).

Los resultados obtenidos a través de este trabajo en la zona urbana de Motozintla tienen cierta similitud con la zonificación del D.F. Ambas ciudades se encuentran divididas en tres zonas; en Motozintla estas áreas se han denominado: Zona Firme, Zona Moderada y Zona Blanda; la ciudad de México se divide en Zona I, Zona II y Zona III que, a su vez, presenta cuatro subdivisiones (Zona IIIa, Zona IIIb, Zona IIIc y Zona IIId) (Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismos, 2004). En relación a las características del

subsuelo, la Zona I se encuentra constituida por materiales rocosos que subyace a la Formación Tarango, que fueron depositados fuera del ambiente lacustre; la Zona II corresponde al área de transición, esta formada por piroclastos (arenas y limos) intercalados con sedimentos lacustres, los depósitos profundos se encuentran a 20 metros; la Zona III está formada por grandes espesores de sedimentos lacustres intercalados con lavas y piroclastos (Macías, 2009; Protección Civil D.F., 2011). Lo que respecta al material litológico del subsuelo de Motozintla, la Zona Firme está conformado por el batolito de Chiapas (pese a que presenta un alto grado de alteración físico-químico) y los cuerpos intrusivos, Amatenango de la Frontera y Buenos Aires. Las Zonas Moderada y Blanda están constituidas por sedimentos provenientes de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, que se encuentran en las partes altas de la cuenca. La principal diferencia entre las características de la microzonificación sísmica de la ciudad de México y la ciudad de Motozintla, se encuentra en el grado de consolidación de los sedimentos, siendo mayor en la zona alta de Motozintla que morfológicamente está constituida por abanicos y terrazas de mayor antigüedad. En lo que respecta a la morfología, ambas ciudades se localizan sobre cuencas, la diferencia radica en que la cuenca de Motozintla es de origen tectónico y la cuenca de México se originó por actividad, tectono-volcánica (Macías, 2009). Las Tablas 29 y 30 permiten comparar los valores de los periodos de vibración del suelo obtenidos en las ciudades de México y Motozintla. Podemos observar que para el D.F, el valor del periodo en cualquier punto de la Zona I corresponde a 0.5 seg, el valor de 0.5 y 1.0 seg, corresponde al límite inferior y superior de la Zona II, para la Zona III el periodo de vibración del suelo es mayor a 1 seg. Para la ciudad de Motozintla, la Zona Firme presenta un periodo de vibración menor a 0.1 seg, el límite inferior y superior para la Zona Moderada es de 0.1 y 0.4 seg respectivamente, el periodo de vibración del suelo para la Zona Blanda varia de 0.4 a 1.0 seg. Las diferencias observas podrían deberse principalmente a las fronteras entre los diversos materiales geológicos de ambas cuencas.

Tabla 29. Valores de los periodos de vibración para cada zona de la ciudad de México
(Gaceta Oficial del D.F, 2004).

Ciudad de México	
Clasificación	Valor del periodo [seg]
Zona I	$T=0.5$
Zona II	$T= 0.5-1.0$
Zona III	$T > 1.0$

Tabla 30. Valores de los periodos de vibración para cada zona de la ciudad de Motozintla.

Ciudad de Motozintla	
Clasificación	Valor del periodo [seg]
Zona Firme	$T < 0.1$
Zona Moderada	$T = 0.1-0.4$
Zona Blanda	$T = 0.4-1.0$