



Servicios de Ingeniería
y Mecánica de Suelos
S.A. de C.V.

sims_sadecv@hotmail.com

Tel./Fax: (222) 5705059

Progreso 1537 Col. Granjas Mayorazgo Puebla, Pue. C.P. 72480

ANÁLISIS DE REFRACCIÓN DE MICROTREMORES PARA LA DETERMINACIÓN DE ESPECTRO DE DISEÑO.

INFORME TÉCNICO



CONTENIDO

I.-	INTRODUCCIÓN	3
	I.1.- Objetivo del estudio	3
	I.2.- Localización geográfica	3
	I.3.- Aspecto geológico de la región	3
	I.4.- Sismicidad	6
II.-	REFRACCIÓN POR MICROTREMORES	8
	II.1 Trabajo de campo	8
	II.2 Procesamiento de datos	10
III.-	RESULTADOS	10
	III.1 Análisis de microtremores	10
	III.2 Espectro de diseño	11
IV	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	13
V	REFERENCIAS	15
VI	ANEXOS	16



I.- INTRODUCCIÓN

Las condiciones locales del suelo pueden variar entre sitios cercanos, modificando y, en muchos casos, amplificando el movimiento percibido en superficie producto de un sismo. Esta amplificación depende fundamentalmente de las propiedades dinámicas de los suelos que conforman un sitio tales como las velocidades de propagación de las ondas de corte (V_s).

Existen varios métodos para determinar la velocidad de corte, sin embargo, en este trabajo utilizaremos la técnica de refracción de microtremores o mejor conocida como ReMi. Esta es una técnica pasiva que consiste básicamente en determinar la distribución de los valores de la velocidad de transmisión de las ondas de corte (V_s) a partir del análisis espectral del ruido sísmico ambiental.

I.1.- Objetivo del estudio

Determinar la velocidad de corte V_{s30} y espectro de diseño del sitio en donde se construirá el Puente “El Molinito” en el municipio de Santa Ana Chiautempan Tlaxcala.

I.2. Localización geográfica

El área de estudio se localiza el municipio de Santa Ana Chiautempan, Tlaxcala, (Figura 1).

I.3.- Aspectos geológicos de la región

El Estado de Tlaxcala, con aproximadamente un millón de habitantes, se ubica en la parte central de la República Mexicana dentro de la Faja Volcánica Mexicana (FVM). Este territorio accidentado se caracteriza por la presencia de mesetas, lomeríos, llanuras, un cañón y el volcán La Malinche o Matlacueytl (4461 m.s.n.m.). Asimismo, es importante la presencia de plegamientos que se orientan predominantemente en dirección E-O, dando origen a depresiones, fallas y dislocaciones que en la actualidad están generando sismos de magnitud moderada y pequeña. Existen sistemas de fallas en esta región, como son las Fallas Tlaxcala, Zacatelco, Huejotzingo y Tepeaca que se localizan, las dos primeras al centro y sur del estado de Tlaxcala, respectivamente; mientras que las otras dos en el estado de Puebla, respectivamente. Las cuatro fallas son de tipo normal y están orientadas en dirección E-O, sin embargo, las dos primeras, presentan buzamiento hacia el sur y las otras dos hacia el norte, formando el Graben de Puebla. Otras fallas menores en longitud son El Rosario, Acopinaco, Atotonilco, Alzayanca y Españita, todas con diversas orientaciones y localizadas en mayor número en el extremo Norte de este estado.



Servicios de Ingeniería
y Mecánica de Suelos
S.A. de C.V.

sims_sadecv@hotmail.com

Tel./Fax: (222) 5705059

Progreso IS37 Col. Granjas Mayorazgo Puebla. Pue. C.P. 72480

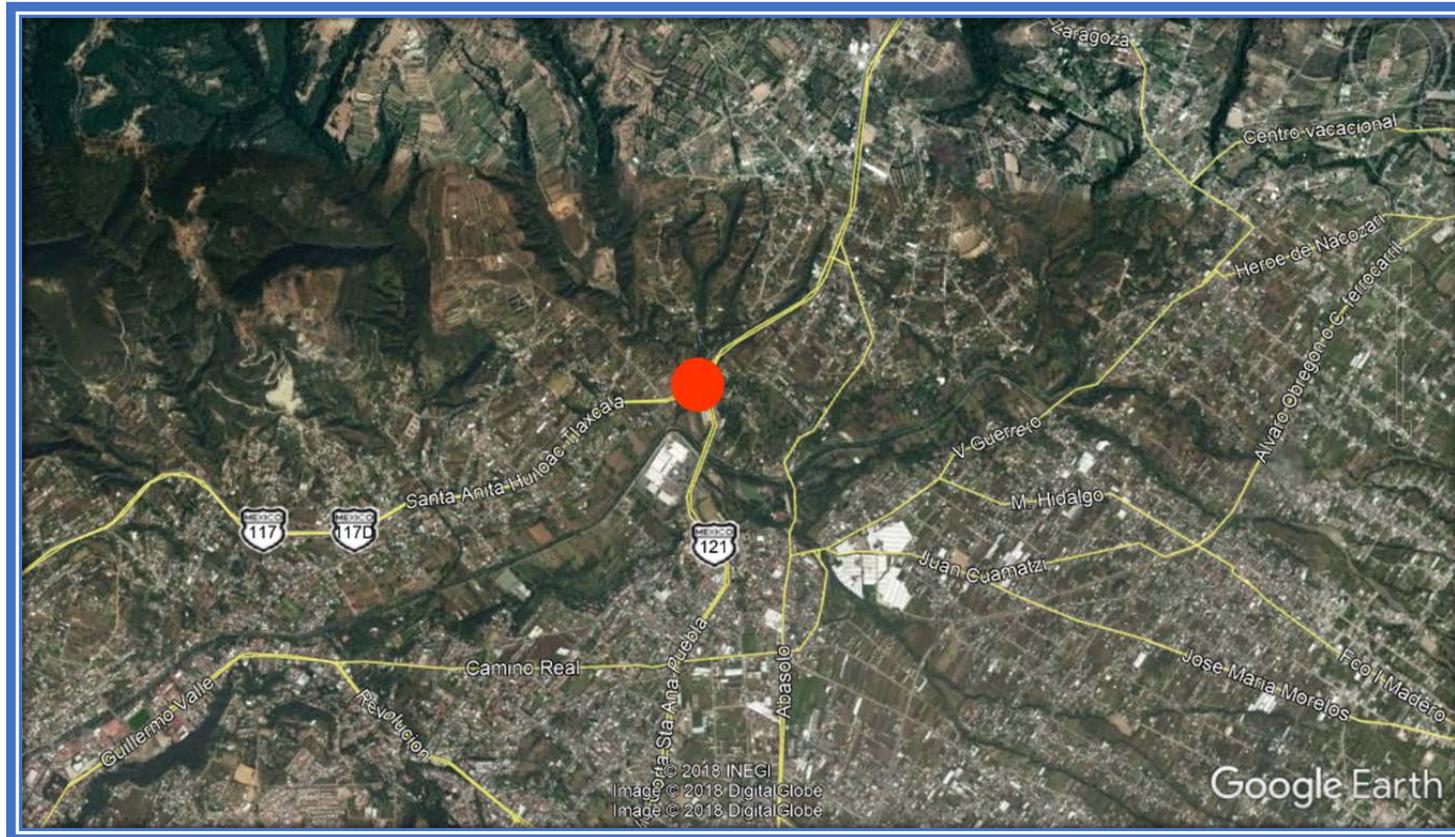


Figura 1.- Localización del sitio de estudio. El punto rojo indica la ubicación de la zona de estudio.

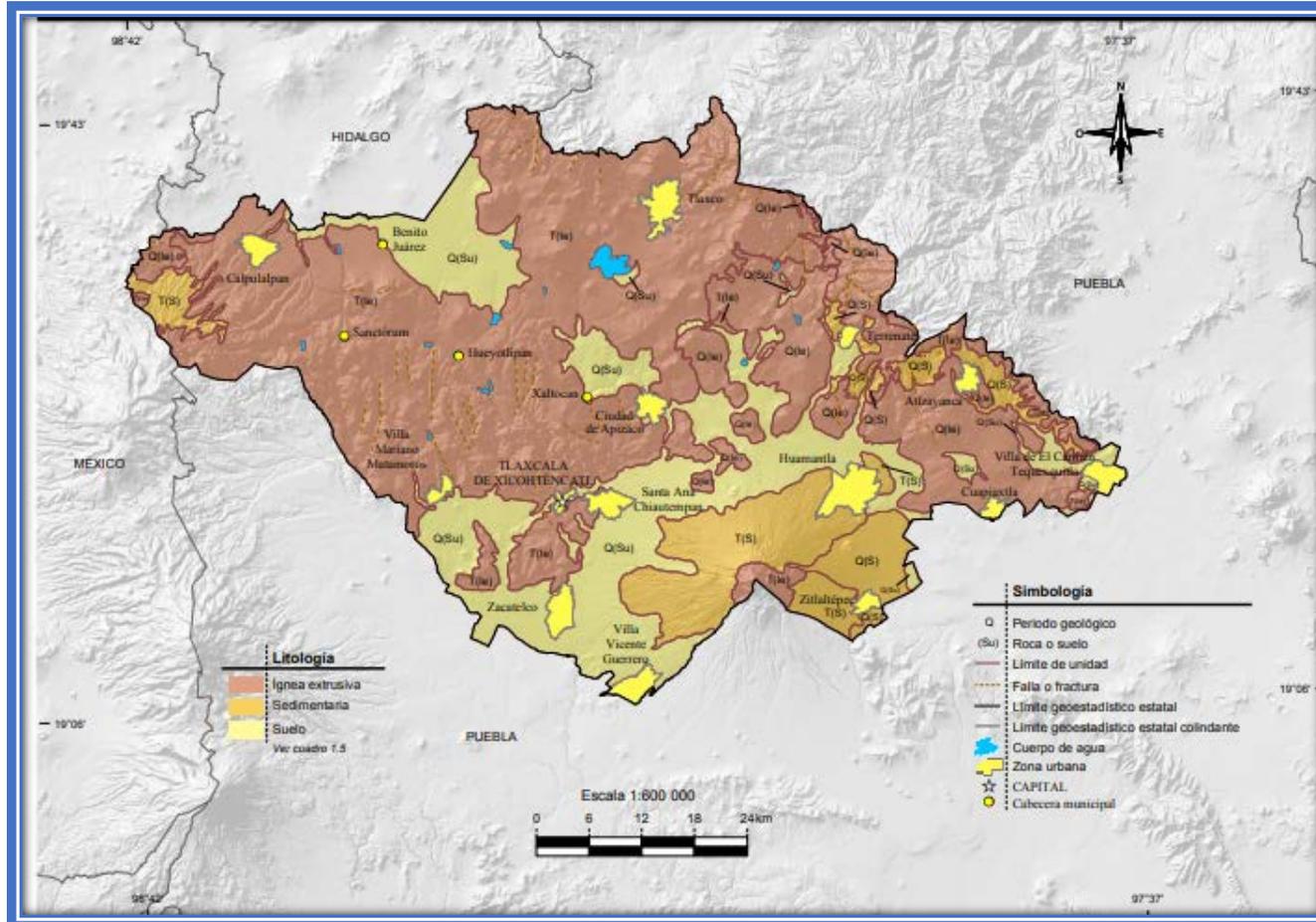


Figura 2.- Mapa geológico regional de la cd de Tlaxcala. Se observa que la zona de estudio (punto rojo) se localiza en depósitos de roca extrusiva. (Tomado de la carta Tlaxcala; 1:50000. SGM, 2007).



I.4.- Sismicidad

La sismicidad local del estado de Tlaxcala se ha compilado y organizado una base de datos con sismos producidos entre 1984 – 2004 (*Javier Lermo-Samaniego, Isabel Bernal-Esquia.2006*). Estos datos provienen de las redes sísmicas del Sistema de Información Sismotelemétrica de México (SISMEX), Servicio Sismológico Nacional (SSN) y de la Red Sísmica del Valle de México (RSVM), teniendo la primera un mayor número de estaciones sísmicas y es la que ofrece una mejor cobertura azimutal sobre el estado de Tlaxcala. En la red SISMEX se registraron un total de 62 sismos.

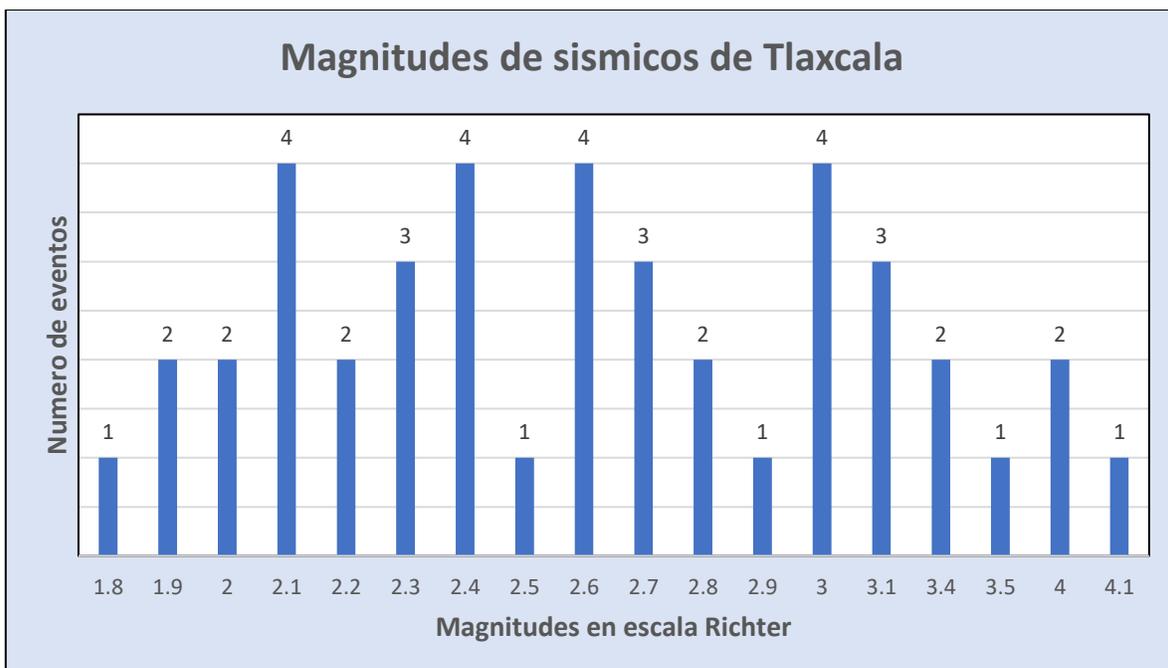


Figura 3.- Eventos sísmicos del estado de Tlaxcala registrados por la Red Sismológica SISMEX.



II.- REFRACCIÓN DE MICROTREMORES (ReMi)

Como se mencionó anteriormente, ReMi es un método pasivo no invasivo que se basa en la refracción del frente de ondas superficiales producidas por una fuente artificial o ruido ambiental, cuando más abundante es el ruido mejor resultado se obtiene, de esta manera, se estudia el comportamiento de las ondas superficiales al refractarse en las diferentes formaciones geológicas existentes en el subsuelo. Concretamente se emplean ondas dispersivas de tipo Rayleigh. El conocimiento de la velocidad de corte permite clasificar el suelo de acuerdo con la International Building Code (IBC2006).

Tipo	VS ₃₀ (m/s)	Descripción
A	> 1,500	Roca dura
B	760 – 1,500	Roca
C	360 – 760	Roca blanda y suelo muy denso
D	180 – 360	Suelo rígido
E	< 180	Suelo blando
F	Suelos especiales (licuables, colapsables, arcillas muy plásticas, suelos orgánicos)	

Tabla 1.- Clasificación de suelos del IBC2006

II.1- Trabajo de campo

Para obtener los registros de microtremores se realizaron 6 perfiles de ruido ambiental con un arreglo lineal de 12 geófonos de 4.5 Hz, separados cada 5 m para dar una longitud del perfil de 55 m. El equipo utilizado para las mediciones fue un sismógrafo de 12 canales modelo Geode de la marca Geometrics y 12 geófonos de 4.5 Hz. (figura 5).



Figura 5.- Sismógrafo de 12 canales tipo Geode de la marca Geometrics. Arreglo lineal de 12 geófonos.

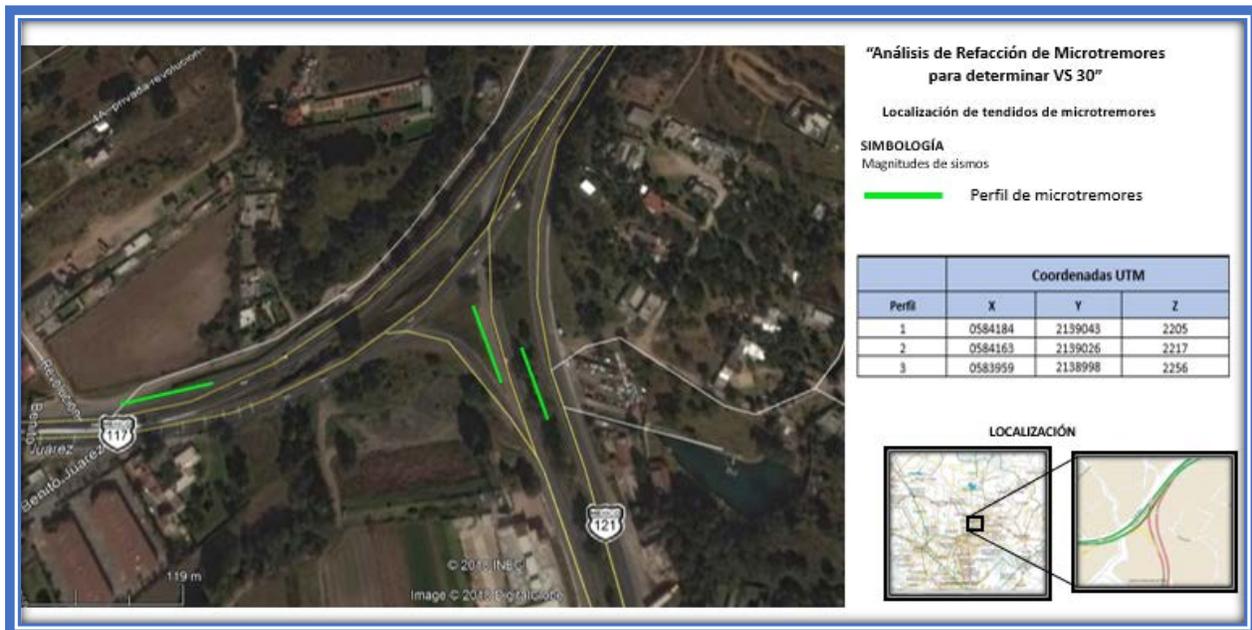


Figura 6.- Localización de los perfiles de medición de microtremores y de refracción sísmica.



II.2.- Procesamiento de datos

El procesamiento de los sismogramas de microtremores se realizó con los softwares SW y W EQ de Geometrics. El proceso general consiste en; obtener una serie de sismogramas (ruido ambiental), extraer la curva de dispersión de los sismogramas y aplicar una inversión de datos para obtener el modelo de velocidad de onda de corte en función de la profundidad.

III.- RESULTADOS

III.1.- Análisis de Microtremores

La velocidad de corte se determinó, considerando varios modelos de inversión de la curva de dispersión y obteniendo el promedio de cada uno de los modelos.

Perfil 1.- La velocidad de onda de corte del perfil 1, oscila entre 208 m/s a 210 m/s en el espesor de 0 a 16 metros de profundidad, en donde se encuentra paquetes de limos de baja densidad, posteriormente aumenta la velocidad de cortante hasta las 271 m/s en donde se presentan suelos más densos. El promedio de la velocidad de onda de corte es de 238.303 m/s. que corresponde a un suelo tipo D.

Perfil 2.- Este perfil presenta un decaimiento de la velocidad de la onda de corte de 0 a 12 metros pasando de 215 m/s a 200 m/s, para después recuperar la velocidad y aumentar hasta los 493 m/s de manera escalonada hasta llegar a los 30 metros. El decaimiento de la velocidad que presenta este perfil se debe a que el material se encuentra saturado, para después pasar a un material más denso. El promedio de la velocidad de onda de corte es de 257.69 m/s. que corresponde a un suelo tipo D.

Perfil 3.- Se presenta un paquete de suelos de densidad media hasta los 8 metros de profundidad, siendo la velocidad de corte 219 m/s, sin embargo, a partir de este espesor aumenta la velocidad de corte hasta los 429 m/s, siendo materiales de alta densidad, se induce que se puede hallar arenas con alto grado de compactación. Este perfil se cuenta con el promedio de velocidad de onda de corte más alto, siendo 321.5 m/s cuya clasificación se encuentra en tipo de suelo D.



Perfil	V_{s30} (m/s)	Tipo de suelo	Descripción
1	238.303	D	Suelo rígido
2	257.69	D	Suelo rígido
3	321.5	D	Suelo rígido
Prom. Vs 30	272.4976667	D	Suelo rígido

Tabla 2.- V_{s30} promedio estimada para cada perfil y su tipo de suelo según IBC2008.

III.3.- Espectro de diseño sísmico

Con base a las mediciones de microtemores y caracterización sísmica del sitio, se obtuvo una variación de la velocidad de corte que varía entre 238.303 m/s a 321.5 m/s (Tabla 2) con una profundidad de exploración de 30 m.

Para estimar el espectro de diseño se consideró un sólo paquete estratigráfico con una velocidad de corte (V_{s30}) igual a 238.303 m/s y una densidad promedio de 1505.00 kg/m³. La aceleración máxima para terreno rocoso (a_0) para el área de estudio de 33 cm/s² se obtuvo del software Prodisis, mientras que la aceleración de referencia (a_{ref}) se consideró igual a 158 cm/s²; considerando la clasificación de la estructura como A del Manual de Diseño por Sismo de la Comisión Federal de Electricidad 2015 (CFE,2015).

CARACTERÍSTICAS DEL SITIO		ESPECTRO DE DISEÑO		
Vs 30	238.303 m/s	a0	0.208 g	Aceleración máxima del terreno
Hs	30 m	c	0.708 g	Aceleración máxima espectral
Ts	0.5 s	Ta	0.175 s	Límite inferior del espectro de diseño
Ys	1505 km/m3	Tb	0.6 s	Límite superior del espectro de diseño

Tabla 3.- Parámetros del espectro de diseño sísmico estimados.

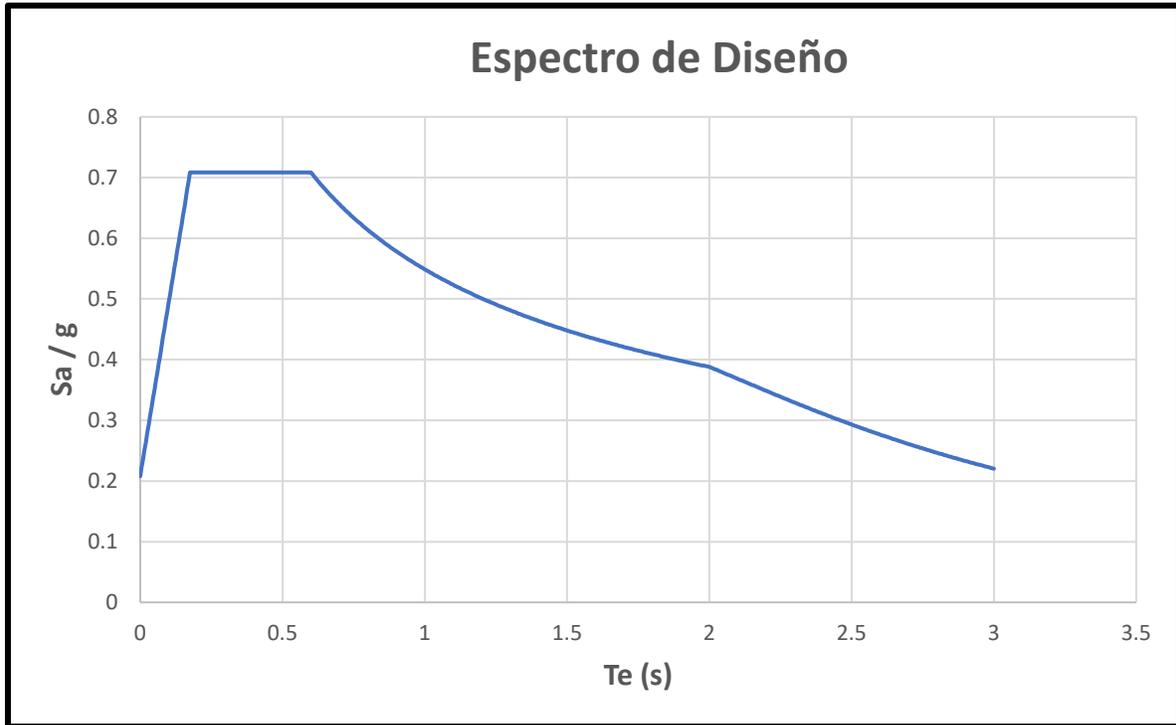


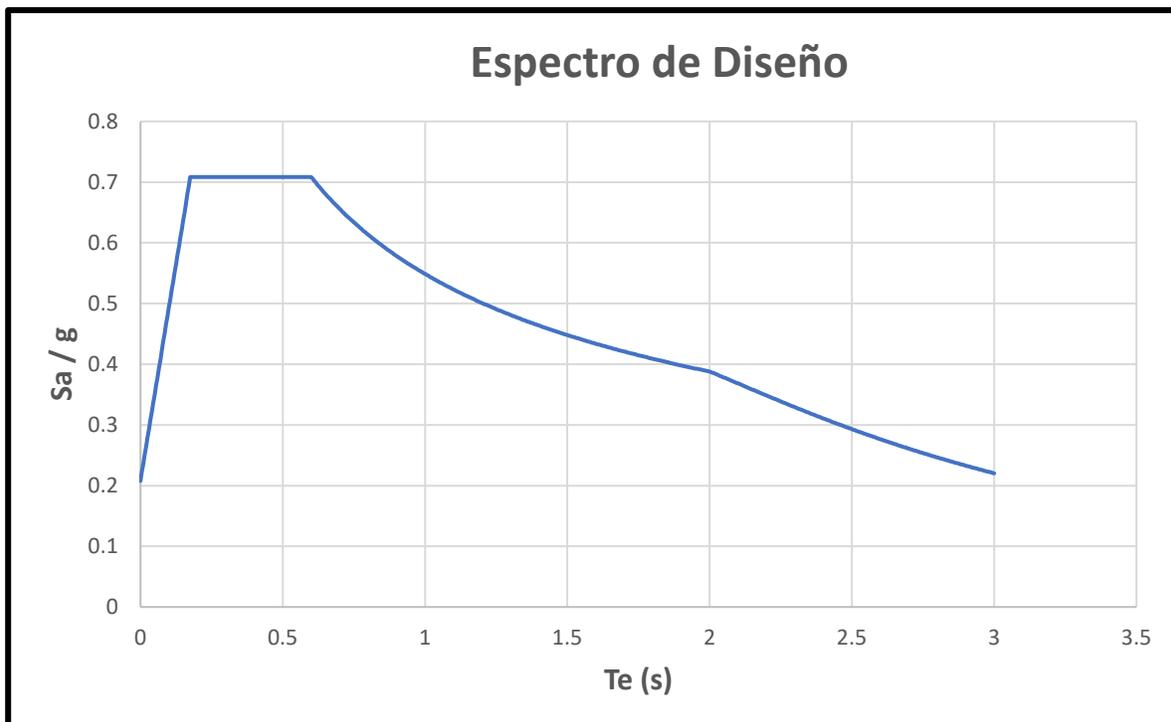
Figura 7.- Espectro de diseño estimado con los datos de refracción de microtremores.



IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- Se determinó una variación de la velocidad de corte entre 633.34 m/s a 766.78 m/s que corresponde a sólo dos tipos de suelo según la IBC2008; Suelos muy densos tipo C y B tipo roca.
- 2.- La variación de la velocidad de corte podría deberse a cambios litológicos, variación en la compactación del suelo, cambios en la composición mineralógica y/o granulometría, variación en el contenido de humedad, entre otros.
- 3.- Se obtuvieron los siguientes parámetros del espectro de diseño para el sitio:

CARACTERISTICAS DEL SITIO		ESPECTRO DE DISEÑO		
Vs 30	238.303 m/s	a0	0.208 g	Aceleración máxima del terreno
Hs	30 m	c	0.708 g	Aceleración máxima espectral
Ts	0.5 s	Ta	0.175 s	Límite inferior del espectro de diseño
Ys	1505 km/m3	Tb	0.6 s	Límite superior del espectro de diseño





4.- De acuerdo con la zonificación sísmica del Estado de Tlaxcala realizada por Lermo y Bernal (2006), la zona de estudio se encuentra próxima a fracturas y fallas geológicas, así como situada en la zona I (alta sismicidad).

5.- Se recomienda que mediante la técnica geofísica de tomografía eléctrica se explore a mínimo 35 metros de profundidad para descartar oquedades y/o fallas geológicas en el sitio de la futura obra.

ATENTAMENTE

Ing. José Rafael Martínez Ponce
Ingeniero Geofísico
Cédula profesional: 09062011



V.- REFERENCIAS

Álvarez Revuelta Mario. 2015. Determinación de la amplificación sísmica local en el Campus sur UPM mediante la técnica de sismología de microtremores (ReMi). Trabajo de fin de grado. Universidad Politécnica de Madrid. Pg. 163.

Cuadra Monreal Pilar Elena. 2007. Aplicación de técnicas de vibración ambiental: análisis de microtremores y vibraciones naturales, para la caracterización de sitio. Proyecto de Grado. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Pg. 132.

Comisión Federal de Electricidad. 2008. Manual de diseño de obras civiles: Diseño por sismo. México D.F. Pg. 745.

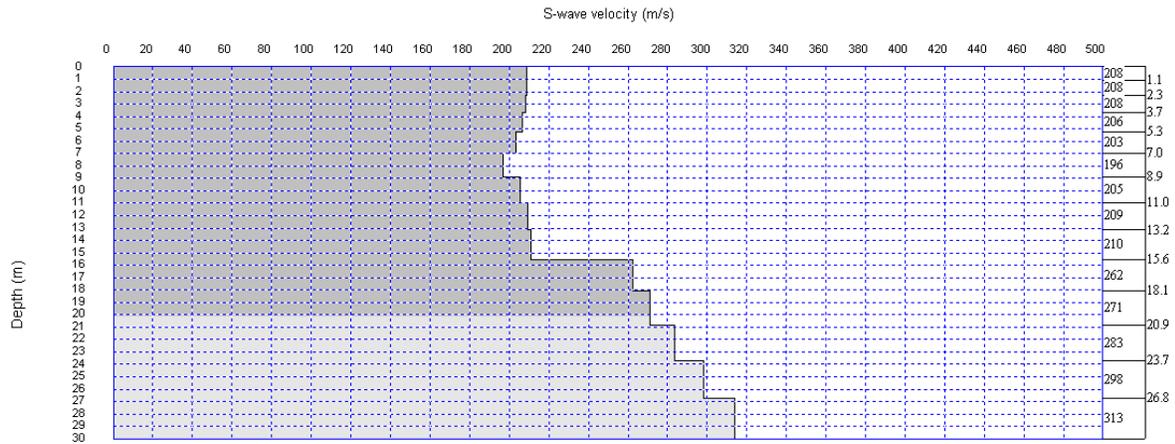
Humire Guarachi Francisco, Sáez Robert Esteban y Leyton Flores Felipe. 2015. Manual de aplicación de técnicas geofísicas basadas en ondas de superficie para la determinación del parámetro Vs30. Instituto de la Construcción. Madrid. Pg. 53.

S. Ohya, T. Takeuchi, T. Imai and K. Ito. 1978. Geophysical investigation for civil engineering purposes in Japan. Society of Exploration Geophysicists. 48th Annual International Meeting. Oct. 29 – nov. 2. San Francisco, California.

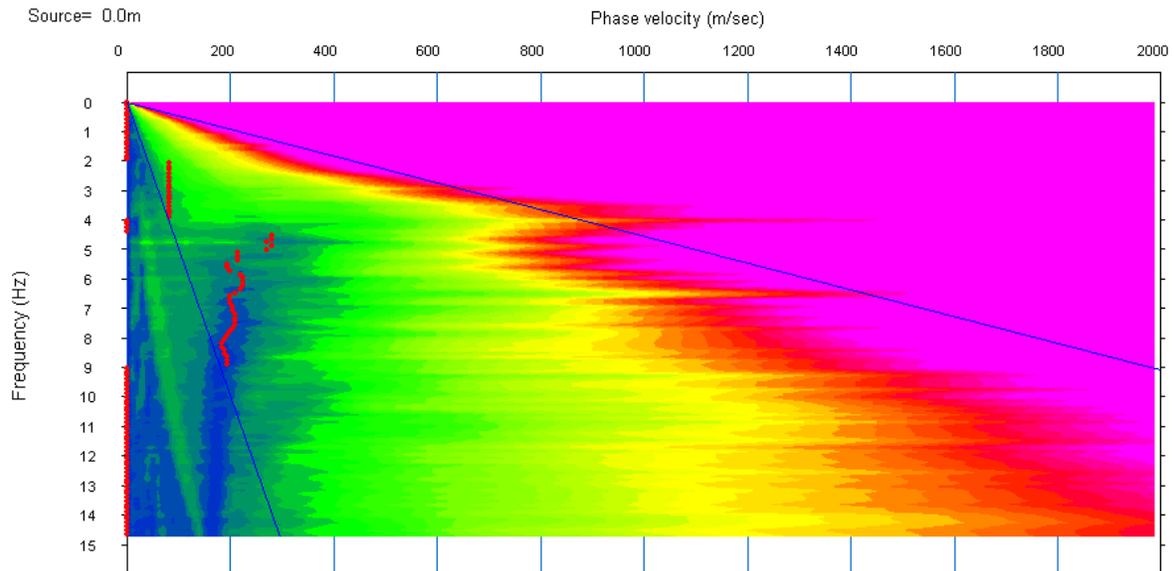
Vázquez Contreras, A. 2005. Geofísica Aplicada a la Ingeniería Civil. CFE. Reporte Inédito. Pp93.



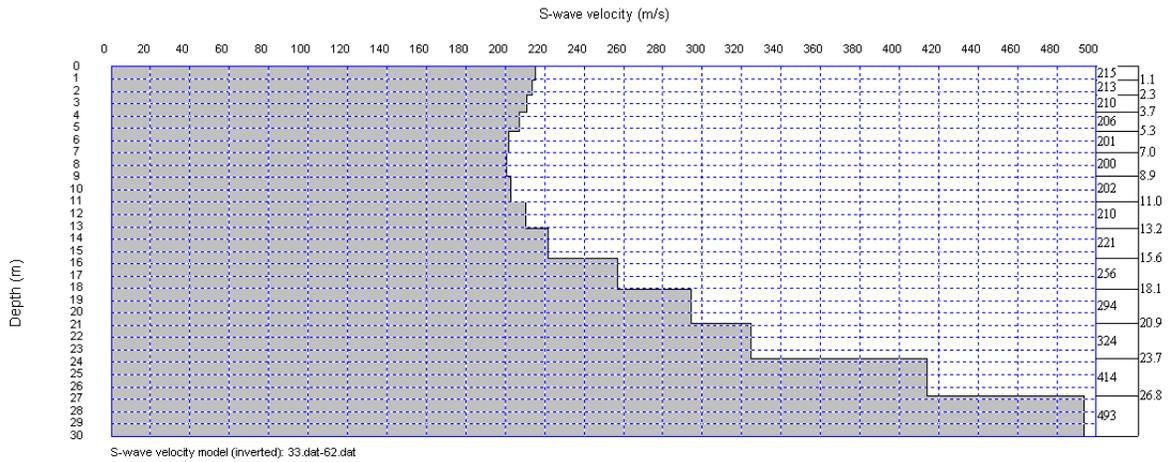
VI.- ANEXO



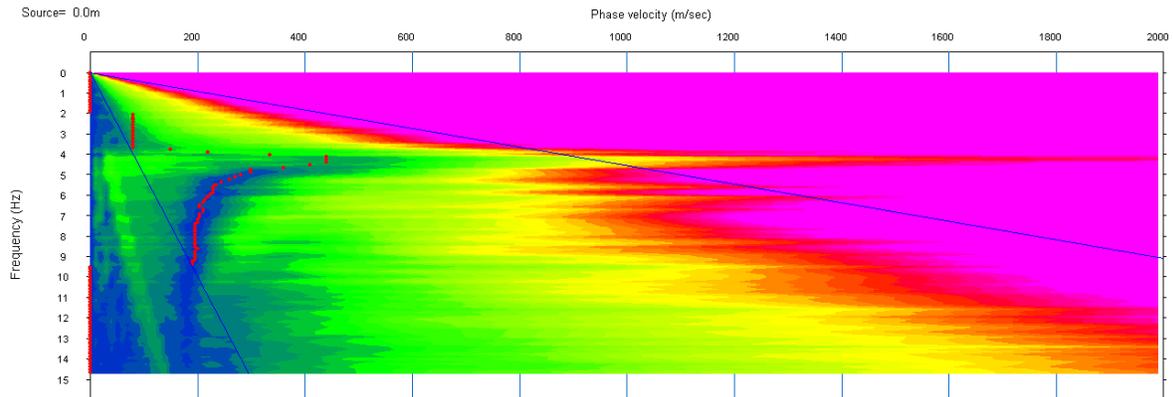
A.- Perfil 1 de velocidades de corte de onda ($V_s 30$).



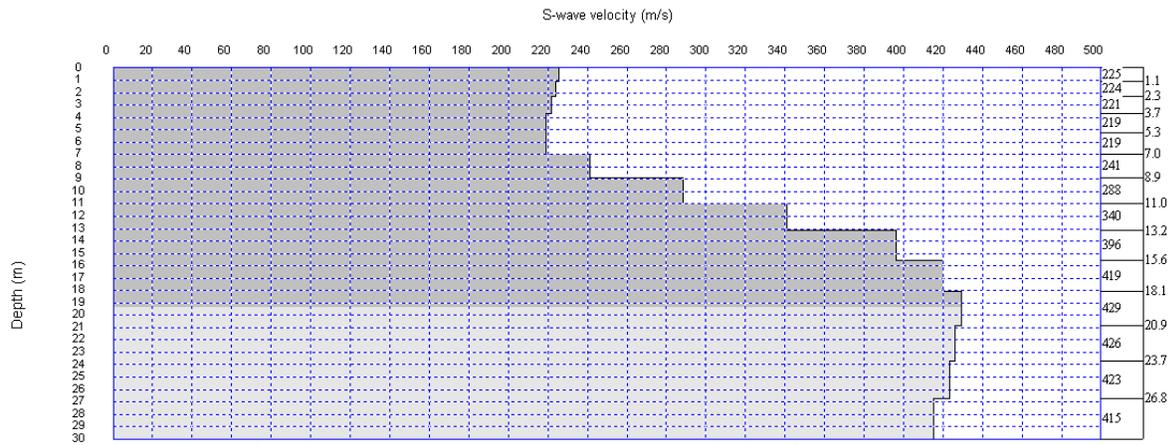
B.- Curva de dispersión de perfil 1.



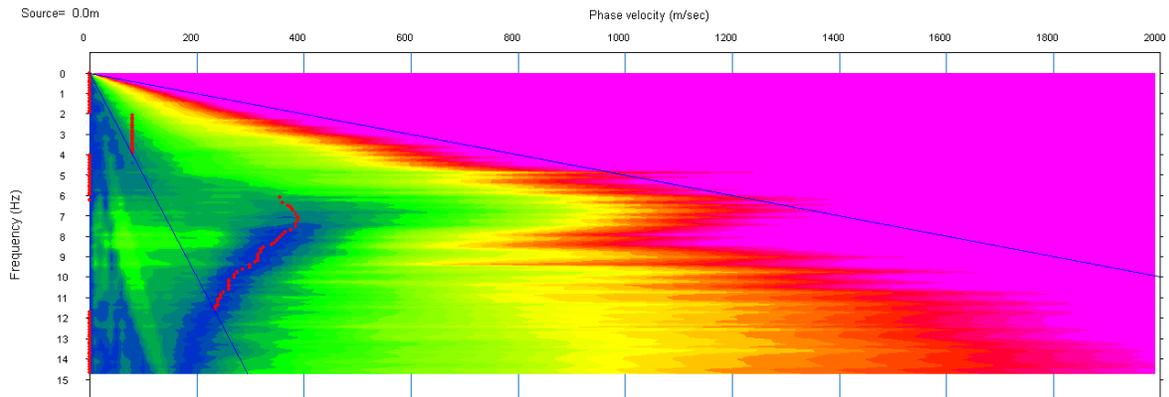
C.- Perfil 2 de velocidades de corte de onda (Vs 30).



D.- Curva de dispersión de perfil 2.



E.- Perfil 3 de velocidades de corte de onda (Vs 30).



F.- Curva de dispersión de perfil 2.