



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

Estudio Geosísmico de Refracción (TRS) para caracterización del terreno.

*ESTUDIO GEOFÍSICO DE REFRACCIÓN SÍSMICA PARA LA
CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO, EN EL CONJUNTO URBANO TLALPAN,
UBICADO EN LA DELEGACIÓN COYOACÁN, CDMX.*

ELABORADO PARA CONSTRUCTORA FAGAS S.A DE C.V.



ESTUDIO GEOFÍSICO DE REFRACCIÓN SÍSMICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO, EN EL CONJUNTO URBANO TLALPAN, UBICADO EN LA DELEGACIÓN COYOACÁN, CDMX.

Elaborado para:

CONSTRUCTORA FAGAS S.A.DE C.V.

Noviembre, 2017



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR



ESTUDIO GEOFÍSICO DE REFRACCIÓN SÍSMICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO, EN EL CONJUNTO URBANO TLALPAN, UBICADO EN LA DELEGACIÓN COYOACÁN, CDMX.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	OBJETIVOS	6
3.	RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO	6
	3.1 GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL	7
	3.2 HIDROGEOLOGÍA Y TIPO DE ACUÍFERO	8
	3.3 EDAFOLOGÍA	10
	3.4 FISIOGRAFÍA	11
4.	TRABAJOS DE CAMPO	13
	4.1 LEVANTAMIENTO GEOFÍSICO	13
	4.2 EQUIPO UTILIZADO	15
	4.3 FUNDAMENTOS DE LA METODOLOGÍA DEL TRS	16
5.	TRABAJOS DE GABINETE	18
6.	INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	20
7.	CONCLUSIONES	26



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR



FIGURAS

Figura 1. Carta geológica E14-2 de la Cd de México, esc. 1:250 000 SGM.	8
Figura 2. Hidrografía en las cercanías de la zona de estudio (recuadro rojo).....	11
Figura 3. Tipos de Suelo en la zona de estudio (INEGI).	12
Figura 4. Fisiografía de la Ciudad de México (INEGI).	14
Figura 5. Ubicación de los Tendidos de Refracción Sísmica, en una imagen satelital.	15
Figura 6. Ubicación de los TRS en plano.....	16
Figura 7. Geometría del tendido de refracción sísmica.	17
Figura 8. Sísmograma registrado correspondiente al PT3.....	18
Figura 9. Registros obtenidos mediante un tendido de refracción sísmica.....	19
Figura 10. Sección sismoestratigrafica correspondiente al TRS-1.	25
Figura 11. Sección sismoestratigrafica correspondiente al TRS-2.	26
Figura 12. Sección sismoestratigrafica correspondiente al TRS-3.	27
Figura 13. Sección sismoestratigrafica correspondiente al TRS-4.	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 .Coordenadas de ubicación de los Tendidos de Refracción Sísmica.....	16
Tabla 2. Propiedades dinámicas para el TRS-1	25
Tabla 3. Propiedades dinámicas para el TRS-2.....	26
Tabla 4. Propiedades dinámicas para el TRS-3.....	27
Tabla 5. Propiedades dinámicas para el TRS-4.....	28
Tabla 6. Resumen de las unidades sismoestratigraficas.	30

ANEXOS

ANEXO I. REPORTE FOTOGRÁFICO DE ACTIVIDADES DE CAMPO

ANEXO II. PLANOS



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR



1. INTRODUCCIÓN

Después de los macro sismos ocurridos en el mes de septiembre (día 7 y 19) en la ciudad de México y a consecuencia de los mismos, muchas estructuras resultaron dañadas a consecuencia de dichos movimientos telúricos, esto derivó en pérdidas humanas, personas damnificadas que quedaron en una situación de vulnerabilidad ya que perdieron su patrimonio o bien, quedaron sin la posibilidad de poder recuperar sus bienes materiales.

Debido a la situación anteriormente descrita, se ha iniciado la revisión integral de muchas de las estructuras y complejos habitacionales, donde desafortunadamente se presentaron daños severos a consecuencia de los sismos, esto ha llevado a la necesidad de realizar estudios multidisciplinarios, con los que se pretende tener una idea clara sobre las condiciones prevalecientes en sitios que han quedado dañados.

Uno de los sitios que ha presentado daños importantes y donde lamentablemente se perdieron vidas humanas, fue el Conjunto Urbano Tlalpan, ubicado en Calzada de Tlalpan 4, delegación Coyoacán, en la ciudad de México, en este sitio se están realizando estudios de Mecánica de suelos, Topografía y Geofísica, entre otros con la finalidad de establecer las condiciones prevalecientes en las estructuras que componen el conjunto habitacional y sobre todo en las condiciones que guarda en la actualidad el subsuelo, esto con la finalidad de dar certidumbre a los cientos de personas que tienen en este sitio su hogar y sobre todo de garantizar las condiciones de habitabilidad del lugar.

El presente estudio Geofísico, tiene como objetivo principal caracterizar las condiciones físicas del terreno, contacto entre capas o estratos, así como sus espesores, capacidades de carga, definición de módulos elástico dinámicos y la calidad del material, teniendo como finalidad coadyuvar en la toma de decisiones referentes a las acciones a



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

emprender para mejorar las condiciones de las estructuras y para dar certidumbre a la habitabilidad de los edificios.

El trabajo se programó en las siguientes etapas:

1. Recopilación de información bibliográfica existente de la zona de estudio.
2. Visita de campo y caminamientos dentro del área de estudio.
3. Ejecución de los trabajos de campo, referentes a la aplicación de la técnica geofísica: de Refracción Sísmica (TRS).
4. Análisis e integración de la información bibliográfica recopilada, así como con los resultados obtenidos de la campaña de exploración geofísica.

El método de Exploración Geosísmica se fundamenta en las trayectorias de tiempo mínimo que emplean las ondas elásticas en propagarse desde la superficie hasta los diferentes horizontes refractores del subsuelo y de estos hasta emerger al campo libre, en donde las pequeñas señales son detectadas por una serie de geófonos alineados con la fuente perturbadora.

A partir de la observación de estos registros, o sismogramas, es posible determinar los tiempos de arribo de las ondas sísmicas y calcular, a través de una gráfica de tiempo-distancia, el número de capas que conforman el subsuelo, sus espesores y velocidades de propagación.

No obstante que los parámetros obtenidos con este método son muy precisos, eventualmente es posible que el modelo sísmico no sea totalmente correlacionable con la geología del sitio, debido fundamentalmente a que las capas del subsuelo incumplan con cualquiera de las siguientes condiciones:



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

- Las velocidades de propagación de las ondas P o S de cada una de las capas, o estratos, deben incrementarse con la profundidad.
- Cada una de las capas debe tener un espesor suficiente, mayor que la longitud de onda P o S, para poder ser detectadas.

1. OBJETIVOS

El objetivo principal planteado en esta campaña de exploración fue el siguiente:

- ❖ Determinar las características sismo estratigráficas existentes en el subsuelo del predio donde se pretenden realizar adecuaciones a las estructuras y determinar los parámetros elasto-dinámicos del subsuelo.

2. Reconocimiento Geológico

El Proyecto se localiza en los límites de la delegación Coyoacán de la Ciudad de México, dentro del **Conjunto Urbano Tlalpan**, donde el subsuelo del sitio presenta en mayor extensión sedimentos de tipo lacustre, la columna estratigráfica, está formada por varias unidades geológicas con edades y composiciones diferentes.

La investigación del marco geológico del sitio consistió en una recopilación de información, la cual incluyó las cartas geológico-mineras de la Ciudad de México E14-2 esc.



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR



1:250 000, se consultó el portal de INEGI para obtener información edafología tanto descriptiva como gráfica y un artículo de la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas: Estado actual de la investigación geoquímica en el campo monogéntico de la Sierra de Chichinautzin.

Posteriormente, se realizó un reconocimiento geológico de campo, del área en la que se encuentra el predio, con objeto de establecer la estratigrafía del sitio y establecer las unidades geológicas que predominan superficialmente.

2.1 Geología Regional y Local

La zona de estudio se ubica al sur de la ciudad de México, regionalmente encontramos cuatro de unidad geológicas que predominan, descritas en orden de la más antigua a la más reciente encontramos:

La Formación Zempoala (TplLh-TA2) que está compuesta por una secuencia de flujos volcánicos andesíticos interestratificados con material volcanoclástico andesítico, tobas y lahares, (Fries, 1960). Para esta secuencia volcánica se estima un espesor total de al menos 800m. De Cserna (1981) infiere una edad del Mioceno tardío al Plioceno temprano en base a sus relaciones estratigráficas; y fue depositada discordantemente, por erosión, sobre la Fm. Tepoztlán y subyace al Grupo Chichinautzin. Sobre esta unida se ubican los DH realizados en este estudio.

Formación Las Cruces (TplA-Da2) del Plioceno superior-Pleistoceno inferior consta de dos miembros (Delgado-Granados y Martín del Pozzo, 1993). El inferior, la brecha piroclástica Cantimplora, constituido por una secuencia de brechas piroclásticas, flujos de ceniza y lahares, con espesor de ~150m. La Dacita Apilulco constituye el miembro superior de esta unidad y presenta un espesor de ~400 m.



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

Formación Llano Grande es una secuencia eruptiva a de composición variable de andesítica a riódacítica, las secuencias reconocidas constan de capas delgadas de lapilli pumítico y lítico, flujos de cenizas vítreas no soldados con o sin bloques accidentales y breccas soldadas de flujo, cubiertos por derrames lávicos de andesita.

El Aluvión (Qhoal) que rellena los valles de México, Toluca y Puebla, está conformado por gravas, arenas, cenizas y arcillas. Las arcillas son sedimentos clásticos y productos piroclásticos relacionados con la actividad volcánica del estratovolcán Popocatepetl y la sierra de Chichinautzin, los cuales se depositaron en un ambiente lacustre, los espesores varían entre 20 y 300m. El origen de los depósitos lacustres está íntimamente relacionado con la obstrucción definitiva del desagüe de la Cuenca de México.

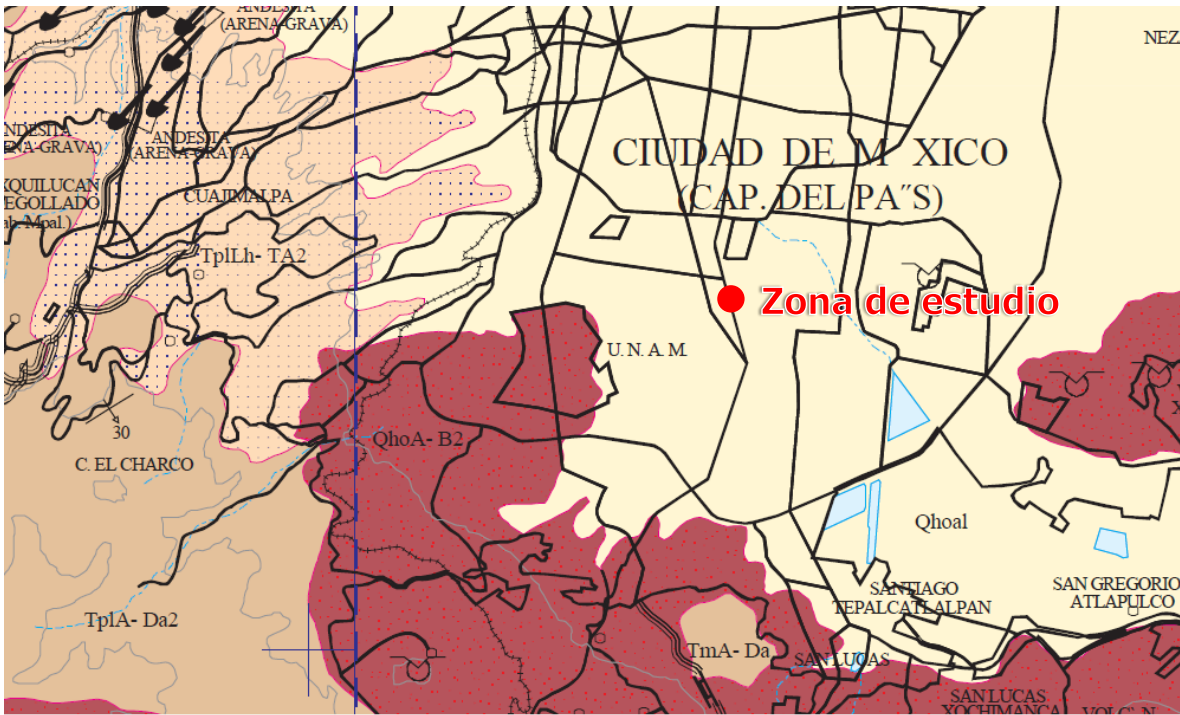


Figura 1. Carta geológica E14-2 de la Cd de México, esc. 1:250 000 SGM.

La zona de estudio se ubica sobre dichos sedimentos lacustres (Qhoal).



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

2.2 Hidrogeología y tipo de Acuífero

Debido a que el acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México presenta de manera irregular material arcilloso que le sirve como confinante o semiconfinante el acuífero se clasifica como semiconfinado.

El contenedor impermeable del acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México lo constituyen rocas volcánicas y calizas, en tanto que el paquete sedimentario da origen a un sistema acuífero complejo formado por tres grandes cuerpos: en la parte superior, un paquete arcilloso de alta porosidad, baja permeabilidad y gran heterogeneidad en su constitución, que forma un acuitardo de espesor variable y que actúa como semiconfinante en el centro de la cuenca. Bajo este paquete se encuentra el acuífero actualmente en explotación, formado por material granular más grueso que el del acuitardo, esto es, piroclastos y conglomerados de origen volcánico. Su espesor es variable (generalmente > 200 m) así como sus propiedades hidráulicas. Le subyacen rocas volcánicas fracturadas, cuya base llega a estar a los 2000 m en el centro disminuyendo hacia las márgenes de la Cuenca.

Las tres unidades presentan un amplio rango en sus parámetros hidrodinámicos (permeabilidad, coeficiente de almacenamiento, transmisividad). (Lesser, 1984). Están comunicados hidráulicamente sobre todo las dos últimas (rocas volcánicas y material granular).

El comportamiento hidráulico refleja un descenso de niveles tanto en los pozos piloto como en los piezómetros registrados en la zona. De los datos presentados anteriormente se detecta un descenso de los niveles debido a la sobreexplotación del acuífero.



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR



La profundidad de los niveles existentes en el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, presenta los valores más bajos, de 20 a 40 m en la Proción sur de la Sierra de Guadalupe, mientras que los valores más altos de profundidad se localizan en la zona de recarga de la Sierra de las Cruces en donde el nivel estático se localiza a una profundidad que varía de 70 a 170 m, en la porción central de la Ciudad de México se encuentran valores que fluctúan de 60 a 65 m, estos datos se obtuvieron del Plano de Profundidades del Nivel estático de 1997.

La elevación del nivel estático en el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México presenta valores de 2,310 a 2,390 msnm en las inmediaciones de las Sierras Monte Alto y Sierra de las Cruces, en la porción central de la Ciudad de México las elevaciones del nivel estático fluctúan de 2,185 a 2,200 m snm. Estos datos se obtuvieron del Plano de Profundidades del Nivel estático de 1997.

En particular la hidrografía de la delegación Cuauhtémoc, pertenece a la RH del Pánuco, a la cuenca R. Moctezuma, Subcuenca L. de Texcoco y Zumpango y se presenta una corriente de agua, el río La Piedad (actualmente entubado).



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

EDAFOLOGÍA COYOACÁN

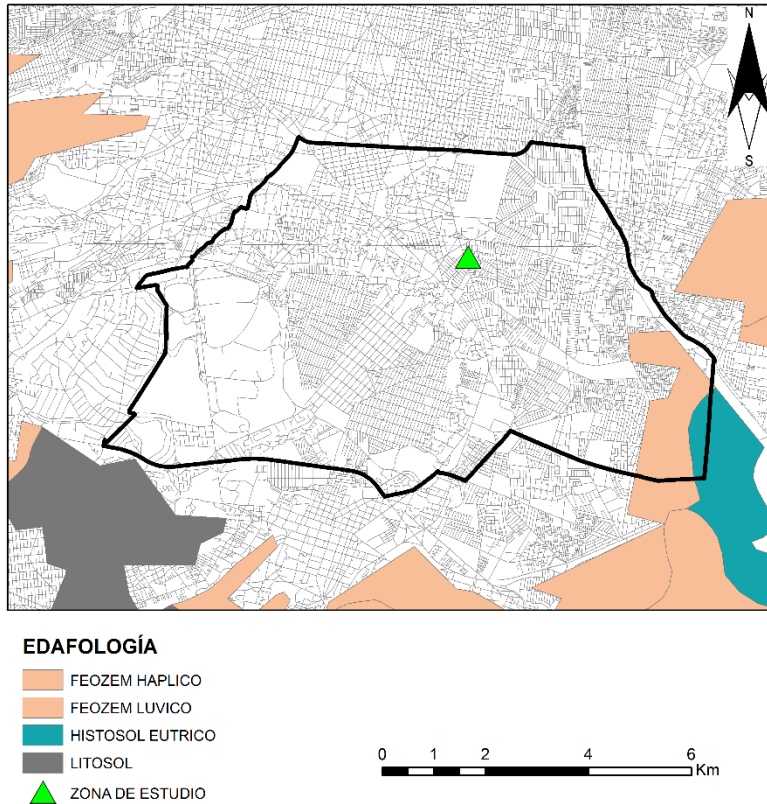


Figura 3. Tipos de Suelo en la zona de estudio (INEGI).

3.4 Fisiografía

De acuerdo a la clasificación de las Provincias Fisiográficas hecha por Raiz (1964), la zona de estudio se encuentra ubicada dentro de la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico, en la porción central de la Subprovincia Fisiográfica Lagos y Volcanes de Anáhuac.

La Subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac se caracteriza por estar conformada de montañas plegadas con orientación casi norte-sur, construidas a partir de secuencias marinas



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR



detríticas y calcáreas, separadas por valles aluviales y llanuras formadas en antiguas cuencas lacustres, donde aparecen elevaciones aisladas.

Antiguamente el Valle de México drenaba hacia el sur, las corrientes superficiales que circulaban en dicha dirección fueron interrumpidas por la emisión de productos volcánicos a través de conos que dieron origen a la Sierra de Chichinautzin, erupción que ocurrió hace aproximadamente 600,000 años. Esto causó el cierre definitivo del drenaje hacia el sur y de la cuenca, que se convirtió en endorreica, lo que favoreció la acumulación de agua en la región central del valle, condiciones que dieron origen a la formación de los lagos de Zumpango, Texcoco, Xochimilco y Tláhuac. Las montañas que circundan la Cuenca de México son de origen volcánico, entre las que destacan la Sierra Nevada que se localiza al este, a Sierra de Las Cruces al oeste y la Sierra Chichinautzin hacia el sur.



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

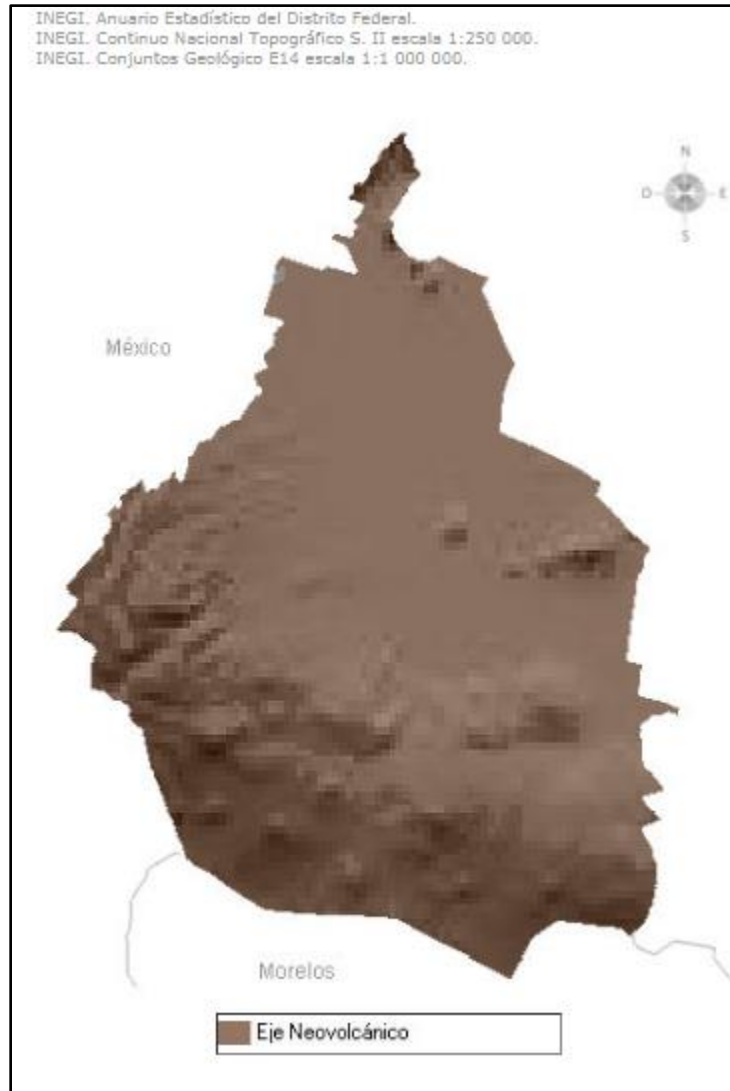


Figura 4. Fisiografía de la Ciudad de México (INEGI).

3. Trabajos de Campo

3.1 Levantamiento Geofísico

El levantamiento de campo se realizó mediante la ejecución de 4 tendidos de refracción sísmica (TRS) con un espaciamiento entre geófonos de 8 y 6 m; se colocaron un total de 12 geófonos por tendido de refracción, por lo que de manera individual cada



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

tendido (TRS) tuvo una longitud unitaria de 96 m (TRS 1 y 2) y de 72 m (TRS 3 y 4). Mediante esta técnica se logró prospectar hasta una profundidad real de entre 22 y 30 metros, la profundidad está en función de la longitud del tendido de refracción sísmica.

La ubicación en términos generales se muestra en la siguiente figura, la cual se acompaña por una tabla de coordenadas de cada tendido geoelectrico.



Figura 5. Ubicación de los Tendidos de Refracción Sísmica, en una imagen satelital.

En la siguiente tabla se observan las coordenadas de los geófonos empleados en la adquisición de los datos geosísmicos de campo, recolectados durante esta campaña de exploración geofísica.



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

Tabla 1 .Coordenadas de ubicación de los Tendidos de Refracción Sísmica.

Tendido	Coordenada X	Coordenada Y
G-1 TRS-1	485086.457	2138334.12
G-12 TRS-1	485110.921	2138249.59
G-1 TRS-2	485104.279	2138334.11
G-12 TRS-2	485138.302	2138252.96
G-1 TRS-3	485084.285	2138256.27
G-12 TRS-3	485065.527	2138250.97
G-1 TRS-4	485065.527	2138250.97
G-12 TRS-4	485084.448	2138187.74

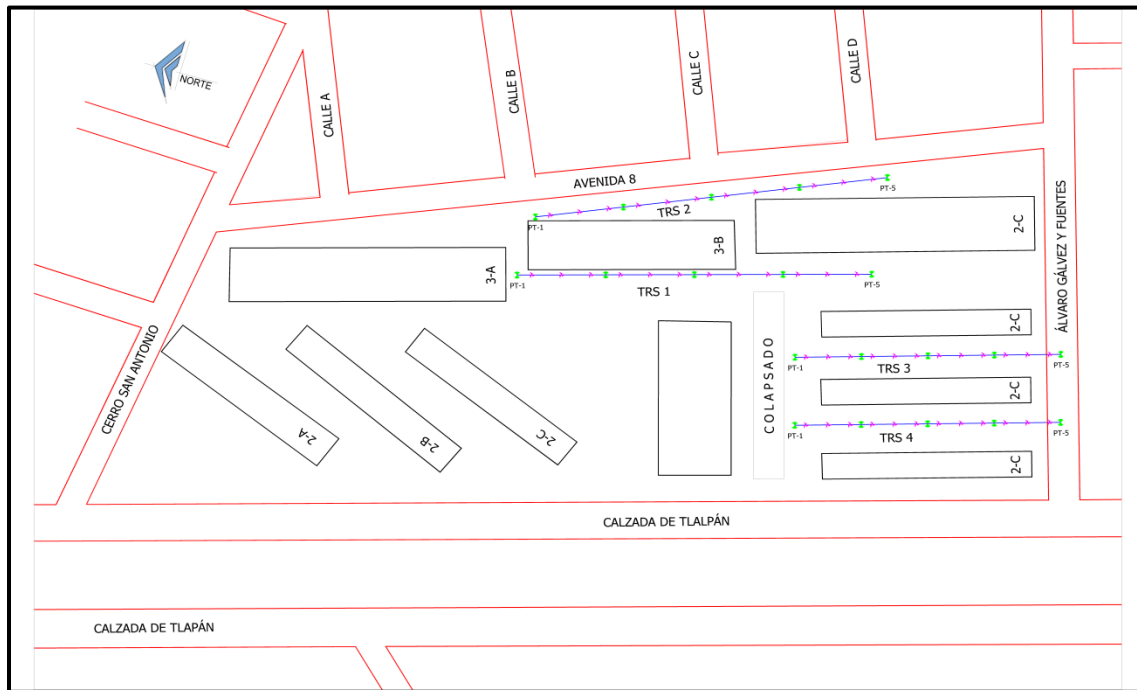


Figura 6. Ubicación de los TRS en plano.



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

Equipo Utilizado

Para la adquisición de datos se dispusieron tendidos de refracción sísmica (TRS), cada TRS constó de 12 geófonos o sismodetectores, los cuales se colocaron en línea recta a intervalos regulares con objeto de recibir los frentes de ondas generados a partir de impactos de martillo en los sitios denominados puntos de tiro (PT), los cuales se encuentran alineados de la siguiente forma: dos situados en los extremos del TRS a una distancia de 4 o 3 m del geófono más cercano y tres intermedios ubicado entre los geófonos 3 y 4, 6 y 7, 9 y 10 como se indica en la figura No 7.

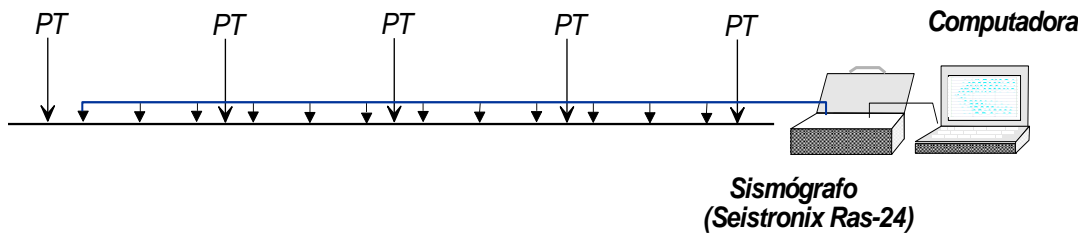


Figura 7. Geometría del tendido de refracción sísmica.

Para la obtención de los registros se utilizó un sismógrafo digital marca SEISTRONIX , modelo RAS-24 de 12 canales, acoplado a una computadora a través de una conexión RS232, con la que se grabaron digitalmente en el disco duro, posteriormente se transfirió para su procesamiento y análisis mediante programas especializados. Un ejemplo de estos registros se muestra en la figura No 8.



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

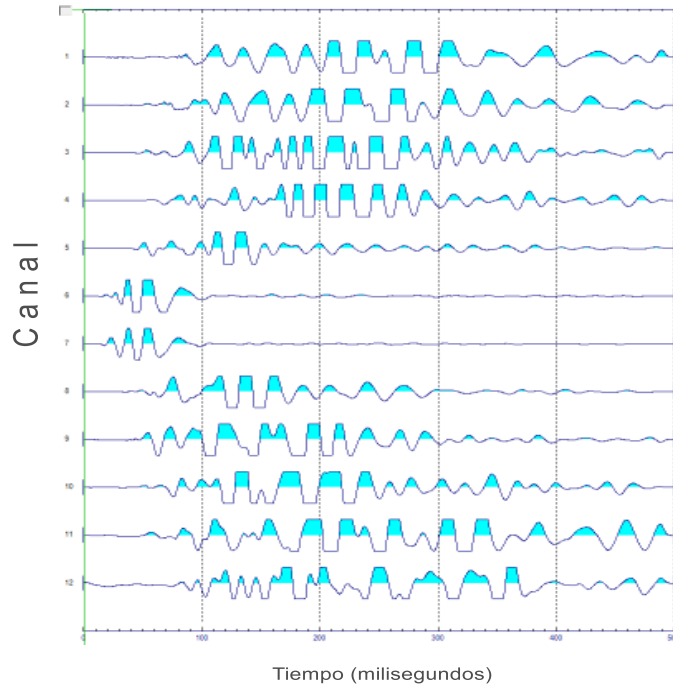


Figura 8. Sísmograma registrado correspondiente al PT3.

3.2 Fundamentos de la metodología del TRS

Los estudios de refracción sísmica se basan en la medición de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas generadas bajo control, estas se originan en la superficie o en el interior de un barreno.

A partir de la fuente original se forma un frente de onda que se propaga en todas direcciones, alejándose del punto de impacto en forma casi radial en medios homogéneos e isotrópicos, sin embargo cuando se presentan estratos subyacentes de características diferentes, la velocidad de propagación sufre un cambio con respecto a la primera capa.



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

La metodología de refracción sísmica se basa en la particularidad que presentan los materiales someros, en los cuales se establece y es necesario que se cumpla la siguiente condición física.

$$V_3 > V_2 > V_1$$

Donde:

- V₁.- Velocidad de propagación del primer horizonte
- V₂.- Velocidad de propagación del segundo horizonte
- V₃.- Velocidad de propagación del tercer horizonte

Lo que significa que la velocidad de propagación se incrementa con respecto a la profundidad.

En los sismogramas esto se registra como un retardo progresivo en los tiempos de arribo, conforme el sísmo detector o geófono se encuentra más retirado de la fuente, puesto que la onda debe recorrer mayor distancia, como se muestra en la figura 4.

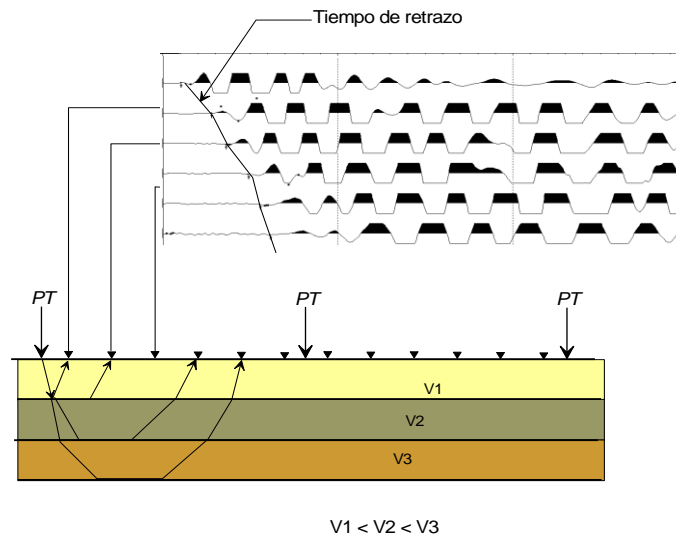


Figura 9. Registros obtenidos mediante un tendido de refracción sísmica.



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR



Cuando se genera una perturbación sísmica, se originan diferentes tipos de ondas, como las superficiales (ondas Rayleigh y ondas Love) que se propagan en la superficie que es la frontera entre dos medios con propiedades elásticas distintas, y las ondas de cuerpo que se propagan en todo el volumen (ondas P y ondas S).

A partir de las ondas generadas mediante cualquiera de los dispositivos existentes, se ha observado que las ondas de mayor velocidad son las longitudinales o de compresión, siendo por ello las primeras en registrarse, por lo que son denominadas como ondas primarias u ondas " P ", éstas se caracterizan por que el movimiento de las partículas del suelo, al paso de la onda sigue la misma dirección en que esta se propaga, provocando un cambio en el volumen pero no así en su forma, dichas ondas se ven afectadas por la incompresibilidad y rigidez del material geológico por el cual se propaga.

Basándose en el efecto anterior y en el marco geológico de referencia, es posible establecer un modelo estratigráfico deduciendo las fronteras entre estratos y las velocidades de propagación.

4. Trabajos de Gabinete

Los trabajos de gabinete se desarrollaron en 2 etapas.

La primera consistió en el análisis y lectura de los sismogramas grabados digitalmente con el fin de determinar los tiempos de arribo de las ondas de propagación longitudinal. Para ello se empleó el programa de lectura Pickwin (MR) que permite recuperar el registro sísmico en pantalla, seleccionar los tiempos de arribo. Una vez leídos los sismogramas, se elaboraron las curvas tiempo-distancia o dromocrónicas para cada uno de los TRS.



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR



A partir de estas gráficas y mediante el empleo del programa Plotrefa(MR), fue posible determinar los espesores y velocidades de propagación de los diferentes estratos presentes.

Posteriormente se integran los resultados obtenidos de cada uno de los TRS con su correspondiente columna estratigráfica, determinada a partir del modelo geológico establecido a partir de la recopilación, observaciones realizadas en campo y la correlación con los barrenos exploratorios realizados durante el estudio de mecánica de suelos, lo que permitió asociar las velocidades longitudinales de propagación con los materiales correspondientes.

La segunda etapa consistió en determinar los módulos elásticos dinámicos de los estratos que constituyen el subsuelo. Para ello se utilizaron las relaciones derivadas de la propagación de ondas en medios continuos, las cuales establecen que los parámetros elásticos dinámicos de los materiales son función de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas longitudinal (V_p) y transversal, o de cortante, (V_s) que se propagan a través del medio.

Con estos parámetros y las densidades inferidas (ρ) de las unidades estratigráficas involucradas en el sitio, fue posible determinar los módulos elásticos dinámicos a partir de las siguientes ecuaciones:

- **Relación de Poisson,**

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

- ***Módulo de Corte (Rigidez)***

$$G = Vs^2 \rho$$

- ***Módulo de Young,***

$$E = 2G(1 + \nu)$$

Se destaca que en el cálculo de los módulos dinámicos se consideraron los valores de peso volumétrico determinado en el estudio de mecánica de suelos ($\gamma = 1.52 \text{ t/m}^3$ en promedio para el estrato más superficial; $\gamma = 1.27 \text{ t/m}^3$ para el estrato intermedio y finalmente $\gamma = 1.32 \text{ t/m}^3$ para el estrato más profundo).



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

5. Interpretación y Análisis de Resultados

A partir de los 4 Tendidos de Refracción Sísmica realizados en el área de estudio ubicada al sur de la Ciudad de México, se integraron las 4 secciones sismoestratigráficas que se presentan en el **Anexo II Planos**. En todas las secciones se presenta lo siguiente:

- Principales unidades sismoestratigráficas
- Litología probable
- Velocidad de propagación de onda longitudinal (V_s) y compresional (V_p).

A continuación se describen las unidades sismoestratigráficas detectadas por esta metodología.

- **Unidad I - Arcillas arenosas.** Unidad sismoestratigráfica conformada por materiales arcillo arenosos. Esta unidad presenta velocidades de propagación de onda P (compresional) promedio de 395 m/s, mientras que de onda S (longitudinal) su promedio es de 158 m/s, su espesor que varía de 1.20 m a 3.35 m, con un promedio para todo el predio de 2.04 m.

- **Unidad II - Arcillas.** Esta capa se presenta en todos los tendidos de refracción sísmica realizados sobre el terreno, está asociada a un material de origen lacustre, cuya granulometría es muy fina, por lo que se asocia a materiales arcillosos (esta asociación se realizó con base en el estudio de mecánica de suelos, proporcionado por el cliente) los cuales presentan velocidades de propagación de onda P (compresional) y de onda S (longitudinal) en promedio de 1,168 y 410 m/s respectivamente; su espesor varia de 8.3 m a 13.6 m, presentando el mayor espesor en el TRS-1; en promedio su espesor es de 12.77 m.



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

- **Unidad III – Limos arenosos.** Esta capa se presenta en todos los tendidos de refracción sísmica realizados sobre el terreno, está asociada a un material de origen Lacustre (limo arenas), las cuales presentan velocidades de propagación de onda P (compresional) y onda S (longitudinal) promedio de 1,655 m/s y de 736 m/s respectivamente, de espesor no pudo ser definido ya que la profundidad máxima de exploración fue de 30 m, sin embargo se detectó su presencia por debajo de los 10 m de profundidad, en un rango que varía en el área de estudio de entre 10 y 13.6 m de profundidad respecto al nivel base del terreno.

Mediante el análisis de las señales obtenidas, fue posible determinar los tiempos de arribo de las ondas longitudinales P y ondas de cortante S de las diferentes unidades estratigráficas que constituyen el subsuelo del sitio. Con ello se construyeron los perfiles sísmicos (figuras 10 a la 13) y se determinaron los módulos elásticos dinámicos de los materiales presentes en el subsuelo, los que se indican en las Tablas 2 a 5 para cada TRS.



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

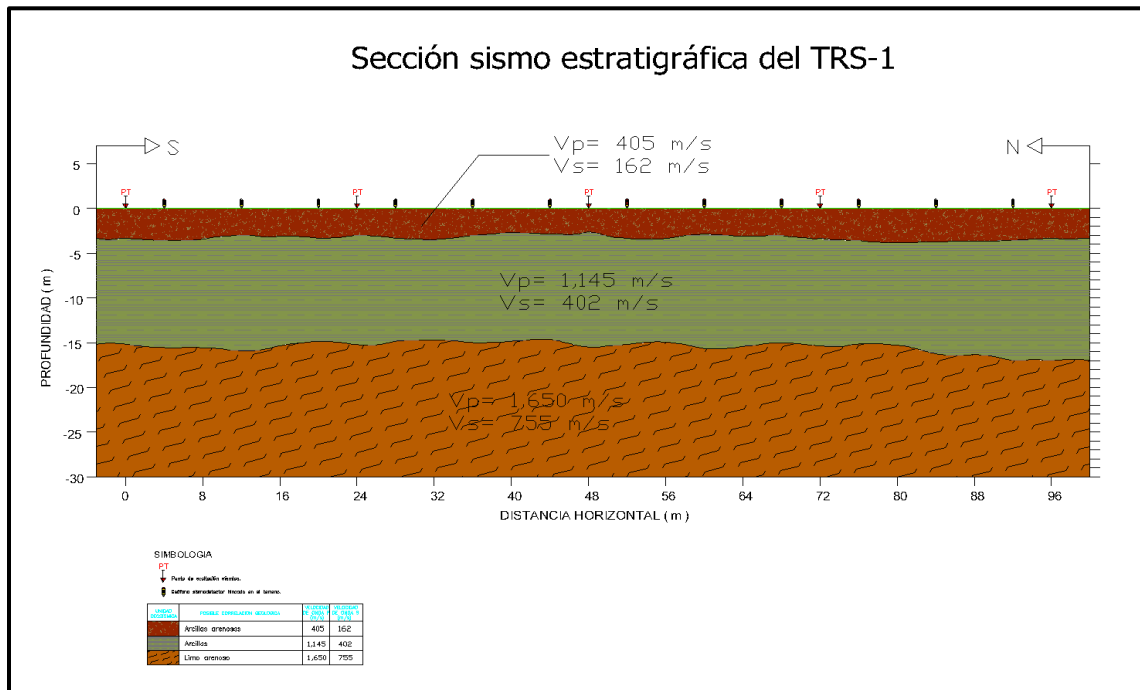


Figura 10. Sección sismoestratigráfica correspondiente al TRS-1.

Tabla 2. Propiedades dinámicas para el TRS-1							
Unidad estratigráfica	Espesor promedio (m)	Velocidades de onda		γ^* (T/m ³)	Relación de Poisson	Módulos dinámicos	
		V_p (m/s)	V_s (m/s)			G (T/m ²)	E (T/m ²)
I	3.14	405	162	1.52	0.40	40.66	114.25
II	12.5	1145	402	1.27	0.43	209.21	598.22
III	Ind	1650	755	1.32	0.37	767.01	2,097.90



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

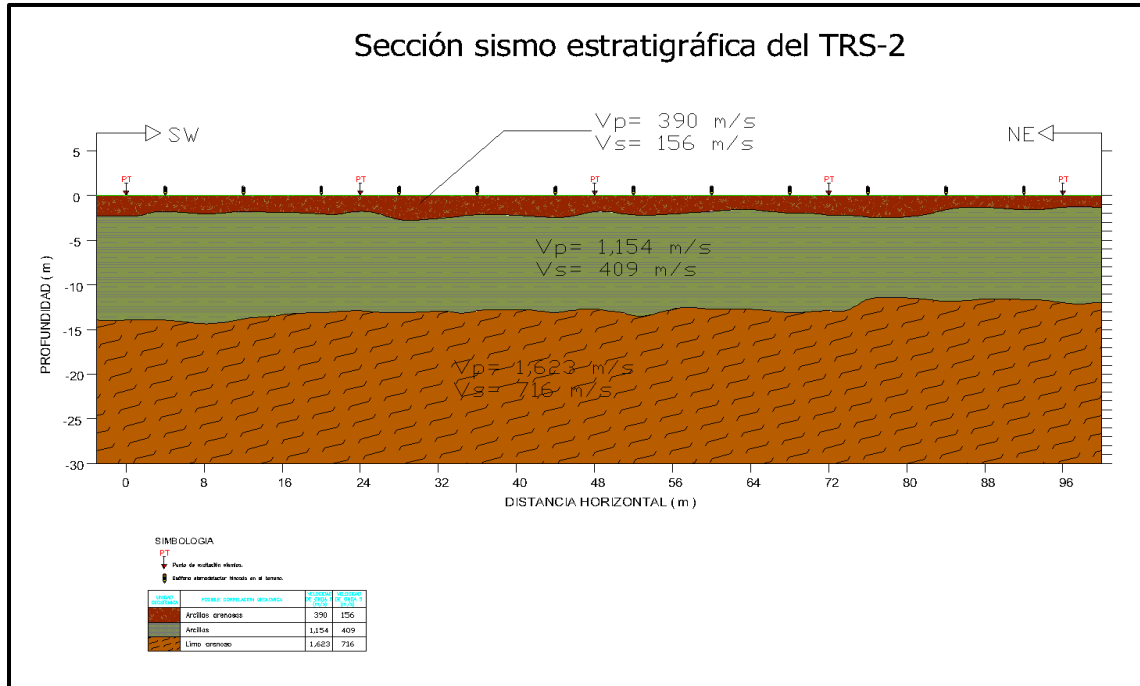


Figura 11. Sección sismoestratigráfica correspondiente al TRS-2.

Tabla 3. Propiedades dinámicas para el TRS-2

Unidad estratigráfica	Espesor promedio (m)	Velocidades de onda		γ^* (T/m ³)	Relación de Poisson	Módulos dinámicos	
		Vp (m/s)	Vs (m/s)			G (T/m ²)	E (T/m ²)
I	1.88	390	156	1.52	0.40	37.71	105.94
II	11.65	1154	409	1.27	0.43	216.56	618.57
III	Ind	1623	716	1.32	0.38	689.81	1902.74



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

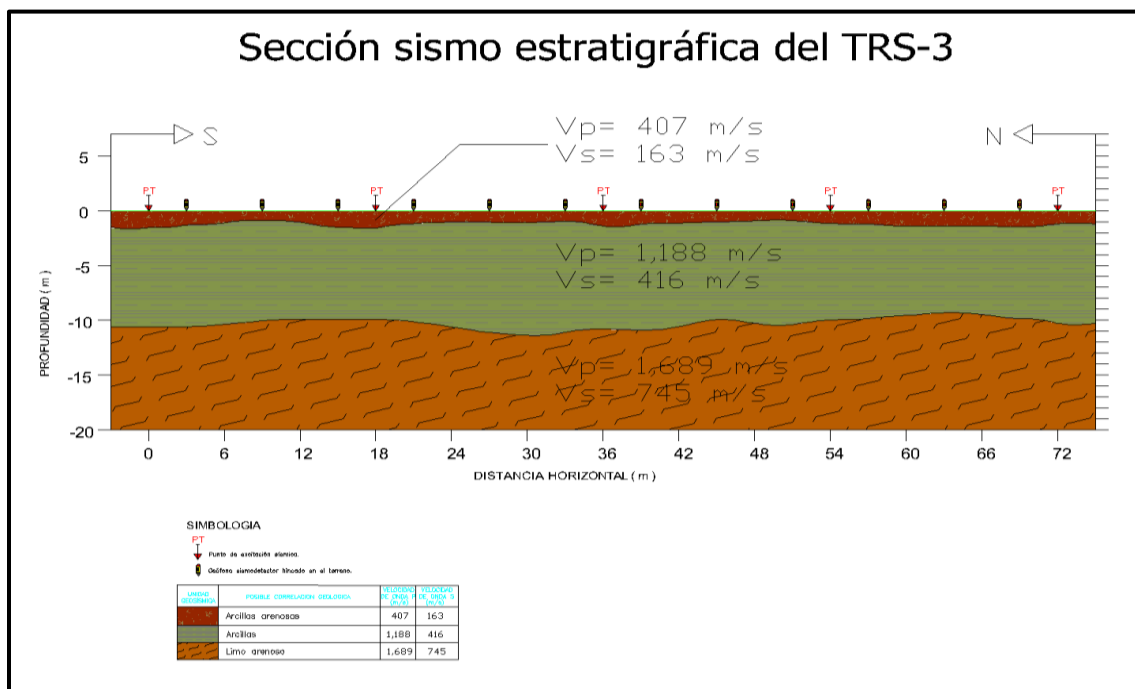


Figura 12. Sección sismoestratigrafica correspondiente al TRS-3.

Tabla 4. Propiedades dinámicas para el TRS-3

Unidad estratigráfica	Espesor promedio (m)	Velocidades de onda		γ^* (T/m^3)	Relación de Poisson	Módulos dinámicos	
		Vp (m/s)	Vs (m/s)			G (T/m^2)	E (T/m^2)
I	1.38	407	163	1.52	0.40	41.17	115.64
II	8.93	1188	416	1.27	0.43	224.04	640.80
III	Ind	1689	745	1.32	0.38	746.82	2060.07



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

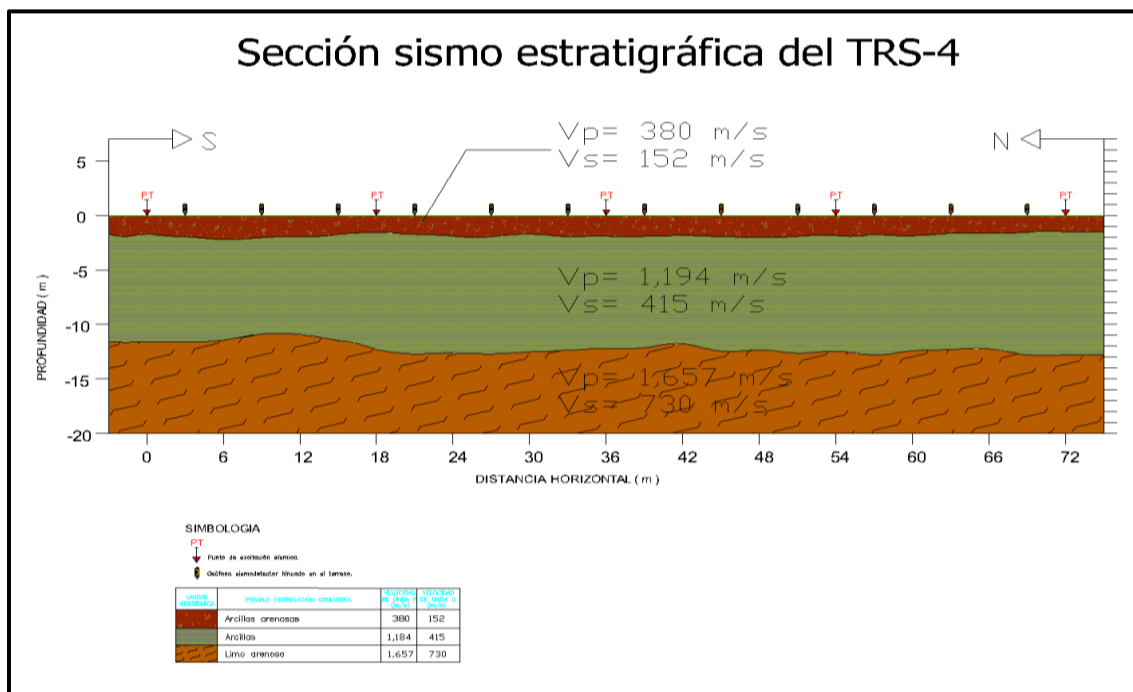


Figura 13. Sección sismoestratigráfica correspondiente al TRS-4.

Unidad estratigráfica	Espesor promedio (m)	Velocidades de onda		γ^* (T/m^3)	Relación de Poisson	Módulos dinámicos	
		Vp (m/s)	Vs (m/s)			G (T/m^2)	E (T/m^2)
I	1.75	380	152	1.52	0.40	35.80	100.58
II	10.55	1184	415	1.27	0.43	222.96	637.66
III	Ind	1657	730	1.32	0.38	717.05	1978.47



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR



6. Conclusiones

Con los datos obtenidos y los procesos comentados anteriormente, se determinó el espesor, geometría y velocidades de propagación de los materiales identificados, como se muestra en las figuras 10 a 13.

En términos generales se identificaron tres unidades principales, la primera (Unidad I) corresponde a **Arcillas arenosas**, básicamente formados por materiales arcillo arenosos con posible presencia de materiales de relleno. Esta unidad presenta velocidades de propagación de onda P (compresional) promedio de 395 m/s, mientras que de onda S (longitudinal) su promedio es de 158 m/s, su espesor que varía de 1.20 m a 3.35 m, con un promedio para todo el predio de 2.04 m.

Subyaciendo a la unidad anterior se encuentra la unidad II, está asociada a un material de origen lacustre, asociadas a **Arcillas**, las cuales presentan velocidades de propagación de onda P (compresional) y de onda S (longitudinal) en promedio de 1,168 y 410 m/s respectivamente; su espesor varia de 8.3 m a 13.6 m, presentando el mayor espesor en el TRS-1; en promedio su espesor es de 12.7 m. Se asoció a la presencia de una **Arcilla, con presencia algunos granos más gruesos posiblemente de limos o arenas.**

Finamente y en términos generales por debajo de los 10 m de profundidad se encuentra la unidad III, para la que se determinaron velocidades de propagación de onda P del orden de 1,623 a 1,689 m/s, que se asocian a la presencia de un **Limo arenoso.**

A partir de los procesos comentados anteriormente, de los modelos de velocidad obtenidos y de la correlación con la exploración geotécnica, es posible relacionar la unidad geofísica I con los materiales descritos como **Arcillas arenosas**, la unidad II con una **Arcilla plástica de consistencia blanda** y la unidad III con un **Limo arenoso**, ya que



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

los espesores son sensiblemente consistentes y las velocidades teóricas de los materiales descritos son muy próximas a las velocidades obtenidas a través del análisis y procesamiento de las dromocrónicas, por lo tanto dicha relación es posible expresarla en la siguiente tabla.

Tabla 6. Resumen de las unidades sismoestratigraficas.

Unidad	Velocidad [m/s]	Espesor [m]	Materiales
I	380 – 407	1.2 – 3.3	Arcillas arenosas de consistencia blanda
II	1145 – 1188	8.3 – 13.6	Arcillas de consistencia muy blanda
III	1623 - 1689	Ind	Limo arenosos de consistencia dura

Cabe señalar que con base en el análisis de los módulos elasto dinámicos que se obtuvieron para cada una de las secciones sismo estratigráficas, se puede concluir que el material con mayor capacidad de compresión (módulo de Young=**E**) es la **Unidad III “Limo arenas”** con un valor promedio de **2,000 Ton/m²**, así mismo esta unidad es la que presenta una menor deformación, esto se aprecia con base en los valores obtenidos en la **relación de Poisson**, con un valor promedio de **0.38**.

ATTE. GEOVANI GRES HERNÁNDEZ

ING. GEOFÍSICO



ING. OCTAVIO A. PEREZ ESCOBAR

Bibliografía Consultada

- A) CARTA GEOLOGICA DE LA CD. DE MÉXICO E14-2 ESC. 1:250000.
- B) REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS GEOLOGICAS VOL. XVIII, NO. 1. 2001. "ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN GEOQUÍMICA EN EL CAMPO MONOGENÉTICO DE LA SIERRA DE CHICHINAUTZIN".
- C) INEGI 2017, PÁGINA WEB WWW.INEGI.ORG.MX (EDAFOLOGÍA).
- D) CONABIO 2015, SHAPES EDAFOLÓGICOS DE LA ZONA.
- E) BENHUMEA LEÓN, MARIO, ET AL; *ESTUDIOS GEOFÍSICOS DEL VALLE DE MÉXICO*; COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD; MÉXICO, 1988.
- F) RUIZ REYES, JAIME A, ET AL; *CNA PROSPECCIÓN GEOSÍSMICA, PARTE 1*; ITESA, INGENIERÍA TÉCNICA Y ESTUDIOS S.A. DE C.V.; MÉXICO, 1992.
- G) RAS-24, REMOTE ACQUISITION SYSTEM, OPERATORS MANUAL; SEISTRONIX; 2003



ANEXO I. REPORTE FOTOGRÁFICO DE ACTIVIDADES DE CAMPO.



FOTOGRAFÍA 1. VISTA GENERAL DE LAS CONDICIONES DEL PREDIO AL INTERIOR DEL MISMO.



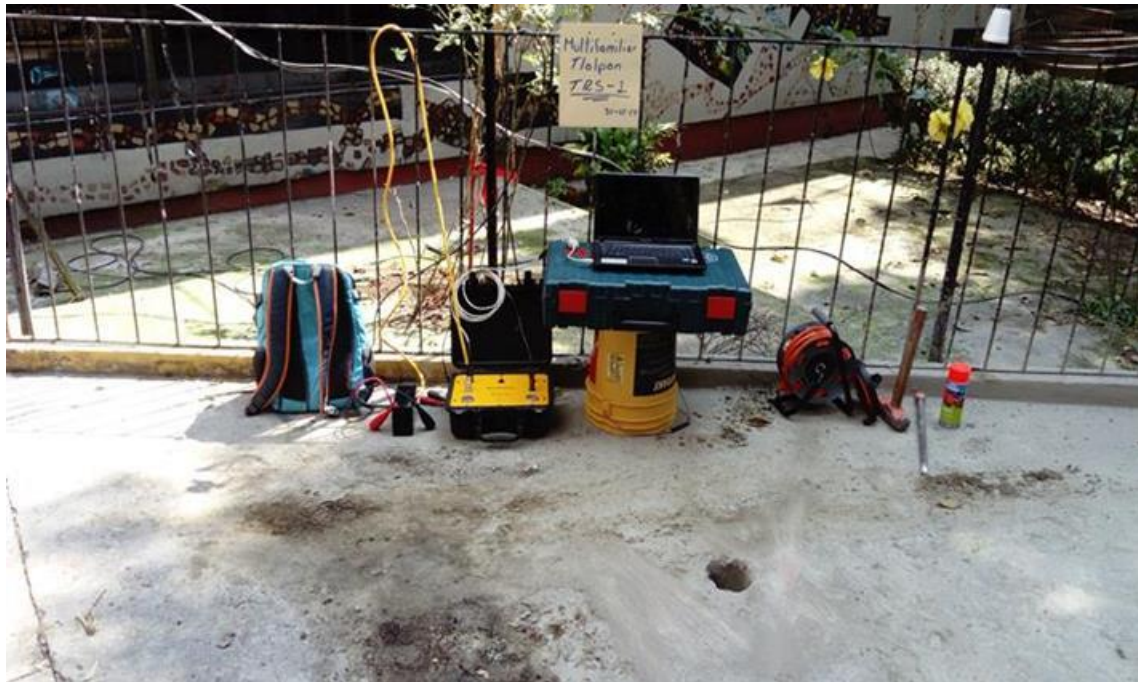
FOTOGRAFÍA 2. MEDICIÓN Y MARCADO PARA EL HINCADO DE GEÓFONOS EN EL TRS 1.



FOTOGRAFÍA 3. PERFORACIÓN PREVIA A LA ADQUISICIÓN DE DATOS GEOSÍSMICOS EN EL TRS-1.



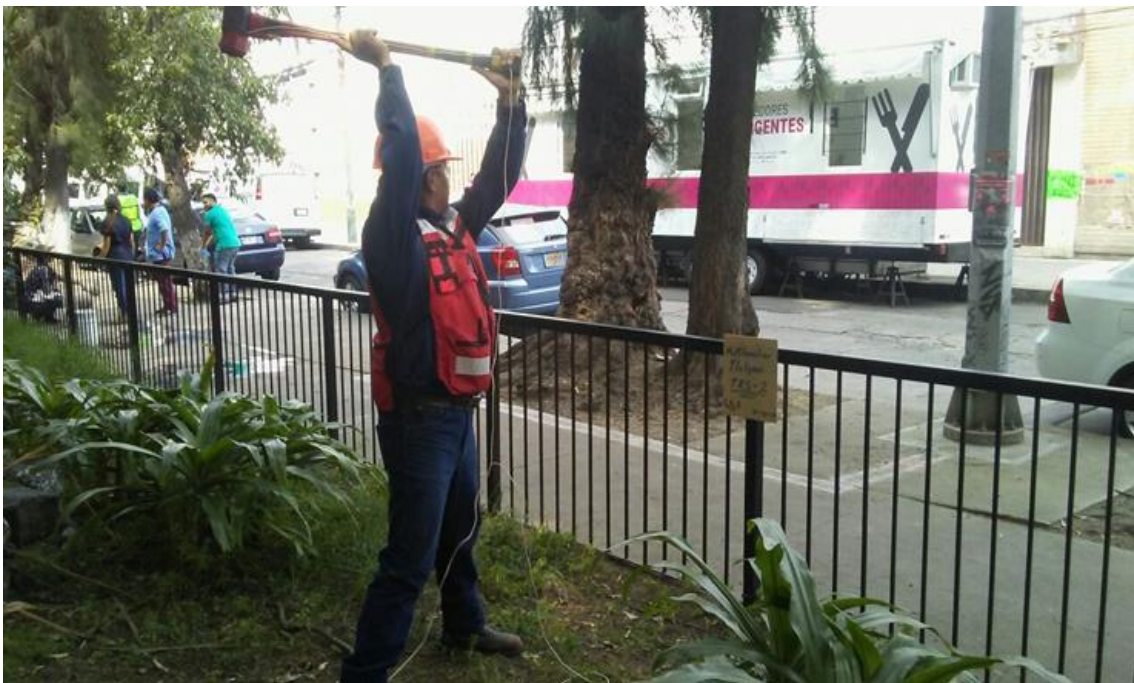
FOTOGRAFÍA 4. GEÓFONO HINCADO EN EL TERRENO FRENTE AL EDIFICIO COLAPSADO AL INTERIOR DEL SITIO DE ESTUDIO.



FOTOGRAFÍA 5. VISTA DEL EQUIPO EMPLEADO EN LA ADQUISICIÓN DE DATOS EN EL TRS-1; EL EQUIPO SE UBICÓ AL FRENTE DEL SM-4.



FOTOGRAFÍA 6. VISTA DEL EQUIPO GEOSÍSMICO EN EL TRS-2.



FOTOGRAFÍA 7. GENERACIÓN DE FRENTE DE ONDA SÍSMICO, MEDIANTE IMPACTO DE UN MARRO DE 12 LBS, SOBRE EL TERRENO EN EL TRS-2.



FOTOGRAFÍA 8. VISTA GENERAL DE LA UBICACIÓN INICIAL DEL TRS-3, ASÍ COMO DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS DE TIPO GEOSÍSMICO.



FOTOGRAFÍA 9. GENERACIÓN DE IMPACTO MEDIANTE USO DE MARRO, PARA EXCITACIÓN DEL TERRENO ENTRE LOS GEOFÓNOS 3 Y 4 DEL TRS-3.



FOTOGRAFÍA 10. VISTA GENERAL DEL TRS-4, DONDE SE OBSERVA EL CABLE SÍSMICO Y LOS GEÓFONOS, TENIENDO DE FONDO EL EDIFICIO COLAPSADO.



FOTOGRAFÍA 11. GENERACIÓN DE FRENTE DE ONDA EN EL EXTREMO FINAL DEL TRS-4., UBICADO SOBRE LA CALLE ÁLVARO GÁLVEZ Y FUENTES.



FOTOGRAFÍA 12. GENERACIÓN DE FRENTE DE ONDAS SÍSMICAS, MEDIANTE EL USO DE UN MARRO DURANTE LA ADQUISICIÓN DE DATOS GEOSÍSMICOS EN EL TRS-4.



FOTOGRAFÍA 13. VISTA LATERAL DEL APUNTALAMIENTO SOBRE EL EDIFICIO COLAPSADO.



FOTOGRAFÍA 14. VISTA LATERAL Y EN DIRECCIÓN PERPENDICULAR A CALZ. DE TLALPAN, DONDE SE OBSERVA EL EDIFICIO COLAPSADO AL INTERIOR DEL CONJUNTO URBANO TLALPAN.

ANEXO II. PLANOS.

PLANO 1. UBICACIÓN DE LOS TENDIDOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA.

PLANO 2. SECCIONES SISMO ESTRATIGRÁFICAS.