



Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos

Exploración geotécnica complementaria, instalación de instrumentación y monitoreo en el tramo Guelatao – Los Reyes de la Línea A del STC



Complementary geotechnical exploration, installation of instrumental and checking up in Guelatao – Los Reyes of Line A of STC

Humberto Cuevas Ochoa, Director general de LAC Mecánica de Suelos y Cimentaciones S. A. de.C. V., Profesor de la carrera de Ingeniería Civil en la ESIA del IPN.

José Luís Báez, Nayelli Rosales Villegas, Área de diseño y análisis geotécnico de LAC Mecánica de Suelos y Cimentaciones S.A. de C.V.

RESUMEN: Con la finalidad de conocer el origen de los movimientos que se presentan en superficie en el tramo superficial Guelatao-Los Reyes de la Línea “A” del S. T .C. se realizaron trabajos de perforación y muestreo del suelo en las que se realizaron sondeos con cono eléctrico y piezocono, así como la instalación de tuberías para colocar bancos de nivel semiprofundo y profundo y estaciones piezométricas.

ABSTRACT: With the purpose of knowing the cause the movements that are presenting in surface in the stretch Guelatao - Los Reyes of the Line A of the S. T.C., there were realized perforation works and sampling ground, that were realized with electrical cone and piezocono, as well as the pipes installation to place banks levels semideep and deep and piezometrics stations

1. INTRODUCCIÓN

Sobre los camellones de la calzada Ignacio Zaragoza y lo más cercano posible a la estructura del cajón del metro Línea A en su tramo superficial, se realizaron en un tramo de 5.184 km y en sitios estratégicos propuestos y determinados por ingenieros del Sistema de Transporte Colectivo, pozos a cielo abierto a 3 m de profundidad, sondeos mixtos, sondeos de cono eléctrico y sondeos con piezocono a varias profundidades, adicionalmente se instalaron bancos de nivel y celdas piezometricas a varias profundidades en tres estaciones.

En la Figura 1 se muestra una vista general de la zona en estudio.

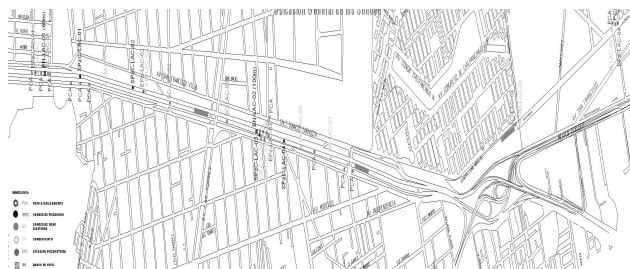


Figura 1. Zona de estudio y localización general de los sondeos.

2. DESCRIPCION DE LA ZONA EN ESTUDIO

Cabe resaltar que los trabajos de perforación y construcción se realizaron en una zona muy cercana al cerro del Peñón del Marqués, que se caracteriza por ser de origen volcánico, por el importante drenaje subterráneo de aguas termales en ese sitio, por la erraticidad del suelo que

le rodea, característico de la zona de transición pero de mínima extensión en el sentido horizontal y sobre todo porque esta muy próxima al cerro la depositación de arcillas características del lago de Texcoco que son arcillas alta plasticidad y deformabilidad con altos contenidos de agua, adicionalmente se tiene la evidencia de que al norte de este promontorio volcánico se encuentran diversas estructuras con severos y diversos daños que nos indican la gran actividad de movimientos horizontales y verticales que se tienen en esa zona, así como una cantidad importante de grietas activas que se manifiestan sobre la superficie de las calles, en avenidas y construcciones.

3. TRABAJOS REALIZADOS

3.1 Trabajos de campo

Durante los trabajos de perforación y construcción se presentaron diversos problemas que de alguna manera se tenían contemplados antes de iniciar los trabajos y que a continuación se describen.

Tabla 1. Exploración geotécnica.

Sondeo	Tipo	Profundidad
PCA 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16	Pozo a cielo abierto	3 m
SM 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08 y 09	Sondeos Mixtos	40, 60 y 100 m (aproximadamente)
SC 01, 02, 03 y 04	Sondeos con cono eléctrico	40. m (todos los sondeos)
SPz 01, 02, 03 y 04	Sondeos con piezocono	45 y 20 m

Tabla 2. Instrumentación.

Tipo	Cantidad	Profundidad
Banco de nivel semiprofundo	1	35 m
Banco de nivel profundo	1	98 m
Estaciones piezométricas	3	Entre 10 y 80 m

Durante la excavación de los pozos a cielo abierto los trabajos se desarrollaron sin ningún contratiempo, se recuperaron las muestras representativas inalteradas que se tenía proyectado recuperar.

En los trabajos de perforación y muestreo del suelo de los sondeos mixtos, se presentaron varios problemas tales como: recuperación parcial y total de muestras alteradas e inalteradas, pérdidas parciales y totales de agua con bastante frecuencia, importantes pérdidas de tuberías que se utilizaron para ademar la perforación, que en repetidas ocasiones quedaron atrapadas, la presencia de caídos que cegaron la excavación del pozo, y que en algunos casos fue necesario reubicar en un sitio cercano al lugar original y continuar con lo proyectado.

En los sondeos realizados con cono eléctrico se presentaron de alguna manera problemáticas similares, aunque de mayor trascendencia ya que hubo casos en que los conos tuvieron daños importantes y en un caso no se pudo recuperar del pozo.

Los trabajos de perforación y medición que se realizaron en los sondeos con piezocono, dada la naturaleza del instrumento se tuvieron que realizar con mayor cuidado y precisión para no alterar los resultados de las mediciones que son la resistencia a la fricción, resistencia a la compresión y la presión hidrostática.

Durante los trabajos de perforación, construcción e instalación de los bancos de nivel, sucedieron situaciones similares a los que se presentaron en otros sitios, aunque en este caso el objetivo principal era la de fijar y anclar en el fondo de la excavación el muerto de concreto. En ocasiones no fue posible alcanzar la profundidad de proyecto y que algunos bancos no fue posible instalarlos a la profundidad de proyecto.

En lo que se refiere a mediciones de movimientos del terreno superficial se realizaron dos nivelaciones a lo largo del tramo en estudio, tomando como referencia un banco de nivel fijo localizado en la zona firme del cerro del Peñón de los Baños.

En la Figura 2 se muestran las instalaciones que conforman de una de las estaciones piezométricas.

3.2 Trabajos de laboratorio.

Con las muestras alteradas e inalteradas primeramente se procedió a realizar una clasificación macroscópica, visual y al tacto, se determinaron las características físicas del suelo, como son: color, textura, olor, movilidad del agua por agitado (dilatancia), tenacidad.

Se determinó el contenido de humedad natural (ω) y el peso específico de la masa del suelo.

Se obtuvieron sus propiedades índices de plasticidad del suelo: límite líquido y límite plástico.

Se determinó su curva de composición granulométrica, sus coeficientes de gradación, clasificación del suelo, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.).

Se determinó la densidad de sólidos (S_s), así como la relación de vacíos, grado de saturación y peso específico.

Se determinaron pruebas de compresión triaxial no consolidada no drenada (UU).

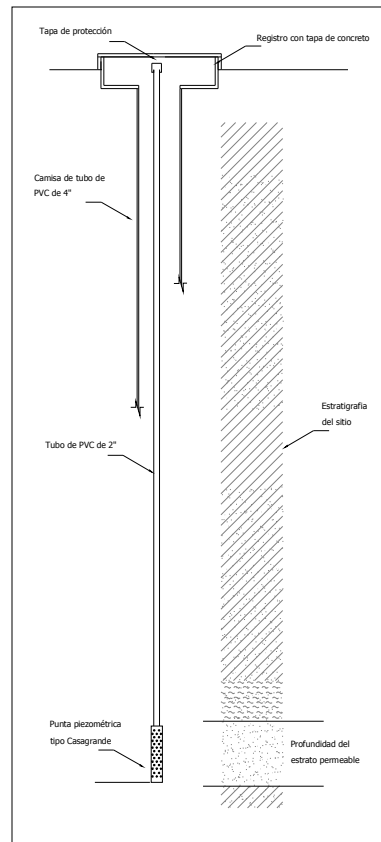


Figura 2. Corte esquemático de la estación piezométrica.

4. ESTRATIGRAFÍA

En todos los sondeos se encontró una costra superficial de material de relleno que oscila entre los 3 y 5 metros de espesor.

En todos los sondeos por debajo del material de relleno natural y en algunos casos artificiales se encontró la arcilla característica del lago de Texcoco con contenidos de agua que variaron desde el 200% hasta el 400%

En algunos sondeos por debajo del material Lo registrado en campo pudo corroborarse con los ensayos realizados en laboratorio

Durante la realización de los sondeos en esta zona continuamente hubo pérdidas de agua en los estratos superficiales desde 2.00m hasta aproximadamente 19.00m de profundidad, los perfiles estratigráficos, muestran que el material es básicamente material fino: arcilla y limo, con lentes de arena y ceniza volcánica, por lo que se

infiere que la estratigrafía no es totalmente permeable, lo cual corrobora la presencia de grietas.

En la Figura 3 se muestra el perfil característico del subsuelo en esta zona.

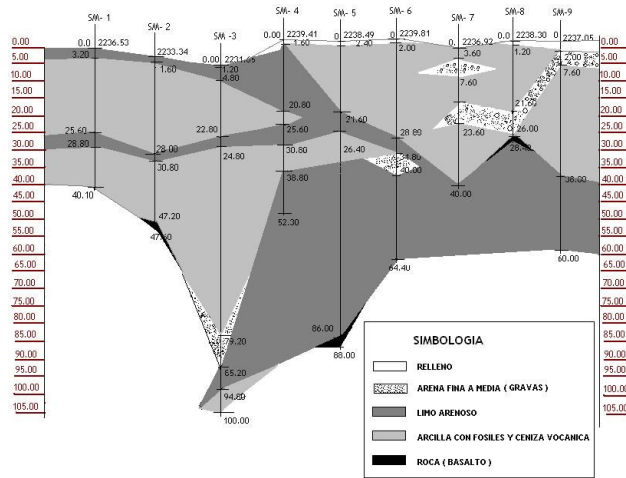


Figura 3. Perfil longitudinal de la zona en estudio.

En el sondeo SM LAC 03 ubicado en el cadenamiento 17940 la exploración se realizó hasta una profundidad de 98.10m, en el cual la primera capa dura se localizó a 80m. En este sondeo si pudo realizarse la exploración tal como se tenía proyectada, en algunos de los sondeos no fue posible alcanzar la profundidad que se tenía programada por dificultades que presentaron durante la perforación.

En todos los sondeos la configuración estratigráfica fue prácticamente semejante, excepto en el espesor de formación arcillosa que pudo explorarse.

5. ANALISIS DE MEDICIONES DE CAMPO

Durante los trabajos de campo se realizaron cada 15 días mediciones en las estaciones piezométricas; como parte del monitoreo, con la finalidad de tener un registro de las fluctuaciones del nivel freático.

En la Figura 4 se muestra el perfil con la variación de mediciones en función de las fechas.

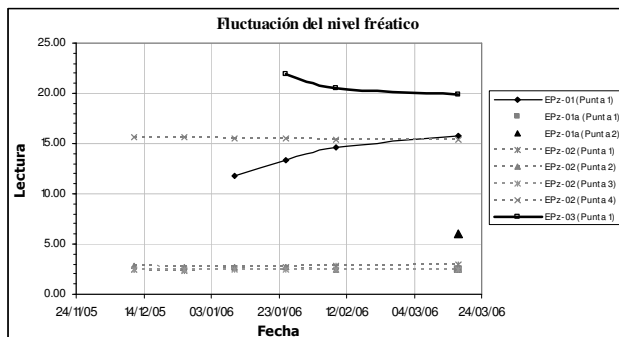


Figura 4. Fluctuaciones del nivel freático en las estaciones piezométricas.

En lo que se refiere a la medición de los niveles de terreno natural, se observa que los asentamientos registrados alcanzaron niveles importantes que se pueden observar tanto en las avenidas, como en el perfil de sistema de vías del metro, que constantemente es renivelado para su operación y que es el motivo o razón de este estudio y de la instalación de este sistema de instrumentación.

En la Figura 5 se muestra el perfil que se obtuvo de las nivelaciones realizadas; una en febrero durante los trabajos de campo y la otra durante agosto.

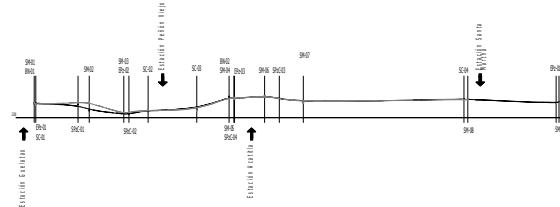


Figura 5. Perfil de la superficie obtenido con las nivelaciones realizadas en febrero y agosto del 2006.

Con el cono eléctrico se realizó una medición durante la instalación, lo mismo sucedió con las mediciones con piezocono, ambas lecturas se muestran en las Figuras 6 y 7 donde se observa algunas de las lecturas que se registraron.

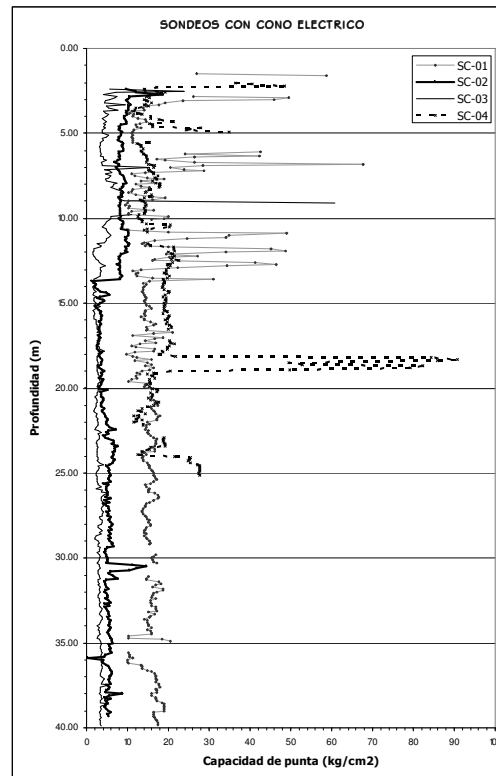


Figura 6. Registro de lecturas obtenidas con cono eléctrico.

En lo que se refiere a las mediciones con piezocono en los estratos superficiales limo arcillosos, hasta 5.50m aproximadamente los valores de resistencia por punta

resultaron del orden de 22kg/cm^2 , de ahí y hasta los 20m la resistencia fue del orden 5kg/cm^2 y hasta los 40m fue del orden de 3kg/cm^2 en la zona franca de arcilla lacustre que los medidos o registrados en la zona franca de arcilla.

En lo que se refiere a las mediciones con cono eléctrico en los estratos superficiales limo arcillosos, hasta los 3m aproximadamente los valores de resistencia por punta resultaron del orden de 60kg/cm^2 , entre los 5.50 y 7.50m se encontró un estrato de arena volcánica en cual se registro una resistencia máxima de 70kg/cm^2 , entre los 10.50 y 13.50m se atravesó un estrato arcilla con ceniza volcánica se alcanzaron resistencias promedio de 50kg/cm^2 , en el resto de la profundidad y hasta los 40m en la zona franca de arcilla la resistencia osciló entre 15 y 20kg/cm^2 .

En lo que se refiere a las mediciones con piezocono de la fricción, ésta resultó de 0.25 a $0,75\text{kg/cm}^2$ en promedio, excepto en dos estratos uno a 5.0 y otro a 7.50m de ceniza volcánica alcanzó valores hasta de 4kg/cm^2 .

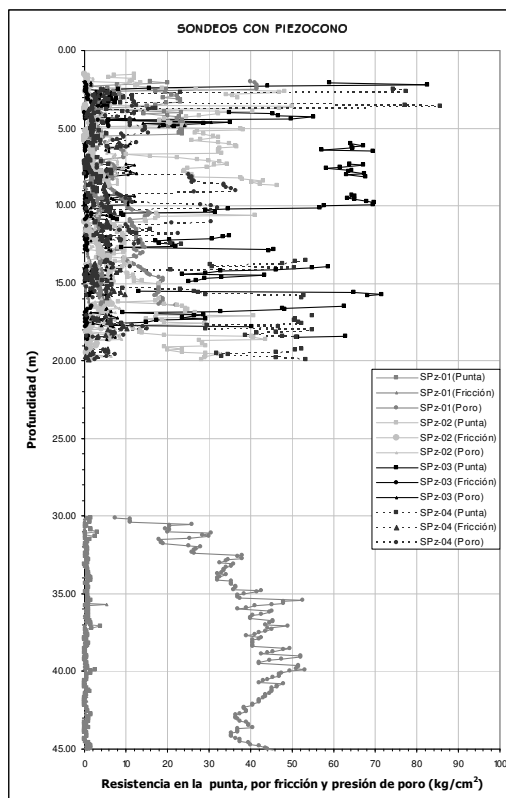


Figura 7. Registro de lecturas obtenidas con cono eléctrico.

En lo que se refiere a las mediciones con piezocono de la presión de poro hasta los 2.50m de profundidad, ésta resultó de 4.0kg/cm^2 y conforme avanzó la profundidad ésta fue variando de la siguiente manera: de los 2.50m y hasta los 10m de profundidad, varió desde 0.25 hasta 1.0kg/cm^2 , de los 10 a los 17.50m se incrementó hasta 2.25kg/cm^2 , de los 17.5 y hasta los 45m varió desde 1.45 hasta 5.3kg/cm^2

6. CONCLUSIONES

Los movimientos verticales se han acentuado con el transcurso del tiempo, principalmente a causa de la extracción de agua del subsuelo en la zona, actualmente se considera la existencia de 18 pozos de extracción funcionando en la zona, lo que puede incrementar la velocidad de asentamiento promedio, la cual se encuentra actualmente en un rango de 25cm/año . Por lo tanto, será necesario monitorear las condiciones de operación de los pozos, con el fin de predecir el incremento anual de la velocidad de asentamiento en la zona y programar la nivelación y mantenimiento preventivo de la Línea A del metro.

La morfología de la superficie del terreno; se estimó con las cotas de elevación de los brocales de cada sondeo, obtenidas durante la campaña topográfica. Cabe mencionar que en distancias relativamente cortas ($\pm 350\text{m}$), en el tramo marcado en rojo, la cual corresponde a la zona comprendida entre las estaciones Guelatao y Acatitla, la diferencia de niveles es importante, en la cual se registra una expansión máxima de 0.98m , en las estaciones SM-LAC-02 y 03 así como un asentamiento máximo de 1.34m en el sitio donde se encuentra el SM-LAC-09.

Como se observa en la tabla anterior, en las estaciones EPz-LAC-01 (Km. 22+210) y en la EPz-LAC-02, son las que muestran una mayor estabilidad en cuanto a la toma de lecturas, de hecho las fluctuaciones del nivel de aguas freáticas no es importante, sin embargo en las estaciones EPz-LAC-01 (Km. 17+070) y EPz-LAC-03, presentan variaciones importantes.

Los cambios y las tendencias de las lecturas en las estaciones, pueden atribuirse a las recargas y descargas producidas por el artesianismo de la zona, a la actividad de las grietas existentes. De igual manera, un factor importante es la extracción de agua del subsuelo, para el abastecimiento del agua potable en esa zona densamente poblada.

Finalmente, la problemática que presenta la zona en estudio, no es atribuible a una sola causa, más bien, es un conjunto de situaciones que se interrelacionan entre sí, por una parte se encuentra la heterogeneidad del suelo y las condiciones geológicas de la zona, otra la extracción de agua del subsuelo y por último el cambio de uso de suelo de agrícola a habitacional y la sobrepoblación desmedida de la zona, todos estos factores se combinan para generar una problemática de asentamientos regionales severos, los cuales en ocasiones son incontrolables, pero localmente pueden adoptarse mecanismos de control y monitoreo local para cada tramo en estudio, con el fin de estimar los movimientos verticales característicos de cada lugar y con ello facilitar el mantenimiento preventivo del sistema de vías de la Línea A del STC.

7. RECOMENDACIONES

Se propuso realizar estudio geofísico en la zona del Peñón Viejo para verificar el contacto entre la zona lacustre con la roca volcánica el cerro, ya que con la información de los sondeos realizados sobre la calzada Ignacio Zaragoza, el contacto no está totalmente definido, debido a la profundidad de los mismos.

En la Figura 8 se muestra el área donde sería conveniente cubrir con sondeos geofísicos.

Con el estudio geofísico se pretende también corroborar los espesores de arcilla que se detectaron en los sondeos y que no se tuvo la certeza del espesor del suelo compresible.



Figura 8. Área propuesta para el estudio geofísico.

Los registros permitieron comprobar la existencia de grietas activas, por lo tanto es de vital importancia identificarlas y definir la orientación, espesor y profundidad de las mismas, estos datos nos los proporcionará el estudio geofísico.

Se propone que la instrumentación de la zona que se muestra en la Figura 1, se amplíe colocando inclinómetros a una profundidad variable entre 15.00 y 50.00m, a lo largo de la del tramo en estudio, principalmente en la zona de los sondeo SM-LAC-04, SM-LAC-05 y SM-LAC-06, ya que se hizo evidente la presencia de estos movimientos al extraer los tubos Shelby y por la inestabilidad de los barrenos.

Del croquis anterior, se concluye que la zona que presenta una problemática importante está relacionada con los movimientos horizontales existentes en las cercanías del Cerro del Peñón principalmente. Por lo anterior, se recomienda que en esta zona se coloque un banco de nivel adicional profundo (mínimo a 80.00m), y que el monitoreo topográfico se realice periódicamente.

Se recomienda realizar una comparativa entre una nivelación sobre el sistema de vías de la Línea A del metro, contra las mediciones realizadas sobre el trazo de la

zona instrumentada que principalmente se localizan en zona de camellones de la lateral de Sur la Calzada Ignacio Zaragoza, con la finalidad de observar la tendencia de los niveles en la dirección Norte-Sur. De igual manera, es recomendable confirmar las diferencias de los niveles en los puntos de máximo asentamiento o expansión registrados a la fecha según sea el caso.

Una causa probable de los asentamientos que se observan sobre la calzada Ignacio Zaragoza es la fuga de material por las tuberías del drenaje, dado que el suelo es bastante compresible y que por consiguiente es muy grande la posibilidad de que existan tubos desacoplados en la zona de juntas o bien que estén parcialmente rotos, y que por ahí haya fuga de material en el perímetro de los tubos, esta hipótesis no ha sido comprobada.

REFERENCIAS.

- Marsal, R. J. y Mazari, M. (1959). *El subsuelo de la Ciudad de México*. Publicaciones del Instituto de Ingeniería, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. México
- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (1978). *El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del Valle de México*. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México.