

**ESTUDIO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES Y
PAVIMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA
LÍNEA 6 DEL METROBÚS (FASE I) QUE SE
PROYECTA CONSTRUIR EN LA ZONA NORTE
DEL DISTRITO FEDERAL
(INFORME PRELIMINAR)**

Elaboró:

**GEOAMBIENTE S. A. de C. V.
Progreso No. 115, 3er piso, Colonia Escandón
C. P. 11800, México D. F.**

Para:

"GRUPO SACMAG/GDF"

Marzo de 2014

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	3
I.2	Justificación del problema.....	3
I.1	Descripción general del proyecto y localización.....	3
I.2	Objetivos del Estudio Geotécnico.....	3
I.3	Alcances y metodología.....	4
II.	ANTECEDENTES.....	6
III.	TRABAJOS DE EXPLORACIÓN Y MUESTREO.....	11
III.1	Objetivo de los trabajos de exploración y muestreo.....	11
III.2	Descripción de los trabajos de exploración y muestreo.....	12
IV.	TRABAJO DE LABORATORIO.....	14
IV.1	Objetivos de los trabajos de laboratorio.....	14
IV.2	Descripción de los trabajos de laboratorio.....	14
IV.3	Resumen de los resultados obtenidos de laboratorio.....	15
V.	ANÁLISIS GEOTÉCNICO.....	15
V.1	Sismicidad de la zona.....	15
X.	REFERENCIAS.....	17

ANEXOS

Anexo I.	Figuras y tablas.
Anexo II.	Registros de campo.
Anexo III.	Reportes fotográficos.
Anexo IV.	Pruebas de laboratorio.

I. INTRODUCCIÓN.

GRUPO SACMAG es un equipo de trabajo multidisciplinario conformado por siete empresas que prestan servicios integrales de ingeniería como tal desde 1975. A partir de 1960 la empresa se funda como un pequeño grupo de Ingenieros y Arquitectos que ofrecían sus servicios profesionales a los sectores público y privado en el campo de la consultoría.

GEOAMBIENTE es una empresa que se especializa en la Prospección de Recursos Naturales, Geotécnia, Geofísica, Geología, Geohidrología y servicios relacionados. GeoAmbiente pertenece al GRUPO SACMAG, el cual está formado por siete empresas que ofrecen servicios integrales de ingeniería en México, Estados Unidos de América y América Latina.

I.2 Justificación del problema.

La alta demanda de modos de transporte público masivo que garanticen mayor eficiencia, seguridad y menos emisión de contaminantes, son la razón por la cual es necesario contar con un Sistema de Transporte Colectivo como el Metrobús, ya que en la actualidad las dificultades que existen para trasladarse de un lugar a otro en la Ciudad de México y municipios vecinos del Estado de México, representan gran parte del desaprovechamiento de horas hombre ocasionado por los congestionamientos al desplazarse de un lugar a otro, de todo ello la necesidad de complementar la red existente que hasta el momento ha derivado en resultados positivos.

I.1 Descripción general del proyecto y localización.

El proyecto es una línea de aproximadamente 20 km de longitud de vialidades que tiene como principal objetivo conectar las zonas nororiente y norponiente de la ciudad de México entre estas y con los municipios colindantes del estado de México. Se trata de un modo de transporte colectivo masivo (Metrobús) que llegará al Centro de Transferencia Modal (CETRAM) "El Rosario" partiendo de la Avenida Central (Carlos Hank Gonzales), en su cruce con la Avenida Francisco Morazán.

Se prevé que esta Línea 6 del Metrobús que complementará a la red ya existente, estará conformada por 36 estaciones y 2 depósitos de camiones o talleres de mantenimiento próximos a las estaciones terminales, las principales vialidades por las cuales está programada la ruta son La Avenida San Juan de Aragón y Avenida Montevideo (El Eje 5 Norte) pertenecientes a las delegaciones Gustavo A. Madero y Azcapotzalco Distintivamente.

La Fase II es el tramo comprendido entre las Avenidas Insurgentes Norte y El CETRAM El Rosario.

1.2 Objetivos del Estudio Geotécnico.

El presente estudio tiene como objetivos los siguientes:

1.2.1. Objetivos generales del Estudio Geotécnico.

- Determinar el tipo de pavimento más adecuado de acuerdo con las necesidades del proyecto y características del subsuelo.
- Proponer las alternativas de cimentación más adecuadas para la estructura que se pretende construir considerando las características del suelo de cimentación.
- Emitir las recomendaciones de construcción que deriven del análisis geotécnico realizado a partir de las etapas anteriores.

1.2.2. Objetivos específicos del Estudio Geotécnico.

- Determinar las características estratigráficas y de comportamiento del suelo del sitio en estudio mediante los ensayos y muestreo programados.
- Corroborar las propiedades de los materiales muestreados mediante los ensayos de laboratorio.
- Identificar las condiciones actuales de la estructura de los pavimentos de las vialidades que se encuentran en la ruta propuesta.

1.3 Alcances y metodología.

Las actividades que se están considerando para el cumplimiento de los objetivos de este proyecto previamente planteados son las que a continuación se enuncian:

- Descripción de la información geotécnica existente.
- Descripción de los trabajos geotécnicos de campo.
- Descripción de los trabajos geotécnicos de laboratorio.
- Clasificación de los materiales muestreados mediante sus propiedades índice.
- Definición de la estratigrafía del subsuelo del sitio y las propiedades mecánicas de los materiales que lo constituyen.
- Clasificación del subsuelo del sitio para fines de análisis sísmico.
- Determinación de la capacidad de carga del terreno mediante cimentaciones superficiales y profundas.
- Determinación de los asentamientos para los diferentes tipos de cimentación.
- Diseño de pavimentos flexibles y rígidos.
- Conclusiones y Recomendaciones para cimentaciones y pavimentos.

1.3.1 Tareas preliminares.

Los trabajos previos de gabinete consistieron en la revisión y recopilación de información documental del sitio para el cual se realiza el estudio geotécnico, determinando las unidades geotécnicas de suelos y rocas, complementarla con un reconocimiento de la zona, con el objeto de identificar zonas de posible problemática y proponer los sitios puntuales de exploración.

1.3.2 Estudios de exploración directa.

Para efectos del proyecto en cuestión se programaron las exploraciones directas e indirectas que a continuación se mencionan con el objetivo descrito y la misma secuencia en la que se enuncia:

- Exploración indirecta con georadar (GPR) para la detección de instalaciones como cables. Su distribución fue previa a la exploración directa programada en la ubicación de cada exploración directa.
- Exploración directa a través de la ejecución de sondeos profundos tipo (BH/SPT) de los cuales se recuperaron muestras representativas con la técnica de penetración estándar (SPT) y la extracción de muestras selectivas inalteradas (BH) mediante pared delgada tipo Shelby, para la definir la estratigrafía y propiedades del subsuelo. La programación de este tipo de sondeos profundos consideró su localización en las proximidades de cada una de las estaciones y depósitos de camiones.
- Realización de calas de prueba para definir las condiciones de la estructura del pavimento que actualmente existe, esto considera los espesores y calidad de los materiales que conforman dicha estructura. La distancia programada para la realización de las calas fue de aproximadamente un kilómetro.
- Exploración superficial mediante la excavación de Pozos a Cielo Abierto (PCA's), con recuperación de muestras representativas de los estratos identificados.

1.3.3 Trabajos de laboratorio.

Ya que el tipo de muestras y los objetivos que se persiguen en estas es muy variado, los ensayos de laboratorio que se programaron para cumplir con los objetivos fueron de tipo índice, mecánicos y de calidad.

I.3.4 Trabajos de Gabinete.

Una vez concluidas las etapas de exploración y laboratorio se elaboraron las recomendaciones pertinentes derivadas de los análisis geotécnicos para la determinación del tipo de cimentación más adecuada, y para realizar el diseño estructural de los pavimentos que se utilizarán para este proyecto a lo largo de la ruta de la "Línea 6 del Metrobús".

II. ANTECEDENTES.

Cabe mencionar que el trazo de la ruta de la "Línea 6 del Metrobús" comprenderá la zona norte de las delegaciones Azcapotzalco y Gustavo A. Madero con ligeras variaciones en sus características estratigráficas generales.

II.1 Geología regional.

II.1.1 Geología regional Azcapotzalco.

La Delegación Azcapotzalco se encuentra en el altiplano mexicano a una elevación promedio de 2240 msnm (metros sobre el nivel medio del mar), con una pendiente media menor al 5%. Respecto de su zonificación geotécnica, se encuentra en la Zona II de Transición en la que los depósitos profundos se encuentran en promedio a 20 m de profundidad y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo-arenosos, intercalados con capas de arcilla lacustre. Lo anterior supone la existencia de restos arqueológicos, cimentaciones antiguas, grietas y variaciones fuertes de estratigrafía que puede originar asentamientos diferenciales de gran importancia. La delegación cuenta solamente con 100 hectáreas de cobertura vegetal debido al intenso uso urbano del suelo.

Debido al crecimiento urbano y su topografía plana, no existen corrientes superficiales en toda su extensión, carece completamente de depósitos o cuerpos de agua, no obstante que a mediados del siglo pasado el 50% de su territorio estaba inundado. Sin embargo, cabe señalar que toda el área cuenta con recargas acuíferas subterráneas, actualmente sobreexplotadas. Así también, la delegación forma parte de la Cuenca de los Ríos Consulado y el de Los Remedios. Este último se localiza fuera de la delegación, casi paralelo al límite norte, es uno de los ejes del desagüe del Valle de México. Se inicia en el Vaso de Cristo, localizado entre los municipios de Naucalpan y Tlalnepantla, en donde se concentran gran parte de los escurrimientos de la zona poniente del Valle de México.

II.1.2 Geología regional Gustavo A. Madero.

El subsuelo de la Delegación Gustavo A. Madero se encuentra integrado por las siguientes zonas: lacustre, de transición y la de lomerío; la primera de ellas se localiza al sureste, constituida por las formaciones arcillosas superior e inferior, con gran relación de vacíos, entre estos dos estratos se encuentra una fase de arena y limo de poco espesor llamada capa dura; a profundidades mayores se tienen principalmente arenas, limos y gravas. Hacia la parte norte, las dos formaciones de arcilla se hacen más delgadas hasta llegar a la zona de transición, la cual está constituida por intercalaciones de arena y limo; con propiedades mecánicas muy variables.

La zona de lomas está compuesta por piroclastos, aglomerados, tobas y horizontes de pómez, con esporádicos de lavas y depósitos de aluvión conformados por gravas y arenas.

La zona de suelo lacustre, que estaba ocupada anteriormente por el lago de Texcoco, ocupa aproximadamente un 60% de la delegación; la zona de transición, es la que se encuentra ubicada en las faldas de la Sierra de Guadalupe y de los cerros de Zacatenco, Cerro del Guerrero y los Gachupines ocupa un 15%; y la zona de lomeríos correspondiente a la parte de los cerros antes mencionados la cual es el suelo más resistente en cuanto a composición geológica se refiere, ocupa el 25% restante.

Las formaciones geológicas que se localizan en esta zona son de origen aluvial y volcánico. En términos generales se puede decir que los suelos superficiales contienen restos de materia vegetal de poco espesor, posteriormente se encuentran los suelos correspondientes a las series clásticas fluvial y aluvial, las series clásticas fluvial y aluvial están constituidas por materiales granulares aluviales y por depósitos superficiales de formación lacustre y principalmente arcillosos, con intercalaciones de pómez, arena negra.

II.2 Medio físico.

II.2.1 Medio físico Azcapotzalco.

La zona de proyecto que pasa por la Delegación Azcapotzalco a partir del centro de la mojonera denominada La Patera, que define uno de los vértices de la línea limítrofe entre el Distrito Federal y el Estado de México, se dirige en línea recta al oriente hasta el cruce que forman los ejes de la Avenida Poniente 152 y Calzada Vallejo, de donde sigue con rumbo Suroeste sobre el eje de esta Calzada, hasta su intersección con el eje de la Avenida Río Consulado; sobre el eje de ésta, continúa en sus diversas inflexiones al Poniente y Sur, hasta su cruce con el eje de la calle Crisantema, por cuyo eje sigue al Poniente cruzando la Calzada Camarones, prosigue por la misma calle tomando el nombre de Ferrocarriles Nacionales, hasta intersectar al eje de la Avenida Azcapotzalco, por cuyo eje va al Norte hasta el eje de la calle Primavera, por el que

prosigue rumbo al noroeste hasta el eje de la vía de los Ferrocarriles Nacionales; de donde continúa por el eje de ésta hasta el Noroeste, encontrándose con el eje de la Avenida 5 de Mayo, por donde prosigue con rumbo al Poniente, hasta el camino a Santa Lucía, de donde se dirige al Suroeste hasta la mojonera Amantla; de donde continúa hacia el Noroeste por el eje de la Calzada de la Naranja, hasta la mojonera denominada las Armas; cambia de dirección al Noroeste para continuar por el eje de la Calzada de las Armas y pasando por las mojoneras San Antonio, Puerta Amarilla, Otra Honda, la Longaniza, la Junta, Puente de Vigas, San Jerónimo, Careaga y el Potrero; prosigue hacia el Sureste por el eje de la calle Remedios, para continuar por el andador que divide a las Unidades Habitacionales El Rosario Distrito Federal y el Rosario Estado de México, hasta el centro de la mojonera Cruztitla; continúa con el mismo rumbo por el andador que divide a las Unidades Habitacionales CROC VI y CROC III hasta la mojonera Crucero Nacional de donde prosigue con la misma dirección por el eje de la calle Juárez pasando por las mojoneras Portón de Oviedo, San Pablo, y llegar a la mojonera Crucero del Central; de aquí sigue con rumbo al Noroeste por el eje de la calle Maravillas y en seguida por el de la calle Prolongación de la Prensa hasta llegar a la mojonera Pozo Artesiano, de donde prosigue al Sureste por la barda Sur que sirve de límite a la colonia Prensa Nacional hasta la mojonera Portón de En medio; prosigue hacia el Sureste en una línea perpendicular al eje de la avenida Poniente 152, por el que continúa con rumbo sureste hasta el centro de la mojonera La Patera, punto de partida.

II.2.2 Medio físico Gustavo A. Madero.

La Delegación Gustavo A. Madero se ubica en el extremo noreste del Distrito Federal; ocupa una posición estratégica con respecto a varios municipios conurbados del Estado de México (Tlalnepantla, Tlaxiá, Ecatepec y Nezahualcóyotl); ya que se encuentra atravesada y/o limitada por importantes arterias que conectan la zona central con la zona norte del área metropolitana, tales como son: Insurgentes Norte, que se prolonga hasta la carretera a Pachuca, el Eje 3 Oriente (Avenida Eduardo Molina), el Eje 5 Norte (Calzada San Juan de Aragón); que conecta con la Avenida Hank González o Avenida Central; en la zona poniente de la delegación se ubican la Calzada Vallejo y el Eje Central (Avenida de los Cien Metros).

Limita al norte con los municipios de Tlalnepantla, Tlaxiá, Coacalco y Ecatepec; en varios tramos el cruce del río de los Remedios constituye el límite físico más evidente y en otras es el Periférico Norte; al sur colinda con las delegaciones Cuauhtémoc y Venustiano Carranza.

Los límites oficiales de la delegación son los siguientes:

A partir del centro de la mojonera Tecal que se localiza sobre el puente ubicado en la prolongación de la Avenida Nuevo León de los Aldamas sobre el cauce del Río de los Remedios, en la Colonia San Felipe de Jesús y que define uno de los vértices de la línea limítrofe entre el Distrito Federal y el Estado de México, se dirige hacia el sureste por el eje del Río de los

Remedios hasta su intersección con el eje de la Avenida Valle Alto. De ahí prosigue hacia el suroeste por el eje de esta última hasta su cruce con el eje de la Avenida Veracruz; de este punto, la línea sufre una inflexión hacia el sureste por la línea Linanes hasta llegar a la banda de los talleres de la Ruta 100, continúa con el mismo rumbo por el eje de las calles Cancún y Villa Cacama, hasta llegar al eje de la Avenida Central; prosigue hacia el sureste, por el trazo de la línea Linanes hasta su intersección con el eje de la Avenida Taxímetros; de ésta prosigue con la misma dirección por el eje de la Avenida Periférico, el de la Avenida 412, por el de la calle 701 y en seguida por el eje de la Calle Doctor 24 de la Colonia Cuernavaca, hasta la intersección con la banda Poniente que delimita el Aeropuerto Internacional "Benito Juárez"; sigue a hacia hacia el suroeste y en seguida al Noroeste hasta su confluencia con el eje de la Vía Tapa, por donde continúa con la misma dirección hasta la intersección con el eje de la Avenida Oceanía, siguiendo por el eje de la misma hacia el suroeste, hasta el eje de la Avenida Río del Consulado; en este punto sufre una fuerte inflexión hacia el Noroeste y prosigue por el eje de esta vialidad atravesando la Avenida de los Insurgentes Norte, hasta intersectarse con el eje de la Calzada Vallejo; prosigue en dirección Noroeste sobre el eje de la Calzada Vallejo hasta su cruce con el de la Avenida Poniente 152, de donde va con rumbo Poniente en línea recta al centro de la mojonera La Palma, que define un vértice del límite del Distrito Federal con el Estado de México; de ésta sigue al Noroeste por el eje del carril Sur de la Calzada Vallejo, que define el límite entre el Distrito Federal y el Estado de México hasta la mojonera Perillan, prosigue con la misma dirección por el eje de la Avenida Industrial para llegar a la mojonera Soledad, de donde prosigue por la calle Josefa Ortiz de Domínguez hasta la mojonera Itzacala; de aquí, continúa hacia el Noreste por el eje de la Calzada San Juan Itzacala para llegar a la mojonera Santa Rosa, de donde prosigue hacia el Noreste por la colindancia Noreste del Fraccionamiento NIPSA, hasta la mojonera El Molino, continúa hacia el Noreste hasta la mojonera Xahuatlán, de donde se dirige hacia el Sureste aguas abajo por el eje del Río de Tlalnepantla, pasando por la mojonera Puente de San Bartolo hasta el centro de la mojonera Santiaguito; prosigue hacia el Noreste por el eje de la Avenida Ventisquero para llegar a la mojonera Presa de San José, de aquí, la línea sufre una inflexión hacia el Noreste siguiendo el eje de la vía del Ferrocarril a Veracruz hasta el centro de la mojonera San Esteban, de donde se dirige hacia el Noreste y el Noroeste pasando por las mojoneras

II.3 Orografía.

II.3.1 Orografía Azcapotzalco.

La Delegación Azcapotzalco en su totalidad se localiza en una zona de planicie, a tal punto que no se observa diferencia de altitud en dirección norte-sur, sucede casi lo mismo en dirección oriente-poniente, a no por una diferencia no mayor de 30.00 m., por lo que se clasifica dentro de un rango de pendiente de 0 a 10% y se denomina zona de pie de monte.

II.3.2 Orografía Gustavo A. Madero.

El territorio de la Delegación Gustavo A. Madero es en su gran de relieve sensiblemente plano y en lo que es la Sierra de Guadalupe el terreno es accidentado.

II.4 Clima.

II.3.1 Clima Azcapotzalco.

El clima predominante en la delegación es templado sub-húmedo con bajo grado de humedad, una temperatura media anual de 16 °C y precipitación pluvial anual promedio de 758.4 mm.

II.3.1 Clima Gustavo A. Madero.

La delegación Gustavo A. Madero presenta clima templado con bajo grado de humedad y con una precipitación anual promedio de 651.8 mm. La temperatura media anual es de 17 °C. El clima en la delegación es el que prevalece en el centro de la ciudad el cual no tiene grandes cambios, con una temperatura media anual de 15° centígrados.

II.5 Zonificación geotécnica.

Como lo define el artículo 170 del Capítulo VIII del Título Sexto del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, el Distrito Federal se divide en tres zonas geotécnicas con las siguientes características generales:

- a) **Zona I. Lomas**, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del Ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados.
- **Subzona I.a, Lomeríos**. Formada por rocas o suelos firmes depositados fuera del ambiente lacustre.
- **Subzona I.b, Aluvial**. Integrada por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla altamente resistentes.
- b) **Zona II. Transición**, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos

y limo-arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de estas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.

- **Subzona II.a, Transición alta.** Está formada por estratos de arcilla lacustre con espesores menores a 2.50 m.
- **Subzona II.b, Transición baja.** Está formada por estratos de arcilla lacustre con espesores mayores a 2.50 m.
- c) **c) Zona III. Lacustre,** integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son generalmente medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m y se subdivide en las siguientes subzonas:
 - **Subzona III.a.**
 - **Subzona III.b.**
 - **Subzona III.c.**
 - **Subzona III.d.**

De acuerdo a lo anterior el predio se ubica en la Zona II de transición a la cual le corresponde un coeficiente sísmico de 0.32 de acuerdo a la Figura I.6 del Anexo I.

III. TRABAJOS DE EXPLORACIÓN Y MUESTREO.

III.1 Objetivo de los trabajos de exploración y muestreo.

- Determinar propiedades preliminares de los materiales de la zona de estudio a través de ensayos *in-situ*.
- Recuperar muestras para la verificación de características geotécnicas con ensayos de laboratorio.

III.2 Descripción de los trabajos de exploración y muestreo.

Como se mencionó anteriormente en los alcances, los trabajos de exploración y muestreo consistieron en la realización de exploración directa e indirecta con las siguientes características y finalidad:

III.2.1 Exploración indirecta con GPR.

Antes de iniciar los trabajos de exploración directa, se realizó una inspección geofísica utilizando GPR (por sus sigla en inglés Ground Penetrating Radar) en aquellos puntos en los que previamente se había programados, esto con la finalidad de poder identificar posibles zonas con instalaciones que pudieran verse afectadas durante la ejecución de las actividades directas.

El GPR es un método electromagnético de alta resolución, diseñado para la investigación somera subsuperficial del terreno, materiales de construcción, y para carreteras y puentes. El GPR puede proporcionar información precisa sobre objetos que se encuentran en el interior de la Tierra. También ha demostrado que es una herramienta que puede utilizarse en perforaciones para ampliar el alcance de investigación fuera de los límites del pozo.

El GPR se basa en los principios de dispersión de la onda electromagnética para localizar objetos enterrados. El principal fundamento de operación es el mismo que la detección de aeronaves sobrevolando, pero las antenas del GPR se mueven sobre la superficie más que estar girando en un punto fijo detectando de esta manera diferencias en la dispersión de ondas conocidas como anomalías.

Un objeto o anomalía del subsuelo puede considerarse eléctricamente pequeño cuando su mayor dimensión es pequeña comparada con la longitud de onda central del espectro de la señal incidente. Estos objetos son muy visibles en los radargramas donde aparecen como hipérbolas. Las estructuras enterradas capaces de generar este tipo de reflexiones pueden ser piedras y una gran variedad de objetos apreciándose en los radargramas con mayor claridad en aquellos que representan mayores diferencias con respecto al medio que los rodea como ductos metálicos. Basados en este principio se interpretó la información generada para estas actividades.

III.2.2 Exploración profunda con sondeos Mixtos.

Esta consistió en la realización de sondeos profundos de tipo mixto (BH/SPT), en los cuales se utilizó la técnica de penetración estándar (SPT) para la determinación de resistencia del suelo en suelos granulares, y que permitieron la recuperación de muestras representativas;

adicionalmente se utilizó el hincado de tubos de pared delgada tipo Shelby, para la recuperación de muestras selectivas inalteradas (BH).

Se realizaron un total de 35 sondeos profundos identificados como BH/SPT. La profundidad de los sondeos fue de 10 m en promedio para las zonas en las que se pretende la ubicación de estaciones, se realizaron para este fin 34 sondeos. Para una de las zonas que pretende ser destinada para el depósito de camiones o taller de mantenimiento ubicada en las proximidades de la terminal en avenida central, se realizaron 5 sondeos de este tipo con profundidades promedio de 20 m y distribuidos a lo largo del predio que se ocupará.

Los Ensayes *in-situ* de Penetración Estándar (SPT) serán realizadas de acuerdo con la norma vigente (ASTM D1586-9), la cual indica que debe hacerse el hincado en el suelo de una herramienta estándar (penetrómetro estándar) de 1 3/8" de diámetro interior, 2" de diámetro exterior y tramo para hincar de 24", por medio de la energía que le transmite la caída libre de un martinete de 140 lb de peso al dejarlo caer desde una altura de 30 pulgadas. Para realizar esta prueba se hince el penetrómetro estándar, contando el número de golpes necesario para hacerlo penetrar tres tramos de este, el primero de 15 cm, el segundo de 30 cm, y el último de los restantes 15 cm, llevando a cabo simultáneamente un registro en el cual se anotan estos resultados, además de los detalles relevantes que ocurren durante el desarrollo de la prueba como la pérdida parcial o total del fluido de perforación, tipo de fluido de perforación, la necesidad de uso de ademes como estabilizador o barrera impermeable que impida la pérdida de agua, etc. Esta longitud penetrada, se lava y amplía utilizando una broca tricónica de diámetro mayor que el penetrómetro estándar, al mismo tiempo que se le inyecta lodo de perforación para estabilizar las paredes del barreno y facilitar el desazolve del fondo de este. El procedimiento del lavado de la perforación en la longitud penetrada se hace con la finalidad de dar paso libre sin desarrollar fricción en un tramo no correspondiente al de la prueba en un tramo dado. Las muestras se clasificaron en campo mediante sencillos métodos (dilatancia, resistencia en estado seco y tenacidad), se protegieron contra la pérdida de agua, y se enviaron al laboratorio para corroborar la clasificación de campo mediante la determinación de sus propiedades índice.

Cuando el tipo de suelo sea estratificado, compuesto por estratos de suelo cohesivos y friccionantes el método de prueba será Mixto, el cual alterna el SPT con el hincado de tubos de pared delgada tipo Shelby, con la finalidad de extraer muestras inalteradas que permitan su uso para ensayos de laboratorio y de esta manera determinar sus propiedades. Los tubos de pared delgada comúnmente utilizados para suelos blandos son de acero y 4 pulgadas de diámetro biselados en la punta, y se hincan a presión como lo indica la norma actual (ASTM D1587) con una velocidad de avance de 15 a 30 cm/seg., al hincarlo a la profundidad deseada, este se deja reposar algunos minutos (5 aproximadamente) lo que permite que la muestra se expanda y tenga mejor adherencia con las paredes interiores del tubo y se facilite la recuperación de esta, transcurrido este tiempo la muestra se corta girando el tubo en la profundidad de hincado y se

extrae, la muestra es protegida contra la pérdida de humedad con parafina y contra la alteración debida a vibraciones. La extracción de muestras inalteradas se programó directamente en campo según la estratificación existente.

III.2.3 Exploración superficial con Pozos a Cielo Abierto.

Se realizarán 24 PCA's a lo largo de la ruta prevista y 5 más en la superficie destinada al depósito de camiones ubicada en la colonia ampliación providencia. La profundidad de los pozos será de 3.00 m promedio o hasta donde la dureza del material o presencia de agua subterránea lo permita. De los pozos se recuperarán muestras representativas e inalteradas (cúbicas) si la naturaleza de los materiales lo permite, y se identificará preliminarmente la estratigrafía durante las excavaciones, corroborándose dichas características con los ensayos de laboratorio.

III.2.4 Realización de calas en pavimentos.

Con la finalidad de verificar las condiciones actuales de las vialidades existentes por donde correrá el metrobús, se verificaran estas con la realización de calas. Estas consistirán en excavaciones de poca profundidad y área de afectación con las cuales se pretende identificar los espesores y calidades de la estructura de pavimento actual. La profundidad promedio de las calas será de 1.50 m y diámetro máximo de 6 pulgadas (15 cm), y su ubicación será distribuida a aproximadamente cada kilómetro de longitud.

IV. TRABAJO DE LABORATORIO.

IV.1 Objetivos de los trabajos de laboratorio.

- Determinar las propiedades geotécnicas de los materiales.
- Corroborar las clasificaciones preliminares de campo.

IV.2 Descripción de los trabajos de laboratorio.

El resumen de los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas a las muestras recuperadas en los sondeos y pozos a cielo abierto se indican en los perfiles estratigráficos del este informe.

Las muestras obtenidas se clasificaron visual y manualmente y posteriormente se programaron los ensayos que proporcionaron su clasificación mediante el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS), además de obtener las propiedades mecánicas y de calidad de los estratos que conforman el sitio de estudio.

Las pruebas realizadas se enuncian a continuación:

IV.2.1 Pruebas índice.

- Clasificación visual y al tacto.
- Contenido natural de agua.
- Granulometría por mallas.
- Porcentaje de finos.
- Límites de Atterberg (Límite líquido y Límite plástico).
- Densidad de sólidos.
- Peso volumétrico natural.

IV.2.2 Pruebas mecánicas.

- Compresión sin confinamiento.
- Compresión Triaxial rápida (UU).
- Consolidación unidimensional.

IV.2.2 Pruebas de calidad.

- Peso Volumétrico Seco Suelto.
- Peso Volumétrico Seco Varillado.
- Compactación AASHTO estándar o modificada.
- CBR y expansión.
- Contenido óptimo de agua.
- Equivalente de arena.
- Contracción lineal.

IV.3 Resumen de los resultados obtenidos de laboratorio.

A partir de los reportes de laboratorio se elaborarán los perfiles estratigráficos donde se resumirán de manera gráfica los resultados de los ensayos de laboratorio y se proyectarán sus propiedades geotécnicas, en tanto que los mismos de manera textual se resumen a continuación.

V. ANÁLISIS GEOTÉCNICO.

V.1 Sismicidad de la zona.

ERUPCIÓN SACMAE

El sitio de estudio se encuentra dentro de la zona B, de acuerdo con la zonificación sísmica de la República Mexicana que propone el Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo de la CFE (figura 3). Aunque la Ciudad de México se encuentra ubicada en la zona B, debido a las condiciones del subsuelo del valle de México, se pueden esperar altas aceleraciones, de ello resulta una subdivisión que da origen a la zonificación sísmica del valle de México, la cual puede apreciarse en la figura 4 del anexo correspondiente. Tomando en cuenta los resultados de la zonificación sísmica y las características estratigráficas del sitio, se trata de un terreno blando (tipo III). Para la determinación de las aceleraciones se utilizó el programa PRODISIS, resultando las aceleraciones máximas que enlistan en la tabla 2 para cada caso.

Sin más por el momento quedamos al pendiente de sus comentarios.

PERSONAL TÉCNICO PARTICIPANTE.

GeoAmbiente S.A. de C.V.

Ing. Benjamín Porcu Sibaja (agrupó)
Ing. Joel Alvarado Herrera (elaboró)

Dr. Benjamín Porcu Sibaja (agrupó)

Ing. Joel Alvarado Herrera (elaboró)

X. REFERENCIAS.

- Reglamento de construcciones del Distrito Federal.
- Bowles, J. (1996). Foundation Analysis and Desing. Mc Graw Hill, 5a. Edición.
- CFE. (2008). Espectro sísmico de diseño para estructuras.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. (1970). Manual de Mecánica de suelos. México: Secretaría de Recursos Hidráulicos, Segunda Edición.
- Servicio Geológico Mexicano. (2011). Carta geológica del Distrito Federal.
- Terzagui, K., & Peck, R. (1955). Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica.
- Manual de Diseño de Obras Civiles. Geotecnia B.2.4. Cimentación en Suelos, C.F.E - 2008.
- Normas técnicas complementarias para el Diseño y construcción de cimentaciones.

Proyecto:

GRUPO SACMAG

Línea 6, Metrobús Ciudad de México

SACMAG

Cliente:

Gobierno de Distrito
Federal

Número de
revisión:

A

Proyecto
número:

8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Informe
preliminar

Marzo, 2014

Ubicación:

Ciudad de México

ESTUDIO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES Y PAVIMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA 6 DEL METROBÚS (FASE I) QUE SE PROYECTA CONSTRUIR EN LA ZONA NORTE DEL DISTRITO FEDERAL (INFORME PRELIMINAR)

Elaboró:

GEOAMBIENTE S. A. de C. V.

Progreso No. 115, 3er piso, Colonia Escandón

C. P. 11800, México D. F.

Para:

"GRUPO SACMAG/GDF"

Marzo de 2014

GRUPO SAGMAL

Proyecto:

Línea 6, Metrobús Ciudad de México

SAGMAL

Cliente: Gobierno del Distrito
Federal

Numero de
cédula: 4

Proyecto
número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe
preliminar Marzo, 2014

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	Localización del proyecto.....	3
I.1	Descripción general del proyecto y localización.....	3
I.2	Objetivos del Estudio Geotécnico.....	4
I.3	Alcances y metodología.....	4
II.	ANTECEDENTES.....	6
III.	TRABAJOS DE EXPLORACIÓN Y MUESTREO.....	12
III.1	Objetivo de los trabajos de exploración y muestreo.....	12
III.2	Descripción de los trabajos de exploración y muestreo.....	12
IV.	TRABAJOS DE LABORATORIO.....	15
IV.1	Objetivos de los trabajos de laboratorio.....	15
IV.2	Descripción de los trabajos de laboratorio.....	15
IV.3	Resumen de los resultados obtenidos de laboratorio.....	16
V.	ANÁLISIS GEOTÉCNICO.....	24
V.1	Sismicidad de la zona.....	24
V.2	Módulos de reacción vertical del suelo.....	24
V.3	Capacidad de carga para cimentaciones superficiales.....	25
X.	REFERENCIAS.....	26

ANEXOS

Anexo I.	Figuras y tablas.
Anexo II.	Registros de campo.
Anexo III.	Perfiles estratigráficos.
Anexo IV.	Pruebas de laboratorio.
Anexo V.	Memoria de cálculo.

Proyecto:

GRUPO SACMAG

Línea 6, Metrobús Ciudad de México

SACMAG

Cliente: Gobierno del Distrito Federal

Número de revisión: A

Proyecto número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe preliminar Marzo, 2014

1. INTRODUCCIÓN.

GRUPO SACMAG es un equipo de trabajo multidisciplinario conformado por siete empresas que prestan servicios integrales de ingeniería como tal desde 1975. A partir de 1960 la empresa se funde como un pequeño grupo de Ingenieros y Arquitectos que ofrecen sus servicios profesionales a los sectores público y privado en el campo de la consultoría.

GEOAMBIENTE es una empresa que se especializa en la Prospección de Recursos Naturales, Geotécnia, Geofísica, Geología, Geohidrología y servicios relacionados. GeoAmbiente pertenece al GRUPO SACMAG, el cual está formado por siete empresas que ofrecen servicios integrales de ingeniería en México, Estados Unidos de América y América Latina.

1.2 Justificación del problema.

La alta demanda de modos de transporte público masivo que garanticen mayor eficiencia, seguridad y menos emisión de contaminantes, son la razón por la cual es necesario contar con un Sistema de Transporte Colectivo como el Metrobús, ya que en la actualidad las dificultades que existen para trasladarse de un lugar a otro en la Ciudad de México y municipios vecinos del Estado de México, representan gran parte del desaprovechamiento de horas hombre ocasionado por los congestionamientos al desplazarse de un lugar a otro, de todo ello la necesidad de complementar la red existente que hasta el momento ha derivado en resultados positivos.

1.1 Descripción general del proyecto y localización.

El proyecto es una línea de aproximadamente 20 km de longitud de vialidades que tiene como principal objetivo conectar las zonas nororiente y norponiente de la ciudad de México entre estas y con los municipios colindantes del estado de México. Se trata de un modo de transporte colectivo masivo (Metrobús) que llegará al Centro de Transferencia Modal (CETRAM) "El Rosario" partiendo de la Avenida Central (Carlos Hank Gonzales), en su cruce con la Avenida Francisco Morazán.

Se prevé que esta Línea 6 del Metrobús que complementará a la red ya existente, estará conformada por 36 estaciones y 2 depósitos de camiones o talleres de mantenimiento próximos a las estaciones terminales, las principales vialidades por las cuales está programada la ruta son La Avenida San Juan de Aragón y Avenida Montevideo (El Eje 5 Norte) pertenecientes a las delegaciones Gustavo A. Madero y Azcapotzalco Distintivamente.

Proyecto:

GRUPC SACMAG

Línea 6, Metrobús Ciudad de México

SACMAG

Cliente: Gobierno del Distrito
Federal

Número de
revisión: A

Proyecto
número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe
preliminar: Marzo, 2014

La Fase I, comprenderá el tramo que va de la avenida Francisco Morazán a la Avenida Insurgentes Norte.

1.2 Objetivos del Estudio Geotécnico.

El presente estudio tiene como objetivos los siguientes:

1.2.1. Objetivos generales del Estudio Geotécnico.

- Determinar el tipo de pavimento más adecuado de acuerdo con las necesidades del proyecto y características del subsuelo.
- Proponer las alternativas de cimentación más adecuadas para la estructura que se pretende construir considerando las características del suelo de cimentación.
- Emitir las recomendaciones de construcción que deriven del análisis geotécnico realizado a partir de las etapas anteriores.

1.2.2. Objetivos específicos del Estudio Geotécnico.

- Determinar las características estratigráficas y de comportamiento del suelo del sitio en estudio mediante los ensayos y muestreo programados.
- Corroborar las propiedades de los materiales muestreados mediante los ensayos de laboratorio.
- Identificar las condiciones actuales de la estructura de los pavimentos de las vialidades que se encuentran en la ruta propuesta.

1.3 Alcances y metodología.

Las actividades que se están considerando para el cumplimiento de los objetivos de este proyecto previamente planteados son las que a continuación se enuncian:

- Descripción de la información geotécnica existente.
- Descripción de los trabajos geotécnicos de campo.
- Descripción de los trabajos geotécnicos de laboratorio.
- Clasificación de los materiales muestreados mediante sus propiedades índice.
- Definición de la estratigrafía del subsuelo del sitio y las propiedades mecánicas de los materiales que lo constituyen.
- Clasificación del subsuelo del sitio para fines de análisis sísmico.

Proyecto:

GRUPO SADMAG

Línea 6, Metrobús Ciudad de México

S A C M A G

Cliente: Gobierno del Distrito Federal

Número de revisión: A

Proyecto número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe preliminar Marzo, 2014

- Determinación de la capacidad de carga del terreno mediante cimentaciones superficiales y profundas.
- Determinación de los asentamientos para los diferentes tipos de cimentación.
- Diseño de pavimentos flexibles y rígidos.
- Conclusiones y recomendaciones para el diseño de pavimentos.

1.3.1 Tareas preliminares.

Los trabajos previos de gabinete consistieron en la revisión y recopilación de información documental del sitio para el cual se realiza el estudio geotécnico, determinando las unidades geotécnicas de suelos y rocas, complementada con un reconocimiento de la zona, con el objeto de identificar zonas de posible problemática y proponer los sitios puntuales de exploración.

1.3.2 Estudios de exploración directa.

Para efectos del proyecto en cuestión se programaron las exploraciones directas e indirectas que a continuación se mencionan con el objetivo descrito y con la misma secuencia en la que se enuncia:

- Exploración indirecta con georadar (GPR) para la detección de instalaciones como objetivo. Su ejecución fue previa a la exploración directa programada en la ubicación de cada exploración directa.
- Exploración directa a través de la ejecución de sondeos profundos tipo (BH/SPT) de los cuales se recuperaron muestras representativas con la técnica de penetración estándar (SPT) y la extracción de muestras selectivas inalteradas (BH) con tubos de pared delgada tipo Shelby, para la definir la estratigrafía y propiedades del subsuelo. La programación de este tipo de sondeos profundos consideró su localización en las proximidades de cada una de las estaciones y depósitos de camiones.
- Realización de calas de prueba para definir las condiciones de la estructura del pavimento que actualmente existe, esto considera los espesores y calidad de los materiales que conforman dicha estructura. La distancia programada para la realización de las calas fue de aproximadamente un kilómetro.
- Exploración superficial mediante la excavación de Pozos a Cielo Abierto (PCA's), con recuperación de muestras representativas de los estratos identificados.

Proyecto:

GRUPO SACMAG

Línea 6, Metrobús Ciudad de México

SACMAG

Cliente: Gobierno del Distrito Federal

Número de revisión: A

Proyecto número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe preliminar Marzo, 2014

1.3.3 Trabajos de laboratorio.

Ya que el tipo de muestras y los objetivos que se persiguen en estas es muy variado, los ensayos de laboratorio que se programaron para cumplir con los objetivos fueron de tipo índice, mecánicos y de calidad.

1.3.4 Trabajos de Gabinete.

Una vez concluidas las etapas de exploración y laboratorio se elaboraron las recomendaciones pertinentes derivadas de los análisis geotécnicos para la determinación del tipo de cimentación más adecuada, y para realizar el diseño estructural de los pavimentos que se utilizarán para este proyecto a lo largo de la ruta de la "Línea 6 del Metrobús".

II. ANTECEDENTES.

Cabe mencionar que el trazo de la ruta de la "Línea 6 del Metrobús" comprenderá la zona norte de las delegaciones Azcapotzalco y Gustavo A. Madero con ligeras variaciones en sus características estratigráficas generales.

II.1 Geología regional.

II.1.1 Geología regional Azcapotzalco.

La Delegación Azcapotzalco se encuentra en el altiplano mexicano a una elevación promedio de 2240 msnm (metros sobre el nivel medio del mar), con una pendiente media menor al 5%. Respecto de su zonificación geotécnica, se encuentra en la Zona II de Transición en la que los depósitos profundos se encuentran en promedio a 20 m de profundidad y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo-arenosos, intercalados con capas de arcilla lacustre. Lo anterior supone la existencia de restos arqueológicos, cimentaciones antiguas, grietas y variaciones fuertes de estratigrafía que puede originar asentamientos diferenciales de gran importancia. La delegación cuenta solamente con 100 hectáreas de cobertura vegetal debido al intenso uso urbano del suelo.

Debido al crecimiento urbano y su topografía plana, no existen corrientes superficiales en toda su extensión, carece completamente de depósitos o cuerpos de agua, no obstante que a mediados del siglo pasado el 50% de su territorio estaba inundado. Sin embargo, cabe señalar que toda el área cuenta con recargas acuíferas subterráneas, actualmente sobreexplotadas. Así

Cliente: Gobierno del Distrito
Federal

Número de
revisión: A

Proyecto
número: 8188

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe
preliminar: Marzo, 2014

también, la delegación forma parte de la Cuenca de los Ríos Consuelo y el de Los Remedios. Este último se localiza fuera de la delegación, casi paralelo al límite norte, es uno de los ejes del desagüe del Valle de México. Se inicia en el Vaso de Cristo, localizado entre los municipios de Naucalpan y Tlalnepantla, en donde se concentran gran parte de los escurrimientos de la zona noroeste del Valle de México.

H.1.2 Geología regional Gustavo A. Madero.

El subsuelo de la Delegación Gustavo A. Madero se encuentra integrado por las siguientes zonas: lacustre, de transición y la de lomeríos. La primera de ellas se localiza al sureste, constituida por las formaciones arcillosas superior e inferior, con gran relación de vacíos, entre estos dos estratos se encuentra una fase de arena y limo de poco espesor llamada capa dura; a profundidades mayores se tienen principalmente arenas, limos y grases. Hacia la zona norte, entre las dos formaciones de arcilla se hacen más delgadas hasta llegar a la zona de transición, la cual está constituida por intercalaciones de arena y limo, con propiedades mecánicas muy variables.

La zona de lomas está compuesta por piroclastos, aglomerados, bombas y lavas de pómez, con epirádicos de lavas y depósitos de aluvión conformados por gravas y arenas.

La zona de suelo lacustre, que estaba ocupada anteriormente por el lago de Texcoco, ocupa aproximadamente un 60 % de la delegación; la zona de transición, es la que se encuentra ubicada en las faldas de la Sierra de Guadalupe y de los cerros de Zacatenco, Cerro del Guerrero y los Guachupines ocupa un 15 %; y la zona de lomeríos correspondiente a la parte de los cerros antes mencionados la cual es el suelo más resistente en cuanto a composición geológica se refiere, ocupa el 25 % restante.

Las formaciones geológicas que se localizan en esta zona son de origen aluvial y volcánico. En términos generales se puede decir que los suelos superficiales contienen restos de materia vegetal de poco espesor, posteriormente se encuentran los suelos correspondientes a las series plásticas fluvial y aluvial, las series clásticas fluvial y aluvial están constituidas por materiales granulares aluviales y por depósitos superficiales de formación lacustre y principalmente arcillosos, con intercalaciones de pómez, arena negra.

Proyecto:

GRUPO SACMAG

Línea 6, Metrobús Ciudad de México

SACMAG

Cliente: Gobierno del Distrito Federal

Número de revisión: A

Proyecto número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe preliminar Marzo, 2014

II.2 Medio físico.

II.2.1 Medio físico Azcapotzalco.

La zona de proyecto que nace por la Delegación Azcapotzalco a partir del centro de la mojonera denominada La Patera, que define uno de los vértices de la línea limítrofe entre el Distrito Federal y el Estado de México, se dirige en línea recta al oriente hasta el cruce que forman los ejes de la Avenida Poniente 152 y Calzada Vallejo, de donde sigue con rumbo Suroeste sobre el eje de esta Calzada, hasta su intersección con el eje de la Avenida Río Consulado; sobre el eje de ésta, continúa en sus diversas inflexiones al Poniente y Sur, hasta su cruce con el eje de la calle Crisantema, por cuyo eje sigue al Poniente cruzando la Calzada Camarones, prosigue por la misma calle tomando el nombre de Ferrocarriles Nacionales, hasta intersectar al eje de la Avenida Azcapotzalco, por cuyo eje va al Norte hasta el eje de la calle Primavera, por el que prosigue rumbo al noroeste hasta el eje de la vía de los Ferrocarriles Nacionales; de donde continúa por el eje de ésta hasta el Noroeste, encontrándose con el eje de la Avenida 5 de Mayo, por donde prosigue con rumbo al Poniente, hasta el camino a Santa Lucía, de donde se dirige al Suroeste hasta la mojonera Amantla; de donde continúa hacia el Noroeste por el eje de la Calzada de la Naranja, hasta la mojonera denominada las Armas; cambia de dirección al Noroeste para continuar por el eje de la Calzada de las Armas y pasando por las mojoneras San Antonio, Puerta Amarilla, Otra Honda, la Longaniza, la Junta, Puente de Vigas, San Jerónimo, Careaga y el Potrero; prosigue hacia el Sureste por el eje de la calle Herreros, para continuar por el andador que divide a las Unidades Habitacionales El Rosario Distrito Federal y el Rosario Estado de México, hasta el centro de la mojonera Cruztitla; continúa con el mismo rumbo por el andador que divide a las Unidades Habitacionales CROC VI y CROC III hasta la mojonera Crucero Nacional de donde prosigue con la misma dirección por el eje de la calle Juárez pasando por las mojoneras Portón de Oviedo, San Pablo, y llegar a la mojonera Crucero del Central; de aquí sigue con rumbo al Noroeste por el eje de la calle Maravillas y en seguida por el de la calle Prolongación de la Prensa hasta llegar a la mojonera Pozo Artesiano, de donde prosigue al Sureste por la barda Sur que sirve de límite a la colonia Prensa Nacional hasta la mojonera Portón de En medio; prosigue hacia el Sureste en una línea perpendicular al eje de la avenida Poniente 152, por el que continúa con rumbo sureste hasta el centro de la mojonera La Patera, punto de partida.

II.2.2 Medio físico Gustavo A. Madero.

La Delegación Gustavo A. Madero se ubica en el extremo noreste del Distrito Federal; ocupa una posición estratégica con respecto a varios municipios conurbados del Estado de México (Tlalnepantla, Tlaxiátlán, Ecatepec y Nezahualcóyotl); ya que se encuentra atravesada y/o

Cliente: Gobierno del Distrito Federal

Número de revisión: A

Proyecto número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe preliminar Marzo, 2014

limitada por importantes arterias que conectan la zona central con la zona norte del área metropolitana, tales como son: Insurgentes Norte, que se prolonga hasta la carretera a Pachuca, el Eje 3 Oriente (Avenida Eduardo Molina), el Eje 5 Norte (Calzada San Juan de Aragón); que conecta con la Avenida Hank González o Avenida Central; en la zona poniente de la delegación se ubican la Calzada Vallejo y el Eje Central (Avenida de los Clen Aetrol).

Limita al norte con los municipios de Tlalnepantla, Tultitlán, Coacalco y Ecatepec; en varios tramos el cruce del río de los Remedios constituye el límite físico más evidente y en otras es el Periférico Norte; al sur colinda con las delegaciones Cuauhtémoc y Venustiano Carranza. Los límites oficiales de la delegación son los siguientes:

A partir del centro de la mojonera Tecal que se localiza sobre el puente ubicado en la prolongación de la Avenida Nuevo León de los Aldamas sobre el cauce del Río de los Remedios, en la Colonia San Felipe de Jesús y que define uno de los vértices de la línea limítrofa entre el Distrito Federal y el Estado de México, se dirige hacia el sureste por el eje del Río de los Remedios hasta su intersección con el eje de la Avenida Valle Alto. De ahí prosigue hacia el suroeste por el eje de esta última hasta su cruce con el eje de la Avenida Veracruz; de este punto, la línea sufre una inflexión hacia el sureste por la línea Linares hasta llegar a la barda de los talleres de la Ruta 100, continúa con el mismo rumbo por el eje de las calles Cancún y Villa Cacama, hasta llegar al eje de la Avenida Central; prosigue hacia el sureste, por el trazo de la línea Linares hasta su intersección con el eje de la Avenida Taxímetros; de ésta prosigue con la misma dirección por el eje de la lateral Periférico, el de la Avenida 412, por el de la calle 701 y en seguida por el eje de la Calle Oriente 14 de la Colonia Cuchilla del Tesoro hasta su intersección con la barda Poniente que delimita el Aeropuerto Internacional "Benito Juárez"; sigue la barda hacia el suroeste y en seguida al Noroeste hasta su confluencia con el eje de la Vía Tapo, por donde continúa con la misma dirección hasta la intersección con el eje de la Avenida Oceanía, siguiendo por el eje de la misma hacia el suroeste, hasta el eje de la Avenida Río del Consulado; en este punto sufre una fuerte inflexión hacia el Noroeste y prosigue por el eje de esta vialidad atravesando la Avenida de los Insurgentes Norte, hasta intersectarse con el eje de la Calzada Vallejo; prosigue en dirección Noroeste sobre el eje de la Calzada Vallejo hasta su cruce con el de la Avenida Poniente 152, de donde va con rumbo Poniente en línea recta al centro de la mojonera La Patera, que define un vértice del límite del Distrito Federal con el Estado de México; de ésta sigue al Noroeste por el eje del carril Sur de la Calzada Vallejo, que define el límite entre el Distrito Federal y el Estado de México hasta la mojonera Perillar, prosigue con la misma dirección por el eje de la Avenida Industrial para llegar a la mojonera Soledad, de donde prosigue por la calle Josefa Ortiz de Domínguez hasta la mojonera Iztacala; de aquí, continúa hacia el Noreste por el eje de la Calzada San Juan Iztacala para llegar a la mojonera Santa Rosa, de donde prosigue hacia el Noroeste por la colindancia Noreste del Fraccionamiento PIPSA, hasta la mojonera El Molino, continúa hacia el Noreste hasta la

Proyecto:

GRUPO SADMAS

Línea 6, Metrobús Ciudad de México

SACMAG

Cliente: Gobierno del Distrito Federal

Número de revisión: A

Proyecto número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Informe preliminar Marzo, 2014

Ubicación: Ciudad de México

mojonera Zahuatlán, de donde se dirige hacia el Sureste aguas bajo por el eje del Río de Tlalnepantla, pasando por la mojonera Puente de San Bartolo hasta el centro de la mojonera Santiaguito; prosigue hacia el Noreste por el eje de la Avenida Ventisca para llegar a la mojonera Presa de San José, de aquí, la línea sufre una inflexión hacia el Noreste siguiendo el eje de la vía del Ferrocarril o Mercedina hasta el centro de la mojonera San Esteban, de donde se dirige hacia el Noreste y el Noroeste pasando por las mojoneras.

II.3 Orografía.

II.3.1 Orografía Azcapotzalco.

La Delegación Azcapotzalco en su totalidad se localiza en una zona de planicie, a tal punto que no se observa diferencia de altitud en dirección norte-sur, sucede casi lo mismo en dirección oriente-poniente, a no por una diferencia no mayor de 30.00 m., por lo que se clasifica dentro de un rango de pendiente de 6 a 10% y se denomina zona de pie de monte.

II.3.2 Orografía Gustavo A. Madero.

El territorio de la Delegación Gustavo A Madero es en su gran de relieve sensiblemente plano y en lo que es la Sierra de Guadalupe el terreno es accidentado.

II.4 Clima.

II.3.1 Clima Azcapotzalco.

El clima predominante en la delegación es templado sub-húmedo con bajo grado de humedad, una temperatura media anual de 16 °C y precipitación pluvial anual promedio de 758.4 mm.

II.3.1 Clima Gustavo A. Madero.

La delegación Gustavo A. Madero presenta clima templado con bajo grado de humedad y con una precipitación anual promedio de 651.8 mm. La temperatura media anual es de 17 °C. El clima en la delegación es el que prevalece en el centro de la ciudad el cual no tiene grandes cambios, con una temperatura media anual de 15° centígrados.

Cliente: Gobierno del Distrito Federal

Número de revisión:

A

Proyecto número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe preliminar

Marzo, 2014

II.5 Zonificación geotécnica.

Como lo define el artículo 170 del Capítulo VIII del Título Sexto del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, el Distrito Federal se divide en tres zonas geotécnicas con las siguientes características generales:

- a) Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del Ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados.
 - **Subzona I.a, Lomeríos.** Formada por rocas o suelos firmes depositados fuera del ambiente lacustre.
 - **Subzona I.b, Aluvial.** Integrada por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla altamente resistentes.
- b) Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo-arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de estas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.
 - **Subzona II.a, Transición alta.** Está formada por estratos de arcilla lacustre con espesores menores a 2.50 m.
 - **Subzona II.b, Transición baja.** Está formada por estratos de arcilla lacustre con espesores mayores a 2.50 m.
- c) Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son generalmente medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m y se subdivide en las siguientes subzonas:

Proyecto:

GRUPO SACMAG

Línea 6, Metrobús Ciudad de México

SACMAG

Cliente: Gobierno del Distrito Federal

Número de revisión:

A

Proyecto número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe preliminar

Marzo, 2014

- Subzona III.a.
- Subzona III.b.
- Subzona III.c.
- Subzona III.d.

De acuerdo a lo anterior el predio se ubica en la Zona II de transición a la cual le corresponde un coeficiente sísmico de 0.32 de acuerdo a la Figura I.6 del Anexo I.

III. TRABAJOS DE EXPLORACIÓN Y MUESTREO.

III.1 Objetivo de los trabajos de exploración y muestreo.

- Determinar propiedades preliminares de los materiales de la zona de estudio a través de ensayos *in-situ*.
- Recuperar muestras para la verificación de características geotécnicas con ensayos de laboratorio.

III.2 Descripción de los trabajos de exploración y muestreo.

Como se mencionó anteriormente en los alcances, los trabajos de exploración y muestreo consistieron en la realización de exploración directa e indirecta con las siguientes características y finalidad:

III.2.1 Exploración indirecta con GPR.

Antes de iniciar los trabajos de exploración directa, se realizó una inspección geofísica utilizando GPR (por sus siglas en inglés Ground Penetrating Radar) en aquellos puntos en los que previamente se había programados, esto con la finalidad de poder identificar posibles zonas con instalaciones que pudieran verse afectadas durante la ejecución de las actividades directas.

El GPR es un método electromagnético de alta resolución, diseñado para la investigación somera sub superficial del terreno, materiales de construcción, y para carreteras y puentes. El

Cliente: Gobierno del Distrito Federal

Número de revisión: A

Proyecto número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe preliminar Marzo, 2014

GPR puede proporcionar información precisa sobre objetos que se encuentran en el interior de la Tierra. También ha demostrado que es una herramienta que puede utilizarse en perforaciones para ampliar el alcance de investigación fuera de los límites del pozo.

El GPR se basa en los principios de dispersión de la onda electromagnética para localizar objetos enterrados. El principal fundamento de operación es el mismo que la detección de aeronaves sobrevolando, pero las antenas del GPR se mueven sobre la superficie más que estar girando en un punto fijo detectando de esta manera diferencias en la dispersión de ondas conocidas como anomalías.

Un objeto o anomalía del subsuelo puede considerarse eléctricamente pequeño cuando su mayor dimensión es pequeña comparada con la longitud de onda central del espectro de la señal incidente. Estos objetos son muy visibles en los radargramas donde aparecen como hipérbolos. Las estructuras enterradas capaces de generar este tipo de reflexiones pueden ser piedras y una gran variedad de objetos apreciándose en los radargramas con mayor claridad en aquellos que representan mayores diferencias con respecto al medio que los rodea como ductos metálicos. Basados en este principio se interpretó la información generada para estas actividades.

III.2.2 Exploración profunda con sondeos Mixtos.

Esta consistió en la realización de sondeos profundos de tipo mixto (BH/SPT), en los cuales se utilizó la técnica de penetración estándar (SPT) para la determinación de resistencia del suelo en suelos granulares, y que permitieron la recuperación de muestras representativas; adicionalmente se utilizó el hincado de tubos de pared delgada tipo Shelby, para la recuperación de muestras selectivas inalteradas (BH).

Se realizaron un total de 35 sondeos profundos identificados como BH/SPT. La profundidad de los sondeos fue de 10 m en promedio para las zonas en las que se pretende la ubicación de estaciones, se realizaron para este fin 34 sondeos. Para una de las zonas que pretende ser destinada para el depósito de camiones o taller de mantenimiento ubicada en las proximidades de la terminal en avenida central, se realizaron 3 sondeos de este tipo con profundidad promedio de 20 m y distribuidos a lo largo del predio que se ocupará.

Los Ensayes *in-situ* de Penetración Estándar (SPT) serán realizadas de acuerdo con la norma vigente (ASTM D1586-9), la cual indica que debe hacerse el hincado en el suelo de una herramienta estándar (penetrómetro estándar) de 1 3/8" de diámetro interior, 2" de diámetro exterior y tramo para hincar de 24", por medio de la energía que le transmite la caída libre de

Cliente: Gobierno del Distrito
Federal

Proyecto
número: 8195

Ubicación: Ciudad de México

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Número de
revisión: A

Informe
preliminar

Marzo, 2014

Un martinete de 140 lb de peso al dejarlo caer desde una altura de 30 pulgadas. Para realizar esta prueba se hince el penetrómetro estándar, contando el número de golpes necesario para hacerla penetrar tres tramos de este, el primero de 15 cm, el segundo de 30 cm, y el último de los restantes 15 cm, llevando a cabo simultáneamente un registro en el cual se anotan estos parámetros además de la profundidad de penetración, tipo de suelo, tipo de fluido de perforación, como la pérdida parcial o total del fluido de perforación, tipo de fluido de perforación, la necesidad de uso de aditivos como estabilizador o barrera impermeable que impida la pérdida de agua, etc. Esta longitud penetrada, se lava y amplía utilizando una broca triclónica de diámetro mayor que el penetrómetro estándar, al mismo tiempo que se le inyecta lodo de perforación para estabilizar las paredes de la zona y facilitar el desahogue del fondo de este. El procedimiento del lavado de la perforación en la longitud penetrada se hace con la finalidad de dar paso libre sin desarrollar fricción en un tramo no correspondiente al de la prueba en un tramo dado. Las muestras se clasifican en campo mediante sencillos métodos (plasticidad, consistencia en estado semi y líquido), se protegen contra la pérdida de agua, y se envían al laboratorio para corroborar la clasificación de campo mediante la determinación de sus propiedades índice.

Cuando el tipo de suelo sea estratificado, compuesto por estratos de suelo cohesivos y friccionantes el método de prueba será Mixto, el cual alterna el SPT con el hincado de tubos de pared delgada tipo Shelby, con la finalidad de extraer muestras inalteradas que permitan su uso para ensayos de laboratorio y de esta manera determinar sus propiedades. Los tubos de pared delgada comúnmente utilizados para suelos blandos son de acero y 4 pulgadas de diámetro biselados en la punta, y se hincan a presión como lo indica la norma actual (ASTM D1587) con una velocidad de avance de 15 a 30 cm/seg., al hincarlo a la profundidad deseada, este se deja reposar algunos minutos (5 aproximadamente) lo que permite que la muestra se expanda y tenga mejor adherencia con las paredes interiores del tubo y se facilite la recuperación en este, transcurrido este tiempo la muestra se corta girando el tubo en la profundidad de hincado y se extrae, la muestra es protegida contra la pérdida de humedad con parafina y contra la alteración debida a vibraciones. La extracción de muestras inalteradas se programó directamente en campo según la estratificación existente.

III.2.3 Exploración superficial con Pozos a Cielo Abierto.

Se realizarán 24 PCA's a lo largo de la ruta prevista y 5 más en la superficie destinada al depósito de camiones ubicada en la colonia ampliación providencia. La profundidad de los pozos será de 3.00 m promedio o hasta donde la dureza del material o presencia de agua subterránea lo permita. De los pozos se recuperarán muestras representativas e inalteradas (cúbicas) si la

Proyector:

GRUPO SACMAG

Línea 6, Metrobús Ciudad de México

SACMAG

Cliente: Gobierno del Distrito
Federal

Número de
revisión: A

Proyecto
número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe
preliminar Marzo, 2014

naturaleza de los materiales lo permite, y se identificará preliminarmente la estratigrafía durante las excavaciones, corroborándose dichas características con los ensayos de laboratorio.

III.2.4 Realización de calas en pavimentos

Con la finalidad de verificar las condiciones actuales de las vialidades existentes por donde correrá el metrobús, se verificarán estas con la realización de calas. Estas consistirán en excavaciones de poca profundidad y área de afectación con las cuales se pretende identificar los espesores y calidades de la estructura de pavimento actual. La profundidad promedio de las calas será de 1.50 m y diámetro máximo de 6 pulgadas (15 cm), y su ubicación será distribuida a aproximadamente cada kilómetro de longitud.

IV. TRABAJOS DE LABORATORIO.

IV.1 Objetivos de los trabajos de laboratorio.

- Determinar las propiedades geotécnicas de los materiales.
- Corroborar las clasificaciones preliminares de campo.

IV.2 Descripción de los trabajos de laboratorio.

El resumen de los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas a las muestras recuperadas en los sondeos y pozos a cielo abierto se indican en los perfiles estratigráficos del este informe.

Las muestras obtenidas se clasificaron visual y manualmente y posteriormente se programaron los ensayos que proporcionaron su clasificación mediante el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS), además de obtener las propiedades mecánicas y de calidad de los estratos que conforman el sitio de estudio.

Las pruebas realizadas se enuncian a continuación:

IV.2.1 Pruebas índice.

- Clasificación visual y al tacto.
- Contenido natural de agua.
- Granulometría por mallas.
- Porcentaje de finos.

Cliente: Gobierno del Distrito Federal

Número de revisión: A

Proyecto: 5155

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe preliminar

Marzo, 2014

- Límites de Atterberg (Límite líquido y Límite plástico).
- Densidad de sólidos
- Peso volumétrico natural

IV.2.2. Ensayos de laboratorio

- Compresión sin confinamiento.
- Compresión Triaxial rápida (UU).
- Consolidación unidimensional.

IV.3 Resumen de los resultados obtenidos de laboratorio.

A partir de los reportes de laboratorio se elaboran los perfiles geotécnicos donde se resumirán de manera gráfica los resultados de los ensayos de laboratorio y se proyectarán sus propiedades geotécnicas, en tanto que los mismos de manera textual se resumen a continuación.

BH/SPT-01 AR

- De 0.00 a 0.10 m se encuentra una carpeta asfáltica
- De 0.10 a 2.5 m se encontró un estrato de arcilla arenosa de baja plasticidad y consistencia muy suave a muy firme color café oscuro y contenido natural de agua entre 27.16 y 90.17 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 67.49 %, las arenas con un 24.1 % y las gravas con 8.41 %. De límite líquido se obtuvo un 41.60 % y de límite plástico un 21.33 %.
- De 2.50 a 4.90 m se encontró una capa de material fino granular como es arcilla arenosa de alta plasticidad y consistencia muy suave con diferentes tonalidades en su color y contenido natural de agua entre 133.55 y 396.33 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 80.33%, las arenas con un 19.64 % y las gravas con un 0.03 %. De límite líquido se obtuvo 164.90 %, y de límite plástico 41.23 %.
- De 4.90 a 6.70 m se encontró un horizonte limo de alta plasticidad y consistencia muy suave color verde olivo con lentes de arena color gris y contenido natural de agua entre 129.49 y 258.96 %. El promedio de la granulometría indica que en el material

Cliente: Gobierno del Distrito
Federal

Número de
revisión:

A

Proyecto:
Número:

E195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Informe
preliminar

Marzo, 2014

Ubicación: Ciudad de México

predominan los finos con un 94.50 %, las arenas con un 3.39% y las gravas con 2.11 %. De límite líquido se obtuvo un 41.60 % y de límite plástico un 21.33 %. Se obtuvo una densidad de sólidos entre 2.301 y 2.614, se determinó un ángulo de fricción interna entre 4 y 8 °, una cohesión entre 0.055 y 0.10 Kg/cm² y peso volumétrico natural entre 1.57 y 1.74 t/m³.

- De 6.70 a 20.10 m se encontró un estrato fino como es arcilla de alta plasticidad y consistencia muy suave con diferentes tonalidades en su color y lentes de arena color gris y contenido natural de agua entre 104.80 y 491.03 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 50.91%, las arenas con un 8.20 % y las gravas con 0.80 %. De límite líquido se obtuvo de 100 % a 375.70 % y de límite plástico de 26.97 % a 104.95 %.

BM/SPT-02-AR

- De 0.00 a 0.20 m se encuentra una carpeta asfáltica.
- De 0.20 a 1.40 m se encontró una capa de arcilla arenosa de baja plasticidad y consistencia muy suave a muy firme color gris verdoso y café claro con gravas y contenido natural de agua entre 26.49 y 36.65 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 59.12 %, las arenas con un 36.73 % y las gravas con 24.15%. De límite líquido se obtuvo un 41.60 % y de límite plástico un 21.33%.
- De 1.40 a 6.80 m se encontró un estrato arcilla arenosa de alta plasticidad y consistencia muy suave a muy firme color gris verdoso y café claro y contenido natural de agua entre 56.39 y 453.83 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 85.56 %, las arenas con un 14.22 % y las gravas con 0.22 %. De límite líquido se obtuvo un 300.00 % y de límite plástico un 77.48 %. Se obtuvo una densidad de sólidos de 2.432, se determinó un ángulo de fricción interna de 8 °, una cohesión entre 0.115 kg/cm² y peso volumétrico natural de 1.096 t/m³.
- De 6.80 a 7.40 m se localizó una capa con material limo de alta plasticidad y consistencia muy suave color café claro con lentes de arena color gris y contenido natural de agua de 274.25 %. En la granulometría apreciamos que en el material predominan los finos con un 88.56 %, las arenas con un 11.44 % y las gravas con un 0.00 %. Se obtuvo una límite líquido de 193.50 % y un límite plástico de 26.52 %.

Cliente: Gobierno del Distrito Federal

Número de revisión:

A

Proyecto número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Informe preliminar

Marzo, 2014

Ubicación: Ciudad de México

- De 7.40 a 20.60 m se localizó un estrato arcilla arenosa de alta plasticidad y consistencia muy suave con diferentes tonalidades en su color y contenido natural de agua entre 138.56 y 450.03 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 82.87 %, las arenas con un 16.21 % y las gravas con 0.92 %. Se obtuvo un límite líquido entre 151.80 y 321.50 % y límite plástico entre 48.85 y 59.42%. Se obtuvo una densidad de sólidos entre 2.03 y 2.412, se determinó un ángulo de fricción interna entre 5 y 7 °, una cohesión entre 0.05 y 0.158 Kg/cm² y peso volumétrico natural entre 1.056 y 1.13 t/m³.

BH/SPT-21

- De 0.00 a 0.30 m se encuentra una carpeta asfáltica.
- De 0.30 a 2.70 m se encontró un estrato conformado de arena limosa de alta plasticidad y compacidad relativa muy suelta a densa color gris claro y café claro y contenido natural de agua de 51.04 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan las arenas con un 63.79 %, los finos con un 36.21 % y las gravas con 0.00 %. De límite líquido se obtuvo 65.20 % y de límite plástico 40.58 %.
- De 2.70 a 5.10 m se localizó un horizonte conformado por arcilla de alta plasticidad y consistencia muy suave a media color café claro y contenido natural de agua de 290.62%. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 97.39 %, las arenas con un 2.61 % y las gravas con 0.00 %. De límite líquido se obtuvo 334.40 % y de límite plástico 99.71 %.
- De 5.10 a 5.70 m se halló una capa conformada por limo de alta plasticidad y consistencia muy suave color café y contenido natural de agua de 244.20 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 99.58 %, las arenas con un 0.42 % y las gravas con 0.00 %. De límite líquido se obtuvo 277 % y de límite plástico 94.61 %.
- De 5.70 a 10.00 m se encontró un estrato conformado de arcilla de alta plasticidad y consistencia muy suave con color café claro y contenido natural de agua entre 245.38 y 346.07 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 99.10 %, las arenas con un 0.90 % y las gravas con 0.00 %. El límite líquido que se obtuvo fue entre 363 y 365.50 % y de límite plástico entre 38.72 y 87.06 %.

Proyecto:

SECTORES SAGUAG

Línea 6, Metrobús Ciudad de México

SAGUAG

Cliente: Gobierno del Distrito
Federal

Número de
revisión:

A

Proyecto
Número:

0185

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe
preliminar

Marzo, 2014

BH/SPT-15

- De 0.00 a 0.40 m se encuentra una carpeta asfáltica.
- De 0.40 a 1.60 m relleno compuesto por grava arcillosa de baja plasticidad con arena media y gruesa.
- De 1.60 a 2.20 m se localizó un estrato compuesto por arcilla arenosa de baja plasticidad y consistencia muy firme color café oscuro y contenido natural de agua de 30 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 51.17 %, las arenas con un 48.89 % y las gravas con 0.00 %. El límite líquido obtenido de 35.30 % y de límite plástico de 22.14 %.
- De 2.20 a 5.60 m se encontró un estrato compuesto por fina arenosa de alta plasticidad y consistencia media a muy firme color café y contenido natural de agua entre 42.09 y 63.07 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 78.25 %, las arenas con un 21.75 % y las gravas con 0.00 %. El límite líquido obtenido entre 66.00 y 75.40 % y de límite plástico entre 58.89 y 44.09 %.
- De 5.60 a 10.20 m se halló un horizonte conformado de arcilla arenosa de alta plasticidad y consistencia media color café oscuro y gris y contenido natural de agua entre 50.04 y 157.16 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 96.39 %, las arenas con un 3.61 % y las gravas con 0.00 %. El límite líquido obtenido entre 75.25 y 202.90 % y de límite plástico entre 28.22 y 66.31 %.

BH/SPT-22

- De 0.00 a 0.40 m se encuentra una carpeta asfáltica.
- De 0.40 a 1.60 m se encontró un estrato conformado de arena arcillosa de baja plasticidad y compactación relativa densa color café con gravas y contenido natural de agua de 14.43 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predomina la arena, los finos con un 22.16 %, las arenas con un 49.84 % y las gravas con 28 %.
- De 1.60 a 10.00 m se encontró un horizonte conformado de arcilla arenosa de baja plasticidad y consistencia muy suave a muy firme color café oscuro y contenido natural de agua entre 28.14 y 402.67 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 84.67 %, las arenas con un 14.96 % y las gravas con

Proyecto:

GRUPO SACMAG

Línea 6, Metrobús Ciudad de México

SACMAG

Cliente: Gobierno del Distrito Federal

Número de revisión: A

Proyecto número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe preliminar Marzo, 2014

0.37 %. Se obtuvo un límite líquido entre 32.8 y 432.90 % y límite plástico entre 14.95 y 95.34 %.

BH/SPT-22

- De 0.00 a 0.30 m se encuentra una carpeta asfáltica.
- De 0.30 a 1.50 m se halló un estrato compuesto de arcilla arenosa de baja plasticidad y consistencia firme a muy firme color café claro y contenido natural de agua de 29.65 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 51.41 %, las arenas con un 48.59 % y las gravas con 0.00 %. Se obtuvo un límite líquido de 32.8 % y límite plástico de 18.91 %.
- De 1.50 a 10.00 m se localizó un horizonte compuesto de arcilla arenosa de alta plasticidad y consistencia muy suave a media con diferentes tonalidades en su color y contenido natural de agua entre 85.09 y 389.06 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 88.94 %, las arenas con un 11.06 % y las gravas con 0.00 %. Se obtuvo un límite líquido entre 115.90 y 441 % y límite plástico entre 42.26 y 110.39 %.

BH/SPT-24

- De 0.00 a 0.10 m se encuentra el pavimento que es de adoquín.
- De 0.10 a 1.30 m se localizó un estrato compuesto por grava arcillosa de baja plasticidad y compactación relativa media color café con arena fina color gris y contenido natural de agua entre 8.40 y 10.54 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predomina las gravas, los finos con un 19.79 %, las arenas con un 34.92 % y las gravas con 45.30 %.
- De 1.30 a 10.30 m se encontró un estrato conformado por arcilla arenosa de alta plasticidad y consistencia muy suave a media color gris y café oscuro y contenido natural de agua entre 40.03 y 378.58 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 83.12 %, las arenas con un 16.56 % y las gravas con 0.32 %. Se obtuvo un límite líquido entre 46.90 y 386 % y límite plástico entre 27.82 y 118.02 %. Se obtuvo una densidad de sólidos de 2.29, se determinó un ángulo de fricción interna de 10°, una cohesión de 0.115 Kg/cm² y peso volumétrico natural de 1.086 t/m³.

Cliente: Gobierno del Distrito
Federal

Número de
revisión: A

Proyecto
número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe
preliminar Marzo, 2014

BH/SPT-26

- De 0.00 a 3.00 m se encontró una capa conformada de limo arenoso de alta plasticidad y consistencia muy suave a suave color café y gris verdoso y contenido natural de agua entre 32.18 y 49.18 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 82.79 %, las arenas con un 16.45 % y las gravas con 0.75 %. De límite líquido se obtuvo un 45.15 % y de límite plástico un 20.99 %.
- DE 3.00 a 10.20 m se localizó un estrato conformado por arcilla arenosa de alta plasticidad y consistencia muy suave con diferentes tonalidades en su color y contenido natural de agua entre 178.59 y 425 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 84.29 %, las arenas con un 15.71 % y las gravas con 0.00 %. Se obtuvo un límite líquido entre 228.50 y 422.60 % y límite plástico entre 66.94 y 98.72 %. Se obtuvo una densidad de sólidos entre 2.27 y 2.312, se determinó un ángulo de fricción interna entre 8 y 14 °, una cohesión entre 0.16 y 0.17 Kg/cm² y peso volumétrico natural entre 1.07 y 1.106 t/m³.

BH/SPT-28

- De 0.00 a 1.80 m se halló un horizonte compuesto de arcilla arenosa de alta plasticidad y consistencia suave a firme color café claro y contenido natural de agua entre 17.26 y 33.30 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 92.57 %, las arenas con un 7.43 % y las gravas con 0.00 %. Se obtuvo un límite líquido de 50.50 % y límite plástico de 23.13 %.
- De 1.80 a 3.00 m se encontró un estrato integrado por arcilla arenosa de baja plasticidad y consistencia muy suave a suave color café y contenido natural de agua entre 36.47 y 40.28 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 96.66 %, las arenas con un 3.34 % y las gravas con 0.00 %. Se obtuvo un límite líquido de 44.37 % y límite plástico de 24.33 %.
- De 3.00 a 10.20 m se encontró un horizonte conformado por arcilla arenosa de alta plasticidad y consistencia muy suave a suave con diferentes tonalidades en su color y contenido natural de agua entre 48.49 y 384.6 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 90.70 %, las arenas con un 9.30 % y las gravas con 0.00 %. Se obtuvo un límite líquido entre 454.80 y 545 % y límite plástico entre 59.17 y 122.71 %. Se obtuvo una densidad de sólidos entre 2.216 y 2.415, se

Cliente: Gobierno del Distrito
FederalNúmero de
revisión: AProyecto
número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe
preliminar Marzo, 2014

determinó un ángulo de fricción interna entre 7 y 8 °, una cohesión entre 0.18 y 0.185Kg/cm² y peso volumétrico natural entre 1.063 y 1.163 t/m³.

BH/SPT-30

- De 0.00 a 3.00 m se localizó un horizonte de arena arcillosa de baja plasticidad y densidad relativa muy suelta a suelta color café y contenido natural de agua entre 17.75 y 57.35 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predomina el suelo granular, los finos con un 49.20 %, las arenas con un 49.53 % y las gravas con 1.27 %. De límite líquido se obtuvo un 45.70 % y de límite plástico 22.22 %.
- De 3.00 a 10.20 m se localizó un estrato compuesto por arcilla arenosa de alta plasticidad y consistencia muy suave a suave con diferentes tonalidades en su color y contenido natural de agua entre 139.56 y 427.61 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 76.42 %, las arenas con un 23.58 % y las gravas con 0.00 %. Se obtuvo un límite líquido entre 238.50 y 474.50 % y límite plástico entre 53.50 y 117.78 %. Se obtuvo una densidad de sólidos entre 2.32 y 2.38, se determinó un ángulo de fricción interna de 7 °, una cohesión entre 0.15 y 0.16 Kg/cm² y peso volumétrico natural entre 1.053 y 1.07 t/m³.

BH/SPT-32

- De 0.00 a 0.30 m se encuentra una carpeta asfáltica.
- 0.30 a 10.30 m se encontró un estrato compuesto por arcilla arenosa de alta plasticidad y consistencia muy suave a muy firme con diferentes tonalidades en su color y contenido natural de agua entre 20.22 y 379.8 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 78.78 %, las arenas con un 17.75 % y las gravas con 3.47 %. Se obtuvo un límite líquido entre 70.35 y 400.10 % y límite plástico entre 21.82 y 296.97 %. Se obtuvo una densidad de sólidos de 2.471, se determinó un ángulo de fricción interna de 12°, una cohesión de 0.16 Kg/cm² y peso volumétrico natural de 1.083t/m³.

Proyecto:

GRUPO SADMAG

Línea 6, Metrobús Ciudad de México

SACMAG

Cliente: Gobierno del Distrito
Federal

Número de
revisión: A

Proyecto
número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe
preliminar Marzo, 2014

BH/SPT-34

- De 0.00-1.20 m se encontró una capa compuesta por material arena arcillosa de baja plasticidad y compactación relativa muy suelta color café con gravas y contenido natural de agua entre 21.94 y 41.47 %. En el promedio de la granulometría apreciamos que en el material predomina el material granular como arenas con un 47.00 %, los finos con un 37.82 % y las gravas con 15.18 %. Se obtuvo un límite líquido de 34.00 % y límite plástico de 18.81 %.
- De 1.20 a 10.20 se localizó un estrato de arcilla arenosa de baja plasticidad y consistencia muy suave a suave con diferentes tonalidades en su color y lentes de arena color gris y contenido natural de agua entre 32.77 y 427.22 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 62.92 %, las arenas con un 36.52 % y las gravas con 0.55 %. Se obtuvo un límite líquido entre 49.70 y 406 % y límite plástico entre 25.79 y 111.37 %.

BH/SPT-36

- De 0.00 a 0.40 m se encuentra una carpeta asfáltica.
- De 0.40 a 2.80 m se halló un estrato de limo arenoso de alta plasticidad y consistencia muy suave color gris verdoso y contenido natural de agua entre 43.97 y 221.48 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 92.54 %, las arenas con un 7.46 % y las gravas con 0.00 %. Se obtuvo un límite líquido de 91.30 % y límite plástico de 53.46 %.
- De 2.80 a 10.00 m se encontró un horizonte conformado por arcilla arenosa de alta plasticidad y consistencia muy suave color gris verdoso y contenido natural de agua entre 18.76 y 134.44 %. El promedio de la granulometría indica que en el material predominan los finos con un 81.50 %, las arenas con un 18.50 % y las gravas con 0.00 %. Se obtuvo un límite líquido entre 185.60 y 427 % y límite plástico entre 43.36 y 133.63 %. Se obtuvo una densidad de sólidos entre 2.346 y 2.46, se determinó un ángulo de fricción interna entre 8 y 11 °, una cohesión entre 0.055 y 0.09 Kg/cm² y peso volumétrico natural entre 0.973 y 1.083 t/m³.

Proyecto:

GRUPO SACMAG

Línea 6, Metrobús Ciudad de México

SACMAG

Cliente: Gobierno del Distrito
Federal

Número de
revisión: A

Proyecto
número: 8195

INFORME GEOTÉCNICO, FASE I

Ubicación: Ciudad de México

Informe
preliminar Marzo, 2014

V. ANÁLISIS GEOTÉCNICO.

V.1 Sismicidad de la zona.

El sitio de estudio se encuentra dentro de la zona B, de acuerdo con la zonificación sísmica de la República Mexicana que propone el Manual de Diseño de Obras de Ingeniería para la CFE (figura 7). Aunque la Ciudad de México se encuentra ubicada en la zona B, debido a las condiciones del subsuelo del valle de México, se pueden esperar altas aceleraciones, de ello resulta una subdivisión que da origen a la zonificación sísmica del valle de México, la cual puede apreciarse en la figura 8 del anexo correspondiente. Tomando en cuenta los resultados de la exploración y por las características estratigráficas del sitio, se trata de un terreno blando (tipo III). Para la determinación de los espectros de diseño, se utilizó el programa PRODISIS, resultando las aceleraciones máximas que enlistan en la tabla 1 para cada estación.

V.2 Módulos de reacción vertical del suelo.

De acuerdo a las condiciones estratigráficas del sitio se calculó el módulo de reacción del suelo de apoyo de la cimentación con la siguiente expresión que Vesic propuso:

$$k = \frac{E_s}{B(1 - \mu_s^2)}$$

Dónde:

K_v es el módulo de reacción vertical del suelo en ton/m^3 .

E_s es el módulo de elasticidad del suelo en ton/m^2 .

B es el ancho de cimentación en m.

ν_s es la relación de Poisson del suelo (ad).

		Proyecto: Línea 6, Metrobús Ciudad de México		
Cliente: Gobierno del Distrito Federal	INFORME GEOTÉCNICO, FASE I		Número de revisión: A	
Proyecto número: 8195			Informe preliminar	Marzo, 2014
Ubicación: Ciudad de México				

X. REFERENCIAS.

- Reglamento de construcciones del Distrito Federal.
- Bowles, J. (1996). Foundation Analysis and Design. Mc Graw Hill, 5a. Edición.
- CFE. (2008). Espectro sísmico de diseño para estructuras.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. (1970). Manual de Mecánica de suelos. México: Secretaría de Recursos Hidráulicos, Segunda Edición.
- Servicio Geológico Mexicano. (2011). Carta geológica del Distrito Federal.
- Terzagui, K., & Peck, R. (1955). Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica.
- Manual de Diseño de Obras Civiles. Geotecnia B.2.4. Cimentación en Suelos, C.F.E - 2008.
- Normas técnicas complementarias para el Diseño y construcción de cimentaciones.