



Estudio de Mecánica de Suelos para el diseño geotécnico de la cimentación de la Estación Luz Saviñón que forma parte del proyecto Ampliación de la Línea 3 del Metrobús

Benito Juárez, Ciudad de México, México

Informe preparado para:



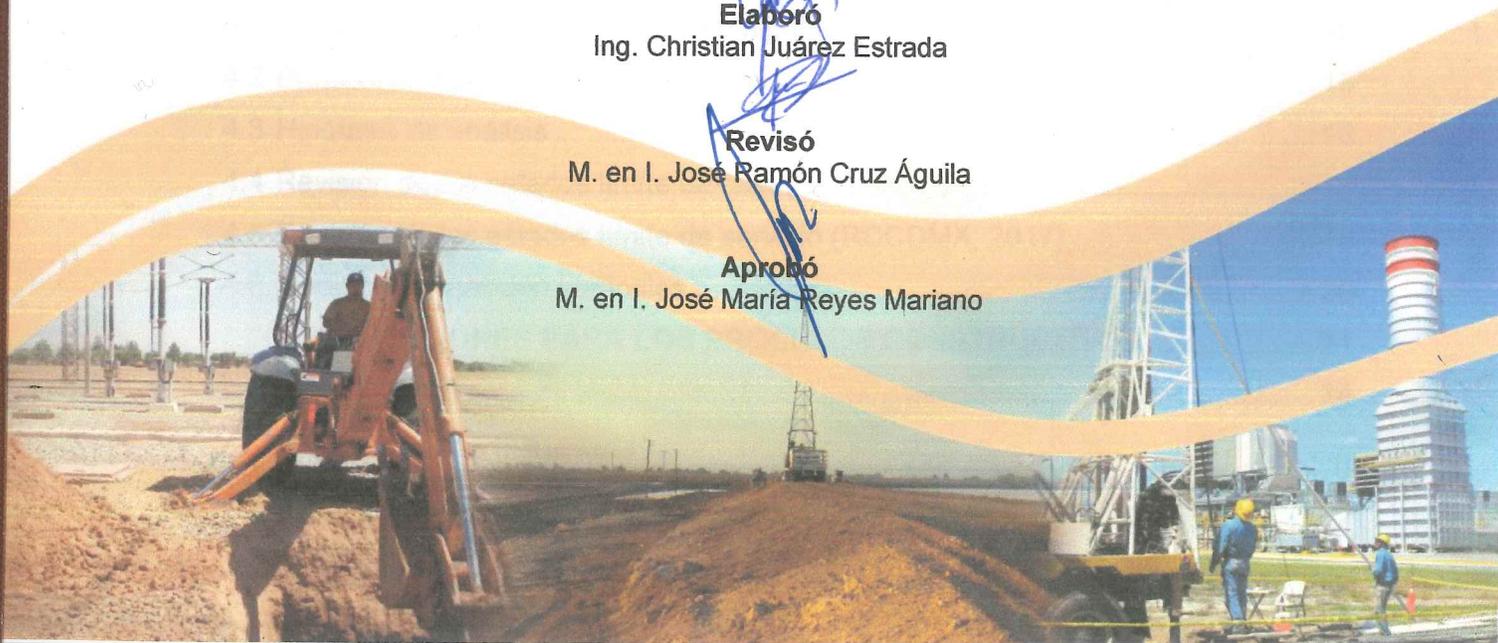
**Informe final
EMS-CCMT-19-04-01**

Octubre de 2019

Elaboró
Ing. Christian Juárez Estrada

Revisó
M. en I. José Ramón Cruz Águila

Aprobó
M. en I. José María Reyes Mariano





CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE TABLAS	ii
LISTA DE ECUACIONES	iii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivo y alcances	2
1.3 Información proporcionada	2
1.4 Descripción general del proyecto	3
2 TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO	5
2.1 Trabajos de exploración geotécnica	5
2.2 Trabajos de laboratorio	7
3 CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL SITIO	9
3.1 Zonificación geotécnica (RCDF-2017)	9
3.2 Hundimiento regional	10
3.3 Aspectos sísmicos	11
3.4 Atlas de riesgo de la Ciudad de México	12
3.5 Riesgos geológicos y geotécnicos	13
3.6 Modelo geotécnico	14
4 ANÁLISIS GEOTÉCNICOS	15
4.1 Cargas a nivel de la cimentación e hipótesis de análisis	15
4.2 Propuesta para la cimentación de las estructuras	15
4.3 Hipótesis de análisis	16
4.4 Revisión de los estados límite de falla (RCCDMX, 2017)	17
4.5 Revisión de los estados límite de servicio (RCCDMX, 2017)	18
4.6 Módulos de reacción verticales	20
5 RECOMENDACIONES PARA LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS	21
6 CONCLUSIONES	24



REFERENCIAS..... 26

- Anexo A Reportes de exploración geotécnica**
- Anexo B Resultados de laboratorio**
- Anexo C Reporte fotográfico**
- Anexo D Memorías de cálculo**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Vista general de localización del sitio en estudio, estación Luz Saviñón, Ampliación de la L3 del MB, Ciudad de México (INEGI 2018).....	1
Figura 1.2. Trazo de la ampliación de la Línea 3 del Metrobús y ubicación de la estación Luz Saviñón.....	3
Figura 1.3. Vista en corte de la estación Luz Saviñón, tomando como referencia las estaciones Eugenia, División del Norte y Terminal Xoco	4
Figura 1.4. Vista en corte de la estación Luz Saviñón, tomando como referencia las estaciones Eugenia, División del Norte y Terminal Xoco (CEMEX, 2019)	4
Figura 2.1. Instalación e inicio de los trabajos de exploración.....	5
Figura 2.2. Remoción de la carpeta asfáltica y excavación del PCA.....	5
Figura 2.3. Muestreo de los materiales encontrados durante la exploración.....	6
Figura 2.4. Relleno del PCA y compactación del material asfáltico.....	6
Figura 3.1. Zonificación geotécnica y localización de la estación Luz Saviñón (RCDF, 2017)	9
Figura 3.2. Hundimiento regional registrado por el II-UNAM entre 1998-2002 (Méndez, et al., 2010)	10
Figura 3.3. Espectro de diseño sísmico, estación Luz Saviñón, CDMX (SASID, 2017)	11
Figura 3.4. Ubicación de la estación Luz Saviñón en el contexto del Atlas de Riesgos de la Ciudad de México (SGIRPC, 2019).....	12
Figura 3.5. Riesgos geológico-geotécnicos identificados por medio del Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2018)	13
Figura 4.1. Modificación del mecanismo de falla del cajón de Metrobús debido a la presencia del cajón de la Línea 3 del Metro.....	17
Figura 5.1. Zona mínima de homologación de calidades del material de relleno	23

LISTA DE TABLAS



Tabla 2.1 Muestras recuperadas de la exploración mediante pozos a cielo abierto..... 7
Tabla 2.2 Resultados de laboratorio del PCA-01 y PCA-02, estación Luz Saviñón 8
Tabla 3.1 Modelo geotécnico propuesto para la estación del MB Luz Saviñón..... 14
Tabla 4.1. Verificación del estado límite de falla de acuerdo con el NTC-DC (2017) 18

CEMEX México

LISTA DE ECUACIONES

Módulo de Elasticidad

Ecuación 4.1..... 18
Ecuación 4.2..... 19
Ecuación 4.3..... 20

[Handwritten signatures in blue ink on the right margin]

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

CEMEX México (CEMEX), a través de su departamento de Abasto, solicitó a DICIMSA ejecutar el Estudio de Mecánica de Suelos para el diseño geotécnico de la cimentación de la estación Luz Saviñón, misma que forma parte del proyecto Ampliación de la Línea 3 del Metrobús (MB). Esta estación se ubicará sobre el Eje 1 Poniente Av. Cuauhtémoc esquina con Luz Saviñón, en la Alcaldía Benito Juárez, Ciudad de México. La ubicación del sitio en estudio, en el contexto cartográfico proporcionado por el INEGI (2018), se presenta en la Figura 1.1.

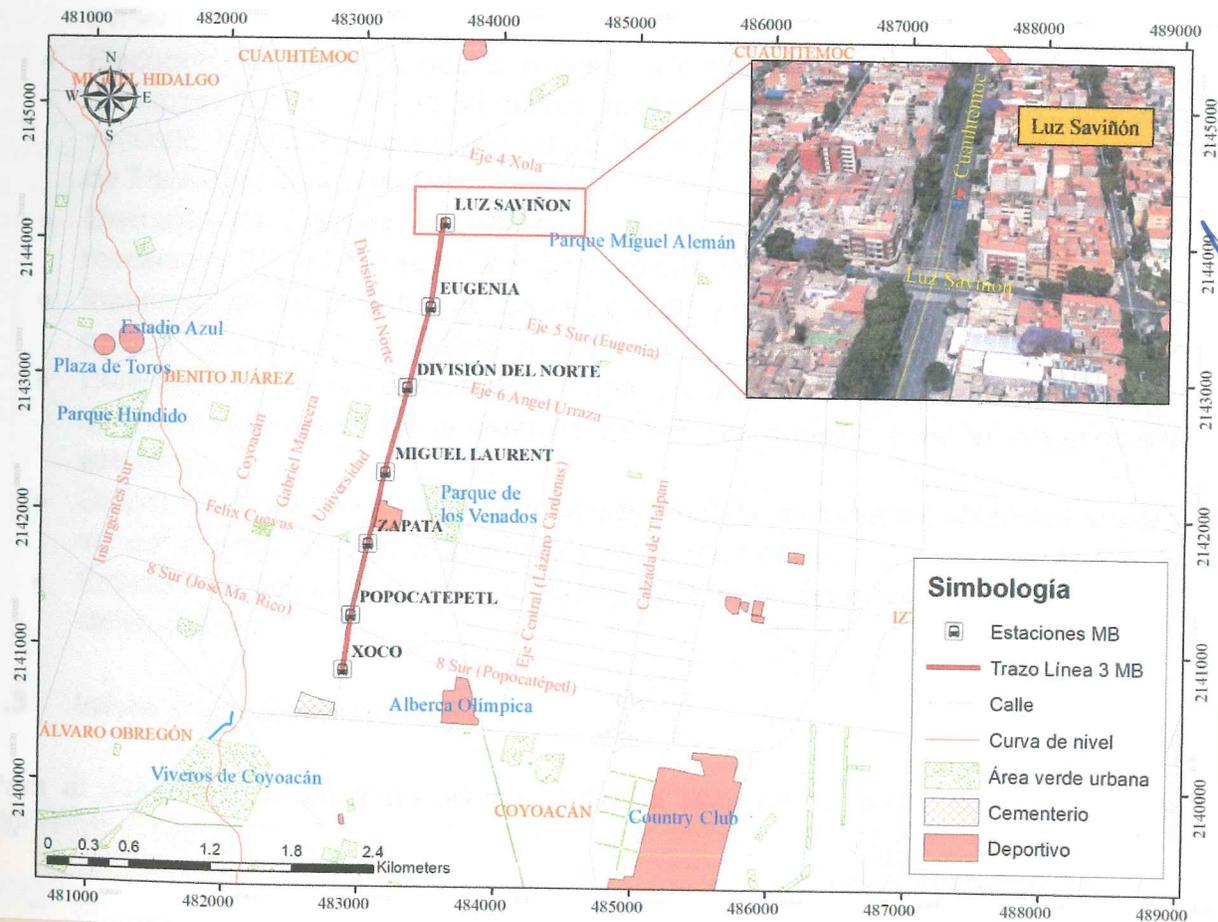


Figura 1.1. Vista general de localización del sitio en estudio, estación Luz Saviñón, Ampliación de la L3 del MB, Ciudad de México (INEGI 2018)



1.2 Objetivo y alcances

El objetivo central del presente estudio consiste en determinar la capacidad de carga del cajón de cimentación que soportará las cargas generadas por la estación Luz Saviñón; asimismo, proporcionar el valor de VRS de las muestras de obtenidas *in situ* para ser considerado en el diseño de pavimentos rígidos; y, finalmente, generar recomendaciones para los procesos constructivos del cajón de cimentación. Para cumplir con estos objetivos se plantearon los alcances siguientes:

- Especialistas en geotecnia realizaron un reconocimiento del sitio en estudio para identificar la presencia de anomalías geotécnicas (en el caso de existir) que debieran ser consideradas en el diseño de las cimentaciones, tales como sistemas de fallas, evidencias de agrietamientos regionales o la presencia de estructuras enterradas.
- Ejecución y muestreo de dos (2) pozos a cielo abierto (PCA) a profundidades máximas de exploración de 1.55 y 1.30 metros; profundidad en donde se encontró una losa de concreto, presumiblemente asociada con el cajón de cimentación de la L3 del Sistema de Transporte Colectivo Metro.
- Ejecución de pruebas de laboratorio para determinar las propiedades índice y mecánicas del material sobre el cual se desplantará el cajón de cimentación.
- Interpretación estratigráfica del sitio en estudio y determinación del modelo geotécnico para la ejecución de los análisis geotécnicos.
- Determinación de la capacidad de carga, asentamientos y módulos de reacción del cajón de cimentación de la estación de MB Luz Saviñón para su posterior diseño estructural.
- Determinación del valor relativo de soporte (VRS) de las muestras obtenidas *in situ* para ser considerado durante el diseño de pavimentos rígidos.
- Emisión de recomendaciones generales para el proceso constructivo del cajón de cimentación.

[Handwritten signatures and initials in blue ink on the right margin]

1.3 Información proporcionada

Para el desarrollo del presente informe, CEMEX proporcionó a DICIMSA la información siguiente:

- Eje del trazo del proyecto de ampliación de la Línea 3 del Metrobús (marzo de 2019); archivo electrónico en formato PDF: "190912_Eje de Trazo".

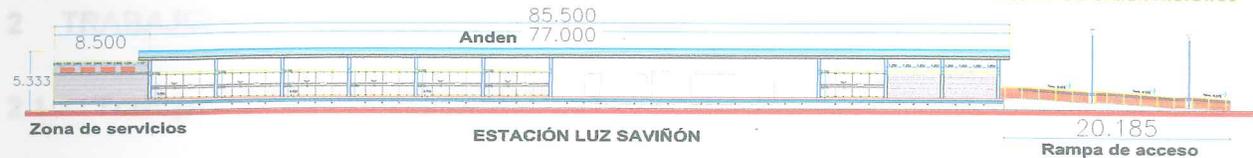


Figura 1.3. Vista en corte de la estación Luz Saviñón, tomando como referencia las estaciones Eugenia, División del Norte y Terminal Xoco

Tomando como referencia la información proporcionada acerca de las estaciones del MB División del Norte, Eugenia y Terminal Hospital General Xoco (CEMEX, 2019), se asume como hipótesis que la estación Luz Saviñón constará de un andén cubierto por una techumbre ligera, como se muestra en la Figura 1.4. Dicha techumbre estará soportada por una estructura metálica compuesta por perfiles de acero. De igual manera, se asume que tanto el andén como la techumbre de la estación Luz Saviñón se apoyarán sobre un cajón de concreto armado de 3.4 m de ancho desplantado a una profundidad que oscila entre 0.8 y 2.0 m a partir de la superficie vial de concreto hidráulico, dependiendo de la capacidad de carga del suelo y la posición de estructuras subterráneas.

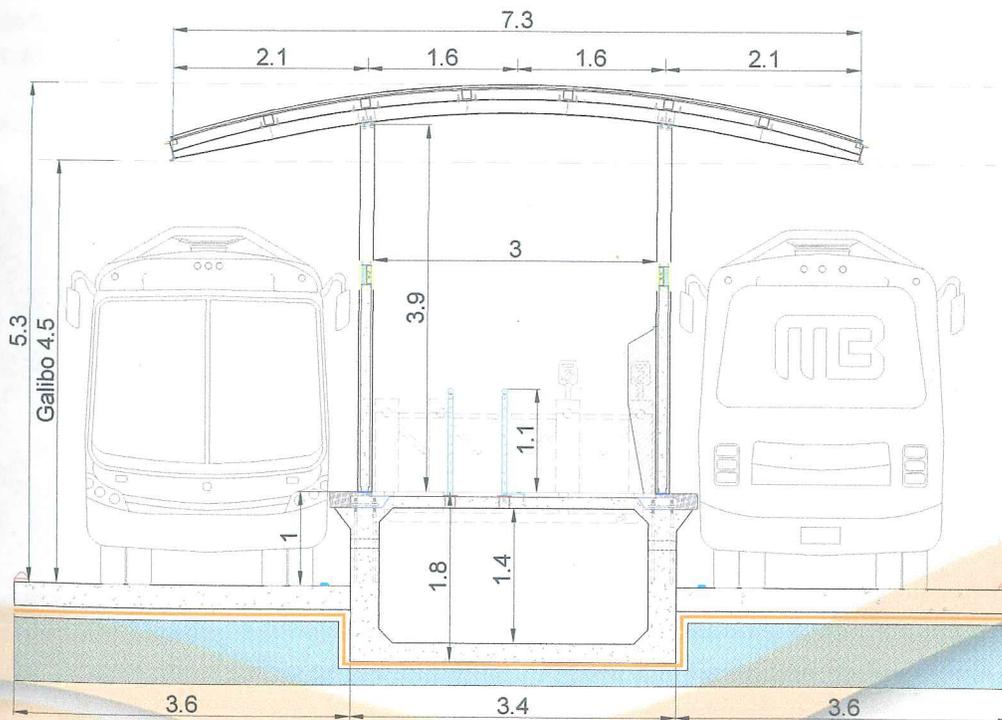


Figura 1.4. Vista en corte de la estación Luz Saviñón, tomando como referencia las estaciones Eugenia, División del Norte y Terminal Xoco (CEMEX, 2019)

2 TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO

2.1 Trabajos de exploración geotécnica

Los trabajos de exploración geotécnica efectuados para fines del presente estudio constaron en la ejecución de dos (2) pozos a cielo abierto, en los cuales se alcanzaron profundidades máximas de exploración de 1.55 y 1.30 metros, medidos a partir del nivel de la superficie vial de concreto asfáltico. A esta profundidad se encontró una losa de concreto, presumiblemente asociada con el cajón de cimentación de la L3 del Sistema de Transporte Colectivo Metro. En las Figuras 2.1 a 2.4, se muestran los trabajos de exploración y muestreo realizados. El nivel de aguas freáticas no se detectó durante los trabajos de exploración. En la Tabla 2.1 se enlistan las muestras extraídas de los pozos a cielo abierto y su ubicación geográfica. En el Anexo A se presenta el reporte de exploración.

A partir de estos trabajos fueron recuperadas muestras alteradas con la finalidad de conocer la composición y características de los materiales que subyacen a la carpeta asfáltica, ya que dichos materiales servirán como desplante del cajón de cimentación de la estación Luz Saviñón. Debido a la importancia de la vialidad sobre la cual ha sido proyectado el eje de la ampliación, los trabajos de exploración fueron nocturnos y programados a ejecutarse una vez que el flujo vehicular descendiera, con horario de 23:00 a 5:00 horas. Adicionalmente, como medida de seguridad, el punto de exploración fue confinado con las medidas y el equipo de seguridad pertinente.



Figura 2.1. Instalación e inicio de los trabajos de exploración



Figura 2.2. Remoción de la carpeta asfáltica y excavación del PCA



Figura 2.3. Muestreo de los materiales encontrados durante la exploración



Figura 2.4. Relleno del PCA y compactación del material asfáltico



Tabla 2.1 Muestras recuperadas de la exploración mediante pozos a cielo abierto

Pozo	Prof. Máxima de exploración	Coordenadas UTM		Muestra	Profundidad [m]		Tipo de muestra
		X	Y		De	A	
PCA-01	1.55 m	483583	2144164	1	0.15	0.65	Representativa
				2	0.63	1.55	Representativa
				Costal 1	0.15	0.63	Alterada
				Costal 2	0.63	1.55	Alterada
PCA-02	1.30	483582	2144136	1	0.00	0.11	Representativa
				2	0.11	0.85	Representativa
				3	0.85	1.30	Representativa

2.2 Trabajos de laboratorio

Las muestras obtenidas a partir de los trabajos de exploración geotécnica fueron trasladadas al laboratorio de Mecánica de Suelos para la determinación de sus propiedades índice y propiedades mecánicas, las cuales se enlistan a continuación:

- **Contenido natural de agua ($w\%$).** Esta propiedad es usada para expresar la relación entre las fases sólida y líquida de un cierto volumen de material. Su determinación se basa en la norma ASTM D2216.
- **Análisis granulométrico.** La composición granulométrica fue determinada por medio de un análisis granulométrico completo por medio del tamizado de las muestras recuperadas durante los trabajos de exploración; esta prueba está basada en la norma ASTM D422.
- **Prueba de compactación Proctor.** Esta prueba es usada para determinar el contenido de agua óptimo de una muestra de suelo con el cual esta alcanza su máxima densidad seca. Su determinación se basa en las normas ASTM D698.
- **Valor relativo de soporte (VRS).** Por medio del VRS, determinado con base en las normas M-MMP-4-01-007 y ASTM D1883, es posible evaluar la resistencia potencial de las estructuras de los pavimentos.

A continuación, los resultados de las pruebas de laboratorio, índice y de pavimentos, se presentan en la Tabla 2.2.



Tabla 2.2 Resultados de laboratorio del PCA-01 y PCA-02, estación Luz Saviñón

Pozo	Muestra	Profundidad [m]		w [%]	γ [kN/m ³]	Granulometría			SUCS	Pavimentos		
		De	A			G [%]	S [%]	F [%]		$\gamma_{d,max}$ [kN/m ³]	W _{opt} [%]	VRS [%]
PCA-01	1	0.15	0.63	7	-	56	35	9	GP-GM	-	-	-
	2	0.63	1.55	9	-	48	42	10	GP-GM	-	-	-
	Costal 1	0.15	0.63	-	-	53	38	9	GW-GM	15.8	11.9	76.2
	Costal 2	0.63	1.55	-	-	57	36	7	GP-GM	15.8	13.1	70.8
PCA-02	Carpeta	0.00	0.11	-	22.7	-	-	-	-	-	-	-
	1	0.11	0.85	7	19.4	62	30	8	GP-GM	-	-	-
	2	0.85	1.30	18	-	41	45	14	SM	-	-	-

El Anexo B contiene los resultados de las pruebas ejecutadas en laboratorio así como sus respectivas interpretaciones.

3 CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL SITIO

3.1 Zonificación geotécnica (RCDF-2017)

El Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF-2018) y sus Normas Técnicas Complementarias (NTC-2017), desde un punto de vista geotécnico, zonifican a la Ciudad de México en tres zonas principales: Zona I (Lomas), Zona II (Transición) y Zona III (Lacustre). Una breve descripción de cada una de estas zonas es dada a continuación:

- **Zona I. Lomas:** formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre.
- **Zona II. Transición:** en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos.
- **Zona III. Lacustre:** integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla.

De manera particular, la estación Luz Saviñón se localiza dentro de la Zona III (Lacustre), tal y como se muestra en la Figura 3.1.

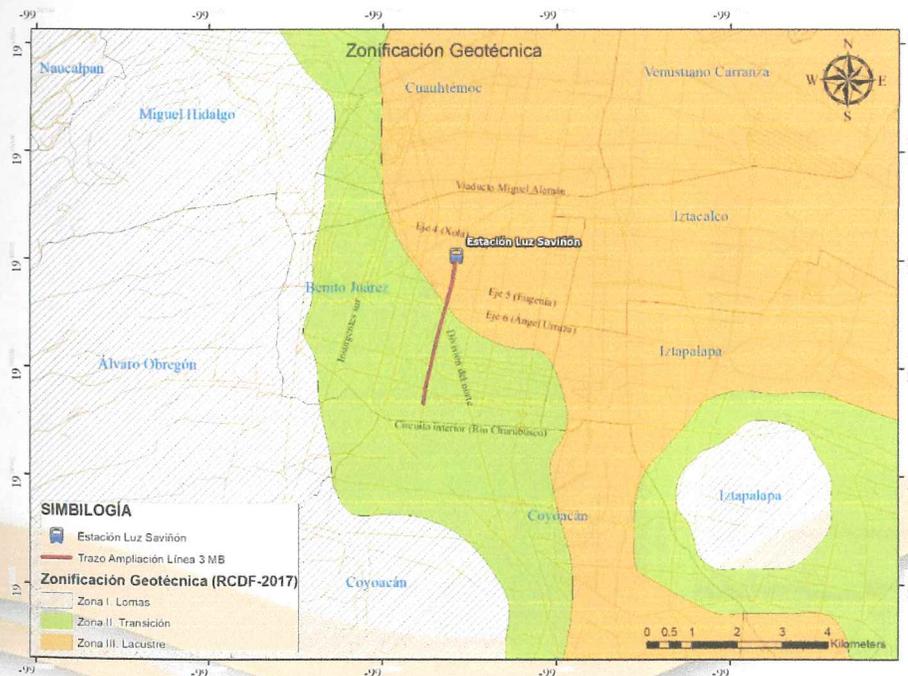


Figura 3.1. Zonificación geotécnica y localización de la estación Luz Saviñón (RCDF, 2017)

3.2 Hundimiento regional

El fenómeno de hundimiento regional en la Ciudad de México fue detectado en 1925 por el Ing. Roberto Gayol, quien lo reportó a la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos de México. Asimismo, a través de la comparación de nivelaciones realizadas desde finales del Siglo XIX contra las efectuadas en los siglos XX y XXI se ha demostrado plenamente la existencia e importancia de dicho fenómeno. El principal factor que se ha señalado como detonante del fenómeno de hundimiento regional es la pérdida de presión piezométrica en los mantos permeables como resultado de la explotación de los acuíferos dentro del área urbana de la Ciudad de México (Carrillo, 1948; Marsal y Mazari, 1959; Marsal, 1992; Lesser, 1998; Santoyo, *et al.*, 2005).

En la Figura 3.2 se muestran las velocidades de hundimiento regional para el período 1998-2002 que han sido registradas por el Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería de la UNAM. A partir de esta figura se desprende que la velocidad de hundimiento regional en la zona donde se construirá la estación Luz Saviñón está entre 0 y 4 cm/año; sin embargo, ante la presencia del cajón de la L3 del STC Metro, este fenómeno tendrá un impacto poco significativo en el comportamiento de la cimentación del MB Luz Saviñón.

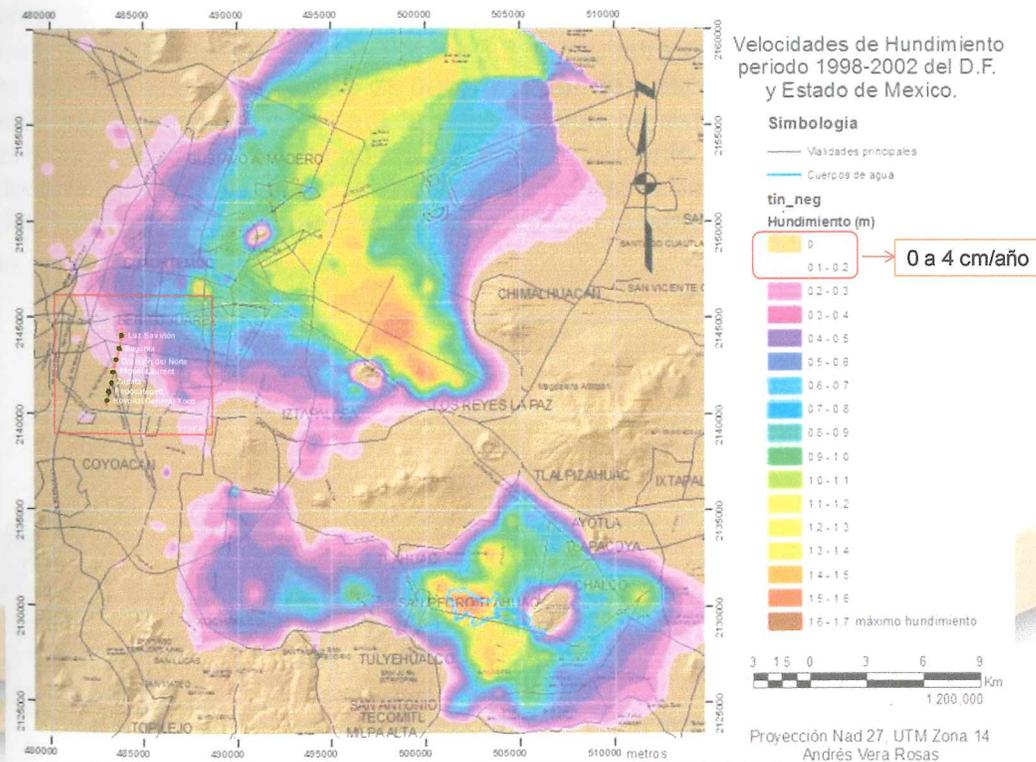


Figura 3.2. Hundimiento regional registrado por el II-UNAM entre 1998-2002 (Méndez, *et al.*, 2010)

3.3 Aspectos sísmicos

El espectro de diseño sísmico transparente se determinó con base en lo establecido en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo actualmente vigentes en la Ciudad de México (NTC-2017). Dichas normas indican que el espectro de diseño se deberá determinar a través del Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño (SASID), el cual está disponible en la página oficial del instituto para la seguridad de las construcciones en la Ciudad de México.

Por otra parte, dado que la estación Luz Saviñón será una estación de transporte masivo que deberá mantenerse en operación aún después de un sismo de magnitud importante, esta estructura se clasifica como perteneciente al grupo A y se encuentra dentro del subgrupo A1. Es decir, debido a dicha clasificación el diseño de esta estación requiere un grado de seguridad alto ante eventos sísmicos. Por tal razón, para la generación del espectro de diseño se adoptó el factor de importancia correspondiente a estructuras del subgrupo A1, que en este caso es igual a 1.5.

Con base en lo anteriormente expuesto, al espectro de diseño le corresponden valores del coeficiente sísmico de la meseta espectral (c_s) y de la aceleración pico del terreno (a_0) de 0.686 g y 0.180 g, respectivamente. En la Figura 3.3 se muestra el espectro de diseño obtenido, así como su correspondiente espectro de peligro uniforme y espectro elástico. Adicionalmente, es importante hacer mención que para la construcción de este espectro se asumieron valores unitarios para los factores de irregularidad, comportamiento sísmico y de hiperestaticidad; por tanto, durante la fase de diseño estructural dicho espectro deberá modificarse tomando en cuenta los valores correspondientes de acuerdo con la estructuración de la estación.

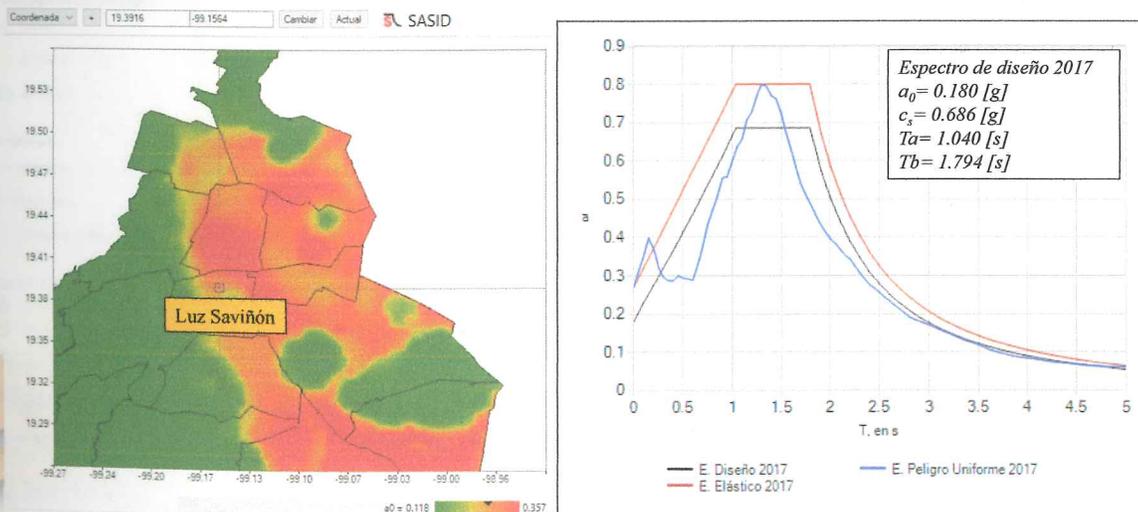


Figura 3.3. Espectro de diseño sísmico, estación Luz Saviñón, CDMX (SASID, 2017)

3.4 Atlas de riesgo de la Ciudad de México

El Atlas de Riesgos de la Ciudad de México, como lo indica la Ley de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil de la Ciudad de México (LGIRPC-CDMX, 2019), es el sistema integral de información de la ciudad que identifica de forma conjunta los daños y pérdidas esperados a los que está expuesta la población de cada una de las Alcaldías de la Ciudad de México. Por tal motivo, esta base de datos es un gran apoyo para la identificación de riesgos geológico-geotécnicos generales de un determinado sitio de estudio dentro de la ciudad, como es el caso de la estación Luz Saviñón, ubicada sobre la Av. Cuauhtémoc, entre las calles Luz Saviñón y Pedro Romero de Terreros, dentro de la Alcaldía Benito Juárez.

En la Figura 3.4 se muestra la ubicación de la estación Luz Saviñón en el contexto del Atlas de Riesgos de la Ciudad de México (SGIRPC, 2019), con énfasis en las capas de información geológica disponible a la fecha de elaboración del presente informe.

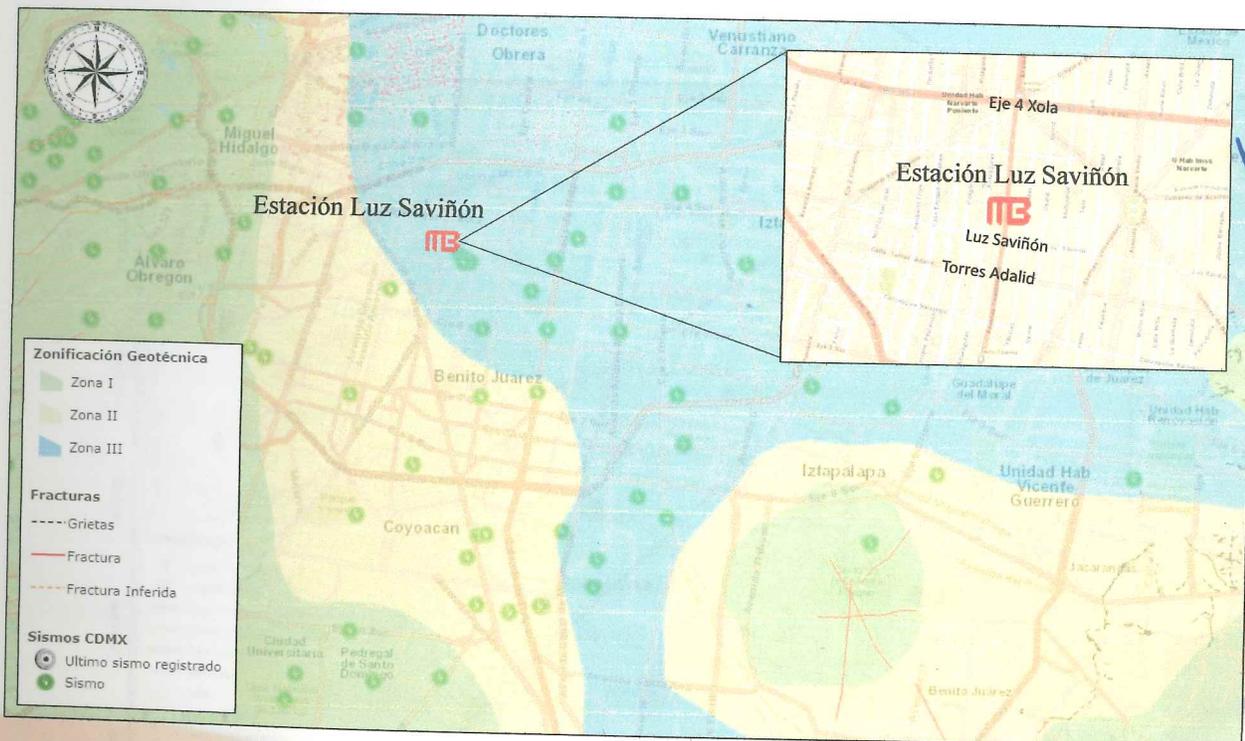


Figura 3.4. Ubicación de la estación Luz Saviñón en el contexto del Atlas de Riesgos de la Ciudad de México (SGIRPC, 2019)

3.5 Riesgos geológicos y geotécnicos

La LGIRPC-CDMX (2019), define como riesgo a todos aquellos daños y pérdidas probables sobre la población, resultado de la interacción entre las vulnerabilidades que esta tenga y la exposición ante la presencia de un fenómeno perturbador. Para el caso que compete al presente estudio, se identificaron las vulnerabilidades de tipo geológico-geotécnico registradas en el Atlas de Riesgos de la Ciudad de México (SGIRPC, 2019), tales como: fallas geológicas inferidas, fracturas y puntos importantes durante eventos sísmicos ocurridos en el pasado.

De acuerdo con base de datos del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), a través del Atlas Nacional de Riesgos, mismo que está sujeto al Artículo 2 de la Ley General de Protección Civil, la distancia de la estación Luz Saviñón a la falla inferida más cercana es de aproximadamente 770 m; asimismo, la distancia al epicentro registrado más cercano es del orden de 320 metros, Figura 3.5.

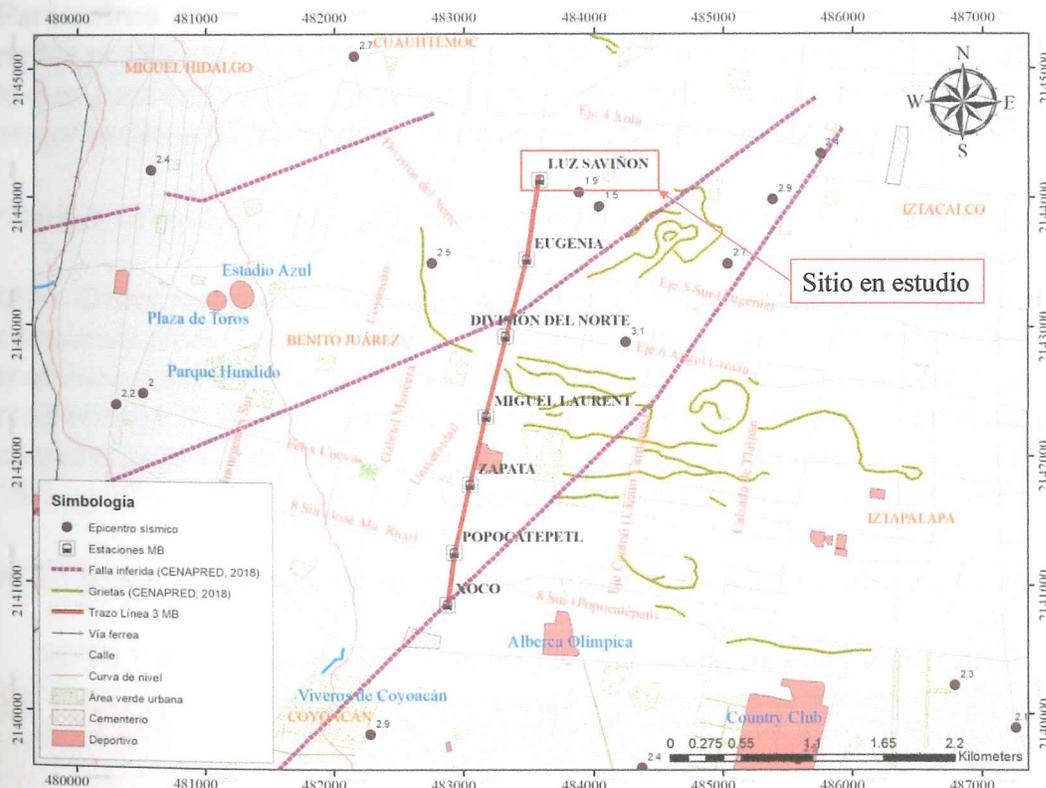


Figura 3.5. Riesgos geológico-geotécnicos identificados por medio del Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2018)



3.6 Modelo geotécnico

Al sintetizar la información proporcionada por CEMEX (2019), la generada durante los trabajos de exploración geotécnica, las pruebas de laboratorio de Mecánica de Suelos realizadas y la información proveniente de investigaciones exhaustivas realizadas para caracterizar los suelos presentes en la cuenca del Valle de México, se propuso el modelo geotécnico a través de las consideraciones siguientes:

- **Homogeneidad y horizontalidad.** Acorde con la exploración geotécnica realizada, subyaciendo a la carpeta asfáltica se encontraron dos capas de material de relleno predominantemente granular (Gravas bien graduadas con limo y arena), de compactación densa. Al considerar que estos materiales forman parte de la estructura de pavimentos de Av. Cuauhtémoc, se adoptó como hipótesis que dichos materiales se encuentran de forma homogénea en el sitio de estudio, conservando una estratigrafía sensiblemente horizontal.
- **Parámetros de resistencia.** Debido a la composición de los materiales encontrados no fue posible recuperar muestras inalteradas durante los trabajos de exploración, por lo que, para estimar sus correspondientes parámetros de resistencia y deformabilidad, se correlacionaron los Valores Relativos de Soporte (*VRS*) obtenidos en laboratorio.

A continuación, se describen las unidades estratigráficas que componen el modelo geotécnico:

- **UE-1. Grava mal graduada con limo y arena (GP-GM):** esta unidad estratigráfica está compuesta predominantemente por materiales granulares, con un porcentaje de gravas promedio (*G%*) de 53%, porcentaje promedio de arenas (*A%*) de 38% y porcentaje promedio de finos (*F%*) del orden de 9%. A partir de pruebas de compactación se obtuvo el peso volumétrico de esta capa de material, el cual tiene un valor del orden de 15.8 kN/m³ y resultados del valor relativo de soporte (*VRS*) de 71 y 76%.

La Tabla 3.1 presenta la propuesta de modelo geotécnico para la estación Luz Saviñón.

Tabla 3.1 Modelo geotécnico propuesto para la estación del MB Luz Saviñón

Unidad	Prof. [m]		Descripción	ω [%]	SUCS	γ	<i>VRS</i>	<i>c</i>	ϕ	<i>E</i>
	De:	A:				[kN/m ³]	[%]	[kPa]	[°]	[MPa]
UE-1	0.15	1.55	Grava mal graduada con limo y arena	7.2	GP-GM	15.8	71-76	5-25	35-42	35-75



4 ANÁLISIS GEOTÉCNICOS

4.1 Cargas a nivel de la cimentación e hipótesis de análisis

Al momento de la realización del presente informe se desconocen las cargas que incidirán a nivel de la cimentación para las diferentes combinaciones de diseño; por tal razón, a continuación, se presenta un análisis general de capacidad de carga para el caso de un cajón de cimentación desplantado a 0.8 m de profundidad, asimismo se presenta un análisis de sensibilidad de asentamientos para diferentes niveles de carga.

Debido a lo anterior, se enfatiza que los valores de capacidad de carga que a continuación se presentan no toman en cuenta cargas horizontales, inclinadas o momentos de volteo. Estas condiciones deberán evaluarse en la fase de diseño definitivo de la cimentación, en concomitancia con los niveles reales de carga que demanden las estructuras a nivel de la cimentación, así como los niveles de desplazamiento permisibles. En el Anexo D se presentan las memorias de cálculo de los estados límites de falla y de servicio.

4.2 Propuesta para la cimentación de las estructuras

Debido a las condiciones estratigráficas, a la presencia superficial del cajón de la Línea 3 del Sistema de Transporte Colectivo Metro, al sistema de estructuración de la estación Luz Saviñón, y a las características de resistencia y deformabilidad del depósito de suelo, se evaluó la alternativa de cimentación siguiente:

- **Cajón de cimentación** desplantado a una profundidad mínima de 0.8 metros. Esta profundidad se asumió debido a la posición de la losa superior del cajón del metro, misma que se detectó a una profundidad de 1.55 m con respecto a la superficie de rodamiento de la Av. Cuauhtémoc.
- El nivel de desplante se podrá incrementar de acuerdo con los requerimientos y especificaciones aplicables en la fase de diseño definitivo de la cimentación; sin embargo, es recomendable que se mantenga una separación de al menos 50 cm con respecto al cajón del metro, principalmente como una medida de protección del cajón del Metro durante los procesos constructivos del cajón del Metrobús.
- De no cumplirse esta condición, será recomendable optar por desplantar el cajón del Metrobús directamente sobre el cajón del Metro. En este caso deberá obtenerse la autorización expedita del Sistema de Transporte Colectivo Metro; asimismo, deberán seguirse los lineamientos y medidas de mitigación y protección del cajón del Metro que establezca dicha dependencia.



4.3 Hipótesis de análisis

Los análisis de comportamiento geotécnico del cajón de cimentación del Metrobús se hicieron tomando en cuenta las hipótesis de análisis siguientes:

- El análisis de capacidad de carga del cajón del Metrobús se estimó con base en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño de Cimentaciones publicadas en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México en diciembre de 2017. Asimismo, se tomó en cuenta el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal publicado en la misma fecha.
- El cajón de cimentación del Metrobús se clasificó como perteneciente al subgrupo A1, puesto que es una estructura que requiere mantenerse en operación aún después de un sismo de magnitud importante.
- La posición del cajón de la Línea 3 del STC Metro es constante en el tramo donde se construirá la estación Luz Saviñón; no obstante, esto deberá ratificarse con base en los resultados obtenidos mediante el estudio geofísico.
- El eje del cajón del Metrobús coincidirá con el eje del cajón de la Línea 3 del Metro.
- El ancho del cajón de la Línea 3 del Metro es cuando menos del doble que el del cajón del Metrobús; es decir, los efectos por cargas de borde serán poco significativos en el comportamiento del cajón del Metrobús.
- El cajón del Metrobús se desplantará sobre un relleno antrópico controlado de composición principalmente granular y de compacidad muy densa.
- La capacidad de carga del cajón del Metrobús está íntimamente relacionada con la posición del cajón de la Línea 3 del Metro.
- El mecanismo de falla del cajón del Metrobús será independiente al mecanismo de falla del cajón del Metro.
- El mecanismo de falla del cajón del Metrobús no se desarrollará por completo, sino que estará acotado por la posición del cajón de la Línea 3 del STC Metro, tal y como se ilustra en la Figura 4.1. Es decir, en la aplicación de la ecuación 3.3.3 de las NTC-DCC (2017) el término ancho del cimiento (B) se sustituyó por la separación entre los cajones del Metro y del Metrobús (d_c) con la finalidad de tomar en cuenta este efecto.
- En el caso de la verificación de los niveles de servicio, se consideró que la deformación vertical del relleno granular antrópico será menor que el 2% (por tratarse de un relleno controlado de composición granular); es decir, si la separación entre los cajones del Metro y del Metrobús (d_c) es igual que 0.75 m, entonces el asentamiento máximo permisible en este caso sería igual que 1.5 cm.

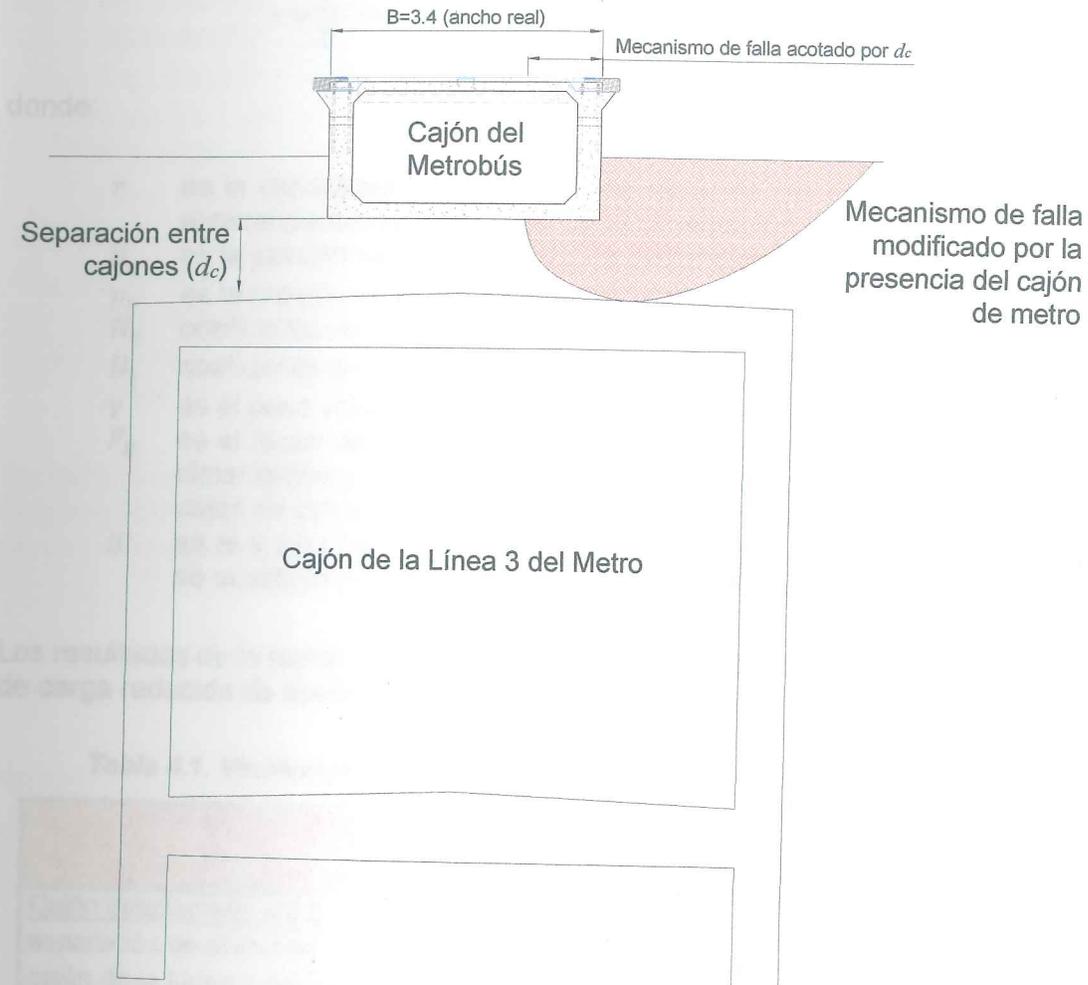


Figura 4.1. Modificación del mecanismo de falla del cajón de Metrobús debido a la presencia del cajón de la Línea 3 del Metro

4.4 Revisión de los estados límite de falla (RCCDMX, 2017)

Se realizó la revisión general de los estados límite de falla de acuerdo con el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF) y sus Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTC-DC, 2017). Se consideró un comportamiento puramente friccionante del suelo para la evaluación de la capacidad de carga dada por la ecuación que se indica a continuación (Ecuación 3.3.3 del RCDF-NTC-DC):



$$r = \left[\bar{p}_v(N_q - 1) + \frac{\gamma B N_\gamma}{2} \right] F_R + p_v$$

Ecuación 4.1

donde:

- r es la capacidad de carga unitaria reducida (es decir afectada por el factor de resistencia correspondiente) de la cimentación
- \bar{p}_v es la presión vertical efectiva a la profundidad de desplante
- p_v es la presión vertical total a la profundidad de desplante
- N_q coeficiente de capacidad de carga
- N_γ coeficiente de capacidad de carga
- γ es el peso volumétrico del suelo
- F_R es el factor de reducción de resistencia que depende del tipo de suelo, tipo de cimentación y de la ubicación geotécnica. Se tomó igual 0.35 por tratarse de un cajón de cimentación desplantado sobre un relleno granular
- B es el ancho del cimientto. Por las hipótesis anteriormente planteadas, este valor se sustituyó por la separación entre los cajones del Metro y del Metrobús (d_c)

Los resultados de la revisión se muestran en la Tabla 4.1, en donde destaca que la capacidad de carga reducida de acuerdo con las NTC-DC (2017) es igual a 386 kPa (38.6 t/m²).

Tabla 4.1. Verificación del estado límite de falla de acuerdo con el NTC-DC (2017)

Cimentación	Capacidad de carga unitaria reducida, r [kPa]
Cajón desplantado a 0.8 m de profundidad, con una separación de al menos 0.75 metros con respecto al cajón de la Línea 3 del Metro	386 (38.6 t/m ²)

4.5 Revisión de los estados límite de servicio (RCCDMX, 2017)

La revisión de estado límite de servicio del cajón de cimentación de la estación Luz Saviñón del MB se efectuó con el objetivo de estimar los posibles asentamientos producto del nivel de cargas aplicado, para lo cual se tomaron en cuenta las consideraciones siguientes:

- Se considera la ocurrencia de asentamientos por deformación elástica de los materiales de desplante debidos a la presión de contacto ejercida por la cimentación.
- Debido a que no se tiene presencia del nivel de aguas freáticas (NAF) y a que el cajón se desplantará en un depósito granular controlado de compacidad densa a muy densa,



se consideró que no se presentarán asentamientos asociados con el efecto del fenómeno de consolidación.

- Con base en el RCDF (2017), los desplazamientos verticales permisibles para la estación Luz Saviñón serían del orden de 15 cm (zona de Lago); sin embargo, debido a la presencia superficial del cajón de la Línea 3 del STC Metro, se consideró que la deformación vertical del relleno granular antrópico será menor que el 2%.
- Para la estación Luz Saviñón, se espera que la separación entre los cajones del Metro y del Metrobús (d_c) sea de cuando menos 0.75 m; por tanto, el asentamiento máximo permisible en este caso sería igual que 1.5 cm.
- La deformación elástica del subsuelo se consideró a partir del nivel de desplante de la cimentación.

En términos generales, la presión asociada con el desplazamiento permisible se estimó con la aplicación de la Ecuación 4.2. En particular se asumió que los desplazamientos por el efecto de consolidación serán nulos ($m_{v,i} = 0$).

$$\delta_{perm} = \frac{q_{desp}}{\sum v_i \left(\frac{1 - v_i^2}{E_i} + m_{v,i} \right) \int_{z_{i-1}}^{z_i} w(z, B) dz} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

dónde:

δ_{perm} = desplazamiento, que deberá ser igual o menor que 1.5 cm (asentamiento permisible)

q_{desp} = presión asociada al desplazamiento permisible

E_i = módulo de deformación no drenado del estrato i .

$m_{v,i}$ = índice de compresibilidad volumétrica del estrato i

v_i = relación de Poisson del estrato i

q = presión en el cimient

El término de la integral representa la distribución de esfuerzos definida mediante la solución de Boussinesq

Al aplicar la Ecuación 4.2 para las condiciones particulares del cajón de cimentación de la estación del MB Luz Saviñón, y considerando una presión neta igual a la obtenida en la evaluación de los estados límites de falla (386 kPa), se obtiene un asentamiento del orden de 0.75 cm, inferior al mínimo permisible (1.5 cm), por tanto, se considera que la cimentación cumple con los estados límite de servicio.



4.6 Módulos de reacción verticales

Los módulos de reacción verticales (k_s) ante carga de compresión, del cajón de cimentación inicialmente se estimaron con base en la expresión siguiente:

$$k_s = \frac{q}{\delta}$$

Ecuación 4.3

dónde:

q = presión de contacto incidente en el cimiento

δ = asentamiento total del cimiento

Los módulos de reacción verticales al centro del cajón de cimentación de la estación Luz Saviñón son del orden de 51689.5 kPa/m.



5 RECOMENDACIONES PARA LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Tomando en cuenta las características del subsuelo y los resultados obtenidos durante los trabajos de campo, laboratorio y gabinete, a continuación se describen las recomendaciones generales para los procesos constructivos del cajón de cimentación de la estación del Metrobús Luz Saviñón. Estas recomendaciones son las mínimas que se deben cumplir, pero de ningún modo tienen un carácter limitativo.

- Ratificar la profundidad a la cual se encuentra el cajón del Metro a lo largo de todo el eje del Metrobús, esto podrá realizarse con base en los resultados de los estudios geofísicos, por ejemplo los desprendidos de la técnica de georadar.
- Es altamente recomendable que los ejes de los cajones del Metro y del Metrobús sean coincidentes, esto con la finalidad de evitar la eventual aparición de mecanismos de falla por efectos de borde, los cuales podrían ser de importancia principalmente ante la ocurrencia de cargas sísmicas.
- En caso de que el cajón de la L3 del STC Metro no se encontrase en todo lo largo y ancho de la zona donde se pretende construir la estación, deberá ratificarse que el comportamiento geotécnico del cajón sea el adecuado ante cargas excéntricas (sismo), principalmente.
- Los PCA realizados permitieron dilucidar que el relleno que se encuentra sobre el cajón del metro es controlado, de composición granular y de compacidad muy densa. Sin embargo, si durante la apertura de la trinchera para alojar el cajón se presentarán materiales diferentes a los encontrados en los PCA realizados, éstos deberán ser sustituidos por materiales granulares con calidad de subrasante o superior.
- En complemento con el punto anterior, es probable que el relleno granular controlado que se detectó mediante los PCA's, únicamente se encuentre sobre el ancho del cajón de la Línea 3 del STC Metro. Por tanto, esta condición deberá tomarse en cuenta, considerando una zona mínima de homologación de calidades del material de relleno. Esta zona deberá extenderse al menos 0.5 metros a partir del borde de la superficie de rodamiento del Metrobús, tal y como se ilustra en la Figura 5.1.
- La zanja donde se alojará la cimentación deberá tener el ancho y la profundidad indicados en el proyecto definitivo, se deberá garantizar que el desplante quede a una profundidad de cuando menos 0.8 m, y que exista una separación de al menos 0.5 metros entre las losas del Metro y del Metrobús.
- Las excavaciones para la construcción de cimentaciones superficiales podrán ser verticales siempre y cuando no excedan 1.5 metros de profundidad y no se detecten materiales sueltos durante la excavación.



- Una vez que se realice la excavación del cajón de cimentación, deberá verificarse que el relleno controlado no ha sufrido alteraciones por el proceso constructivo, ratificándose que el material cumpla con un nivel de compactación igual o superior a calidad de subrasante.
- En caso de ser necesario, el material que se colocará para rellenar la zanja del cajón deberá ser controlado, con calidad mínima de terraplén, y su compactación se realizará en capas de 20 cm de espesor máximo en estado suelto con el contenido de agua óptimo (+ 2% determinado en las pruebas de laboratorio que realice el área de control de calidad durante la construcción de la obra) y el número de pasadas del equipo de compactación necesarios.
- El material producto de la excavación, en ningún caso debe estar a menos de 2.0 m de distancia de la orilla de la zanja. Asimismo, este material no debe tener taludes mayores a 45° con respecto de la horizontal.
- Aún y cuando el cajón del Metrobús no sea desplantado directamente sobre el cajón de la Línea 3 del STC Metro, y especialmente si la distancia entre cajones es menor que 1.5 metros, es altamente recomendable que se verifique el adecuado comportamiento del cajón del Metro ante las cargas impuestas por el cajón del Metrobús. En esta condición podrá asumirse que el 100% de las cargas de compresión a nivel de la cimentación del Metrobús son directamente aplicadas sobre el cajón del STC Metro.

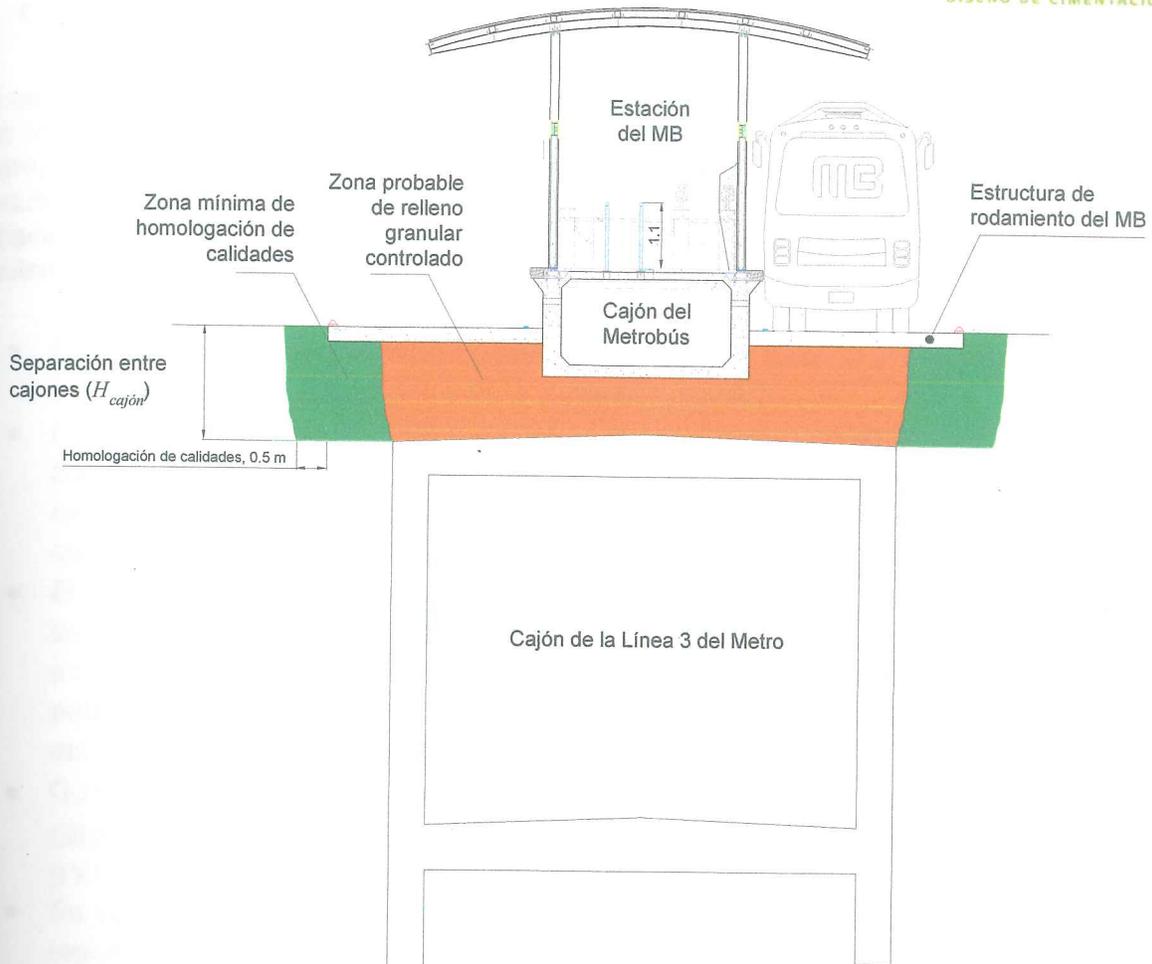


Figura 5.1. Zona mínima de homologación de calidades del material de relleno

6 CONCLUSIONES

En este informe se presenta el marco geotécnico general de la estación Luz Saviñón, misma que forma parte del proyecto de ampliación de la Línea 3 del Metrobús. Asimismo, se da cuenta de la información geotécnica regional, de los trabajos de campo y laboratorio que se ejecutaron, del modelo geotécnico integrado y los resultados del análisis geotécnico de capacidad de carga con base en las NTC-DC (2017). A partir de lo cual se emiten las siguientes conclusiones:

- De acuerdo con la zonificación geotécnica del RCDF (2017), la estación del Metrobús Luz Saviñón se localiza dentro de la Zona III (Lacustre).
- La velocidad de hundimiento regional en la zona donde se construirá la estación Luz Saviñón está entre 0 y 4 cm/año (II-UNAM, 2010); sin embargo, ante la presencia del cajón de la Línea 3 del Metro, este fenómeno tendrá un impacto poco significativo en el comportamiento de la cimentación de la estación del MB Luz Saviñón.
- El espectro de diseño sísmico transparente se determinó con base en lo establecido en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo actualmente vigentes en la Ciudad de México (NTC-2017). La estación Luz Saviñón se clasifica como perteneciente al subgrupo A1, pues deberá mantenerse en operación ante la eventual ocurrencia de un evento sísmico de intensidad importante.
- Con base en el Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño (SASID), al espectro de diseño le corresponde un coeficiente sísmico de la meseta espectral (c_s) igual a 0.686 g y una aceleración pico del terreno (a_0) 0.180 g.
- En las inmediaciones de la estación Luz Saviñón, de manera puntual, no se tienen reportes de agrietamientos o lineamientos inferidos ni por parte del Atlas de riesgos de la Ciudad de México, ni por parte del CENAPRED (Atlas Nacional); sin embargo, dicha estación se encuentra a 770 metros de un posible lineamiento geológico, en donde se han registrado eventos sísmicos con magnitud menor que 2. Sin embargo, esta información, que es de carácter indicativo, deberá ratificarse con los resultados que se obtengan del Estudio Geofísico de la Ampliación de la Línea 3 del Metrobús que CEMEX actualmente está realizando.
- El relleno granular controlado que se encuentra sobre el cajón de la Línea 3 del Sistema de Transporte Colectivo presentó un valor de V_{RS} de las muestras obtenidas *in situ* mínimo de 71% y máximo de 76%; sin embargo, para el diseño definitivo de pavimentos, deberá considerarse que es probable que este material únicamente se encuentre directamente sobre la losa del cajón de la Línea 3 del Metro.



- Para la estación del MB Luz Saviñón, se analizó un cajón de 3.4 m de ancho, desplantado a una profundidad de 0.8 m y separado 0.75 m de la losa del Cajón del Metro; obteniéndose una capacidad de carga reducida de acuerdo con las NTC-DC (2017) igual a 386 kPa (38.6 t/m²).
- Para la presión obtenida en la evaluación de los estados límites de falla (386 kPa), se calcularon los asentamientos, obteniéndose un valor del orden de 0.75 cm, inferior al establecido como mínimo permisible (1.5 cm, asociado con el 2% de deformación vertical del relleno granular que se encontrará entre los cajones del Metrobús y del STC Metro); por tanto, se considera que el cajón de cimentación de la estación del MB Luz Saviñón cumpliría con los estados límite de servicio para capacidades de carga inferiores al estado de falla.

Finalmente, se hace notar que la información y recomendaciones generales que aparecen en el presente informe son responsabilidad de DICIMSA; sin embargo, ésta no se hace responsable del uso que de ella hagan las empresas que participen en la fase de ingeniería de detalle o en la construcción del proyecto.

[Handwritten signatures in blue ink on the right margin]



REFERENCIAS

1. **ASTM D 2488-17.** Standard Practice for Description and Identification of soils (Visual – Manual Procedure).
2. **ASTM D1883-16.** Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils.
3. **ASTM D2216-10.** Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.
4. **ASTM D2487-11-** Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).
5. **ASTM D2850-15.** Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.
6. **ASTM D422-07.** Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
7. **ASTM D698-12.** Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort.
8. **Bowles, Joseph E. (1968).** **Foundation Analysis and design.** McGraw Hill.
9. **Budhu, M. (2008).** Foundation and earth retaining structures, John Wiley & Sons, Arizona.
10. **Carrillo, N. (1948).** Influence of artesian wells on the sinking of Mexico City. In Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics. Holland.
11. **CEMEX (2019).** Ampliación del Metrobús Línea 3, longitud 4.27 km, seis estaciones y una terminal, Eje 1 Pte., de Av. Xola a Bruno Traven [PDF]. Marzo 2019.
12. **Centro Nacional de Prevención de desastres, CENAPRED (2019).** Atlas Nacional de Riesgos. Ciudad de México. <http://atlasnacionalderiesgos.gob.mx>
13. **Gaceta Oficial de la Ciudad de México (2017).** Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones. Ciudad de México.
14. **Gaceta Oficial de la Ciudad de México (2017).** Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo. Ciudad de México.



15. **Gaceta Oficial de la Ciudad de México (2018).** Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Ciudad de México.
16. **INEGI (2018).** Biblioteca digital de mapas. Ags. México. <http://inegi.org.mx/app/mapas/>
17. **Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (2016).** Determinación experimental de la relación existente entre el índice de compresión de las arcillas del Ex Lago de Texcoco y sus propiedades índice. Ciudad de México, México.
18. **Lesser, J. M. (1998).** El hundimiento del terreno en la Ciudad de México y sus implicaciones en el Sistema de drenaje. Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XIII.
19. **Ley de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil de la Ciudad de México,** Ciudad de México, México, 5 de junio de 2019.
20. **Marsal, R. J., y Mazari, M. (1959).** The subsoil of Mexico City, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
21. **Marsal, R.J. (1992).** Hundimiento de la Ciudad de México, El Colegio Nacional, México.
22. **Santoyo, et al. (2005).** Síntesis geotécnica de la Cuenca del Valle de México.
23. **Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil (2019).** Atlas de Riesgos de la Ciudad de México. Ciudad de México. <http://atlas.cdmx.gob.mx>
24. **Tan, C, K., Duncan, J., Rojiani, K., and Baker, R. (1991).** Engineering Manual for Shallow Foundations. Prepared for NCHRP Project 24-4, Charles E. Via, Jr. Department of Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University.



Elaboró:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Juárez', is written over a horizontal line.

Ing. Christian Juárez Estrada

Revisó

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. Cruz', is written over a horizontal line.

M. en I. José Ramón Cruz Águila

Aprobó

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. Reyes', is written over a horizontal line.

M. en I. José María Reyes
Mariano

Av. Dr. José Ma. Vértiz no. 1097
Col. Vértiz Narvarte, Del. Benito Juárez
México, D.F. C.P. 03600
Tel.: (55) 4753 3568

contacto@dicimsa.com
www.dicimsa.com

[Handwritten signatures in blue ink]





ANEXO A

REPORTES DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

[Handwritten signatures in blue ink]





PROYECTO:

Ampliación del Metrobús Línea 3, longitud 4.27 km, seis estaciones y una terminal, Eje 1 Pte., de Av. Xola a Bruno Traven

LOCALIZACIÓN:

Estación Luz Savignon

PCA: 01

FECHA: 02/10/2019

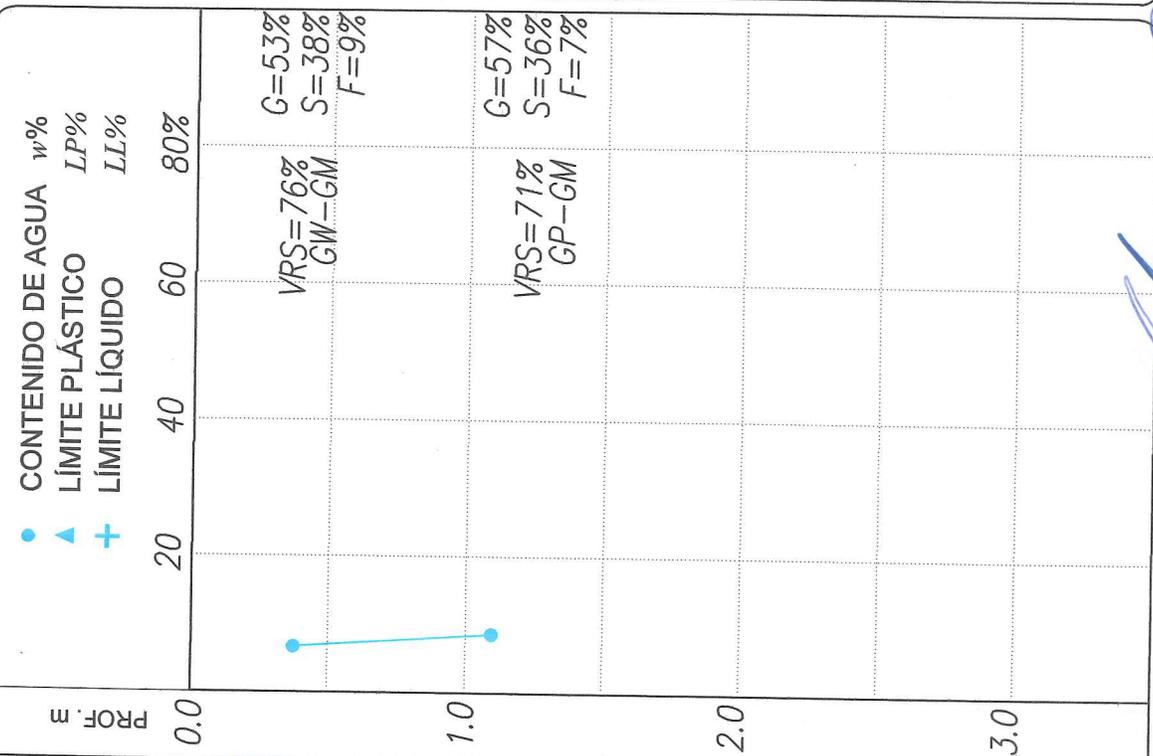
COORDENADAS UTM:

X=483583 Y=2144164

DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL MATERIAL

Carpeta asfáltica	0.15 m
Material de base compuesto por gravas bien graduadas con limo y arena (GW-GM), color café	0.78 m
Relleno compuesto por gravas mal graduadas con limo y arena (GP-GM) color café	1.55 m
Losa de concreto	

Fin del PCA 01: 1.55 m



OBSERVACIONES



NOTAS:

El PCA se finalizó al encontrar una losa de concreto a la profundidad de 1.55 m.

No se detectó presencia de NAF.

Simbología

	Arena		Arcilla
	Limo		Carpeta asfáltica
	Gravas		

[Handwritten signatures and marks]



PROYECTO:

Ampliación del Metrobús Línea 3, longitud 4.27 km, seis estaciones y una terminal, Eje 1 Pte., de Av. Xola a Bruno Traven

LOCALIZACIÓN:

Estación Luz Saviñón

PCA: 02

FECHA: 13/10/2019

COORDENADAS UTM:

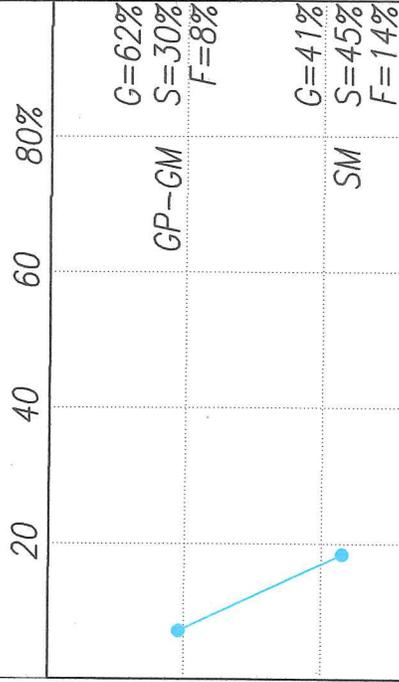
X=483582 Y=2144136

DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL MATERIAL

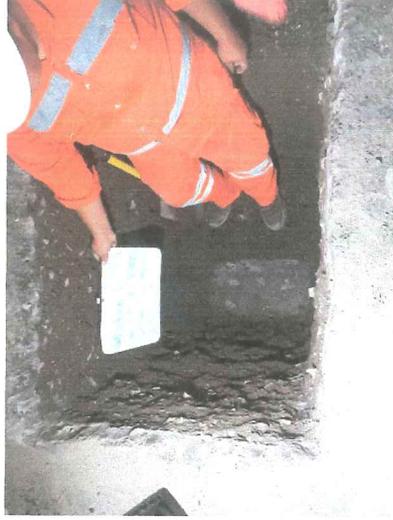
Carpeta asfáltica	0.11 m	
Material de base compuesto por grava mal graduada con limo y arena (GP-GM) color café	0.85 m	
Relleno compuesto por arena limosa con grava (SM), color gris oscuro	1.30 m	

Losa de concreto
Fin del PCA 02: 1.30 m

CONTENIDO DE AGUA w%
LÍMITE PLÁSTICO LP%
LÍMITE LÍQUIDO LL%



OBSERVACIONES

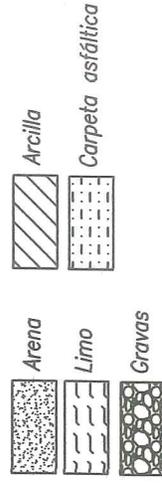


NOTAS:

El PCA se finalizó al encontrar una losa de concreto a la profundidad de 1.30 m.

No se detectó presencia de NAF.

Simbología



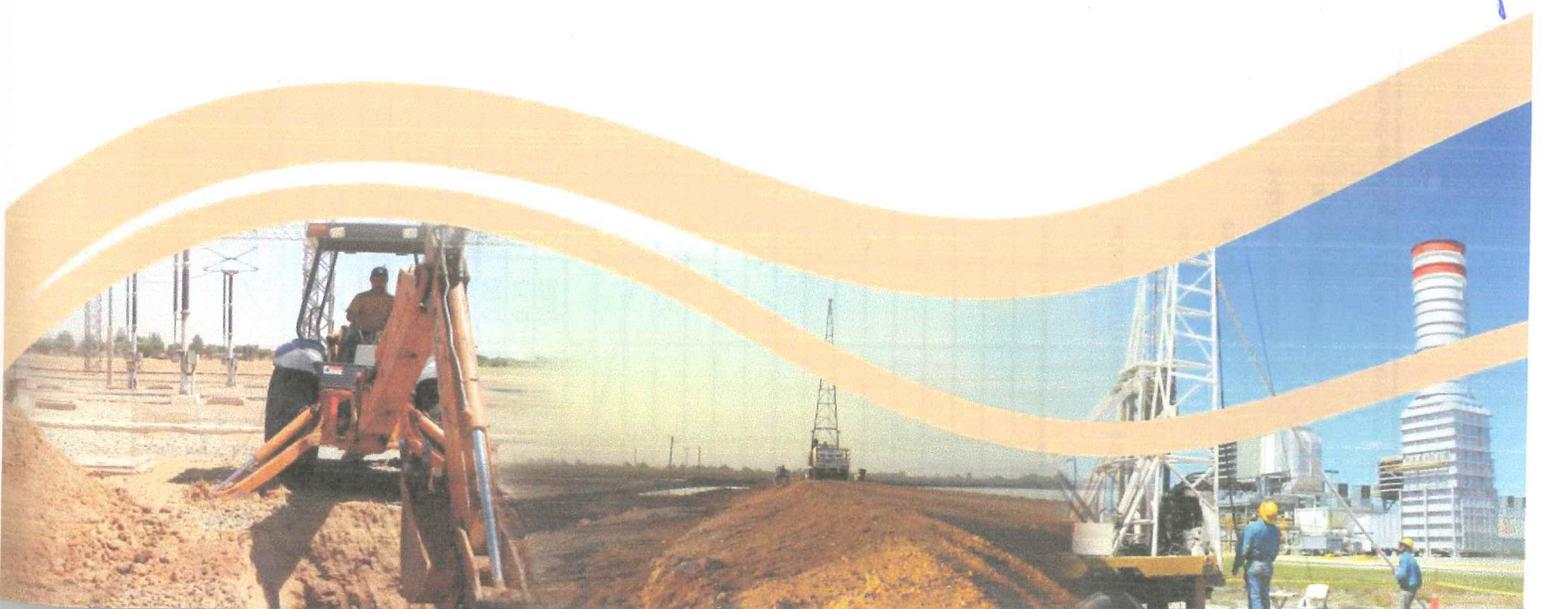
[Handwritten signatures and marks in blue ink]



ANEXO B

RESULTADOS DE LABORATORIO

[Handwritten signatures in blue ink]





PROYECTO: Ampliación del Metrobús Línea 3, longitud 4.27 km, seis estaciones y una terminal. Eje 1 Pte., de Av. Xola a Bruno Traven



Estación Luz Savifión

Pozo	Muestra No.	Profundidad [m]		Propiedades índice										Triaxial UU					Estructura de pavimentos			
		de	a	Límites de consistencia			Granulometría simplificada				SUCS	γ [kN/m ³]	e	ϕ_u [°]	C_u [kPa]	E_u [MPa]	$\gamma_{d,max}$ [kN/m ³]	w_{opt} [%]	I.R.S. [%]			
		LL [%]	LP [%]	IP [%]	G [%]	S [%]	F [%]															
PCA-01	MR-1	0.15	0.63	7.2	-	-	56	35	9	GP-GM	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	MR-2	0.63	1.55	9.1	-	-	48	42	10	GP-GM	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	Costal-1	0.15	0.63	-	-	-	53	38	9	GW-GM	-	-	-	-	-	15.8	11.9	76.2	-			
	Costal-2	0.63	1.55	-	-	-	57	36	7	GP-GM	-	-	-	-	-	15.8	13.1	70.8	-			
PCA-02	Carpeta	0.00	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.7	-	-	-	-			
	MR-1	0.11	0.85	7.1	-	-	62	30	8	GP-GM	19.4	-	-	-	-	-	-	-	-			
	MR-2	0.85	1.30	18.4	-	-	41	45	14	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

Nota:

T - Muestra inalterada (tubo shelby)

Donde:

LL [%]	Límite líquido	G [%]	Gravas	γ [kN/m ³]	Peso volumétrico natural	e	Relación de vacíos
LP [%]	Límite plástico	S [%]	Arenas	c_u [kPa]	Resistencia no drenada al esfuerzo cortante	$\gamma_{d,max}$ [kN/m ³]	Peso volumétrico seco máximo
IP [%]	Índice de plasticidad	F [%]	Finos	ϕ_u [°]	Ángulo de fricción interna	w_{opt} [%]	Contenido de agua óptimo
w [%]	Contenido de agua	E_{50} [MPa]			Módulo de elasticidad al 50% del esfuerzo de falla	I.R.S. [%]	Valor Relativo de Soporte

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

CONTENIDO NATURAL DE AGUA



OBRA:	Ampliación de la Línea 3 del Metrobús	FECHA:	14-10-19
LOCALIZACIÓN:	Estación Luz Saviñón	LABORATORISTA:	GAR
CLIENTE:	CEMEX	HOJA:	1 de 1



Sondeo No	Muestra No.	Profundidad [m]		Tara No	Peso Tara [g]	Peso Tara + Suelo Humedo [g]	Peso Tara + Suelo Seco [g]	Peso del Agua [g]	Peso del Suelo Seco [g]	Contenido de Agua [%]
		DE	A							
PCA-01	MIR-1	0.15	0.63	7	121.65	897.88	845.57	52.31	723.92	7.23
	MIR-2	0.63	1.55	32	120.00	1014.30	939.88	74.42	819.88	9.08
PCA-02	MIR-2	0.11	0.85	7	121.66	1353.32	1272.05	81.27	1150.39	7.06
	MIR-3	0.85	1.30	6	117.78	1684	1440.4	243.6	1322.62	18.42



Obra:	Ampliación Línea 3 del Metrobús
Ubicación:	Estación Luz Saviñón

**DETERMINACIÓN DE PESO VOLUMÉTRICO NATURAL (γ_n)
POR EL PROCEDIMIENTO DE INMERSIÓN CON PARAFINA**

Operador	GAR
Ing. De Proyecto	CIE
Fecha	14/10/2019

Ensaye No.	Muestra No.	Prof: (m)	Peso Humedo Inicial (g)	Peso con Parafina (g)	Peso Sumergido (g)	Diferencia (g)	Especimen con Parafina (g)	Peso de Parafina		Peso Volum. (γ)
								Total (g)	Especim. (g)	
1	PCA-02 M-1	0.00-0.11	657.02	707.23	368.12	50.21	339.11	51.76	287.35	2.287
2			766.55	842.84	425.32	76.29	417.52	78.65	338.87	2.262
PROMEDIO										
1	PCA-02 M-2	0.11-0.85	414.81	448.26	200.97	33.45	247.29	34.48	212.81	1.949
2			235.48	260.32	113.21	24.84	147.11	25.61	121.50	1.938
PROMEDIO										
1.944										

Handwritten signatures in blue ink, including a large signature at the top right and several smaller ones below it.



Reporte de Análisis Granulométrico

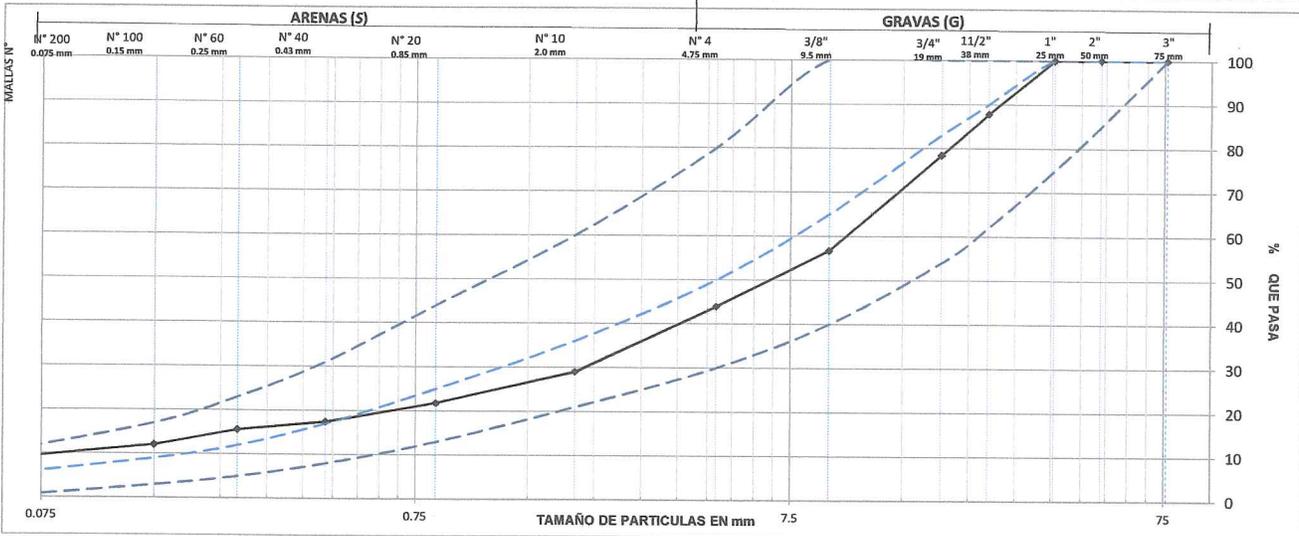
M-MMP-1-06/03

Cliente : CEMEX Obra : Ampliación Línea 3 del Metrobús Ubicación : Estación Luz Saviñón Sondeo : PCA-01 Profundidad : 0.15 m - 0.63 m	Capa : MR-1 Fecha de muestreo : 2 de octubre de 2019 Fecha de prueba : 4 de octubre de 2019 Laboratorista : Germán Aguilar Ramírez
--	---

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Peso Total de la Muestra :		723.92 (g)		Fracción Retenida en Malla N°4 :		405.68 (g)	
Fracción que Pasa la Malla N°4 :		318.24 (g)		Peso Corregido por Humedad :		0.00 (g)	
Material más Fino que la Malla (0.075 mm)	Peso Tara (g)	0.00		Peso de muestra de material fino:		318.24	
	P. Mat. Ret + Tara	62.64		P. Mat. Retenido (g)	62.64		Pérdida por Lavado (%)

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N° 4				MATERIAL QUE PASA EN LA MALLA N° 4			
Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial %	Material que Pasa %	Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Material que Pasa (%)
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00	2.0 mm N°10	108.10	14.93	29.03
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00	0.85 mm N°20	52.25	7.22	21.81
38.1 mm (1 1/2")	0.00	0.00	100.00	0.43 mm N°40	31.46	4.35	17.46
25.4 mm (1")	87.79	12.13	87.87	0.25 mm N°60	13.37	1.85	15.62
19.05 mm (3/4")	68.14	9.41	78.46	0.15 mm N°100	25.49	3.52	12.10
9.525 mm (3/8")	157.19	21.71	56.75	0.075 mm N°200	24.93	3.44	8.65
4.75 mm N°4	92.56	12.79	43.96	Pasa 0.075 mm N°200	62.64	8.65	
Pasa 4.75 mm N°4	318.24	43.96		Sumas	318.24	43.96	
Sumas	723.92	100.00		Análisis Efectuado con :	318.24		
Peso Total de la Muestra	723.92						



$D_{10} = 0.10$
 $D_{30} = 2.10$
 $D_{60} = 10.10$

$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 101.00$
 $C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 4.37$

RETENIDO EN %

3" =	0.00
G =	56.04
S =	35.31
F =	8.65
%	100.00

SUCS:

GP-GM

<i>Laboratorista</i>	<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
Germán Aguilar Ramírez	Ana Paola Ramírez Delgado	Adrián Iván Cázarez Acosta

Handwritten signatures and initials on the right margin.



Reporte de Análisis Granulométrico

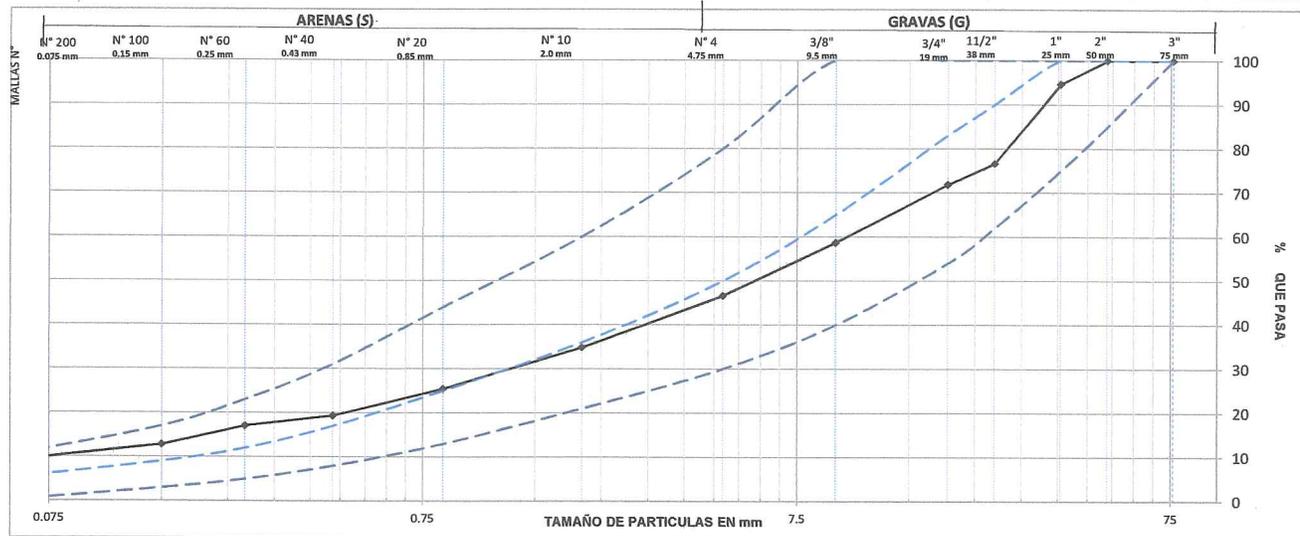
M-MMP-1-06/03

Cliente :	CEMEX	Capa :	Costal 1
Obra :	Ampliación Línea 3 del Metrobús	Fecha de muestreo:	2 de octubre de 2019
Ubicación :	Estación Luz Saviñón	Fecha de prueba :	4 de octubre de 2019
Sondeo :	PCA-01	Laboratorista :	Germán Aguilar Ramírez
Profundidad :	0.15 m - 0.63 m		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Peso Total de la Muestra :	8579.00 (g)	Fracción Retenida en Malla N°4 :	4574.00 (g)
Fracción que Pasa la Malla N°4 :	4005.00 (g)	Peso Corregido por Humedad :	0.00 (g)
Material más Fino que la Malla (0.075 mm)	Peso Tara (g) 0.00	Peso Mat. + Tara (g)	Peso de muestra de material fino: 768.02
	P. Mat. Ret + Tara 147.80	P. Mat. Retenido (g)	147.80
		Pérdida por Lavado (%)	0.81

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N° 4				MATERIAL QUE PASA EN LA MALLA N° 4			
Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial %	Material que Pasa %	Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Material que Pasa (%)
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00	2.0 mm N°10	194.45	11.82	34.86
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00	0.85 mm N°20	154.78	9.41	25.46
38.1 mm (1 1/2")	456.00	5.32	94.68	0.43 mm N°40	99.64	6.06	19.40
25.4 mm (1")	1546.00	18.02	76.66	0.25 mm N°60	38.19	2.32	17.08
19.05 mm (3/4")	409.00	4.77	71.90	0.15 mm N°100	70.12	4.26	12.82
9.525 mm (3/8")	1131.00	13.18	58.71	0.075 mm N°200	63.04	3.83	8.98
4.75 mm N°4	1032.00	12.03	46.68	Pasa 0.075 mm N°200	147.80	8.98	
Pasa 4.75 mm N°4	4005.00	46.68		Sumas	768.02	46.68	
Sumas	8579.00	100.00		Análisis Efectuado con :	768.02		
Peso Total de la Muestra	8579.00						



$D_{10} = 0.08$ $D_{30} = 1.40$ $D_{60} = 10.10$	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 126.25$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 2.43$	RETENIDO EN % 3" = 0.00 G = 53.32 S = 37.70 F = 8.98 % 100.00	SUCS: <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">GW-GM</p>
--	--	---	---

Laboratorista	Elaboró	Revisó
Germán Aguilar Ramírez	Ana Paola Ramírez Delgado	Adrián Iván Cázarez Acosta

Handwritten signatures and initials on the right margin.



Reporte de Análisis Granulométrico

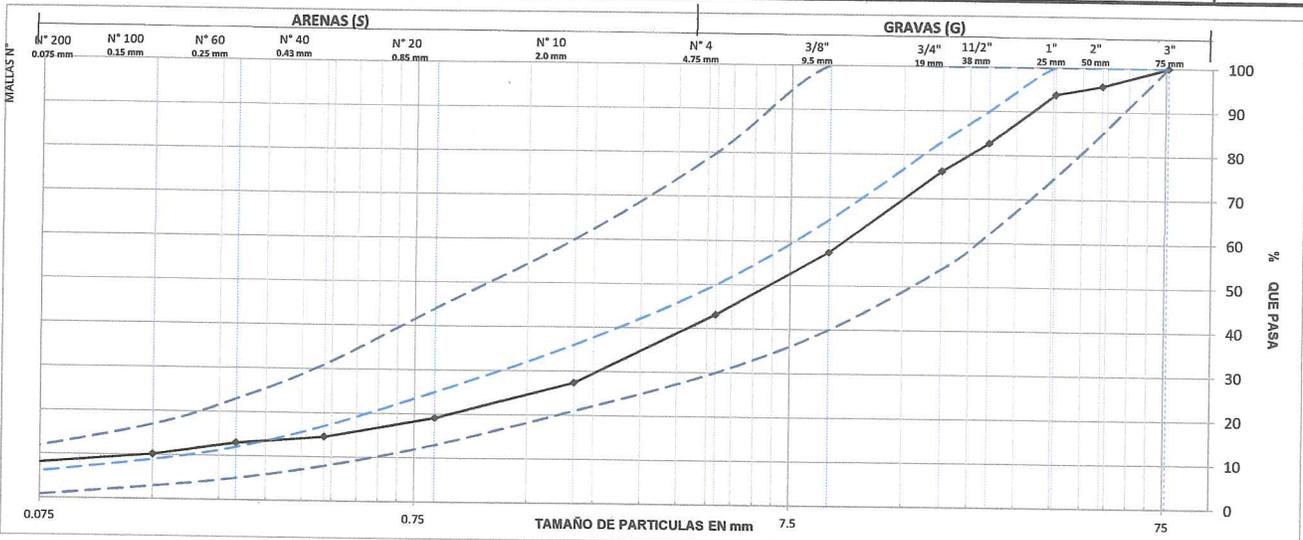
M-MMP-1-06/03

Cliente : CEMEX	Capa : Costal 2
Obra : Ampliación Línea 3 del Metrobús	Fecha de muestreo: 2 de octubre de 2019
Ubicación : Estación Luz Saviñón	Fecha de prueba : 4 de octubre de 2019
Sondeo : PCA-01	Laboratorista : Germán Aguilar Ramírez
Profundidad : 0.63 m - 1.55 m	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Peso Total de la Muestra :		7080.00 (g)	Fracción Retenida en Malla N°4 :		4017.00 (g)
Fracción que Pasa la Malla N°4 :		3063.00 (g)	Peso Corregido por Humedad :		0.00 (g)
Material más Fino que la Malla (0.075 mm)	Peso Tara (g)	0.00	Peso Mat. + Tara (g)	Peso de muestra de material fino:	852.62
	P. Mat. Ret + Tara	145.41	P. Mat. Retenido (g)	145.41	Pérdida por Lavado (%)
					0.83

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N° 4				MATERIAL QUE PASA EN LA MALLA N° 4			
Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial %	Material que Pasa %	Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Material que Pasa (%)
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00	2.0 mm N°10	312.09	15.84	43.26
50.8 mm (2")	295.00	4.17	95.83	0.85 mm N°20	163.09	8.28	27.43
38.1 mm (1 1/2")	138.00	1.95	93.88	0.43 mm N°40	88.50	4.49	19.15
25.4 mm (1")	789.00	11.14	82.74	0.25 mm N°60	32.34	1.64	14.66
19.05 mm (3/4")	456.00	6.44	76.30	0.15 mm N°100	54.81	2.78	13.02
9.525 mm (3/8")	1321.00	18.66	57.64	0.075 mm N°200	56.38	2.86	10.24
4.75 mm N°4	1018.00	14.38	43.26	Pasa 0.075 mm N°200	145.41	7.38	7.38
Pasa 4.75 mm N°4	3063.00	43.26		Sumas	852.62	43.26	
Sumas	7080.00	100.00		Análisis Efectuado con :	852.62		
Peso Total de la Muestra	7080.00						



$D_{10} = 0.13$
 $D_{30} = 2.40$
 $D_{60} = 11.00$

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 84.62$$

$$C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 4.03$$

RETENIDO EN %

3" = 0.00
 G = 56.74
 S = 35.88
 F = 7.38
 % **100.00**

SUCS:

GP-GM

Laboratorista	Elaboró	Revisó
Germán Aguilar Ramírez	Ana Paola Ramírez Delgado	Adrián Iván Cázarez Acosta



COMPACTACIÓN

ASTM- D698-70 Y D1557-70
AASHTO T99-70 (ESTÁNDAR)

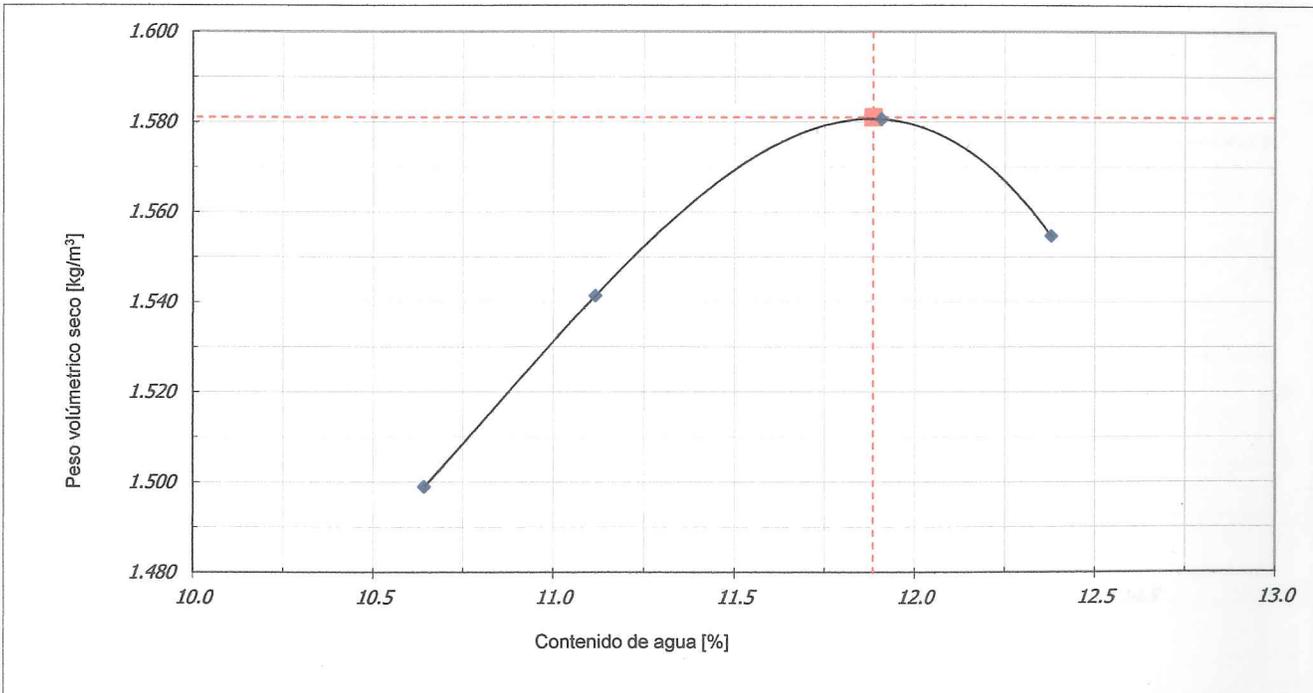
PROYECTO	Ampliación Línea 3 del Metrobús
LOCALIZACIÓN	Estación Luz Saviñón
BANCO	PCA-01
MUESTRA	Costal 1
PROF. (m)	0.15 - 0.63
FECHA	04/10/2019
OPERADOR	Germán Aguilar Ramírez

DIAM. MOLDE	VOL. MOLDE	PESO MOLDE	PESO MARTILLO	DIAM. MARTILLO	ALT. CAÍDA.	GOLPES/CAPA	CAPAS	ENERGÍA C.
cm	L	kg	kg	cm	cm	No	No	kg/cm ²
15.24	2.120	7.014	4.526	5.05	45.6	56	5	27.258

CONTENIDO DE AGUA

DATOS MOLDE

CAPSULA No	PESO CAPS g	WC+SH g	WC +Ss g	AGUA %	WH + MOLDE kg	W H kg	WS No	PESO VOL.S t/m ³
9	60.31	320.34	295.33	10.64	10.530	3.516	3.178	1.499
65	60.86	364.85	334.44	11.12	10.645	3.631	3.268	1.541
58	60.40	368.45	335.67	11.91	10.764	3.750	3.351	1.581
23	61.93	384.50	348.97	12.38	10.718	3.704	3.296	1.555



PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO
CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO

1.581	t/m ³
11.9	w%

OBSERVACIONES.



COMPACTACIÓN

ASTM- D698-70 Y D1557-70
AASHTO T99-70 (ESTÁNDAR)

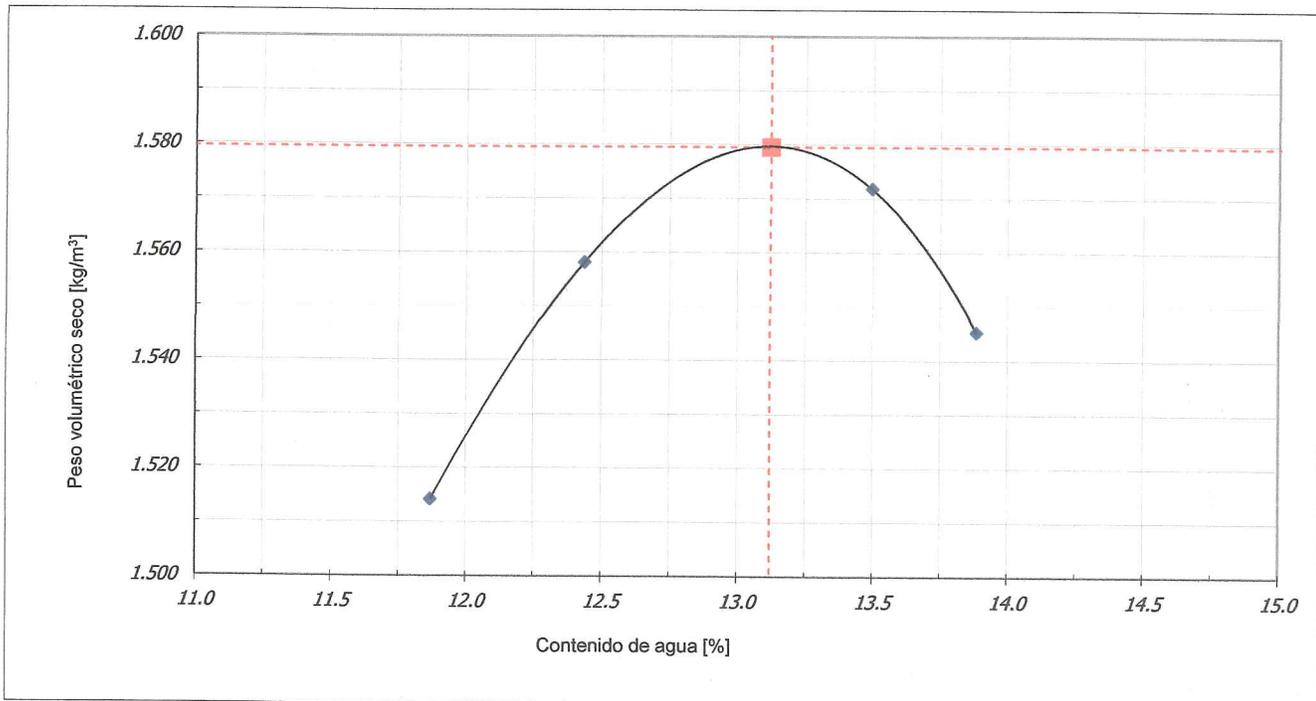
PROYECTO	Ampliación Línea 3 del Metrobús
LOCALIZACIÓN	Estación Luz Saviñón
BANCO	PCA-01
MUESTRA	Costal 2
PROF. (m)	0.63-1.55
FECHA	04/10/2019
OPERADOR	ARMANDO

DIAM. MOLDE	VOL. MOLDE	PESO MOLDE	PESO MARTILLO	DIAM. MARTILLO	ALT. CAÍDA	GOLPES/CAPA	CAPAS	ENERGÍA C.
cm	L	kg	kg	cm	cm	No	No	kg/cm ²
15.24	2.120	7.014	4.526	5.05	45.6	56	5	27.258

CONTENIDO DE AGUA

DATOS MOLDE

CAPSULA No	PESO CAPS g	WC+SH g	WC +Ss g	AGUA %	WH + MOLDE kg	W H kg	WS No	PESO VOL.S. t/m ³
54	73.39	361.70	331.11	11.87	10.605	3.591	3.210	1.514
61	61.24	347.75	316.06	12.44	10.728	3.714	3.303	1.558
24	59.55	328.08	296.15	13.50	10.796	3.782	3.332	1.572
14	60.79	362.85	326.02	13.89	10.745	3.731	3.276	1.545



PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO
CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO

1.580	t/m ³
13.1	w%

OBSERVACIONES.



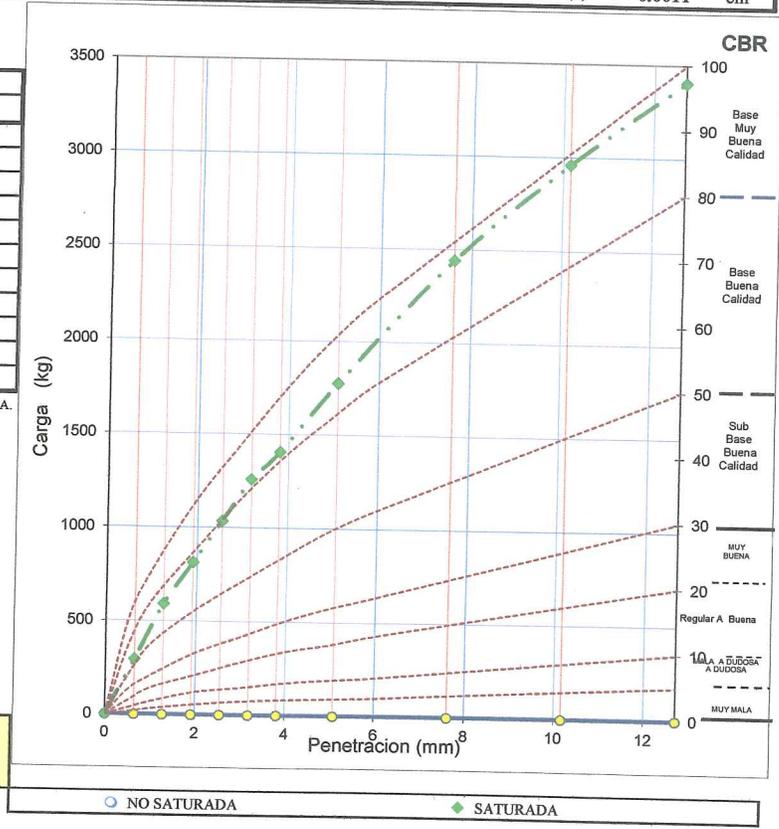
VALOR RELATIVO DE SOPORTE (VRS)

(ASTM D1883-79)

Proyecto.: Ampliación L3 Metrobús Localización: Estación Luz Saviñón Fecha: 07-oct-2019	POZO: PCA-01 Muestra: Costal 1 Prof. (m): 0.15 - 0.63	Operador: GAR Revisó: AICA	Descripción del suelo: (GW-GM) GRAVA BIEN GRADUADA CON LIMO Y ARENA COLOR CAFÉ OSCURO																																
Peso de la muestra. <table style="width: 100%; margin-top: 5px;"> <tr> <th></th> <th>Natural</th> <th>Saturada</th> </tr> <tr> <td>Cilindro.: 1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>W cil + W m = 11.233 kg</td> <td>11.453 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>W cil = 6.902 kg</td> <td>6.902 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>W m = 4.331 kg</td> <td>4.551 kg</td> <td></td> </tr> </table>			Natural	Saturada	Cilindro.: 1	1	1	W cil + W m = 11.233 kg	11.453 kg		W cil = 6.902 kg	6.902 kg		W m = 4.331 kg	4.551 kg		Peso específico seco máximo. 1606 kg/m ³ Contenido de agua sat. 14.89 % Contenido de agua natural. N/A % Reproducción a.: 100 % Constante de calibración. 74.03																		
	Natural	Saturada																																	
Cilindro.: 1	1	1																																	
W cil + W m = 11.233 kg	11.453 kg																																		
W cil = 6.902 kg	6.902 kg																																		
W m = 4.331 kg	4.551 kg																																		
Contenido de agua. <table style="width: 100%; margin-top: 5px;"> <tr> <th></th> <th>Al compactar</th> <th>Después de saturar</th> <th>Natural</th> </tr> <tr> <td>Tara No. 94</td> <td>18</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tara + W h = 45.62 g</td> <td>267.42 g</td> <td>0 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tara + W s = 43.01 g</td> <td>240.69 g</td> <td>0 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Agua = W h - W s = 2.61 g</td> <td>26.73 g</td> <td>0 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tara = 15.81 g</td> <td>61.17 g</td> <td>0 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>W s = 27.2 g</td> <td>179.52 g</td> <td>0 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>w = 9.60 %</td> <td>14.89 %</td> <td>N/A %</td> <td></td> </tr> </table>				Al compactar	Después de saturar	Natural	Tara No. 94	18	0		Tara + W h = 45.62 g	267.42 g	0 g		Tara + W s = 43.01 g	240.69 g	0 g		Agua = W h - W s = 2.61 g	26.73 g	0 g		Tara = 15.81 g	61.17 g	0 g		W s = 27.2 g	179.52 g	0 g		w = 9.60 %	14.89 %	N/A %		Energía Específ. de Compact. kg-cm/cm ³ 27.258
	Al compactar	Después de saturar	Natural																																
Tara No. 94	18	0																																	
Tara + W h = 45.62 g	267.42 g	0 g																																	
Tara + W s = 43.01 g	240.69 g	0 g																																	
Agua = W h - W s = 2.61 g	26.73 g	0 g																																	
Tara = 15.81 g	61.17 g	0 g																																	
W s = 27.2 g	179.52 g	0 g																																	
w = 9.60 %	14.89 %	N/A %																																	
Datos del cilindro. <table style="width: 100%; margin-top: 5px;"> <tr> <td>Altura faltante = 0 cm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso = 6.902 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altura = 12.71 cm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Area = 193.59 cm²</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumen = 2460.53 cm³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altura corregida = 12.71 cm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumen corr. = 2460.53 cm³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Deformación al sat. = 0.0011 cm</td> <td></td> </tr> </table>		Altura faltante = 0 cm		Peso = 6.902 kg		Altura = 12.71 cm		Area = 193.59 cm ²		Volumen = 2460.53 cm ³		Altura corregida = 12.71 cm		Volumen corr. = 2460.53 cm ³		Deformación al sat. = 0.0011 cm		Resultados = <table style="width: 100%; margin-top: 5px;"> <tr> <td>w i = 9.60 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>w sat. = 14.89 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>γ h = 1760 kg/m³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>γ sat = 1850 kg/m³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>γ d = 1606 kg/m³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CBR 1 = 0.0 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CBR 2 = 14.89 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>δ / L = 0.01 %</td> <td></td> </tr> </table>		w i = 9.60 %		w sat. = 14.89 %		γ h = 1760 kg/m ³		γ sat = 1850 kg/m ³		γ d = 1606 kg/m ³		CBR 1 = 0.0 %		CBR 2 = 14.89 %		δ / L = 0.01 %	
Altura faltante = 0 cm																																			
Peso = 6.902 kg																																			
Altura = 12.71 cm																																			
Area = 193.59 cm ²																																			
Volumen = 2460.53 cm ³																																			
Altura corregida = 12.71 cm																																			
Volumen corr. = 2460.53 cm ³																																			
Deformación al sat. = 0.0011 cm																																			
w i = 9.60 %																																			
w sat. = 14.89 %																																			
γ h = 1760 kg/m ³																																			
γ sat = 1850 kg/m ³																																			
γ d = 1606 kg/m ³																																			
CBR 1 = 0.0 %																																			
CBR 2 = 14.89 %																																			
δ / L = 0.01 %																																			
Datos del cilindro saturado. <table style="width: 100%; margin-top: 5px;"> <tr> <td>Altura faltante = 0 cm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>peso = 6.902 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altura = 12.71 cm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Area = 193.59 cm²</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumen = 2460.53 cm³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altura corregida = 12.71 cm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumen corregido = 2460.53 cm³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Deformación al saturar (δ) = 0.0011 cm</td> <td></td> </tr> </table>		Altura faltante = 0 cm		peso = 6.902 kg		Altura = 12.71 cm		Area = 193.59 cm ²		Volumen = 2460.53 cm ³		Altura corregida = 12.71 cm		Volumen corregido = 2460.53 cm ³		Deformación al saturar (δ) = 0.0011 cm																			
Altura faltante = 0 cm																																			
peso = 6.902 kg																																			
Altura = 12.71 cm																																			
Area = 193.59 cm ²																																			
Volumen = 2460.53 cm ³																																			
Altura corregida = 12.71 cm																																			
Volumen corregido = 2460.53 cm ³																																			
Deformación al saturar (δ) = 0.0011 cm																																			
L. Inic. mm 3.000	L. Fin. mm 3.011																																		

Hincado (mm)	Anillo (mm)	F (kg)	Hincado* (mm)	F* (kg)
0.00	0.000	0.0	0.000	0.0
0.64	0.000	0.0	4.000	296.1
1.27	0.000	0.0	8.000	592.2
1.91	0.000	0.0	11.000	814.3
2.54	0.000	0.0	14.000	1036.4
3.18	0.000	0.0	17.000	1258.5
3.81	0.000	0.0	19.000	1406.6
5.08	0.000	0.0	24.000	1776.7
7.62	0.000	0.0	33.000	2443.0
10.16	0.000	0.0	40.000	2961.2
12.70	0.000	0.0	46.000	3405.4

* - SATURADA.



Observaciones:



VALOR RELATIVO DE SOPORTE (VRS)

(ASTM D1883-79)

Proyecto: Ampliación L3 Metrobús	POZO: PCA-01		Descripción del suelo: (GP-GM) GRAVA MAL GRADUADA CON LIMO Y ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
Localización: Estación Luz Saviñón	Muestra: Costal 2	Operador: GAR	
Fecha: 07-oct-2019	Prof. (m): 0.63 - 1.55	Revisó: AICA	

Peso de la muestra.		Peso específico seco máximo. 1600 kg/m ³	
Cilindro.: 2	Saturada 2	Contenido de agua sat. 15.78 %	
W _{cit} + W _m = 11.334 kg	11.500 kg	Contenido de agua natural. N/A %	
W _{cit} = 6.915 kg	6.915 kg	Reproducción a.: 100 %	
W _m = 4.419 kg	4.585 kg	Constante de calibración. 74.03	

Contenido de agua.			Energía Específ. de Compact. kg-cm/cm ³
Al compactar		Después de saturar	27.258
Tara No. 72		64	
Tara + W _h = 36.62 g		259.86 g	
Tara + W _s = 34.32 g		232.69 g	
Agua = W _h - W _s = 2.3 g		27.17 g	
Tara = 15.56 g		60.5 g	
W _s = 18.76 g		172.19 g	
w = 12.26 %		15.78 %	
		N/A	

Datos del cilindro.	
Altura faltante = 0 cm	
Peso = 6.915 kg	
Altura = 12.71 cm	
Area = 193.59 cm ²	
Volumen = 2460.53 cm ³	
Altura corregida = 12.71 cm	
Volumen corr. = 2460.53 cm ³	
Deformación al sat. = 0.0018 cm	
L. Inic. mm 2.500	L. Fin. mm 2.518

Resultados =	
w _i = 12.26 %	
w _{sat} = 15.78 %	
γ _h = 1796 kg/m ³	
γ _{sat} = 1863 kg/m ³	
γ _d = 1600 kg/m ³	
CBR 1 = 0.0 %	
CBR 2 = 75.8 %	
δ/L = 0.01 %	

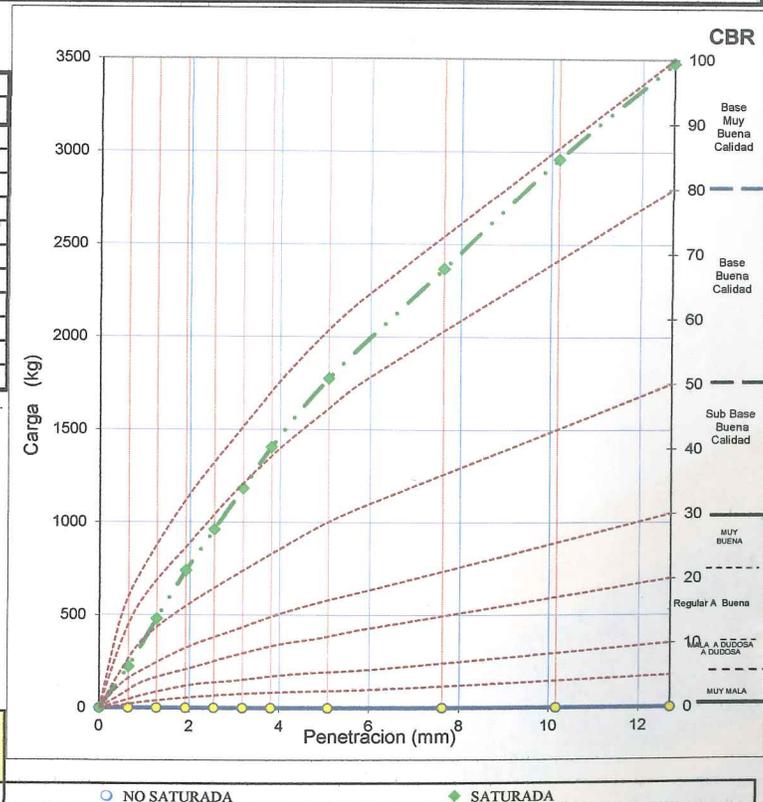
Datos del cilindro saturado.	
Altura faltante = 0 cm	
peso = 6.915 kg	
Altura = 12.71 cm	
Area = 193.59 cm ²	
Volumen = 2460.53 cm ³	
Altura corregida = 12.71 cm	
Volumen corregido = 2460.53 cm ³	
Deformación al saturar (δ) = 0.0018 cm	

Resistencia a la penetración.

Hincado (mm)	Anillo (mm)	F (kg)	Hincado* (mm)	F* (kg)
0.00	0.000	0.0	0.000	0.0
0.64	0.000	0.0	3.000	222.1
1.27	0.000	0.0	6.500	481.2
1.91	0.000	0.0	10.000	740.3
2.54	0.000	0.0	13.000	962.4
3.18	0.000	0.0	16.000	1184.5
3.81	0.000	0.0	19.000	1406.6
5.08	0.000	0.0	24.000	1776.7
7.62	0.000	0.0	32.000	2369.0
10.16	0.000	0.0	40.000	2961.2
12.70	0.000	0.0	47.000	3479.4

* - SATURADA.

Observaciones:

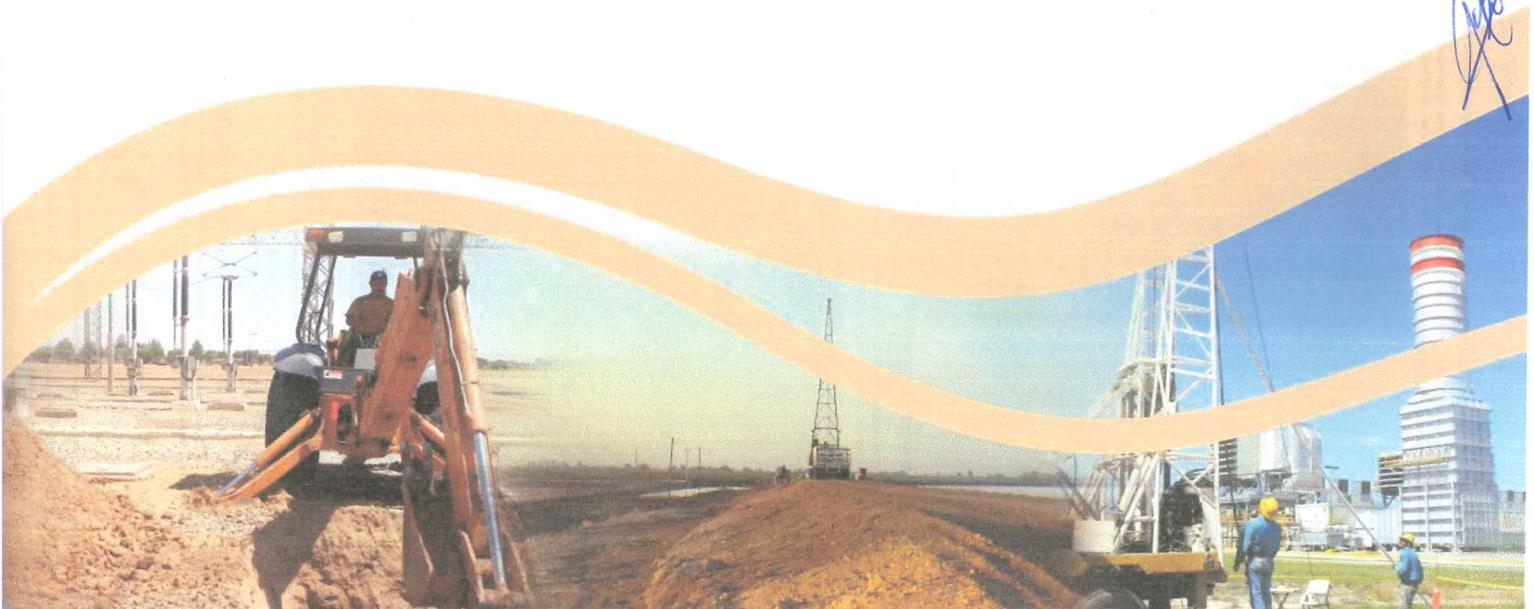




ANEXO C

REPORTE FOTOGRÁFICO

[Handwritten signatures and initials in blue ink]



PROYECTO:

AMPLIACIÓN L3 METROBÚS

PROFUNDIDAD EXPLORADA:	1.55m	SONDEO:	PCA-01 Luz Saviñón
------------------------	-------	---------	--------------------

SUPERVISOR: ING. RICARDO BARAJAS DOMINGUEZ
PERFORADORA: N/A
PROFUNDIDAD EXPLORADA: 1.55m
FECHA EJECUCIÓN: 02 OCTUBRE DE 2019

COORDENADAS:
X: 183563
Y: 2144164



Figura 1. Excavación de PCA-01

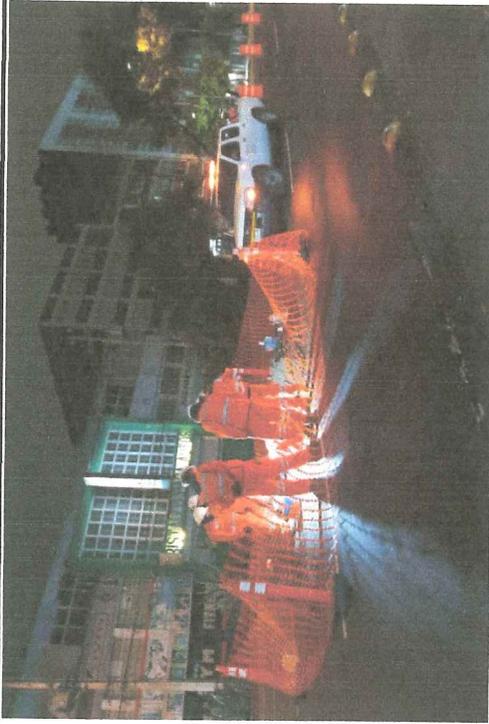


Figura 2. Excavación de PCA-01

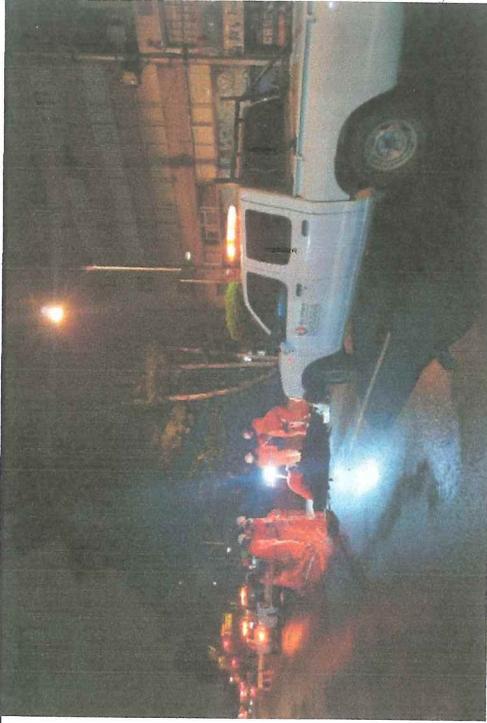


Figura 3. Levantamiento geotécnico y muestreo PCA-01

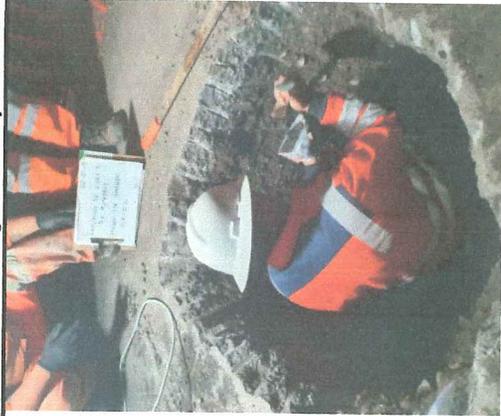
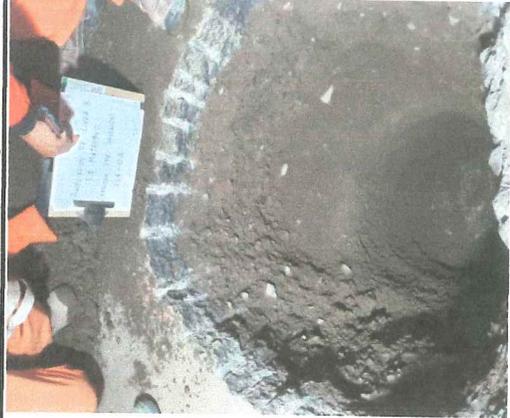


Figura 4. Perfil estratigráfico PCA-01



[Handwritten signatures in blue ink]

PROYECTO:

AMPLIACIÓN L3 METROBÚS

PROFUNDIDAD EXPLORADA: 1.55m

SONDEO: PCA-01 Luz Savión

SUPERVISOR: ING. RICARDO BARAJAS DOMINGUEZ
SUPERVISORA INIA
PROFUNDIDAD EXPLORADA: 1.55m
FECHA EJECUCIÓN: 02 OCTUBRE DE 2019

COORDENADAS:
X: 483583
Y: 2144164



Figura 5. relleno compactado de PCA-01



Figura 6. Colocación de asfalto en el PCA-01



[Handwritten signatures and initials in blue ink]

PROYECTO:

AMPLIACIÓN L3 METROBÚS

SUPERVISOR: ING. RICARDO BARAJAS DOMINGUEZ
PERFORADORA/INJA
PROFUNDIDAD EXPLORADA: 1,30 m.
FECHA EJECUCIÓN: 13 OCTUBRE DE 2019

COORDENADAS:
X: 483552
Y: 2144136

PROFUNDIDAD EXPLORADA:

1.30 m.

SONDEO:

PCA-02 Luz
Saviñón

PCA-02 Luz
Saviñón



Figura 7. Excavación de PCA-02

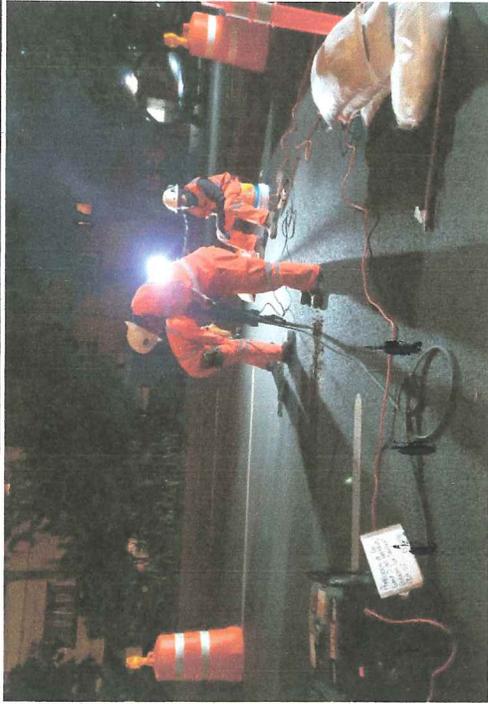


Figura 8. Perfil estratigráfico PCA-02



Figura 9. Levantamiento geotécnico y muestreo PCA-02

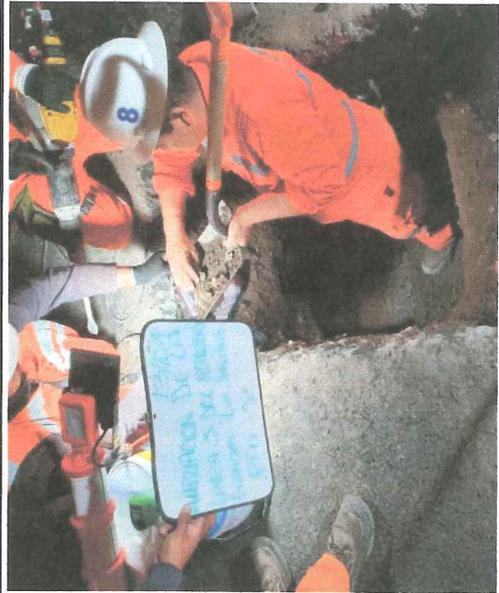
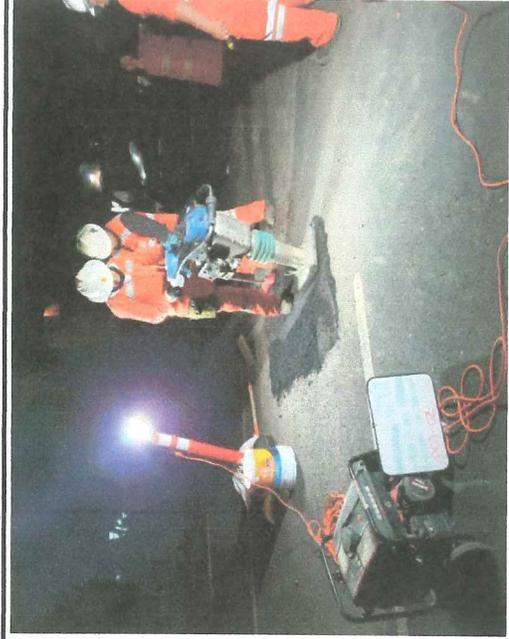


Figura 9. Colocación de asfalto en el PCA-02



[Handwritten signatures and initials in blue ink]



ANEXO D

MEMORIA DE CÁLCULO

A handwritten signature in blue ink, located in the upper right corner of the page.

A handwritten signature in blue ink, located in the middle right side of the page.

A handwritten number '9' in blue ink, located in the middle right side of the page.

A handwritten signature in blue ink, located in the lower right side of the page.





Verificación del estado límite de falla y de servicio en cimentaciones superficiales (NTC-DC, 2017)



Proyecto: Ampliación de la Línea 3 del Metrobús, estación Luz Saviñón

Parámetros geométricos de la cimentación

- $D_f := 0.8$ Profundidad de desplante, m
- $B := 3.4$ Ancho del cimiento, m
- $L_c := 77$ Longitud del cimiento, m
- $d_{caj} := 0.75$ Separación entre los cajones del STC-Metro y del Metrobús, m



Propiedades del suelo

- $\gamma := 15.8$ Peso volumétrico del terreno de cimentación, kN/m^3
 - $\phi := 38$ Ángulo de fricción interna del terreno de cimentación, $^\circ$
 - $c := 0.0$ Cohesión del terreno de cimentación, kPa
 - $p_v := \gamma \cdot D_f$ $p_v = 12.6$ Presión total al nivel de desplante, en kPa
 - $E_1 := 35$ Módulo de elasticidad, MPa
 - $\nu_1 := 0.3$ Relación de Poisson
 - $z_1 := 1.55$ Posición del cajón de la Línea 3 del STC-Metro
 - $\phi_{rad} := \frac{\phi}{180} \cdot \pi$ Ángulo de fricción interna del terreno de cimentación, rad
 - $NAF := 10$ Nivel del agua freática, m
 - $\gamma_w := 9.81$ Peso volumétrico del agua, kN/m^3
- NOTA: Si $NAF=0 \Rightarrow$ Considera que los elementos estarán sumergidos (parámetros efectivos)

CONDICIONES DE CARGA DEL CAJÓN DE CIMENTACIÓN

CARGAS: al momento de la realización de la presente memoria de cálculo no se tiene conocimiento de las cargas incidentes a nivel de la cimentación; por tanto, se presenta la capacidad de carga reducida de la cimentación

CONDICIÓN DE CARGA VERTICAL MAX

Condiciones de carga en el cimiento:

- $\Sigma Q := 0$ Carga en sentido vertical, en kN
- $F_x := 0$ Fuerza horizontal x, en kN
- $F_z := 0$ Fuerza horizontal z, en kN
- $M_B := 0$ Momento flexionante en dirección del ancho, en $kN-m$
- $M_L := 0$ Momento flexionante en dirección del largo, en $kN-m$
- $FC_{cv} := 1.5$ Factor de carga, estructura del grupo A

Excentricidades de carga:

- $e_B := \frac{M_B}{\Sigma Q}$ $e_B = 0$ Excentricidad de carga en dirección del ancho, en m
- $e_L := \frac{M_L}{\Sigma Q}$ $e_L = 0$ Excentricidad de carga en dirección del largo, en m

$$R_h := \sqrt{F_x^2 + F_z^2} \quad \text{Resultante horizontal, en t}$$

Primer término de la desigualdad:

$$A' := (B - 2 \cdot e_B) \cdot (L - 2 \cdot e_L) \quad A' = 261.8 \quad \text{Área reducida del cimiento, en m}^2$$

$$CVMAX := \frac{\Sigma Q \cdot FC_{cv}}{A'} \quad \frac{\Sigma Q \cdot FC_{cv}}{A'} = 0 \quad \text{Primer término de la desigualdad 3.3.1 de las NTC-DC (2017), en kPa}$$

Capacidad de carga unitaria reducida para suelos friccionantes NTC-DC (2017):

Coefficientes de capacidad de carga:

$$N_q := e^{\pi \cdot \tan(\phi)} \cdot \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)^2$$

$$N_\gamma := 2(N_q + 1) \cdot \tan(\phi)$$

$$N_q = 49$$

$$N_\gamma = 78$$

Factores de forma:

$$s_q(B, L) := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi)$$

$$s_\gamma(B, L) := 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L}$$

Carga unitaria reducida para suelos friccionantes:

$$F_R := 0.35 \quad \text{Factor de reducción considerado. Inciso 3.2 de las NTC-DC (2017)}$$

$$r_{CVMAX} := \left[p_v \cdot (N_q - 1) + \frac{\gamma \cdot d_{caj} \cdot N_\gamma}{2} \right] \cdot F_R + p_v \quad \text{Ecuación modificada para tomar en cuenta el efecto de la presencia del cajón de la Línea 3 STC-Metro}$$

$$r_{CVMAX} = 386.5$$

Carga unitaria reducida para suelos friccionantes, segundo término de la desigualdad 3.3.1 de las NTC-DC (2017), en kPa

Revisión de los estados límite de servicio NTC-DC (2017):

$$\delta_{per_cp} := 0.02 \cdot d_{caj}$$

$$100 \delta_{per_cp} = 1.5$$

Asentamiento máximo permisible, cm

Se asumió igual al 2% de la separación entre el cajón de la estación del MB Luz Saviñón y el cajón de la Línea 3 del STC-Metro.

Esfuerzos inducidos por la cimentación

Al centro del área cargada

Solución de Boussinesq

$$x(B) := \frac{B}{2} \quad y(L) := \frac{L}{2}$$

$$M(B, z) := \frac{x(B)}{z - Df} \quad N(B, z, L) := \frac{y(L)}{z - Df}$$

$$AB(B, z, L) := M(B, z)^2 + N(B, z, L)^2 + 1$$

$$BB(B, z, L) := M(B, z) \cdot N(B, z, L)$$

$$CB(B, z, L) := M(B, z)^2 + N(B, z, L)^2 + 2$$

$$DB(B, z, L) := \operatorname{atan} \left[\frac{2 \cdot BB(B, z, L) \cdot \sqrt{AB(B, z, L)}}{(AB(B, z, L) - BB(B, z, L)^2)} \right] \quad EB(B, z, L) := \begin{cases} 0 & \text{if } DB(B, z, L) \geq 0 \\ \pi & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$w(B, z, L) := \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq Df \\ \frac{1}{\pi} \left[\frac{2 \cdot BB(B, z, L) \cdot CB(B, z, L) \cdot \sqrt{AB(B, z, L)}}{AB(B, z, L) \cdot (AB(B, z, L) + BB(B, z, L)^2)} + DB(B, z, L) + EB(B, z, L) \right] & \text{if } z > Df \end{cases}$$

Distribución de esfuerzos en el punto considerado

$$w_{\text{carga}}(B, z, L, p) := p \cdot w(B, z, L)$$

$$w_{\text{carga}}(B, z_1, L, r_{\text{CVMAX}}) = 375.1$$

Asentamientos elástico y módulo de reacción vertical

$$E_s := \frac{1000E_1}{(1 - \nu_1^2)}$$

$$\delta(B, L, p) := \int_{Df}^{z_1} \frac{w_{\text{carga}}(B, z, L, p)}{E_s} dz$$

$$k(B, L, p) := \frac{p}{\delta(B, L, p)}$$

$$100 \delta(B, L, r_{\text{CVMAX}}) = 0.75$$

Asentamiento asociado con la capacidad de carga reducida, cm

Asentamiento esperado menor que el permisible; por tanto, cumpliría con los estados de servicio para la capacidad de carga reducida.

$$k(B, L, r_{\text{CVMAX}}) = 51689.5$$

Módulo de reacción vertical, kPa/m