



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

Benito Juárez, Ciudad de México, México

Informe preparado para:



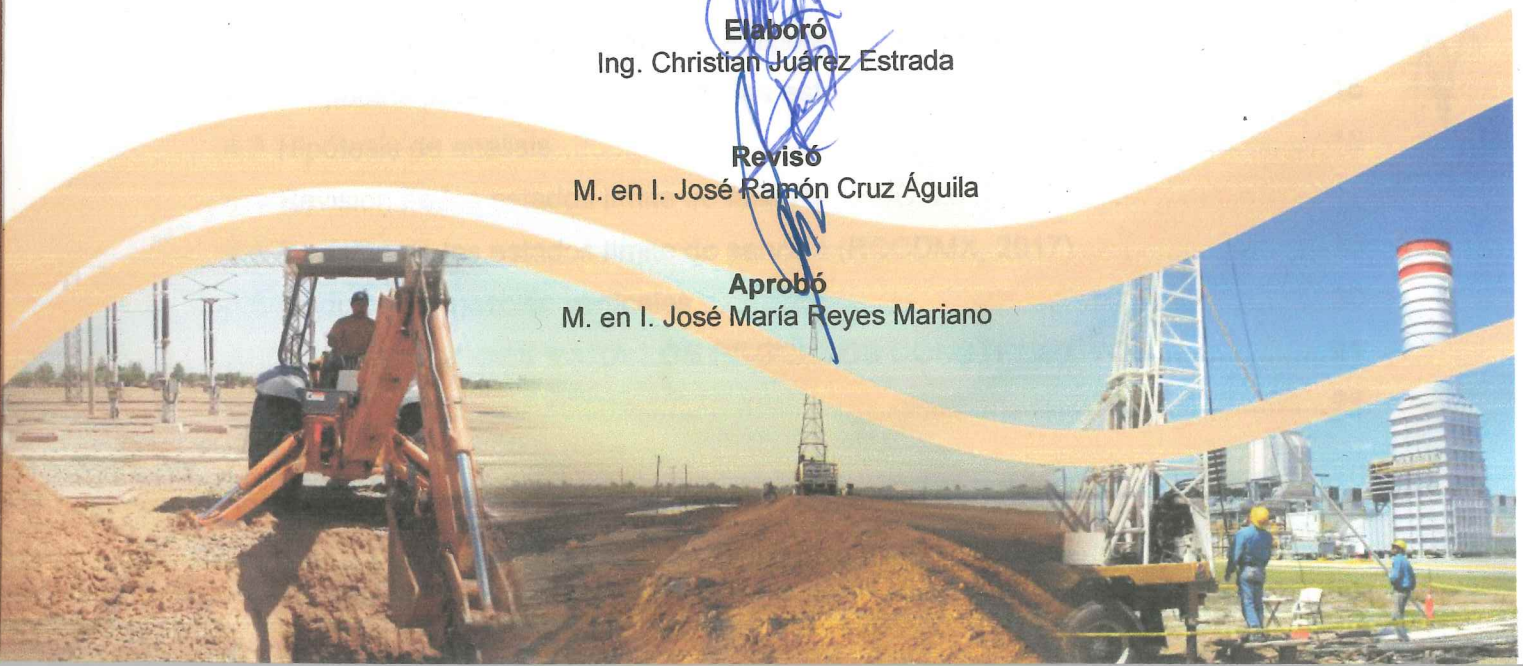
Informe final  
EMS-CCMT-19-04-02

Octubre de 2019

**Elaboró**  
Ing. Christian Juárez Estrada

**Revisó**  
M. en I. José Ramón Cruz Águila

**Aprobó**  
M. en I. José María Reyes Mariano





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

Benito Juárez, Ciudad de México, México

Informe preparado para:



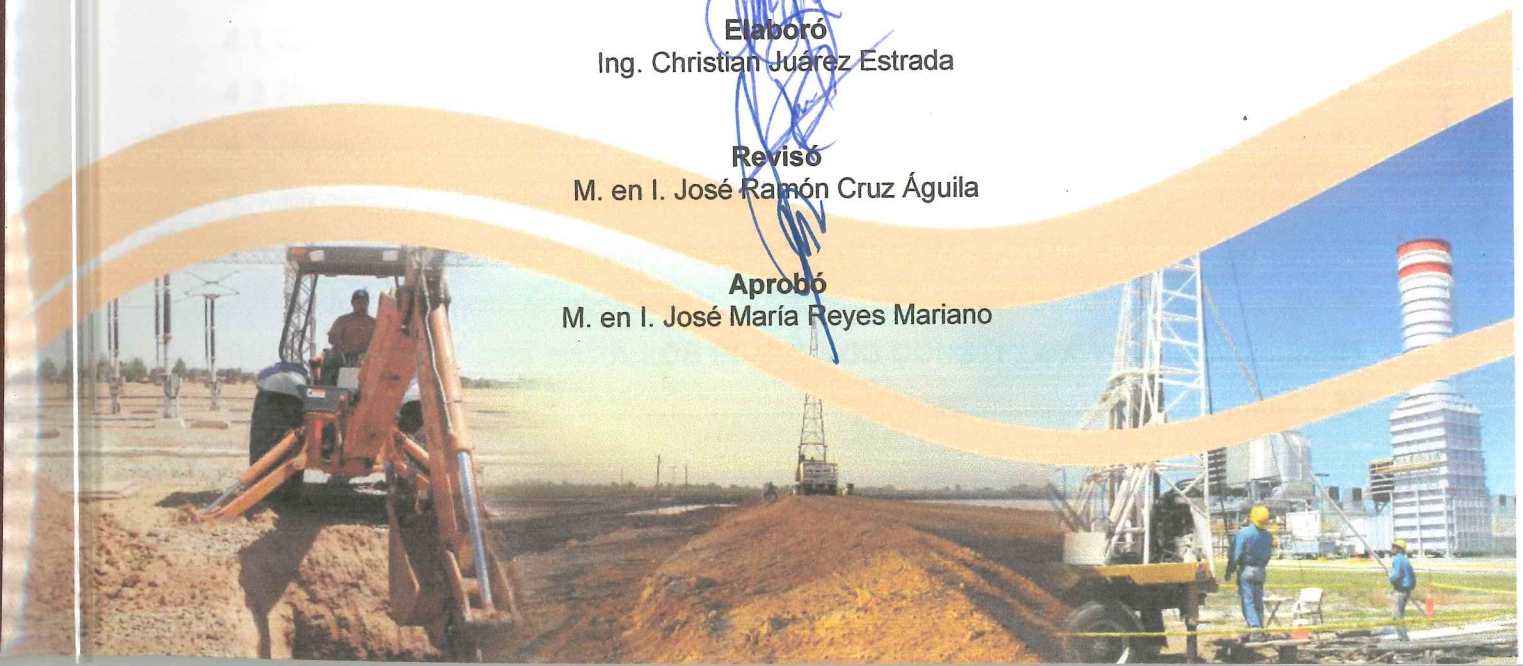
Informe final  
EMS-CCMT-19-04-02

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

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE ECUACIONES .....</b>	<b>iii</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Objetivo y alcances.....	2
1.3 Información proporcionada .....	2
1.4 Descripción general del proyecto.....	3
<b>2 TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO .....</b>	<b>5</b>
2.1 Trabajos de exploración geotécnica .....	5
2.2 Trabajos de laboratorio .....	7
<b>3 CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL SITIO .....</b>	<b>9</b>
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
<b>4 ANÁLISIS GEOTÉCNICOS .....</b>	<b>15</b>
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 (NTC-DC, 2017).....	17
4.5 Revisión de los estados límite de servicio (RCCDMX, 2017) .....	18
4.6 Módulos de reacción verticales.....	20
<b>5 RECOMENDACIONES PARA LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS .....</b>	<b>21</b>
<b>6 CONCLUSIONES .....</b>	<b>24</b>



**REFERENCIAS..... 26**

- Anexo A Reportes de exploracion geotécnica**
- Anexo B Resultados de laboratorio**
- Anexo C Reporte fotográfico**
- Anexo D Memoria de cálculo**

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1.1. Vista general de localización del sitio en estudio, estación Eugenia, 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 Eugenia .....	3
Figura 1.3. Vista en corte de la estación Eugenia .....	3
Figura 1.4. Vista en corte de la estación Eugenia, tomando como referencia la información de las estaciones División del Norte y la Terminal Hospital General Xoco (CEMEX, 2019)....	4
Figura 2.1. Vista de la excavación y muestreo de los materiales encontrados .....	5
Figura 2.2. Vista de la losa de concreto armado, fin del PCA.....	6
Figura 2.3. Vista de la recuperación de muestras de suelo.....	6
Figura 2.4. Relleno y compactación del PCA .....	7
Figura 3.1. Zonificación geotécnica y localización de la estación Eugenia (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 Eugenia, CDMX (SASID, 2017).....	11
Figura 3.4. Ubicación general de la estación Eugenia 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

*[Handwritten blue ink marks and signatures on the right margin, including a large signature and a vertical mark resembling the number '9']*





## 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 Eugenia.....	8
Tabla 3.1 Modelo geotécnico propuesto para la estación del MB Eugenia .....	14
Tabla 4.1. Verificación del estado límite de falla de acuerdo con el NTC-DC (2017) .....	18

## LISTA DE ECUACIONES

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

## 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 Eugenia, misma que forma parte del proyecto de ampliación de la Línea 3 del Metrobús (MB). Esta estación se ubicará sobre el Eje 1 Poniente (Av. Cuauhtémoc), entre las calles Concepción Beistegui y el Eje 5 Sur (Av. Eugenia), 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.

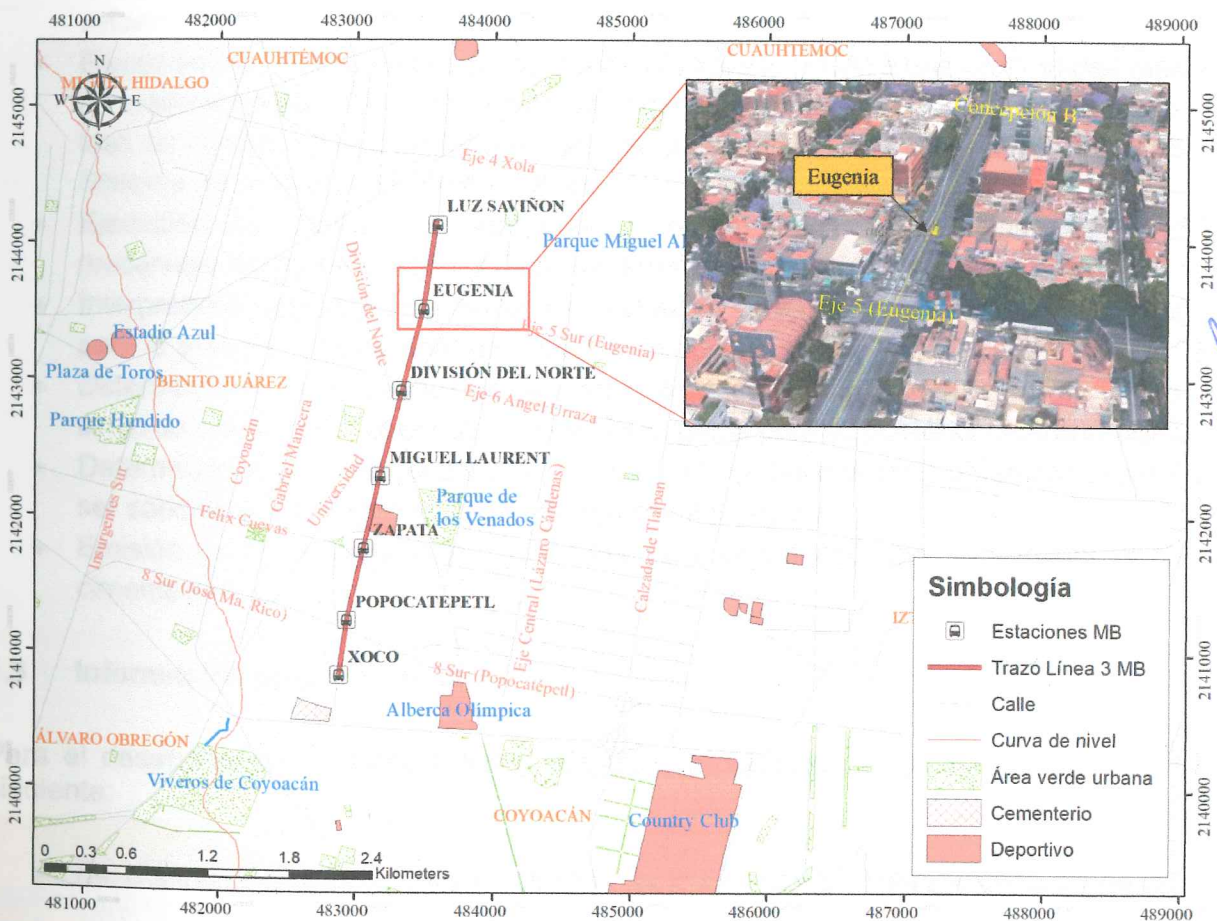


Figura 1.1. Vista general de localización del sitio en estudio, estación Eugenia, Ampliación de la L3 del MB, Ciudad de México (INEGI 2018)





## 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 Eugenia; asimismo, proporcionar el valor de *VRS* de las muestras de materiales 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 una profundidad máxima de exploración de 1.30 metros en ambos pozos; 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 Eugenia 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.

## 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), 190912\_Eje de Trazo (formato pdf).
- Plano de la Estación Eugenia (marzo de 2019), MBL3-CMX-EST-ARQ-004A-0 (formato dwg).

### 1.4 Descripción general del proyecto

La ampliación de la Línea 3 del Metrobús forma parte de los diferentes proyectos que ha emprendido el actual Gobierno de la Ciudad de México para mejorar la movilidad urbana en la zona sur de la ciudad. Esta ampliación tendrá una longitud de 4.27 km, correrá a lo largo del Eje 1 Poniente (Av. Cuauhtémoc y Av. México-Coyoacán), desde Av. Xola hasta la calle de Bruno Traven. Asimismo, contará con seis estaciones y una terminal, misma que se ubicará a la altura del Hospital General Xoco. En la Figura 1.2 se presenta el trazo de la ampliación de la Línea 3 del Metrobús, resaltándose la ubicación de la estación Eugenia.



**Figura 1.2. Trazo de la ampliación de la Línea 3 del Metrobús y ubicación de la estación Eugenia**

De manera particular, la estación Eugenia tendrá una longitud total del orden de 105 m; constará de una rampa de acceso con una longitud aproximada de 20 m, un área destinada a servicios con una longitud de 8.5 m y un andén con longitud total de 77 metros, Figura 1.3.



**Figura 1.3. Vista en corte de la estación Eugenia**



Tomando como referencia la información proporcionada acerca de las estaciones del MB División del Norte y la Terminal Hospital General Xoco (CEMEX, 2019), se asume como hipótesis que la estación Eugenia 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 Eugenia 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.

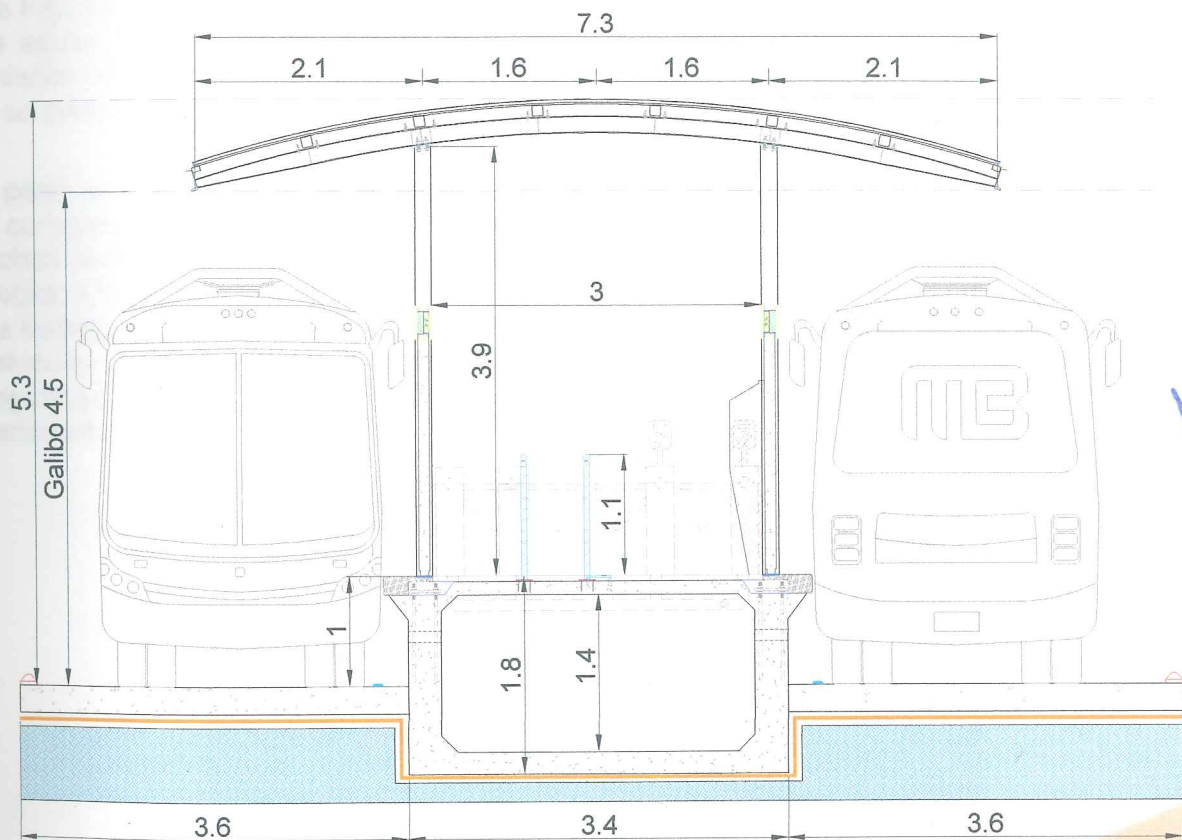


Figura 1.4. Vista en corte de la estación Eugenia, tomando como referencia la información de las estaciones División del Norte y la Terminal Hospital General Xoco (CEMEX, 2019)

## 2 TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO

### 2.1 Trabajos de exploración geotécnica

Los trabajos de exploración geotécnica efectuados para fines del presente estudio constaron de la ejecución de dos (2) pozos a cielo abierto, ambos pozos alcanzaron una profundidad máxima de exploración de 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 del pozo 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 Eugenia. 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. Vista de la excavación y muestreo de los materiales encontrados**





**Figura 2.2. Vista de la losa de concreto armado, fin del PCA**



**Figura 2.3. Vista de la recuperación de muestras de suelo**

*[Handwritten signatures in blue ink]*





**Figura 2.4. Relleno y compactación del PCA**

**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	1.30 m	483490	2143544	1	0.13	0.47	Representativa
				2	0.47	1.30	Representativa
				Costal 1	0.13	0.47	Alterada
				Costal 2	0.47	1.30	Alterada
PCA-02	1.30 m	483484	2143518	1	0.13	0.63	Representativa
				2	0.63	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 mecánicas, las cuales están actualmente en ejecución y 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 la norma 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 Eugenia**

Pozo	Muestra	Profundidad [m]		$w$ [%]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Granulometría			SUCS	Pavimentos		
		De	A			G [%]	S [%]	F [%]		$\gamma_{L,max}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$w_{opt}$ [%]	VRS [%]
PCA-01	1	0.13	0.47	7	-	41	51	8	SW-SM	-	-	-
	2	0.47	1.30	10	-	37	53	10	SP-SM	-	-	-
	Costal 1	0.13	0.47	-	-	46	45	9	GW-GM	17.1	9.7	72.1
	Costal 2	0.47	1.30	-	-	38	52	10	SW-SM	17.4	13.6	117.6
PCA-02	Carpeta	0.00	0.13	-	21.8	-	-	-	-	-	-	-
	1	0.13	0.63	7	-	55	37	8	GW-GM	-	-	-
	2	0.63	1.30	16	-	45	47	8	SP-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 Eugenia se localiza dentro de la Zona III (Lacustre), tal y como se muestra en la Figura 3.1.

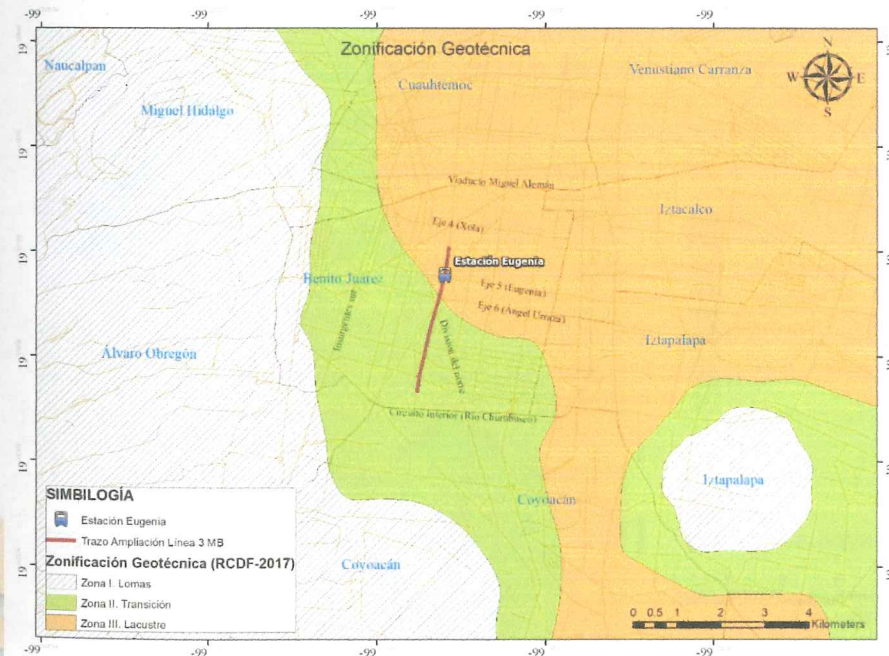


Figura 3.1. Zonificación geotécnica y localización de la estación Eugenia (RCDF, 2017)



### 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 Eugenia 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 de la estación del MB Eugenia.

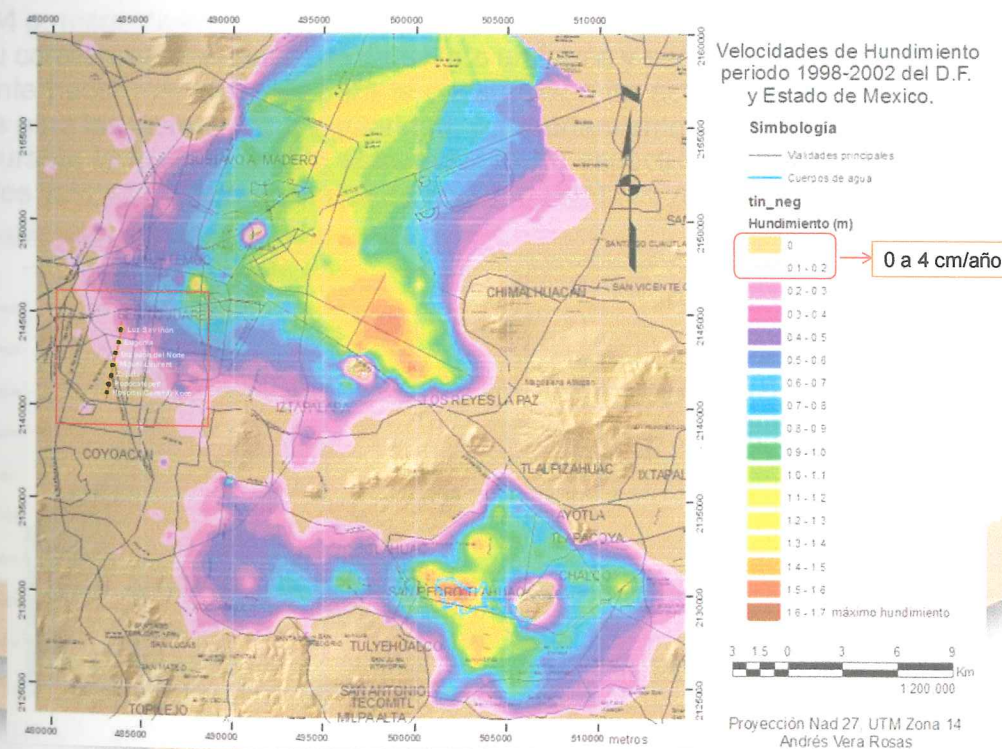


Figura 3.2. Hundimiento regional registrado por el II-UNAM entre 1998-2002 (Méndez, *et al.*, 2010)



### 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 Eugenia 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 la estación Eugenia 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 0.611 g y 0.164 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.

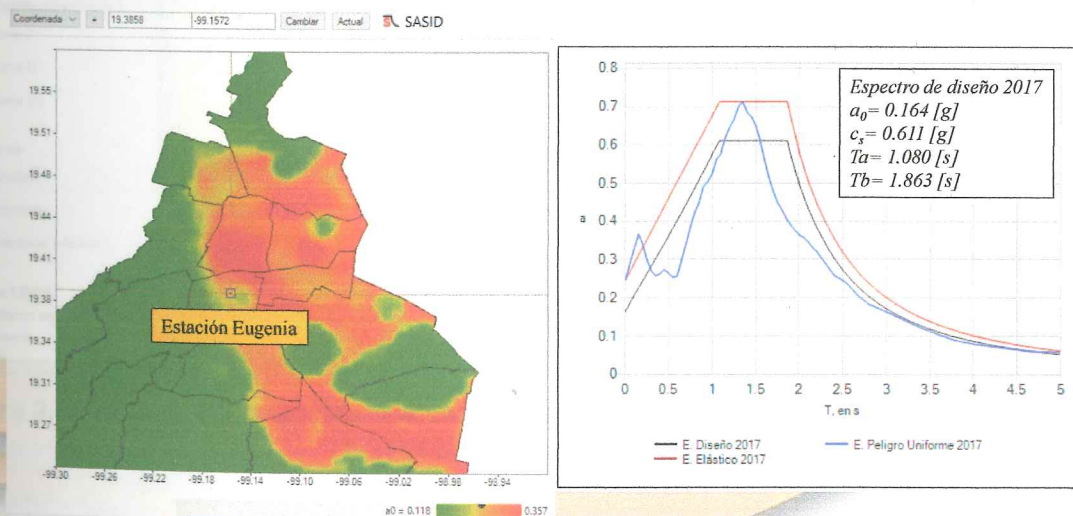


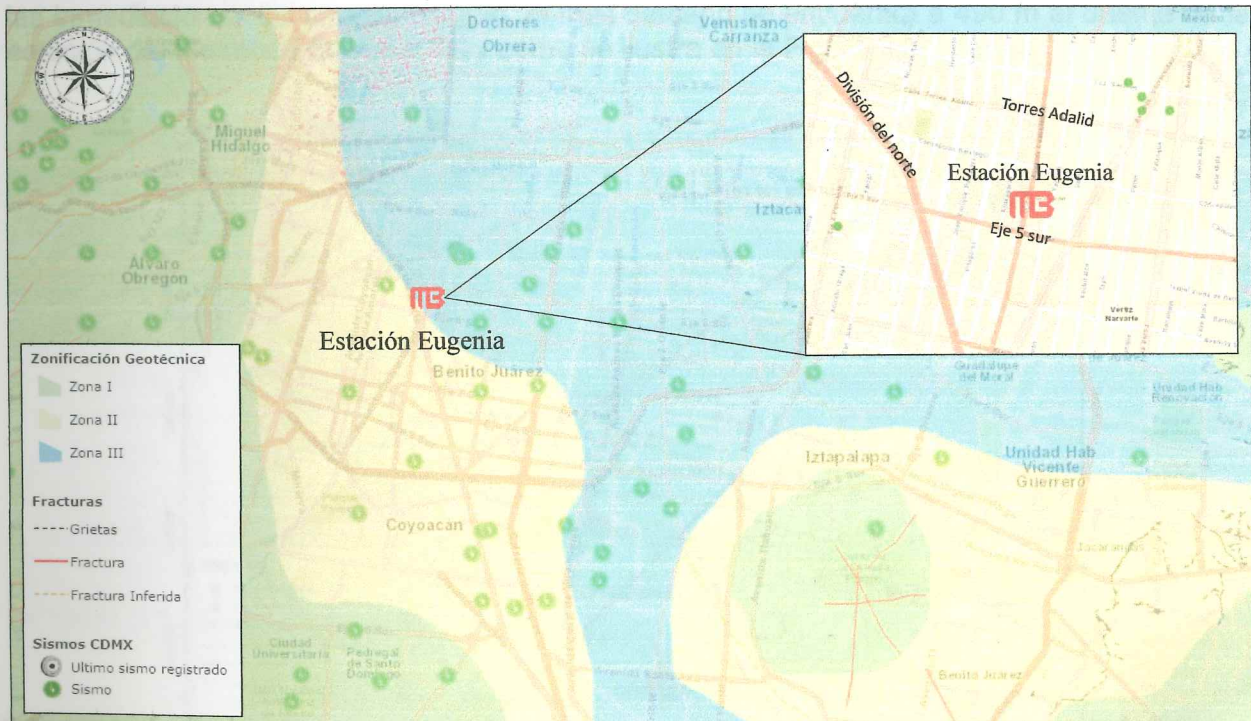
Figura 3.3. Espectro de diseño sísmico, estación Eugenia, CDMX (SASID, 2017)



### 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 Eugenia, ubicada sobre la Av. Cuauhtémoc, entre las calles Concepción Beistegui y Eje 5 sur, dentro de la Alcaldía Benito Juárez.

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



**Figura 3.4. Ubicación general de la estación Eugenia 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 la 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 Eugenia a la falla inferida más cercana es de aproximadamente 300 m; asimismo, la distancia al epicentro registrado más cercano es del orden de 740 metros. También se pueden observar varios agrietamientos en las inmediaciones del sitio en estudio, el más cercano se encuentra a 490 m al oriente de la estación del Metrobús Eugenia, tal y como se ilustra en la Figura 3.5.

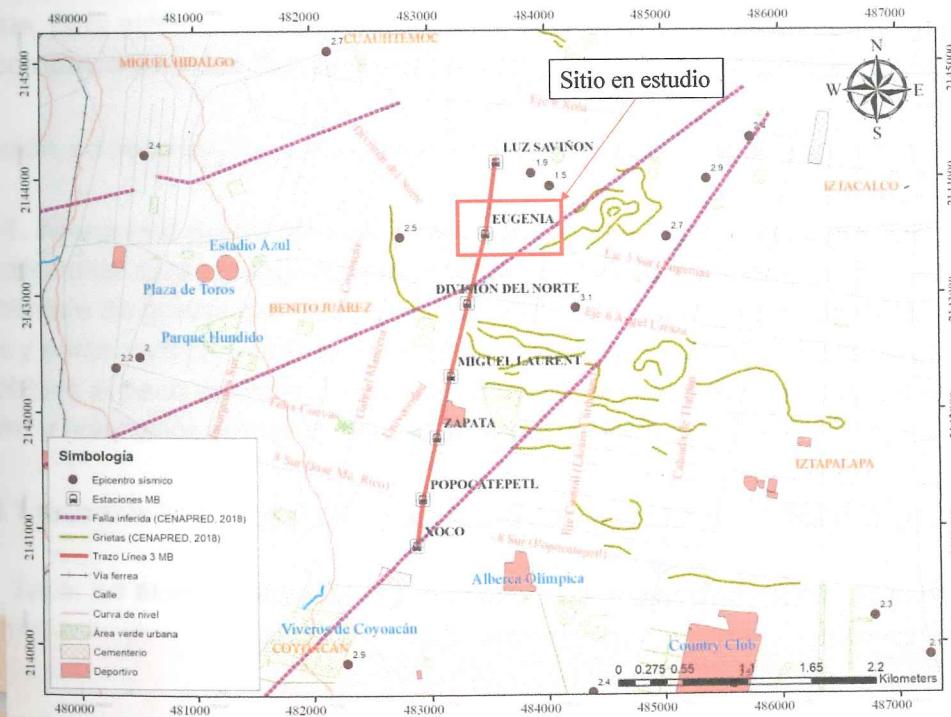


Figura 3.5. Riesgos geológico-geotécnicos identificados por medio del Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2018)





### 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 (Arena mal graduada con limo y gravas), de compactidad 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. Arena mal graduada color café oscuro con limo y grava (*SP-SM*):** esta unidad estratigráfica está compuesta predominantemente por materiales granulares, con un porcentaje de gravas promedio (*G%*) de 40%, porcentaje promedio de arenas (*A%*) de 50% y porcentaje promedio de finos (*F%*) de 10%. A partir de pruebas de compactación, se obtuvo el peso volumétrico de este material, el cual tiene un valor del orden de 17.2 kN/m<sup>3</sup> y resultados del valor relativo de soporte (*VRS*) de 72 y 117%.

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

**Tabla 3.1 Modelo geotécnico propuesto para la estación del MB Eugenia**

Unidad	Prof. [m]		Descripción	$\omega$ [%]	SUCS	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	<i>VRS</i> [%]	<i>c</i> [kPa]	$\phi$ [°]	<i>E</i> [MPa]
	De:	A:								
UE-1	0.13	1.30	Arena con limo y gravas	10	<i>SP-SM</i>	17.2	72-117	5-25	35-43	35-53





## 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 Eugenia y a las características de resistencia y deformabilidad del depósito de suelo, se evaluó la alternativa de cimentación siguiente:

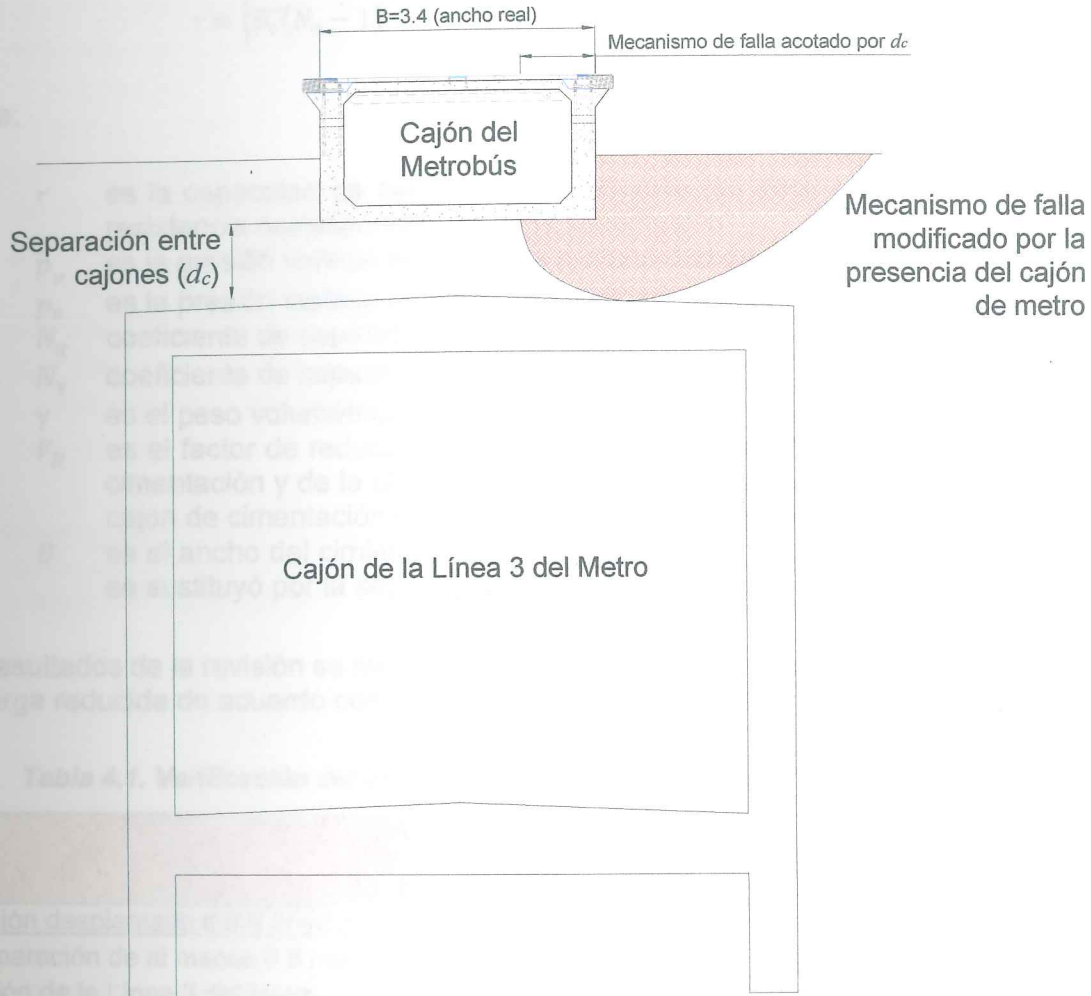
- **Cajón de cimentación** desplantado a una profundidad mínima de 0.8 metros. Esta profundidad se asumió debido a la posición de la losa superior del cajón del metro, misma que se detectó a una profundidad de 1.30 m con respecto a la superficie de rodamiento de la Av. Cuauhtémoc.
- Este nivel de desplante 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 Eugenia; no obstante, esto deberá ratificarse con base en los resultados obtenidos mediante el estudio geofísico.
- El eje del cajón del Metrobús coincide 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 densa a 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 0.5 m, entonces el asentamiento máximo permisible en este caso sería igual que 1.0 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 (NTC-DC, 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):





$$r = \left[ \bar{p}_v(N_q - 1) + \frac{\gamma B N_\gamma}{2} \right] F_R + p_v \quad \text{Ecuación 4.1}$$

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
- $N_\gamma$  coeficiente de capacidad de carga
- $\gamma$  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 cimient. 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 417 kPa (41.7 t/m<sup>2</sup>).

**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 0.5 metros con respecto al cajón de la Línea 3 del Metro	417 (41.7 t/m <sup>2</sup> )

#### 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 Eugenia 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 Eugenia 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 deberá ser menor que el 2% a fin de garantizar un comportamiento adecuado.
- Para la estación Eugenia, se espera que la separación entre los cajones del Metro y del Metrobús ( $d_c$ ) sea de cuando menos 0.50 m; por tanto, el asentamiento máximo permisible en este caso sería igual que 1 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:

$\delta_{perm}$  = desplazamiento, que deberá ser igual o menor que 1 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 cimiento

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 Eugenia, y considerando una presión neta igual a la obtenida en la evaluación de los estados límites de falla (417 kPa), se obtiene un asentamiento del orden de 0.43 cm, inferior al mínimo permisible (1 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
- $\delta$  = asentamiento total del cimiento

Los módulos de reacción verticales al centro del cajón de cimentación de la estación Eugenia son del orden de 97389 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 Eugenia. 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 cajón 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 encuentre 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 20cm 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 Línea3 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.

*[Handwritten signatures in blue ink]*

Figura 3.1. Zona perimetral de

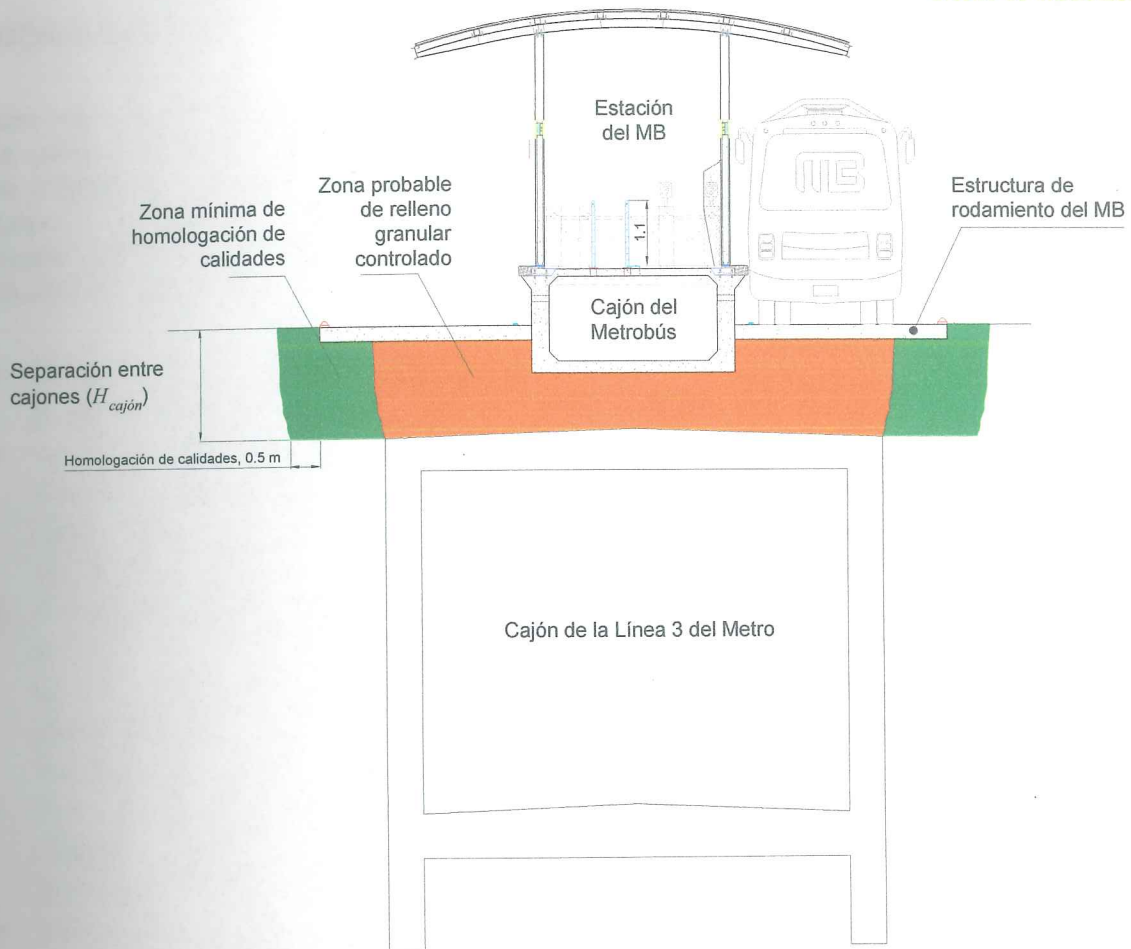


Figura 5.1. Zona mínima de homologación de calidades del material de relleno





## 6 CONCLUSIONES

En este informe se presenta el marco geotécnico general de la estación Eugenia, 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 conclusiones siguientes:

- De acuerdo con la zonificación geotécnica del RCDF (2017), la estación del Metrobús Eugenia se localiza dentro de la Zona III (Lacustre).
- La velocidad de hundimiento regional en la zona donde se construirá la estación Eugenia está entre 0 y 4 cm/año (II-UNAM, 2010); sin embargo, ante la presencia del cajón de la L3 del Metro, este fenómeno tendrá un impacto poco significativo en el comportamiento de la cimentación de la estación del MB Eugenia.
- 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 Eugenia 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 0.611 g y una aceleración pico del terreno ( $a_0$ ) 0.164 g.
- En las inmediaciones de la estación Eugenia, 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 300 metros de un posible lineamiento geológico, en donde se han registrado eventos sísmicos con magnitud menor que 3. 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 (material muestreado *in situ*), que se encuentra sobre el cajón de la Línea 3 del STC Metro, presentó un valor de  $V_{RS}$  mínimo de 72% y máximo de 117%. 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 Eugenia, se analizó un cajón de 3.4 m de ancho, desplantado a una profundidad mínima de 0.8 m y separado 0.5 m de la losa del Cajón del Metro; obteniéndose una capacidad de carga reducida de acuerdo con las NTC-DC (2017) igual a 417 kPa (41.7 t/m<sup>2</sup>).
- Para la presión obtenida en la evaluación de los estados límites de falla (417 kPa), se calcularon los asentamientos, obteniéndose un valor del orden de 0.43 cm, inferior al establecido como mínimo permisible (1 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 Eugenia cumpliría con los estados límite de servicio para capacidades de carga inferiores al estado límite 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]*

7. ASTM D1586-12 Standard Test Method for Penetration Resistance of Soils Using Standard Cone  
8. Bowles, Joseph E. (1982). Foundation Analysis and Design, 2nd Edition, McGraw-Hill, New York.  
9. Budhu, M. (2002). Foundation Engineering, 3rd Edition, McGraw-Hill, New York.  
10. Carrillo, H. (1940). Influence of the 11<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City.  
11. CEMEX (2010). Ampliación del Metrobús L3, Benito Juárez, Ciudad de México.  
12. Centro Nacional de Prevención de Riesgos, Ciudad de México.  
13. Norma Oficial Mexicana NOM-002-SENER-2009, Cimentación.





## 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 11<sup>th</sup> 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, consisting of several loops and flourishes, positioned above a horizontal line.

Ing. Christian Juárez Estrada

Revisó

A handwritten signature in blue ink, appearing as a series of overlapping loops, positioned above a horizontal line.

M. en I. José Ramón Cruz Águila

Aprobó

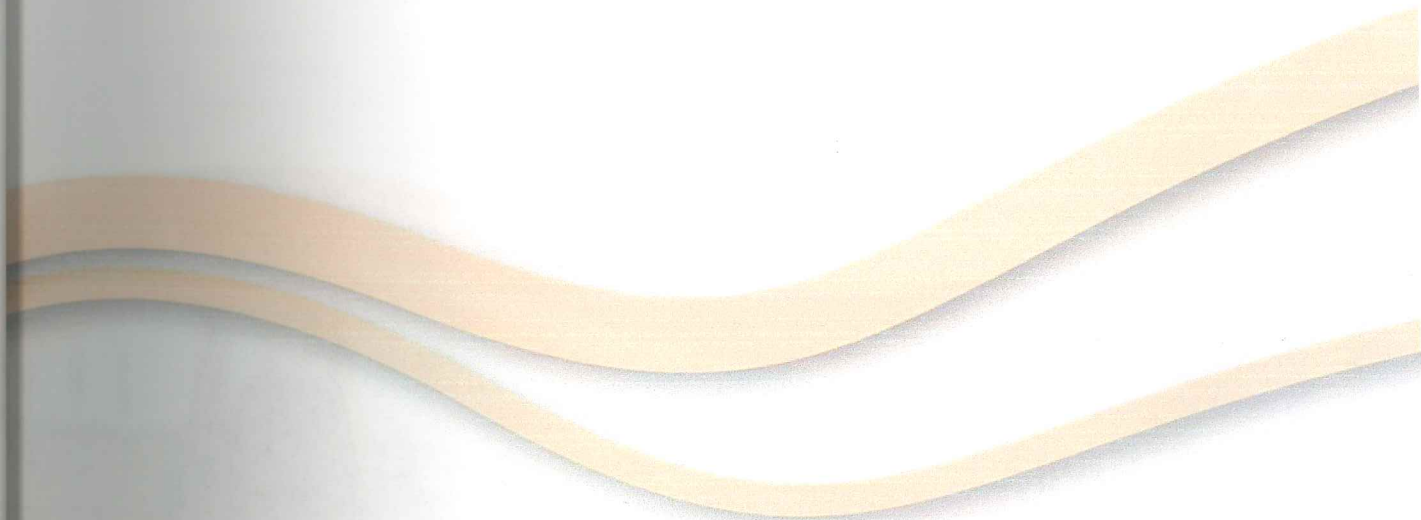
A handwritten signature in blue ink, featuring a prominent vertical stroke and several loops, positioned above a horizontal line.

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](mailto:contacto@dicimsa.com)  
[www.dicimsa.com](http://www.dicimsa.com)

REPORTES







## ANEXO A

# REPORTES DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

*[Handwritten signatures in blue ink]*



LOCALIZACIÓN:

Estación Eugenia

FECHA DE MUESTREO:

3/10/2019

COORDENADAS UTM:

X=483490 Y=2143544

y una terminal, Eje 1 Pte., de Av. Xola a Bruno Traven

PCA

01

DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL MATERIAL

Carpeta asfáltica 0.13 m

Relleno compuesto por grava bien graduada con limo y arena (GW-GM) color café 0.47 m

Relleno compuesto por arena bien graduada con limo y grava (SW-SM) color café 1.30 m

Losa de concreto

Fin de PCA 01: 1.30m

OBSERVACIONES

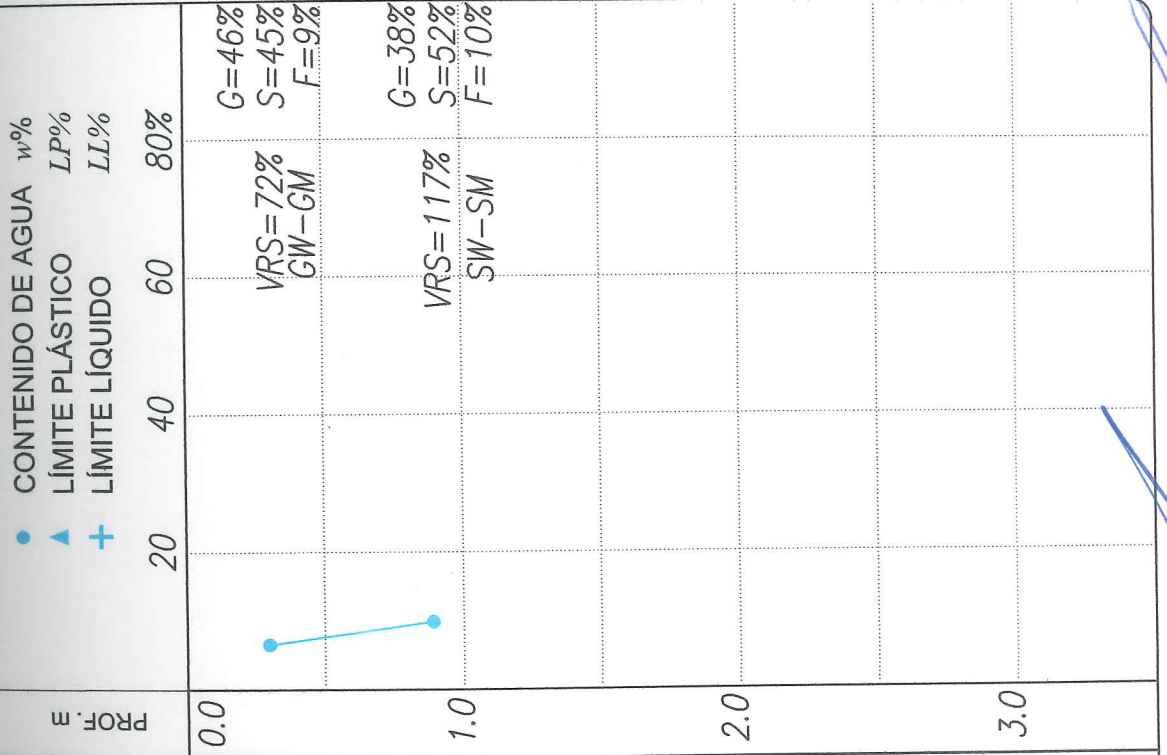
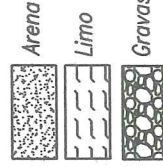


NOTA:

El PCA se detuvo al encontrar una losa de concreto a 1.30m.

No se detectó presencia de NAF

Simbología





DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL MATERIAL

Carpeta asfáltica 0.13 m

Relleno compuesto por grava bien graduada con limo y arena (GW-GM), color café oscuro 0.47 m

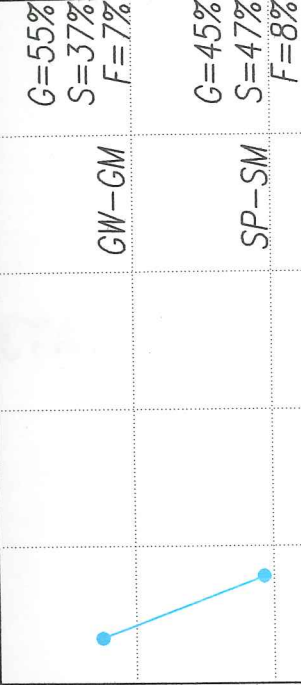
Relleno compuesto por arena mal graduada con limo y arena (SP-SM), color café 1.30 m

Losa de concreto  
Fin de PCA 02: 1.30m

PROF. 3

● CONTENIDO DE AGUA w%  
▲ LÍMITE PLÁSTICO LP%  
+ LÍMITE LÍQUIDO LL%

20 40 60 80



G=55%  
S=37%  
F=7%

G=45%  
S=47%  
F=8%

OBSERVACIONES

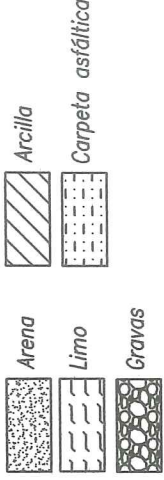


NOTA:

El PCA se detuvo al encontrar una losa de concreto a 1.30m.

No se detectó presencia de NAF

Simbología



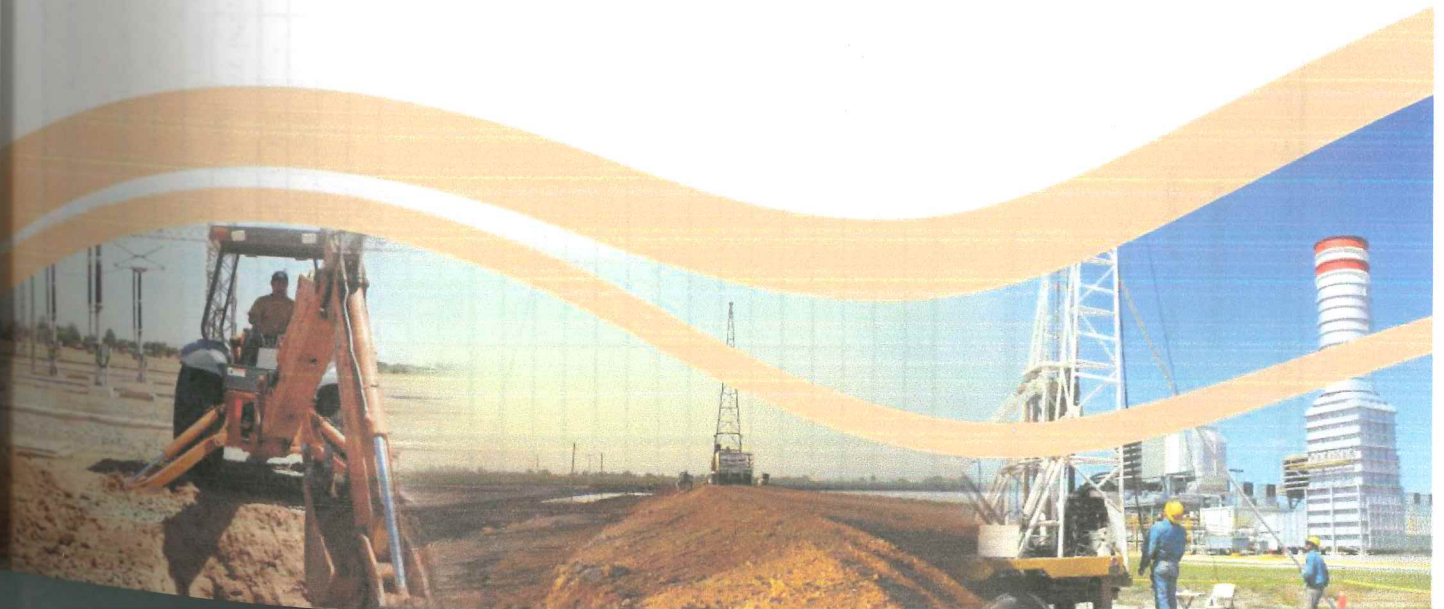
*[Handwritten signature]*



## ANEXO B

# RESULTADOS DE LABORATORIO

*[Handwritten signature]*  
*[Handwritten signature]*





Estación Eugenia

Pozo	Muestra No.	Profundidad [m]		w [%]	Propiedades índice							Triaxial UU					Estructura de pavimentos		
		de	a		Límites de consistencia			Granulometría simplificada				γ	e	φ <sub>u</sub> [°]	c <sub>u</sub> [kPa]	E <sub>u</sub> [MPa]	γ <sub>d,max</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	w <sub>opt</sub> [%]	V.R.S. [%]
		LL [%]	LP [%]		IP [%]	G [%]	S [%]	F [%]	SUCS										
PCA-01	MR-1	0.13	0.47	6.5	-	-	-	41	51	8	SW-SM	-	-	-	-	-	-	-	-
	MR-2	0.47	1.30	9.8	-	-	-	37	53	10	SP-SM	-	-	-	-	-	-	-	-
	Costal-1	0.13	0.47	-	-	-	-	46	45	9	GW-GM	-	-	-	-	-	17.1	9.7	72
	Costal-2	0.47	1.30	-	-	-	-	38	52	10	SW-SM	-	-	-	-	-	17.5	13.6	117
	Carpeta	0.00	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	21.8	-	-	-	-	-	-	-
PCA-02	MR-1	0.13	0.63	6.6	-	-	-	55	37	7	GW-GM	-	-	-	-	-	-	-	-
	MR-2	0.63	1.30	15.6	-	-	-	45	47	8	SP-SM	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota:

T - Muestra inalterada (tubo shelly)

Donde:

LL [%]	Límite líquido	G [%]	Gravas	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso volumétrico natural	e	Relación de vacíos
LP [%]	Límite plástico	S [%]	Arenas	c <sub>u</sub> [kPa]	Resistencia no drenada al esfuerzo cortante	γ <sub>d,max</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso volumétrico seco máximo
IP [%]	Índice de plasticidad	F [%]	Finos	φ <sub>u</sub> [°]	Ángulo de fricción interna	w <sub>opt</sub> [%]	Contenido de agua óptimo
w [%]	Contenido de agua	E <sub>50</sub> [MPa]			Módulo de elasticidad al 50% del esfuerzo de falla	V.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:	10-10-19
LOCALIZACIÓN:	Estación Eugenia	LABORATORISTA:	GAR
CLIENTE:	CEMEX	HOJA:	1 de 1

Sondeo No	Muestra No.	Profundidad m		Tara No	Peso Tara	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	MR-1	0.13	0.47	34	127.74	1415.75	1336.6	79.15	1208.86	6.55
	MR-2	0.47	1.30	41	112.89	1444.40	1325.37	119.03	1212.48	9.82
PCA-02	MR-1	0.13	0.63	58	41.74	172.41	164.27	8.14	122.53	6.64
	MR-2	0.63	1.30	82	38.58	169.82	152.11	17.71	113.53	15.60

*(Handwritten signatures in blue ink)*





<b>Obra:</b>	Ampliación Línea 3 del Metrobús
<b>Ubicación:</b>	Estación Eugenia

**DETERMINACIÓN DE PESO VOLUMÉTRICO NATURAL ( $\gamma_n$ )  
POR EL PROCEDIMIENTO DE INMERSIÓN CON PARAFINA**

<b>Operador</b>	GAR
<b>Ing. De Proyecto</b>	CJE
<b>Fecha</b>	14/10/2019

Ensaye	Muestra No.	Prof: (m)	Peso Humedo Inicial (g)	Peso con Parafina (g)	Peso Sumergido (g)	Diferencia (g)	Especimen con Parafina (g)	Peso de Parafina Total (g)	Peso Especim. (g)	Peso Volum. (t/m³) $\gamma$
1	PCA-02 (Carpeta asfáltica)	0.00 - 0.13	472.54	510.04	248.28	37.5	261.76	38.66	223.10	2.118
2			-	-	-	-	-	-	-	-
PROMEDIO										2.118

Handwritten signatures in blue ink.



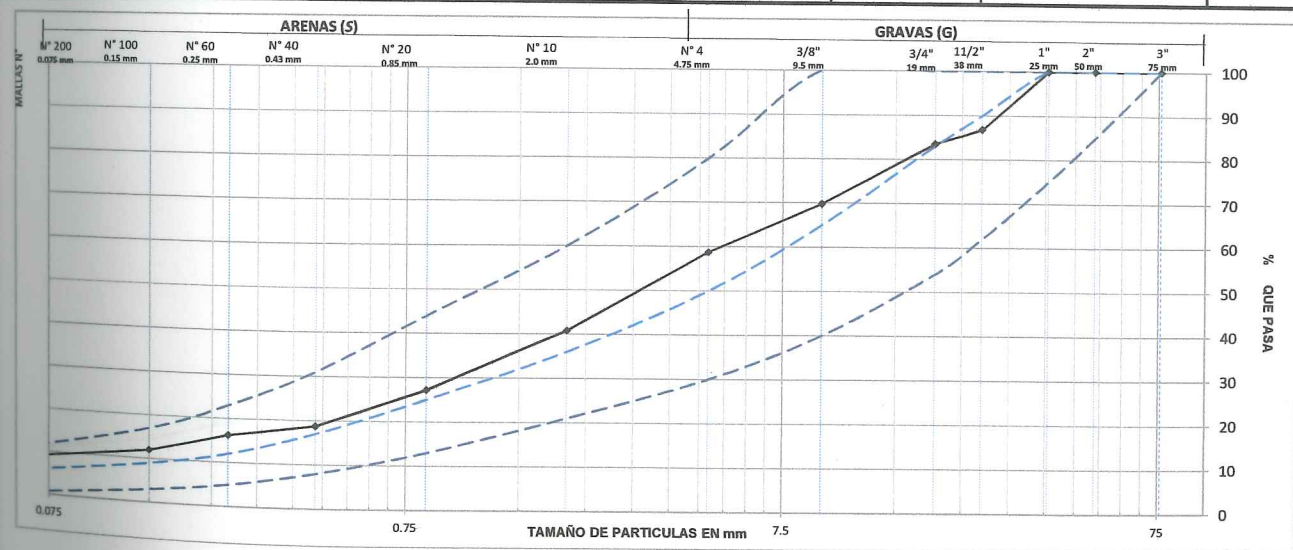
# Reporte de Análisis Granulométrico

M-MMP-1-06/03

Cliete :	CEMEX	Capa :	MR-1
Obra :	Ampliación Línea 3 del Metrobús	Fecha de muestreo:	3 de octubre de 2019
Ubicación :	Estación Eugenia	Fecha de prueba :	4 de octubre de 2019
Sondeo :	PCA-01	Laboratorista :	Germán Aguilar Ramírez
Profundidad :	0.13 m - 0.47 m		

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Peso Total de la Muestra :	1208.86 (g)	Fracción Retenida en Malla N°4 :	498.05 (g)				
Fracción que Pasa la Malla N°4 :	710.81 (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: 710.81				
	P. Mat. Ret + Tara	99.77	P. Mat. Retenido (g) 99.77 Pérdida por Lavado (%) 0.86				
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	216.77	17.93	40.87
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00	0.85 mm N°20	165.07	13.66	27.21
38.1 mm (1 1/2")	0.00	0.00	100.00	0.43 mm N°40	101.80	8.42	18.79
25.4 mm (1")	158.85	13.14	86.86	0.25 mm N°60	30.16	2.49	16.30
19.05 mm (3/4")	40.27	3.33	83.53	0.15 mm N°100	51.26	4.24	12.06
9.525 mm (3/8")	165.19	13.66	69.86	0.075 mm N°200	45.98	3.80	8.25
4.75 mm N°4	133.74	11.06	58.80	Pasa 0.075 mm N°200	99.77	8.25	
Pasa 4.75 mm N°4	710.81	58.80		Sumas	710.81	58.80	
Sumas	1208.86	100.00		Análisis Efectuado con :	710.81		
Peso Total de la Muestra	1208.86						



$D_{10} = 0.10$   
 $D_{30} = 1.00$   
 $D_{60} = 5.00$

$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 50.00$

$C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 2.00$

### RETENIDO EN %

3" =	0.00
G =	41.20
S =	50.55
F =	8.25
%	100.00

### SUCS:

**SW-SM**

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





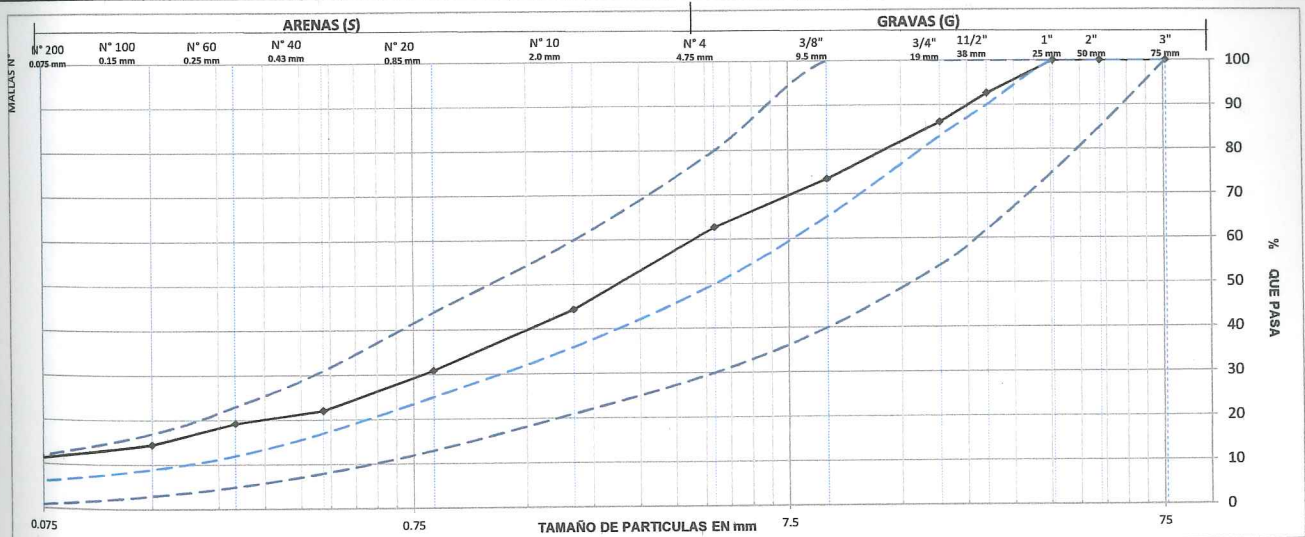
## Reporte de Análisis Granulométrico

M-MMP-1-06/03

<b>Ciente :</b> CEMEX	<b>Capa :</b> MR-2
<b>Obra :</b> Ampliación Línea 3 del Metrobús	<b>Fecha de muestreo :</b> 3 de octubre de 2019
<b>Ubicación :</b> Estación Eugenia	<b>Fecha de prueba :</b> 4 de octubre de 2019
<b>Sondeo :</b> PCA-01	<b>Laboratorista :</b> Germán Aguilar Ramírez
<b>Profundidad :</b> 0.47 m - 1.30 m	

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

<b>Peso Total de la Muestra :</b>		1212.47 (g)		<b>Fracción Retenida en Malla N°4 :</b>		451.08 (g)	
<b>Fracción que Pasa la Malla N°4 :</b>		761.39 (g)		<b>Peso Corregido por Humedad :</b>		0.00 (g)	
<b>Material más Fino que la Malla (0.075 mm)</b>	<b>Peso Tara (g)</b>	0.00		<b>Peso de muestra de material fino:</b>		761.39	
	<b>P. Mat. Ret + Tara</b>	123.73		<b>P. Mat. Retenido (g)</b>	123.73		<b>Pérdida por Lavado (%)</b>
<b>MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N° 4</b>				<b>MATERIAL QUE PASA EN LA MALLA N° 4</b>			
<b>Malla N°</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>Retenido Parcial %</b>	<b>Material que Pasa %</b>	<b>Malla N°</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>Retenido Parcial (%)</b>	<b>Material que Pasa (%)</b>
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00	2.0 mm N°10	221.67	18.28	44.51
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00	0.85 mm N°20	164.57	13.57	30.94
38.1 mm (1 1/2")	0.00	0.00	100.00	0.43 mm N°40	107.63	8.88	22.06
25.4 mm (1")	89.24	7.36	92.64	0.25 mm N°60	33.76	2.78	19.28
19.05 mm (3/4")	77.77	6.41	86.23	0.15 mm N°100	56.94	4.70	14.58
9.525 mm (3/8")	154.30	12.73	73.50	0.075 mm N°200	53.09	4.38	10.20
4.75 mm N°4	129.77	10.70	62.80	Pasa 0.075 mm N°200	123.73	10.20	
Pasa 4.75 mm N°4	761.39	62.80		<b>Sumas</b>	<b>761.39</b>	<b>62.80</b>	
<b>Sumas</b>	<b>1212.47</b>	<b>100.00</b>		<b>Análisis Efectuado con :</b>	<b>761.39</b>		
<b>Peso Total de la Muestra</b>	<b>1212.47</b>						



$D_{10} = 0.00$	$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = N/A$	<b>RETENIDO EN %</b>	<b>SUCS:</b>
$D_{30} = 0.80$	$C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = N/A$	3" = 0.00	<b>SP-SM</b>
$D_{60} = 4.20$		G = 37.20	
		S = 52.59	
		F = 10.20	
		% <b>100.00</b>	

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



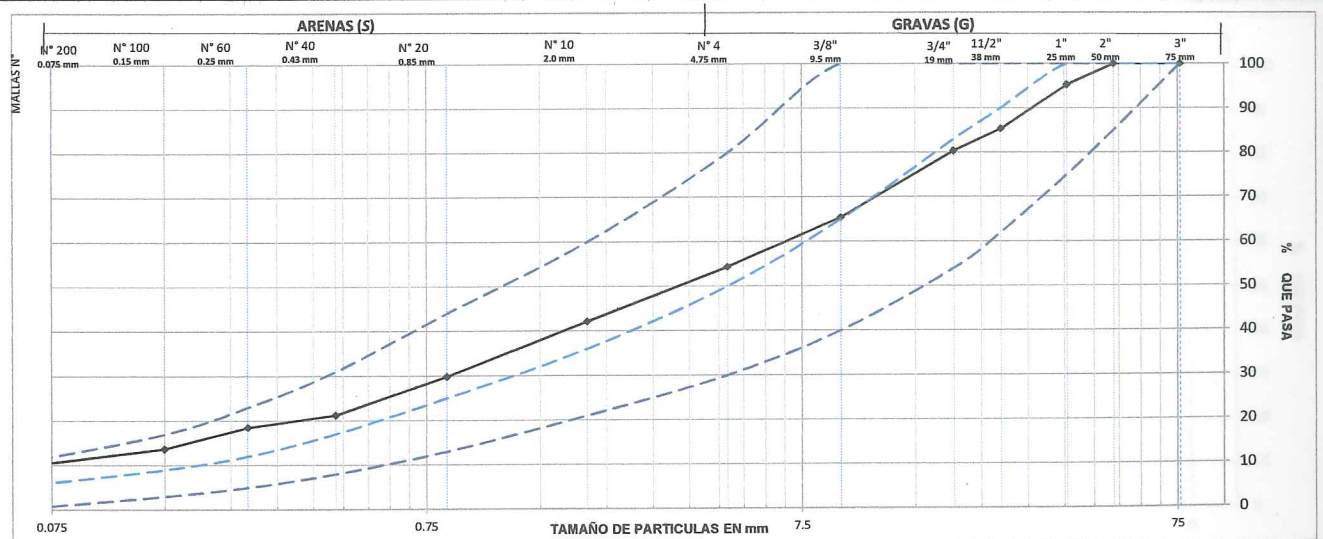
## Reporte de Análisis Granulométrico

M-MMP-1-06/03

<b>Cliente :</b> CEMEX <b>Obra :</b> Ampliación Línea 3 del Metrobús <b>Ubicación :</b> Estación Eugenia <b>Sondeo :</b> PCA-01 <b>Profundidad :</b> 0.13 m - 0.47 m	<b>Capa :</b> Costal 1 <b>Fecha de muestreo:</b> 3 de octubre de 2019 <b>Fecha de prueba :</b> 4 de octubre de 2019 <b>Laboratorista :</b> Germán Aguilar Ramírez
--	--

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Peso Total de la Muestra :		<b>7936.50</b> (g)		Fracción Retenida en Malla N° 4 :		<b>3621.39</b> (g)	
Fracción que Pasa la Malla N° 4 :		<b>4315.11</b> (g)		Peso Corregido por Humedad :		<b>0.00</b> (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: <b>904.50</b>		
	P. Mat. Ret + Tara	<b>156.34</b>		P. Mat. Retenido (g)	<b>156.34</b>	Pérdida por Lavado (%)	<b>0.83</b>
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	202.75	12.19	42.18
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00	0.85 mm N°20	205.01	12.32	29.86
38.1 mm (1 1/2")	376.46	4.74	95.26	0.43 mm N°40	142.46	8.56	21.30
25.4 mm (1")	784.27	9.88	85.37	0.25 mm N°60	46.03	2.77	18.53
19.05 mm (3/4")	392.10	4.94	80.43	0.15 mm N°100	79.34	4.77	13.76
9.525 mm (3/8")	1187.72	14.97	65.47	0.075 mm N°200	72.57	4.36	9.40
4.75 mm N°4	880.84	11.10	54.37	Pasa 0.075 mm N°200	156.34	9.40	
Pasa 4.75 mm N°4	4315.11	54.37		Sumas	904.50	54.37	
Sumas	7936.50	100.00		Análisis Efectuado con :	904.50		
Peso Total de la Muestra	7936.50						



$D_{10} = 0.06$   
 $D_{30} = 0.85$   
 $D_{60} = 7.00$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 116.67$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 1.72$$

#### RETENIDO EN %

3" = 0.00  
 G = 45.63  
 S = 44.97  
 F = 9.40  
 % 100.00

#### SUCS:

GW-GM

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





## Reporte de Análisis Granulométrico

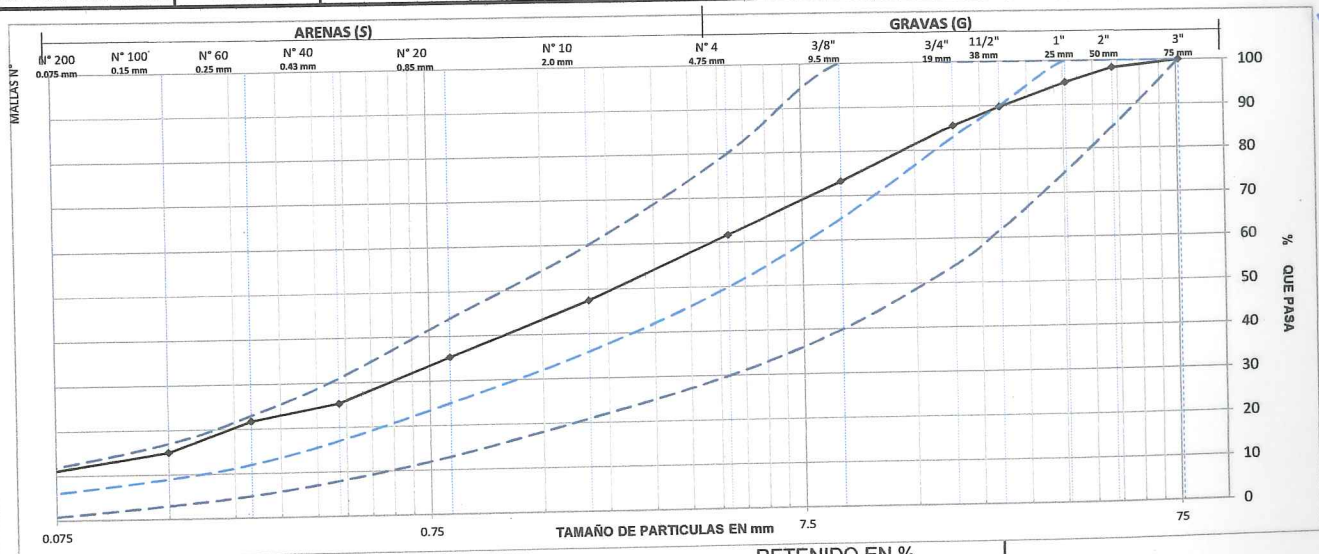
M-MMP-1-06/03

<b>Cliente :</b> CEMEX	<b>Capa :</b> Costal 2
<b>Obra :</b> Ampliación Línea 3 del Metrobús	<b>Fecha de muestreo:</b> 3 de octubre de 2019
<b>Ubicación :</b> Estación Eugenia	<b>Fecha de prueba :</b> 4 de octubre de 2019
<b>Sondeo :</b> PCA-01	<b>Laboratorista :</b> Germán Aguilar Ramírez
<b>Profundidad :</b> 0.47 m - 1.30 m	

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Peso Total de la Muestra :	10303.86	(g)	Fracción Retenida en Malla N°4 :	3941.50	(g)	
Fracción que Pasa la Malla N°4 :	6362.36	(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)	97.32	Peso de muestra de material fino:	619.86
	P. Mat. Ret + Tara	97.32	P. Mat. Retenido (g)	97.32	Pérdida por Lavado (%)	0.84

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 (%)
							61.75
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00	2.0 mm N°10	142.10	14.16	47.59
50.8 mm (2")	167.36	1.62	98.38	0.85 mm N°20	122.97	12.25	35.34
38.1 mm (1 1/2")	335.35	3.25	95.12	0.43 mm N°40	99.73	9.93	25.41
25.4 mm (1")	547.99	5.32	89.80	0.25 mm N°60	36.75	3.66	21.75
19.05 mm (3/4")	426.68	4.14	85.66	0.15 mm N°100	67.01	6.68	15.07
9.525 mm (3/8")	1265.33	12.28	73.38	0.075 mm N°200	53.98	5.38	9.69
4.75 mm N°4	1198.79	11.63	61.75	Pasa 0.075 mm N°200	97.32	9.69	
Pasa 4.75 mm N°4	6362.36	61.75		Sumas	619.86	61.75	
Sumas	10303.86	100.00		Análisis Efectuado con :	619.86		
Peso Total de la Muestra	10303.86						



$$D_{10} = 0.06$$

$$D_{30} = 0.68$$

$$D_{60} = 4.30$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 76.79$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 1.92$$

RETENIDO EN %

3" =	0.00
G =	38.25
S =	52.05
F =	9.69
%	100.00

SUCS:

SW-SM

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



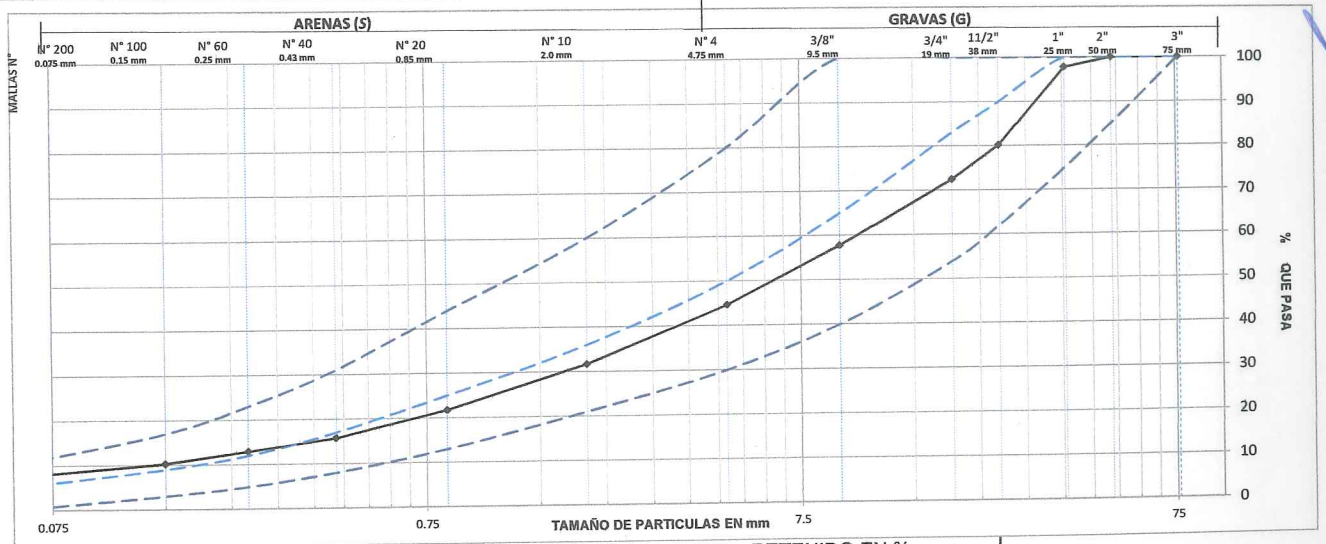
# Reporte de Análisis Granulométrico

M-MMP-1-06/03

<b>Ciente :</b> CEMEX <b>Obra :</b> Ampliación Línea 3 del Metrobús <b>Ubicación :</b> Estación Eugenia <b>Sondeo :</b> PCA-02 <b>Profundidad :</b> 0.13 m - 0.63 m	<b>Capa :</b> MR-01 <b>Fecha de muestreo :</b> 14 de octubre de 2019 <b>Fecha de prueba :</b> 17 de octubre de 2019 <b>Laboratorista :</b> Germán Aguilar Ramírez
---	--

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Peso Total de la Muestra :		2198.89 (g)		Fracción Retenida en Malla N°4 :		1216.22 (g)	
Fracción que Pasa la Malla N°4 :		982.67 (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: 982.67		
	P. Mat. Ret + Tara	163.11		P. Mat. Retenido (g)	163.11		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	284.39	12.93	31.76
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00	0.85 mm N°20	220.01	10.01	21.75
38.1 mm (1 1/2")	47.62	2.17	97.83	0.43 mm N°40	130.64	5.94	15.81
25.4 mm (1")	387.06	17.60	80.23	0.25 mm N°60	61.62	2.80	13.01
19.05 mm (3/4")	168.50	7.66	72.57	0.15 mm N°100	58.29	2.65	10.36
9.525 mm (3/8")	325.62	14.81	57.76	0.075 mm N°200	64.61	2.94	7.42
4.75 mm N°4	287.42	13.07	44.69	Pasa 0.075 mm N°200	163.11	7.42	
Pasa 4.75 mm N°4	982.67	44.69		Sumas	982.67	44.69	
Sumas	2198.89	100.00		Análisis Efectuado con :	982.67		
Peso Total de la Muestra	2198.89						



$D_{10} = 0.06$   
 $D_{30} = 0.85$   
 $D_{60} = 7.00$

$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 116.67$   
 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 1.72$

**RETENIDO EN %**  
 3" = 0.00  
 G = 55.31  
 S = 37.27  
 F = 7.42  
 % = 100.00

**SUCS:**  
GW-GM

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





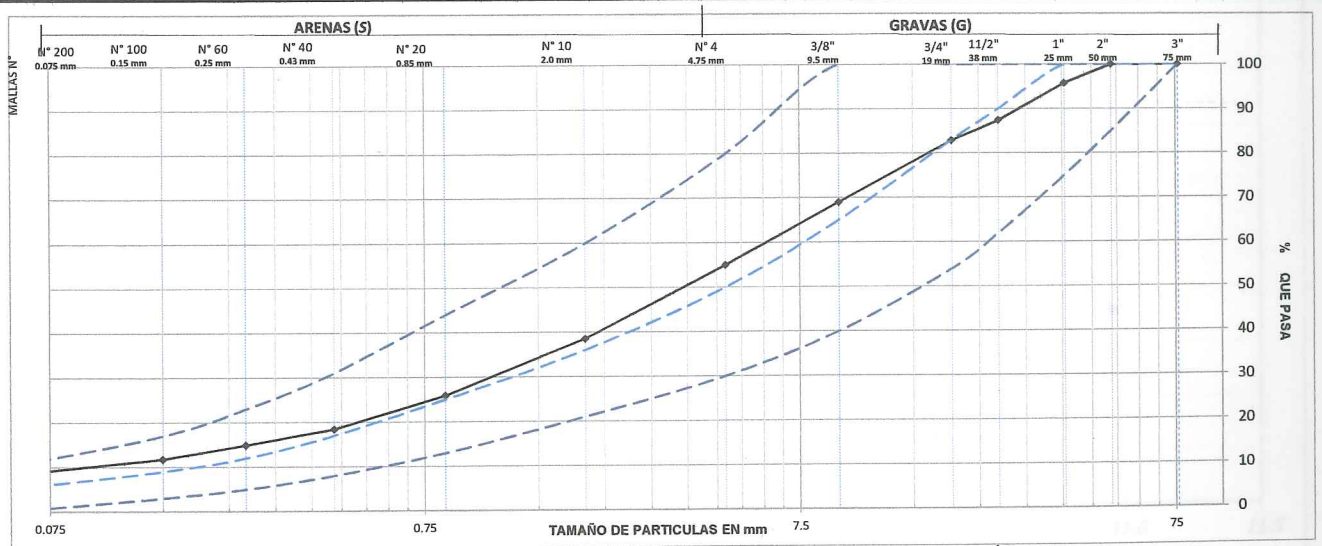
## Reporte de Análisis Granulométrico

M-MMP-1-06/03

<b>Ciiente :</b> CEMEX <b>Obra :</b> Ampliación Línea 3 del Metrobús <b>Ubicación :</b> Estación Eugenia <b>Sondeo :</b> PCA-02 <b>Profundidad :</b> 0.63 m - 1.30 m	<b>Capa :</b> MR-02 <b>Fecha de muestreo :</b> 14 de octubre de 2019 <b>Fecha de prueba :</b> 17 de octubre de 2019 <b>Laboratorista :</b> Germán Aguilar Ramírez
--	--

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Peso Total de la Muestra :		2742.76 (g)		Fracción Retenida en Malla N°4 :		1233.55 (g)	
Fracción que Pasa la Malla N°4 :		1509.21 (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:		1509.21	
	P. Mat. Ret + Tara	226.00		P. Mat. Retenido (g)	226.00		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	450.60	16.43	38.60
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00	0.85 mm N°20	347.92	12.69	25.91
38.1 mm (1 1/2")	115.86	4.22	95.78	0.43 mm N°40	204.69	7.46	18.45
25.4 mm (1")	228.35	8.33	87.45	0.25 mm N°60	95.26	3.47	14.98
19.05 mm (3/4")	124.60	4.54	82.91	0.15 mm N°100	86.68	3.16	11.82
9.525 mm (3/8")	379.74	13.85	69.06	0.075 mm N°200	98.06	3.58	8.24
4.75 mm N°4	385.00	14.04	55.03	Pasa 0.075 mm N°200	226.00	8.24	
Pasa 4.75 mm N°4	1509.21	55.03		Sumas	1509.21	55.03	
Sumas	2742.76	100.00		Análisis Efectuado con :	1509.21		
Peso Total de la Muestra	2742.76						



$D_{10} = 0.08$   
 $D_{30} = 0.50$   
 $D_{60} = 6.00$

$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 80.00$   
 $C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 0.56$

RETENIDO EN %	
3"	0.00
G	44.97
S	46.79
F	8.24
%	100.00

**SUCS:**  
SP-SM

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



# COMPACTACIÓN

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

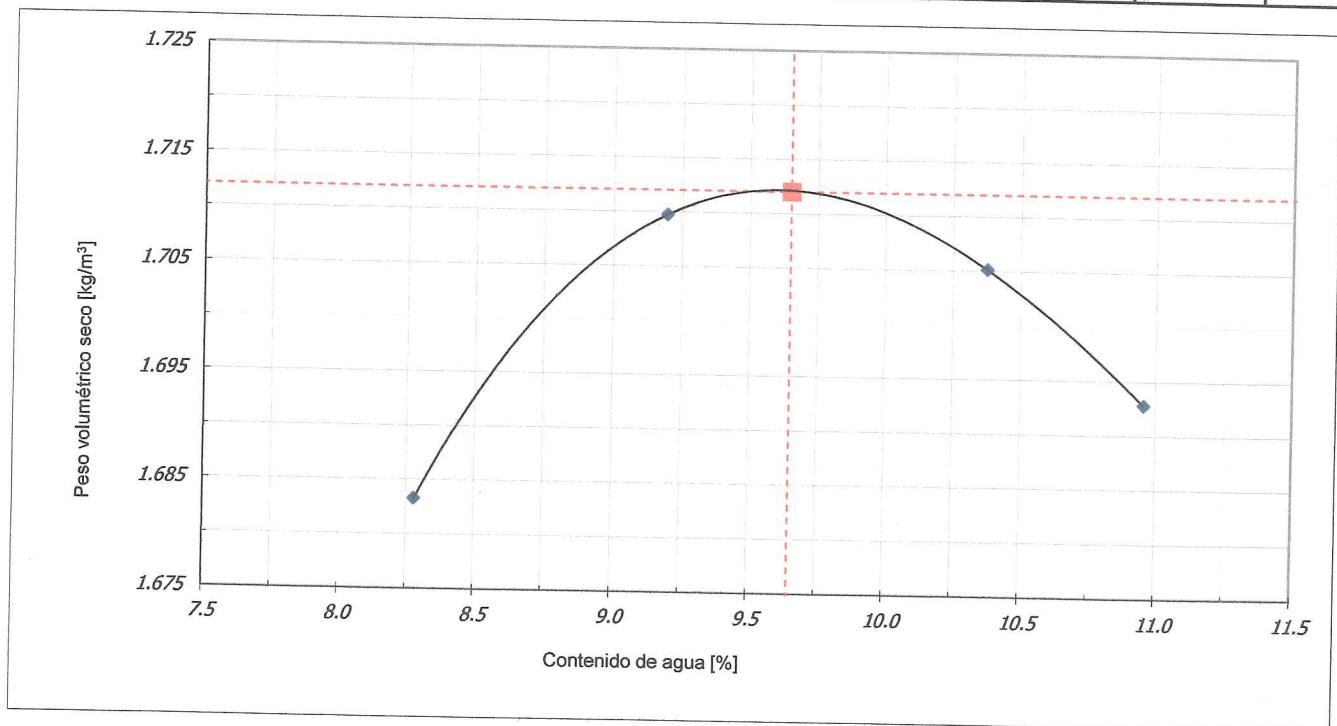
PROYECTO	Ampliación Línea 3 del Metrobús
LOCALIZACIÓN	Estación Eugenia
BANCO	PCA-01
MUESTRA	Costal 1
PROF. (m)	0.13 - 0.47
FECHA	08/10/2019
OPERADOR	Germán Aguilar Ramírez

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 <sup>2</sup>
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 <sup>3</sup>
46	72.16	228.19	216.26	8.28	10.878	3.864	3.569	1.683
28	60.26	212.85	200.00	9.20	10.972	3.958	3.625	1.710
17	60.74	214.56	200.10	10.38	11.004	3.990	3.615	1.705
13	60.20	217.38	201.86	10.96	10.996	3.982	3.589	1.693



PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO  
CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO

1.712	t/m <sup>3</sup>
9.7	w%

OBSERVACIONES.





# COMPACTACIÓN

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

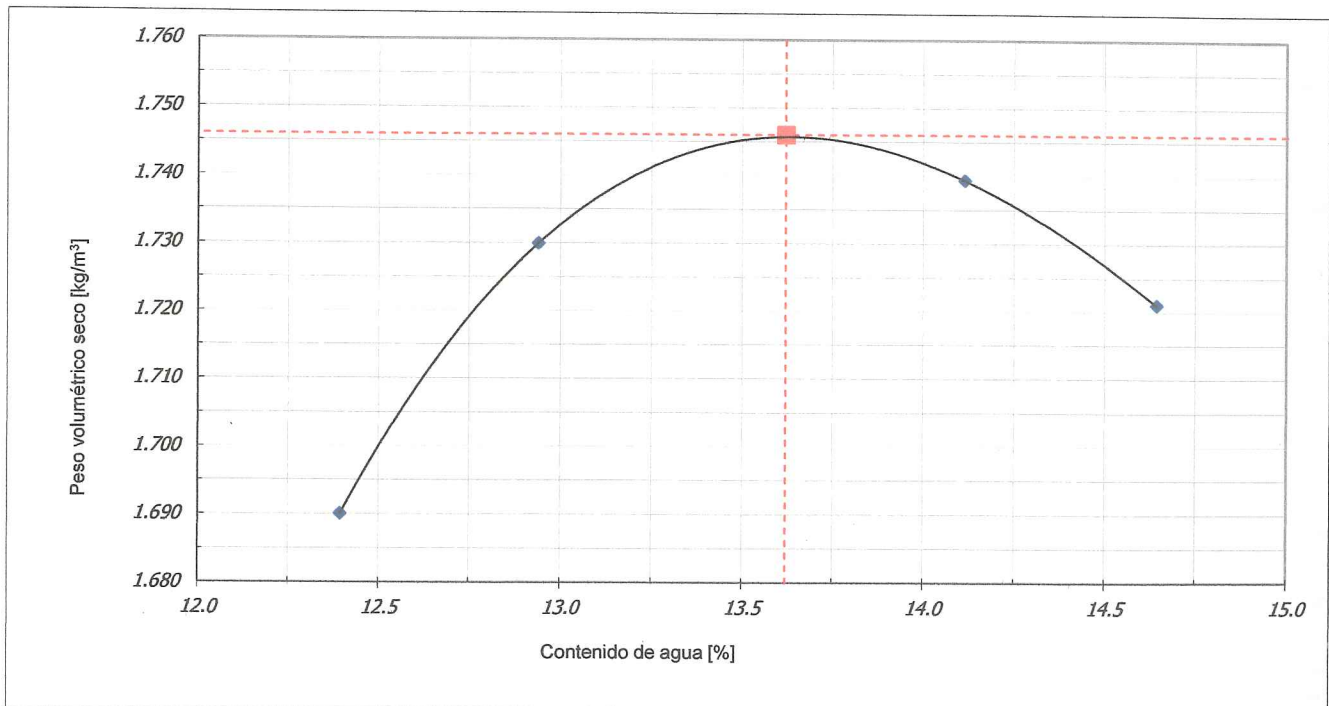
PROYECTO	Ampliación Línea 3 del Metrobús
LOCALIZACIÓN	Estación Eugenia
BANCO	PCA-01
MUESTRA	Costal 2
PROF. ( m )	0.47-1.30
FECHA	08/10/2019
OPERADOR	Germán Aguilar Ramírez

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 <sup>2</sup>
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 <sup>3</sup>
25	60.54	181.70	168.34	12.39	11.041	4.027	3.583	1.690
11	60.26	203.75	187.31	12.94	11.156	4.142	3.667	1.730
48	74.57	276.13	251.20	14.11	11.222	4.208	3.688	1.739
56	60.14	282.87	254.42	14.64	11.197	4.183	3.649	1.721



PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO  
CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO

1.746	t/m <sup>3</sup>
13.6	w%

OBSERVACIONES.



# VALOR RELATIVO DE SOPORTE (VRS)

(ASTM D1883-79)

Proyecto.: <b>Ampliación L3 Metrobús</b>	Pozo: <b>PCA-01</b>	Operador: <b>GAR</b>	Descripción del suelo : <b>(GW-GM) GRAVA BIEN GRADUADA CON LIMO Y ARENA COLOR CAFÉ OSCURO</b>
Localización: <b>Estación Eugenia</b>	Muestra: <b>COSTAL-1</b>	Revisó: <b>AICA</b>	
Fecha: <b>12-oct-2019</b>	Prof. (m): <b>0.13-0.47</b>		

Peso de la muestra.		Peso específico seco máximo. <b>1672</b> kg/m <sup>3</sup>	
Cilindro.: <b>1</b>	Saturada <b>1</b>	Contenido de agua sat. <b>13.72</b> %	
W cil + W m = <b>11.404</b> kg	<b>11.637</b> kg	Contenido de agua natural. <b>N/A</b> %	
W cil = <b>6.902</b> kg	<b>6.902</b> kg	Reproducción a.: <b>100</b> %	
W m = <b>4.502</b> kg	<b>4.735</b> kg	Constante de calibración. <b>1</b>	

Contenido de agua.			Energía Específ. de Compact. kg-cm/cm <sup>3</sup> <b>27.258</b>
Al compactar		Después de saturar	Natural
Tara No. <b>63</b>		<b>48</b>	<b>0</b>
Tara + W h = <b>193.26</b> g		<b>398.56</b> g	<b>0</b> g
Tara + W s = <b>181.92</b> g		<b>359.48</b> g	<b>0</b> g
Agua = W h - W s = <b>11.34</b> g		<b>39.08</b> g	<b>0</b> g
Tara = <b>61.74</b> g		<b>74.57</b> g	<b>0</b> g
W s = <b>120.18</b> g		<b>284.91</b> g	<b>0</b> g
w = <b>9.44</b> %		<b>13.72</b> %	<b>N/A</b> %

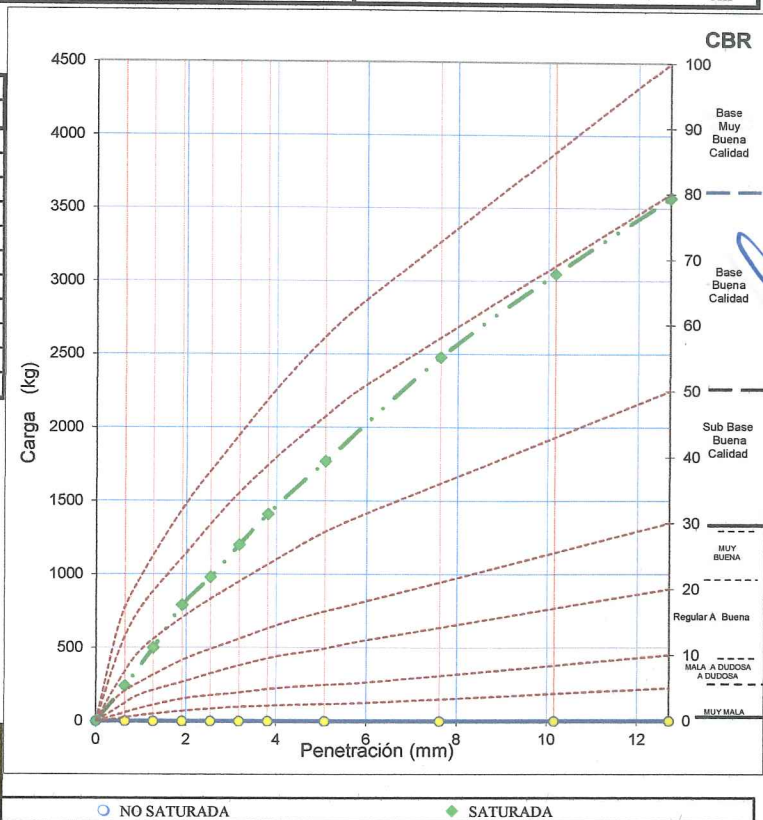
Datos del cilindro.		Resultados =	Datos del cilindro saturado.	
Altura faltante = <b>0</b> cm		w i = <b>9.44</b> %	Altura faltante = <b>0</b> cm	
Peso = <b>6.902</b> kg		w sat. = <b>13.72</b> %	Peso = <b>6.902</b> kg	
Altura = <b>12.71</b> cm		γ h = <b>1830</b> kg/m <sup>3</sup>	Altura = <b>12.71</b> cm	
Area = <b>193.59</b> cm <sup>2</sup>		γ sat = <b>1924</b> kg/m <sup>3</sup>	Área = <b>193.59</b> cm <sup>2</sup>	
Volumen = <b>2460.53</b> cm <sup>3</sup>		γ d = <b>1672</b> kg/m <sup>3</sup>	Volumen = <b>2460.53</b> cm <sup>3</sup>	
Altura corregida = <b>12.71</b> cm		CBR 1 = <b>0.0</b> %	Altura corregida = <b>12.71</b> cm	
Volumen corr. = <b>2460.53</b> cm <sup>3</sup>		CBR 2 = <b>77.1</b> %	Volumen corregido = <b>2460.53</b> cm <sup>3</sup>	
Deformación al sat. = <b>0</b> cm		δ / L = <b>0.00</b> %	Deformación al saturar (δ) = <b>0</b> cm	

L. Inic. mm **1.000** L. Fin. mm **1.000**

## 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	240.000	240.0
1.27	0.000	0.0	500.000	500.0
1.91	0.000	0.0	790.000	790.0
2.54	0.000	0.0	980.000	980.0
3.18	0.000	0.0	1200.000	1200.0
3.81	0.000	0.0	1410.000	1410.0
5.08	0.000	0.0	1770.000	1770.0
7.62	0.000	0.0	2480.000	2480.0
10.16	0.000	0.0	3050.000	3050.0
12.70	0.000	0.0	3570.000	3570.0

\* - SATURADA.



Observaciones:





## VALOR RELATIVO DE SOPORTE (VRS)

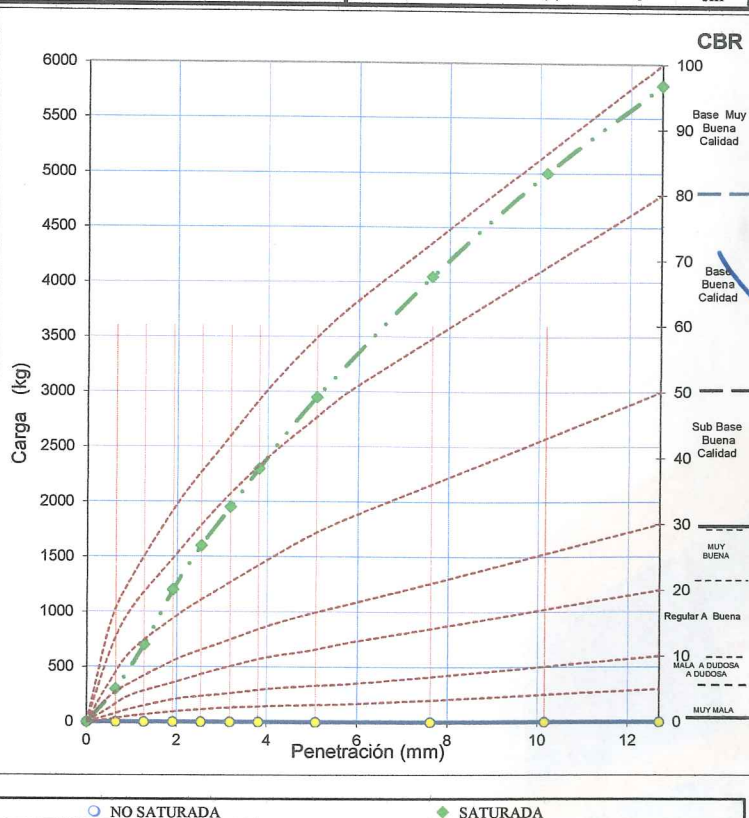
(ASTM D1883-79)

Proyecto.: <b>Ampliación L3 Metrobús</b>	Pozo: <b>PCA-01</b>	Operador: <b>GAR</b>	Descripción del suelo : <b>(SW-SM) ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO Y GRAVA COLOR CAFÉ OSCURO</b>
Localización: <b>Estación Eugenia</b>	Muestra: <b>Costal 2</b>	Revisó: <b>AICA</b>	
Fecha : <b>12-oct-2019</b>	Prof: (m) <b>0.47-1.30</b>		
Peso de la muestra.		Peso específico seco máximo. <b>1752</b> kg/m <sup>3</sup>	
Cilindro.: <b>2</b>	Saturada <b>2</b>	Contenido de agua sat. <b>14.64</b> %	Contenido de agua natural. <b>N/A</b> %
W cil + W m = <b>11.780</b> kg	<b>11.883</b> kg	Reproducción a.: <b>100</b> %	Constante de calibración. <b>1</b>
W cil = <b>6.915</b> kg	<b>6.915</b> kg	Energía Especif. de Compact. kg-cm/cm <sup>3</sup> <b>27.258</b>	
W m = <b>4.865</b> kg	<b>4.968</b> kg		
Contenido de agua .			
Al compactar		Después de saturar	Natural
Tara No. <b>29</b>	<b>61</b>	<b>0</b>	
Tara + W h = <b>202.26</b> g	<b>279.61</b> g	<b>0</b> g	
Tara + W s = <b>186.14</b> g	<b>251.72</b> g	<b>0</b> g	
Agua w = W h - W s = <b>16.12</b> g	<b>27.89</b> g	<b>0</b> g	
Tara = <b>60.63</b> g	<b>61.25</b> g	<b>0</b> g	
W s = <b>125.51</b> g	<b>190.47</b> g	<b>0</b> g	
w = <b>12.84</b> %	<b>14.64</b> %	<b>N/A</b> %	
Datos del cilindro.		Resultados =	
Altura faltante = <b>0</b> cm	Peso = <b>6.915</b> kg	w i = <b>12.84</b> %	
Altura = <b>12.71</b> cm	Área = <b>193.59</b> cm <sup>2</sup>	w sat. = <b>14.64</b> %	
Volumen = <b>2460.53</b> cm <sup>3</sup>	Altura corregida = <b>12.71</b> cm	γ h = <b>1977</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumen corr. = <b>2460.53</b> cm <sup>3</sup>	Deformación al sat. = <b>0</b> cm	γ sat = <b>2019</b> kg/m <sup>3</sup>	
		γ d = <b>1752</b> kg/m <sup>3</sup>	
		CBR 1 = <b>0.0</b> %	
		CBR 2 = <b>117.6</b> %	
		δ / L = <b>0.00</b> %	
L. Inic. mm <b>4.000</b>	L. Fin. mm <b>4.000</b>	Datos del cilindro saturado.	
		Altura faltante = <b>0</b> cm	
		Peso = <b>6.915</b> kg	
		Altura = <b>12.71</b> cm	
		Área = <b>193.59</b> cm <sup>2</sup>	
		Volumen = <b>2460.53</b> cm <sup>3</sup>	
		Altura corregida = <b>12.71</b> cm	
		Volumen corregido = <b>2460.53</b> cm <sup>3</sup>	
		Deformación al saturar (δ) = <b>0</b> cm	

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	300.000	300.0
1.27	0.000	0.0	700.000	700.0
1.91	0.000	0.0	1200.000	1200.0
2.54	0.000	0.0	1600.000	1600.0
3.18	0.000	0.0	1950.000	1950.0
3.81	0.000	0.0	2300.000	2300.0
5.08	0.000	0.0	2950.000	2950.0
7.62	0.000	0.0	4050.000	4050.0
10.16	0.000	0.0	5000.000	5000.0
12.70	0.000	0.0	5800.000	5800.0

\* - SATURADA.

Observaciones:





## ANEXO C

# REPORTE FOTOGRÁFICO



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



PROYECTO:

# AMPLIACIÓN L3 METROBÚS

SUPERVISOR: ING. RICARDO BARAJAS DOMINGUEZ  
PERFORADORA VIA  
PROFUNDIDAD EXPLORADA: 1.30m  
FECHA EJECUCIÓN: 03 OCTUBRE DE 2019

COORDENADAS:  
X: 483390  
Y: 2143544

PROFUNDIDAD EXPLORADA:

1.30m

SONDEO:

PCA-01  
Eugenia

Eugenia



Figura 1. Excavación de PCA-01



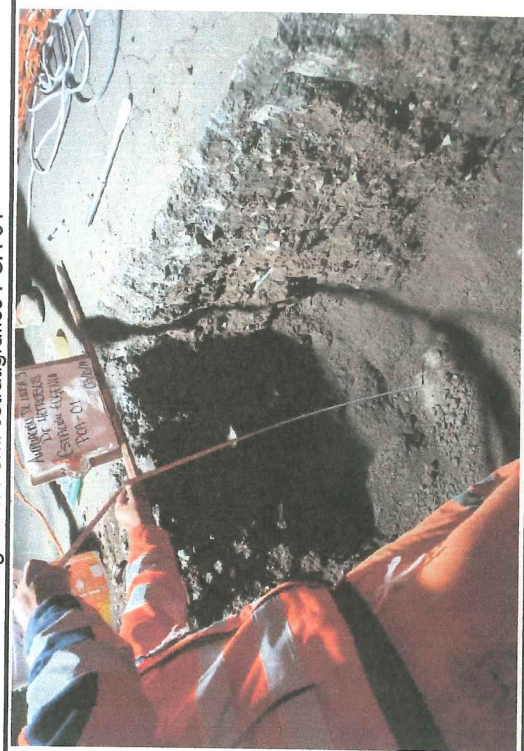
Figura 2. Excavación de PCA-01



Figura 3. Levantamiento geotécnico y muestreo PCA-01



Figura 4. Perfil estratigráfico PCA-01



*[Handwritten signature in blue ink]*



PROYECTO:

# AMPLIACIÓN L3 METROBÚS

SUPERVISOR: ING. RICARDO BARAJAS DOMINGUEZ  
PERFORADORA N/A  
PROFUNDIDAD EXPLORADA: 1.30m  
FECHA EJECUCIÓN: 03 OCTUBRE DE 2019

COORDENADAS:  
X: 483490  
Y: 2143544

PROFUNDIDAD EXPLORADA:

1.30m

SONDEO:

PCA-01  
Eugenia

Eugenia  
PCA-01



dicimsa  
DISEÑO DE CONCRETACIONES



Figura 5. Relleno compactado de PCA-01

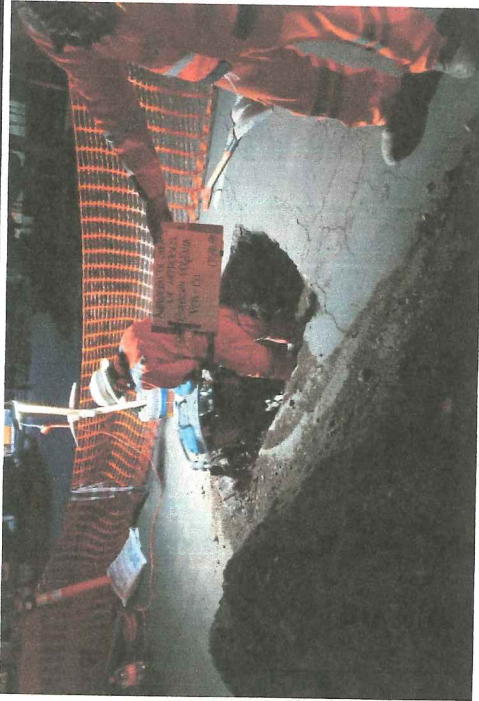


Figura 6. Colocación de asfalto en el PCA-01



*[Handwritten signature]*



**PROYECTO:**

# AMPLIACIÓN L3 METROBÚS

SUPERVISOR: ING. RICARDO BARAJAS DOMINGUEZ  
PERFORADORA I/A  
PROFUNDIDAD EXPLORADA: 1.30m  
FECHA EJECUCIÓN: 14 OCTUBRE DE 2019

COORDENADAS:  
X: 483484  
Y: 2143518

PROFUNDIDAD EXPLORADA:

1.30m

SONDEO:

PCA-02  
Eugenia

PCA-02  
Eugenia



Figura 7. Excavación de PCA-2



Figura 8. Excavación de PCA-2



Figura 9. Perfil estratigráfico PCA-2



Figura 10. Colocación de asfalto en el PCA-2



*Handwritten signature in blue ink.*



## ANEXO D

# MEMORIA DE CÁLCULO

*[Handwritten signature]*  
*[Handwritten signature]*  
*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*





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



**Proyecto:** Ampliación de la Línea 3 del Metrobús, estación Eugenia

## Parámetros geométricos de la cimentación

Df := 0.8 Profundidad de desplante, m  
 B := 3.4 Ancho del cimiento, m  
 L := 77 Longitud del cimiento, m  
 d<sub>caj</sub> := 0.50 Separación entre los cajones del STC-Metro y del Metrobús, m



## Propiedades del suelo

$\gamma$  := 17.2 Peso volumétrico del terreno de cimentación, kN/m<sup>3</sup>  
 $\phi$  := 39 Ángulo de fricción interna del terreno de cimentación, °  
 $c$  := 0.0 Cohesión del terreno de cimentación, kPa  
 p<sub>v</sub> :=  $\gamma \cdot Df$  p<sub>v</sub> = 13.8 Presión total al nivel de desplante, en kPa  
 E<sub>1</sub> := 44.2 Módulo de elasticidad, MPa  
 $\nu_1$  := 0.3 Relación de Poisson  
 z<sub>1</sub> := 1.30 Posición del cajón de la Línea 3 del STC-Metro  
 $\phi_w := \frac{\phi}{180} \cdot \pi$  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<sup>3</sup>

NOTA: Si NAF=0 =>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<sub>x</sub> := 0 Fuerza horizontal x, en kN  
 F<sub>z</sub> := 0 Fuerza horizontal z, en kN  
 M<sub>B</sub> := 0 Momento flexionante en dirección del ancho, en kN-m  
 M<sub>L</sub> := 0 Momento flexionante en dirección del largo, en kN-m  
 FC<sub>cv</sub> := 1.5 Factor de carga, estructura del grupo A

### Excentricidades de carga:

$e_B := \frac{M_B}{\Sigma Q}$  e<sub>B</sub> = 0 Excentricidad de carga en dirección del ancho, en m  
 $e_L := \frac{M_L}{\Sigma Q}$  e<sub>L</sub> = 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:

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

$$CVMAX := \frac{\Sigma Q \cdot FC_{cv}}{A'}$$

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

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

Coefficientes de capacidad de carga:

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

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

$$N_q = 56$$

$$N_\gamma = 92.2$$

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:

$F_R := 0.35$  Factor de reducción considerado. Inciso 3.2 de las NTC-DC (2017)

$$r_{CVMAX} := \left[ p_v \cdot (N_q - 1) + \frac{\gamma \cdot d_{caj} \cdot N_\gamma}{2} \right] \cdot F_R + p_v$$

Ecuación modificada para tomar en cuenta el efecto de la presencia del cajón de la Línea 3 STC-Metro

$$r_{CVMAX} = 417.3$$

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):

$$\delta_{per\_cp} := 0.02 \cdot d_{caj}$$

Asentamiento máximo permisible, cm

$$100\delta_{per\_cp} = 1$$

Se asumió igual al 2% de la separación entre el cajón de la estación del MB Eugenia 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

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

$$w_{\text{carga}}(B, z_1, L, r_{\text{CVMAX}}) = 413.2$$

### Asentamientos elástico y módulo de reacción vertical

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

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

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

$$100 \delta(B, L, r_{\text{CVMAX}}) = 0.43$$

**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.

$$k(B, L, r_{\text{CVMAX}}) = 97388.8$$

**Módulo de reacción vertical, kPa/m**