

Estudio de Mecánica de Suelos para el diseño geotécnico de la cimentación de la Estación Miguel Laurent 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-19-04-04

Octubre de 2019

Ing. Christian Juárez Estrada

Reviso M. en I. José Ramón Cruz Águila

M. en I. José Maria Reyes Mariano



# CONTENIDO

LIST	A DE FIGURAS	11
LIST	A DE TABLAS	. 111
LIST	A 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	8
3	CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL SITIO	10
	3.1 Zonificación geotécnica (RCDF-2017)	
	3.2 Hundimiento regional	11
	3.3 Aspectos sísmicos	12
	3.4 Atlas de riesgo de la Ciudad de México	13
	3.5 Riesgos geológicos y geotécnicos	14
	3.6 Modelo geotécnico	15
4	ANÁLISIS GEOTÉCNICOS	18
	4.1 Cargas a nivel de la cimentación e hipótesis de análisis	18
	4.2 Propuesta para la cimentación de las estructuras	
	4.3 Hipótesis de análisis	19
	4.4 Revisión de los estados límite de falla (RCCDMX, 2017)	20
	4.5 Revisión de los estados límite de servicio (RCCDMX, 2017)	
	4.6 Módulos de reacción verticales	23
5	RECOMENDACIONES PARA LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS	
6	CONCLUSIONES	26





	DISEND DE CIMENTACION
REFEREN	CIAS28
Anexo A	Reportes de exploracion 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 Miguel Laurent,
Ampliación de la L3 del MB, Ciudad de México1
Figura 1.2. Trazo de la ampliación de la Línea 3 del Metrobús y ubicación de la estación
Miguel Laurent3
Figura 1.3. Vista en corte de la estación Miguel Laurent (CEMEX, 2019)4
Figura 1.4. Vista en corte de la estación Miguel Laurent, tomando como referencia la
información de la estación Eugenia, División del Norte y Terminal Xoco (Cemex, 2019) 4
Figura 2.1. Vista de la excavación del PCA-01 y maniobra para recuperación de muestras
inalteradas5
Figura 2.2. Relleno y compactación del PCA-01
Figura 2.3. Vista de la excavación y levantamiento geotécnico del PCA-026
Figura 2.4. Maniobra para extracción de muestras inalteradas en el PCA-027
Figura 3.1. Zonificación geotécnica y localización de la estación Miguel Laurent (RCDF,
2017)
Figura 3.2. Hundimiento regional registrado por el II-UNAM entre 1998-2002 (Méndez, et al.,
2010)
Figura 3.3. Espectro de diseño sísmico, estación Miguel Laurent, CDMX (SASID, 2017) 12
Figura 3.4. Ubicación de la estación Miguel Laurent en el contexto del Atlas de Riesgos de la
Ciudad de México (SGIRPC, 2019)13
Figura 3.5. Riesgos geológico-geotécnicos identificados por medio del Atlas Nacional de
Riesgos (CENAPRED, 2018)
Figura 3.6 Prueba de compresión triaxial tipo UU, PCA-1 TS-01
Figura 3.7 Modelo geotécnico propuesto para la estación del MB Miguel Laurent
Figura 4.1 Propuesta general de desplante para el cajón de cimentación de la estación del
MB Miguel Laurent 19



DISEÑO DE CIMENTACIONES	
Figura 4.2 Desplazamientos generados para el cajón de cimentación de la estación del MB Miguel Laurent para diferentes valores de carga viva media	
LISTA DE TABLAS	
Tabla 2.1 Muestras recuperadas de la exploración mediante pozos a cielo abierto	\
LISTA DE ECUACIONES	
Ecuación 4.1	



#### 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 Miguel Laurent, misma que forma parte del proyecto Ampliación de la Línea 3 del Metrobús. Esta estación se ubicará sobre el Eje 1 Poniente (Av. Cuauhtémoc), entre las calles Pilares y Miguel Laurent, 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.

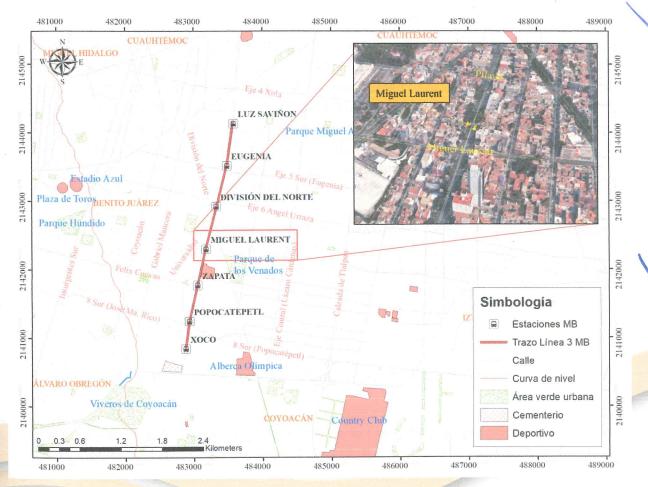


Figura 1.1. Vista general de localización del sitio en estudio, estación Miguel Laurent, Ampliación de la L3 del MB, Ciudad de México



#### 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 Miguel Laurent; asimismo, proporcionar el valor de *VRS* de las muestras obtenidas *in situ* para ser considerado en el diseño de pavimentos rígidos y 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 a profundidades máximas de exploración de 3.20 y 2.74 metros. Una vez que se detectó el terreno natural, se recuperaron muestras inalteradas mediante tubos de acero de pared delgada (shelby).
- 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 Miguel Laurent 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);
   archivo electrónico en formato PDF: "190912\_Eje de Trazo".
- Fachada arquitectónica en planta y corte de la estación Eugenia del proyecto de ampliación de la Línea 3 del Metrobús (marzo de 2019); archivo electrónico en formato PDF: "MBL3-CMX-EST-ARQ-004A-1-EUG".

A STATE OF THE STA

Q



- Fachada arquitectónica en planta y corte de la estación División del Norte del proyecto de ampliación de la Línea 3 del Metrobús (marzo de 2019); archivo electrónico en formato PDF: "MBL3-CMX-EST-ARQ-004A-1-DIV".
- Plano de la Terminal Hospital General Xoco (marzo de 2019); archivo electrónico en formato DWG: "MBL3-CMX-TER-ARQ-002-1".

#### 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 para mejorar la movilidad urbana en la zona sur de la Ciudad de México. 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. En la Figura 1.2 se presenta el trazo de la Ampliación de la Línea 3 del Metrobús, resaltándose la ubicación de la estación de MB Miguel Laurent.

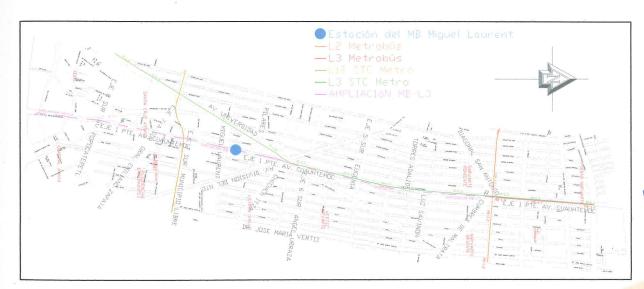


Figura 1.2. Trazo de la ampliación de la Línea 3 del Metrobús y ubicación de la estación <mark>Miguel</mark> Laurent

Por su parte, la estación Miguel Laurent 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 longitud de 8.5 m y un andén con una longitud de 77 metros, Figura 1.3.

My The second



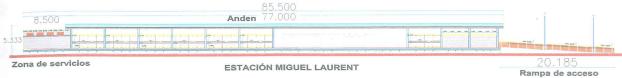


Figura 1.3. Vista en corte de la estación Miguel Laurent (CEMEX, 2019)

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

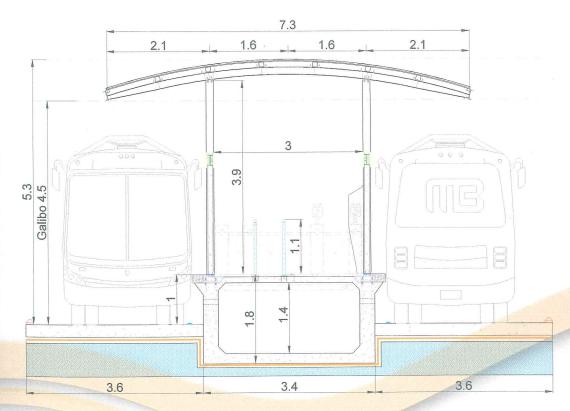


Figura 1.4. Vista en corte de la estación Miguel Laurent, tomando como referencia la información de la estación Eugenia, División del Norte y Terminal Xoco (Cemex, 2019)



#### 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 (PCA); las profundidades máximas de exploración alcanzadas, medidas a partir del nivel de la superficie vial de concreto asfáltico, fueron de 3.20 y 2.74 metros. Los trabajos de exploración en ambos puntos fueron llevados a cabo en dos etapas: a) excavación de pozo a cielo abierto hasta detectar el terreno natural y b) recuperación de muestras inalteradas mediante tubo de pared delgada tipo Shelby. 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 e inalteradas, 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 Miguel Laurent. 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. Como medida de seguridad, el punto de exploración fue confinado con las medidas y el equipo de seguridad pertinente.

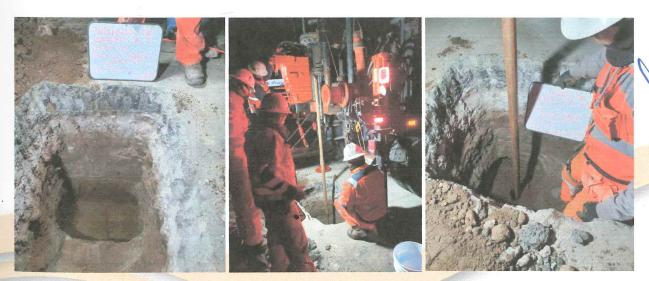


Figura 2.1. Vista de la excavación del PCA-01 y maniobra para recuperación de muestras inalteradas



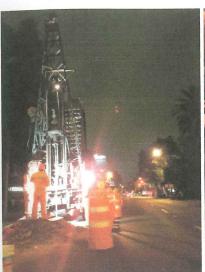


Figura 2.2. Relleno y compactación del PCA-01



Figura 2.3. Vista de la excavación y levantamiento geotécnico del PCA-02







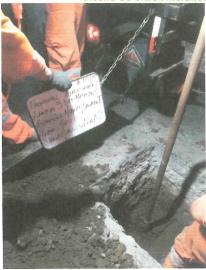


Figura 2.4. Maniobra para extracción de muestras inalteradas en el PCA-02

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

	Prof. Máxima	Coordena	das UTM		Profund	idad [m]	Tipo de		
Pozo	de exploración	X		Muestra	De	Α	muestra		
				1	0.00	0.21	Representativa		
	,			2	0.21	0.37	Representativa		
				3	0.37	0.51	Representativa		
				4	0.51	0.66	Representativa		
				,	5	0.66	0.96	Representativa	
PCA-01	3.20 m	483175	2142301	6	0.96	1.26	Representativa		
				Costal 1	0.37	0.51	Alterada		
				i.		Costal 2	0.65	0.96	Alterada
				Costal 3	0.96	1.40	Alterada		
				TS-1	1 1.40 2.30	Inalterada			
				TS-2	2.30	3.20	Inalterada		
				1	0.00	0.20	Representativa		
DO4 44				2	0.20	0.48	Representativa		
PCA-02	2.74 m	483180	2142326	2142326	3	0.48	0.60	Representativa	
				4	0.60	0.94	Representativa		



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

	Prof. Máxima	Coordena	das UTM		Profund	idad [m]	Tipo de	
Pozo	de exploración	X	Υ	Muestra	De	Α	muestra	
			2142326	Costal 1	0.60	0.94	Alterada	
PCA-02	2.74 m	483180		TS-1	0.94	1.84	Inalterada	
				TS-2	1.84	2.74	Inalterada	



## 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 a partir de los procedimientos sugeridos en la norma ASTM D1883, es posible evaluar la resistencia potencial de las estructuras de los pavimentos.
- Compresión triaxial No consolidada No drenada (ASTM D2850). Por medio de esta prueba fueron determinados los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y las características esfuerzo-deformación de los materiales recuperados de manera inalterada. Su ejecución se basa en las normas BS 1377-2:1990 y ASTM D2850.

A continuación, los resultados de las pruebas de laboratorio, índice y de pavimentos, se presentan en la Tabla 2.2, mientras que los resultados de las pruebas mecánicas se resumen en la Tabla 2.3.







Tabla 2.2 Resultados de laboratorio del PCA-01 y PCA-02, estación Miguel Laurent

		Profundidad [m]		.w	γ	Granulometria				Pavimentos		
Pozo	Muestra	De	А	[%]	[kN/m³]	G [%]	S [%]	F [%]	SUCS	yd,max [kN/m³]	w <sub>opt</sub> [%]	VRS  %
	1	0.00	0.21	-	23.6	-	-	-	-	-	-	-
	2	0.21	0.37	-	20.65	-	-	-	-	-	-	-
	3	0.37	0.51	15	19.65	-	-	-	-	-	-	-
	4	0.51	0.66	16	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	0.66	0.96	8	-	-	-	-	-	-	-	-
PCA-01	6	0.96	1.26	35	-	-	-	-	-	-	-	
	Costal 1	0.37	0.51	-	-	38	43	19	SM	16.3	20.6	117.6
	Costal 2	0.66	0.96	-	-	16	67	17	SM	17.1	18.2	80.9
	Costal 3	0.96	1.40	-	-	0	23	77	CL	14.6	26.8	12.5
	TS-1	1.40	2.30	27	18.7	0	36	64	CL	-	-	-
	TS-2	2.30	3.20	20	16.3	39	47	14	SM	-	-	-
	Carpeta	0.00	0.20	-	23.34	-	-	200	-	-	-	-
	2	0.20	0.48	12	21.28	63	31	6	GP-GM	-	-	-
	3	0.48	0.60	18	-	28	42	31	SM	-	-	-
PCA-02	4	0.60	0.94	35	-	0	7	93	СН	-	-	Ace
	Costal 1	0.60	0.94	-	-	0	9	91	СН	-	-	-
	TS-1	0.94	1.84	24	16.7	1	49	50	CL	-	-	-
	TS-2	1.84	2.74	37	16.2	0	42	58	CL	-	-	-

Tabla 2.3 Parámetros mecánicas del PCA-01, estación Miguel Laurent

Pozo	Pozo Muestra		Profundidad [m]		γ	e	$C_{II}$	$\phi_u$	$E_u$	
P020	Muestra	De	Α	[%]	[kN/m³]	-	[kPa]	[°]	[MPa]	
PCA-01	TS-1	1.40	2.30	27	18.7	0.77	47	18	13.4	

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 Miguel Laurent se localiza dentro de la Zona II (Transición), tal y como se muestra en la Figura 3.1.

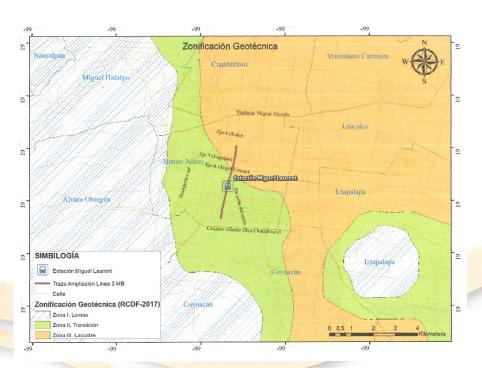


Figura 3.1. Zonificación geotécnica y localización de la estación Miguel Laurent (RCDF, 2017)







## 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 Miguel Laurent está entre 0 y 4 cm/año.

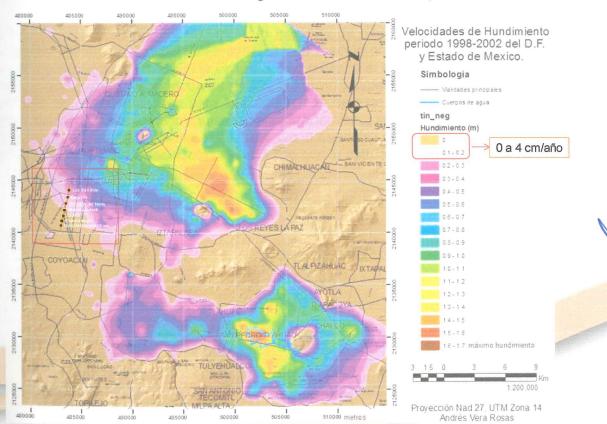


Figura 3.2. Hundimiento regional registrado por el II-UNAM entre 1998-2002 (Méndez, et al., 2010)



#### 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 Miguel Laurent 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 <u>espectro de diseño</u> le corresponden valores del coeficiente sísmico de la meseta espectral  $(c_s)$  y de la aceleración pico del terreno  $(a_0)$  de 0.498 g y 0.141 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.

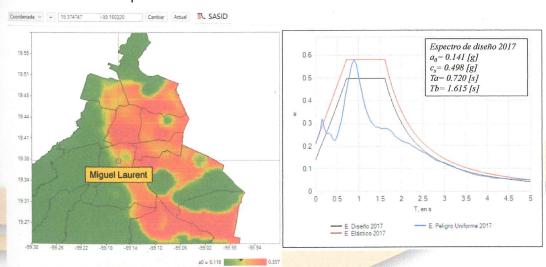


Figura 3.3. Espectro de diseño sísmico, estación Miguel Laurent, CDMX (SASID, 2017)



## 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 Miguel Laurent, ubicada sobre la Av. Cuauhtémoc, entre las calles Pilares y Miguel Laurent, dentro de la Alcaldía Benito Juárez.

En la Figura 3.4 se muestra la ubicación de la estación Miguel Laurent 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 Miguel Laurent 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 Miguel Laurent a la falla inferida más cercana es de aproximadamente 660 m; asimismo, la distancia al epicentro registrado más cercano es del orden de 1,120 metros. También se pueden observar varios agrietamientos en las inmediaciones del sitio en estudio, el más cercano se encuentra a 300m al oriente de la estación Miguel Laurent, tal y como se ilustra en la Figura 3.5.

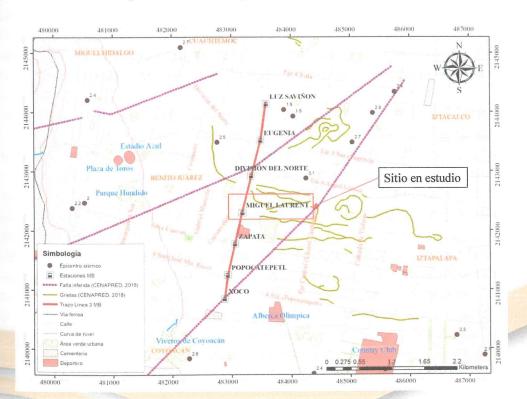


Figura 3.5. Riesgos geológico-geotécnicos identificados por medio del Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2018)



#### 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 hasta ahora realizadas y la información proveniente de investigaciones exhaustivas realizadas para caracterizar los suelos presentes en la cuenca del Valle de México, se propuso un modelo geotécnico conformado por las unidades estratigráficas siguientes:

- UE-1. Relleno granular controlado: arena limosa con grava de compacidad muy densa (SM). Esta unidad estratigráfica está compuesta predominantemente por materiales granulares compactados por medios mecánicos; presenta un porcentaje de gravas (G%) que oscila de 16% a 38%, porcentaje de arenas (A%) que va de 43% a 67% y porcentaje de finos (F%) de 17% a 19%. A partir de pruebas de compactación en laboratorio (compactación Proctor), se obtuvo que el peso volumétrico seco máximo (ya,max) de esta capa tiene un valor del orden de 16.3 kN/m³, mientras que el peso volumétrico húmedo oscila en un rango de 17 a 19 kN/m³. Con base en el criterio establecido por Livneh (1989), en concomitancia con el criterio de Peck, Hanson y Thornburn (1974), se estimó un ángulo de fricción interna de entre 35 y 42°. A su vez, con base en sus características de granulométricas y compacidad se estimó un rango de módulo de elasticidad de 35 a 75 MPa. El espesor de esta unidad es del orden de 0.96 metros.
- **UE-2. Relleno antrópico NO controlado:** Esta unidad está compuesta por una mezcla heterogénea de residuos de mampostería de diferentes tamaños y suelos predominantemente arcillosos que presentan un porcentaje de arenas (*A%*) del 23% y un porcentaje promedio de finos (*F%*) del orden de 77%. A partir de pruebas de compactación se obtuvo que el peso volumétrico seco máximo de estos materiales es del orden de 14.6 kN/m³. Esta unidad alcanza una profundidad de 1.4 metros desde la superficie de rodamiento de Av. Cuauhtémoc.
- UE-3. Arcilla arenosa de baja plasticidad de consistencia media a firme (CL). Esta unidad estratigráfica está compuesta predominantemente por materiales de grano fino, con un porcentaje de arenas (A%) de 36% y porcentaje promedio de finos (F%) del orden de 64%. A partir de pruebas de compresión triaxial de tipo UU se obtuvieron sus respectivos parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y deformabilidad, como se ilustra en la Figura 3.6. Esta unidad presentó una cohesión ( $c_u$ ) de 47 kPa, un ángulo de fricción interna ( $\phi_u$ ) igual a 18° y un módulo de elasticidad promedio ( $E_u$ ) igual a 13.4 MPa. Por su parte, los parámetros de compresibilidad de esta unidad fueron estimados a partir de las diferentes correlaciones propuestas por el Instituto de Ingeniería de la







UNAM (2016) para los suelos presentes en la cuenca del Valle de México; de esta manera se estableció que la relación de vacíos oscila entre 0.73 y 2.5, el índice de compresión (Cc) entre 0.12 y 0.49 y el índice de recompresión (Cr) en un rango de 0.03 a 0.07. Asimismo, se consideró que la relación de sobreconsolidación (OCR) de estos suelos oscila entre 1.2 y 2.5. Finalmente, como criterio de diseño se asumió, desde un punto de vista conservador, que este estrato se extiende hasta una profundidad de 3.5 veces el ancho del cajón, es decir hasta 12 metros.

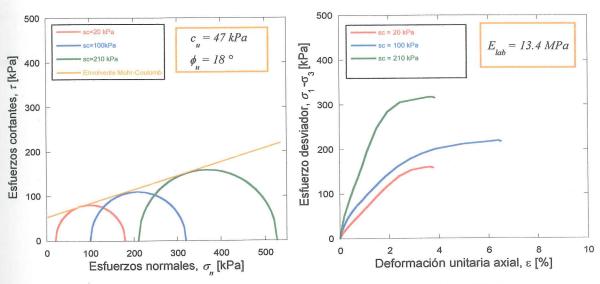


Figura 3.6 Prueba de compresión triaxial tipo UU, PCA-1 TS-01

Por otra parte, es importante destacar que durante los trabajos de exploración geotécnica no se detectó la presencia de nivel de aguas freáticas directamente. Sin embargo, se sabe que regionalmente el nivel de aguas freáticas en esta parte de la ciudad se encuentra en los primeros 5 metros de profundidad. Por tal razón, para el diseño geotécnico de la cimentación se asumió como nivel de aguas freáticas (*NAF*) la profundidad máxima de exploración, es decir, 3.20 metros con respecto a la superficie vial.

Así pues, el modelo geotécnico propuesto para la estación Miguel Laurent se presenta en la Tabla 3.1 y se ilustra en la Figura 3.7.



Tabla 3.1 Modelo geotécnico propuesto para la estación Miguel Laurent

	Prof	. [m]	Descripción	ø	SUCS	Y	VRS	С	φ	E	$\mathcal{C}u$	OCR	Cc	Cr
Unidad	De:	A:	Descripcion	[%]	secs.	[kN/m³]	[%]	[kPa]	[°]	[MPa]			-	
UE-1	0.21	0.96	Estructura de pavimento: arena limosa con grava	9-15	SM	17-19	65-95	5-10	35-42	35-75		No	aplica	6
UE-2	0.96	1.40	Relleno NO cor detectaron re mampos	16.0	No aplica									
UE-3	1.40	12.00	Arcilla de baja plasticidad arenosa	29	CL	18.7	-	47	18	13.4	0.73-2.49	1.2-2.5	0.12-0.49	0.03-0.07

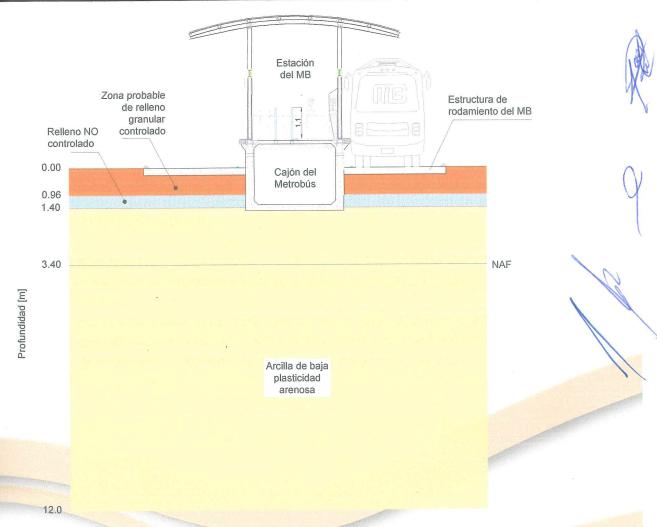


Figura 3.7 Modelo geotécnico propuesto para la estación del MB Miguel Laurent



## 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 1.5 m de profundidad, asimismo se presenta un análisis de sensibilidad de asentamientos, tanto a corto como a largo plazo, 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, al sistema de estructuración de la estación Miguel Laurent 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 1.5 metros. Esta profundidad se asumió debido al estrato de relleno no controlado que se detectó entre 0.96 y 1.4 metros.
- Sin embargo, también será aceptable desplantar el cajón a una profundidad de 0.8 m, siempre y cuando se sustituya el material que se encuentra entre 0.8 y 1.4 metros por materiales granulares con calidad de subrasante o superior, tal y como se indica en la Figura 4.1.





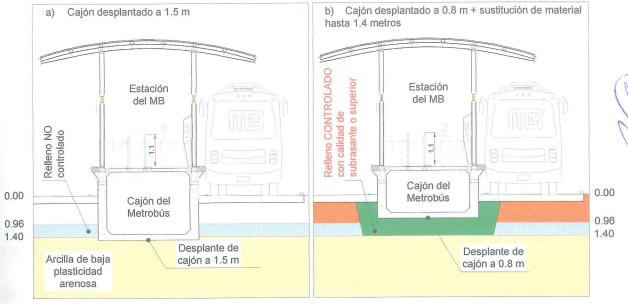


Figura 4.1 Propuesta general de desplante para el cajón de cimentación de la estación del MB Miguel Laurent

# 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.
- El cajón del Metrobús se desplantará sobre el terreno natural (UE-3: Arcilla de baja plasticidad arenosa) o bien sobre un relleno antrópico controlado de composición principalmente granular, de compacidad muy densa y con calidad de subrasante o superior.



- La capacidad de carga del cajón del Metrobús está dada por los parámetros de resistencia del terreno natural (UE-3), aún y cuando, eventualmente, el cajón se desplantase sobre un relleno controlado con calidad de subrasante.
- En el caso de la verificación de los niveles de servicio, se consideró que, al encontrarse la estación Miguel Laurent dentro de la Zona II (transición), y tomando en cuenta que se trata de una estructura colindante, el diseño geotécnico se encamino a garantizar que el asentamiento o emersión máxima de la estructura siempre se mantenga por debajo de los 150 mm (15 cm), tal y como se señala en la Tabla 3.1.1 de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones (2017).
- Asimismo, para la verificación de los niveles de servicio se evaluaron diferentes niveles de carga viva media, desde 5 hasta 50 kPa (0.5 a 5 t/m²).

## 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 cohesivo del suelo para la evaluación de la capacidad de carga dada por la ecuación que se indica a continuación (Ecuación 3.3.2 del RCDF-NTC-DC):

$$\mathbf{r} = [c_u N_c] F_R + p_v$$

Ecuación 4.1

donde:

- r es la capacidad de carga unitaria reducida (es decir afectada por el factor de resistencia correspondiente) de la cimentación
- $p_{\nu}$  es la presión vertical total a la profundidad de desplante
- ${\it N_c}$  coeficiente de capacidad de carga, el cual está dado por la expresión siguiente:

$$N_c = 5.14 \left( 1 + 0.25 \frac{D_f}{B} + 0.25 \frac{B}{L} \right)$$
 Ecuación 4.2

- F<sub>R</sub> es el factor de reducción de resistencia que depende del tipo de suelo, tipo de cimentación y de la ubicación geotécnica. Se tomó igual 0.65 por tratarse de un cajón de cimentación desplantado en la Zona de Transición
- D<sub>f</sub> profundidad de desplante
- B es el ancho del cimiento
- L es la longitud del cimiento



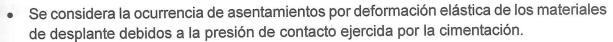
Los resultados de la revisión se muestran en la Tabla 4.1, en donde destaca que la capacidad de carga reducida de acuerdo con las NTC-DC (2017) es igual a 238 kPa (23.8 t/m²).

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 1.5 m de profundidad	238 (23.8 t/m²)

# 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 Miguel Laurent 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:



- Debido a que la posición del nivel de aguas freáticas (NAF) se asumió igual a 3.4 metros y a que el cajón se desplantará en un depósito conformado por una arcilla de baja plasticidad arenosa (UG-3), se consideró que se presentarán asentamientos asociados con el efecto del fenómeno de consolidación.
- Con base en el RCDF (2017), los desplazamientos verticales permisibles para la estación Miguel Laurent se deben mantener por debajo de los 15 cm, pues el cajón se desplantará en la zona geotécnica conocida como Transición.
- La deformación elástica del subsuelo se consideró a partir del nivel de desplante de la cimentación.
- Para la verificación de los niveles de servicio se evaluaron diferentes niveles de carga viva media, desde 5 hasta 50 kPa (0.5 a 5 t/m²).

En términos generales, la presión asociada con el desplazamiento permisible se estimó con la aplicación de la Ecuación 4.3. En particular se asumió que los desplazamientos por el efecto de consolidación se presentarán en la UG-3.

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

Ecuación 4.3





#### dónde:

 $\delta_{perm}$  = desplazamiento, que deberá ser igual o menor que 15 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, mismo que toma en cuenta los desplazamientos generados por el fenómeno de consolidación

 $v_i$  = relación de Poisson del estrato i

q = presión en el cimiento

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

Al aplicar la Ecuación 4.3 para las condiciones particulares del cajón de cimentación de la estación del MB Miguel Laurent, y considerando una carga viva media menor que 50 kPa, se obtiene un asentamiento a largo plazo menor que 3 cm, en cuya condición el cajón cumpliría con los estados límites de servicio. Estos resultados se resumen en la Figura 4.2.

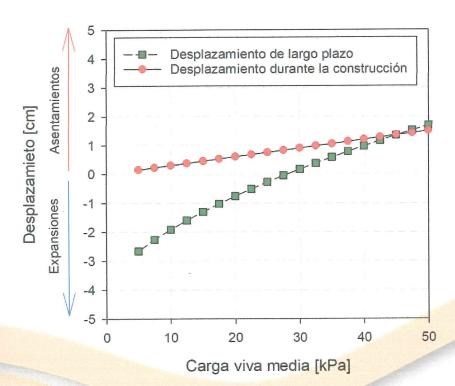


Figura 4.2 Desplazamientos generados para el cajón de cimentación de la estación del MB Miguel Laurent para diferentes valores de carga viva media



#### 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 4.4

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 Miguel Laurent son del orden de 3333.4 y 1299.9 *kPa/m* para condiciones de corto (construcción) y largo plazo (consolidación), respectivamente. En la Figura 4.3 se ilustra la variación de los módulos de reacción para diferentes niveles de carga incidente en el cajón de cimentación de la estación Miguel Laurent.

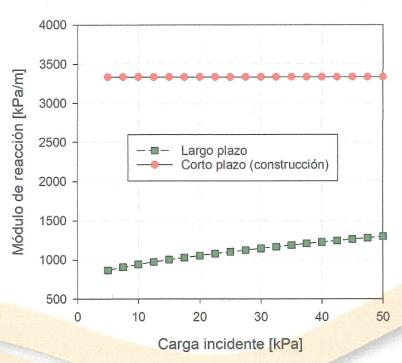


Figura 4.3 Módulos de reacción para el cajón de cimentación de la estación del MB Miguel

Laurent para diferentes niveles de cargas incidentes









#### 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 Miguel Laurent. Estas recomendaciones son las mínimas que se deben cumplir, pero de ningún modo tienen un carácter limitativo.

- El cajón de cimentación deberá estar desplantado a una profundidad mínima de 1.5 metros. Sin embargo, también será aceptable desplantar el cajón a una profundidad de 0.8 m, siempre y cuando se sustituya el material que se encuentra entre 0.8 y 1.4 metros por materiales granulares con calidad de subrasante o superior, tal y como se indica en la Figura 4.1 de la sección anterior.
- Se deberá ratificar que al nivel de desplante del cajón de cimentación del Metrobús no se tiene la presencia de estructuras subterráneas que pudiesen afectar el comportamiento del cajón, esto podrá realizarse con base en los resultados de los estudios geofísicos del proyecto.
- Los PCA realizados permitieron dilucidar que un relleno no controlado entre 0.96 y 1.4
  metros de profundidad. Sin embargo, si durante la apertura de la trinchera para alojar
  el cajón se presentará que el espesor de estos materiales es superior al detectado en
  los PCA realizados, éstos deberán ser sustituidos por materiales granulares con calidad
  de subrasante o superior.
- 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.
- 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 suelo de desplante no ha sufrido alteraciones por el proceso constructivo.
- 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.



#### 6 CONCLUSIONES

En este informe se presenta el marco geotécnico general de la estación Miguel Laurent, 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
   Miguel Laurent se localiza dentro de la Zona II (Transición).
- La velocidad de hundimiento regional en la zona donde se construirá la estación Miguel Laurent está entre 0 y 4 cm/año (II-UNAM, 2010); sin embargo, este fenómeno tendrá un impacto poco significativo en el comportamiento de la cimentación del Metrobús, pues el cajón tenderá a seguir al hundimiento siempre y cuando la carga viva media sea de cuando menos 28 kPa. Si la carga viva media es menor que 28 kPa, el cajón podría tener una emersión aparente menor que 3 centímetros, estando dentro de los límites de servicio establecidos en las NTC (2017).
- 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 Miguel Laurent 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 <u>espectro de</u> <u>diseño</u> le corresponde un coeficiente sísmico de la meseta espectral ( $c_s$ ) igual a 0.498 g y una aceleración pico del terreno ( $a_0$ ) 0.141 g.
- En las inmediaciones de la estación Miguel Laurent, 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 660 metros de un posible lineamiento geológico, en donde se han registrado eventos sísmicos con magnitud menor que 3.1. Sin embargo, esta información, que es de carácter indicativo, deberá cruzarse con las conclusiones que se obtenga del Estudio Geofísico de la Ampliación de la Línea 3 del Metrobús que CEMEX actualmente está realizando.
- Se analizó un cajón de 3.4 m de ancho, desplantado a una profundidad de 1.5 m;
   obteniéndose una capacidad de carga reducida de acuerdo con las NTC-DC (2017) igual a 238 kPa (23.8 t/m²).









 Para la evaluación de los estados límite de servicio, se evaluaron diferentes niveles de carga incidentes en el cajón de cimentación, desde 5 hasta 50 kPa (0.5 a 5 t/m²). En todos los casos los desplazamientos máximos están por debajo de los 3 cm, denotando con ello que el cajón de cimentación, en las condiciones analizadas, cumpliría a cabalidad con los estados límite de servicio establecidos en las NTC-DC (2017).

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.

San Jan



#### REFERENCIAS

- ASTM D 2488-17. Standard Practice for Description and Identification of soils (Visual Manual Procedure).
- 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.
- ASTM D422-07. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
- 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 2018). Atlas Nacional de Riesgos. Ciudad de México. <a href="http://atlasnacionalderiesgos.gob.mx">http://atlasnacionalderiesgos.gob.mx</a>
- 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.

The second second







- **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 compression 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.

The Control of the Co







Estudio de Mecánica de Suelos para el diseño geotécnico de la cimentación de la Estación Miguel Laurent que forma parte del proyecto Ampliación del Metrobús L3, Benito Juárez, Ciudad de México

EMS-CCMT-19-04



Elaboró:

Ing. Christian Juárez Estrada

Revisó

M. en I. José Ramón Cruz Águila

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



# ANEXO A

REPORTES DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA











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 Miguel Laurent

PCA:

0

06/10/2019 FECHA:

X=483175 Y=2142301 COORDENADAS UTM:

DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL MATERIAL	РВОЕ. т	• -	CONTENIC LÍMITE PL/ LÍMITE LÍQ
	(	20	40
Relleno compuesto por gravas con area, color gris claro 0.37 m	0.0	•••••	
gravas anguinpasso, por alrena limosa con Relleno compuesto por militar areasos con gravas. Color cafe y residuos de manspostería.	· · ·		+ WS
Relleno compuesto por arena limosa con grava, (SM) color café		NS	
Relleno compuesto por arcilla de baja plasticidad con arena (CL), de consistencia dura color, café y residuos sólidos	1.0	CC	7

G=16% S=67% F=17% G=38% S=43% F=19% S=23% F=77%  $T_{b}$ %77DO DE AGUA 11% 80% y=23.6kN/m y=20.7kN/m Y=19.7kN/m VRS=81% VRS=118% VRS=13% ÁSTICO 09 auido

> solidos 1.40 m

dura color (mampostería)



2.30 m

73

baja

de

arenosa

4rcilla

olasticidad (CL) color café

6=39% S=47% F=14% 7=16.3KN/m3 NS 3.0

in del PCA 01: 3.20 m

3.20 m

73

grava

con

M), color café rena limosa

### **OBSERVACIONES**





No se detectó presencia de NAF. NOTAS:

Simbología



Limo

Carpeta asfáltica / Arcilla

COOST Gravas



PROYECTO:

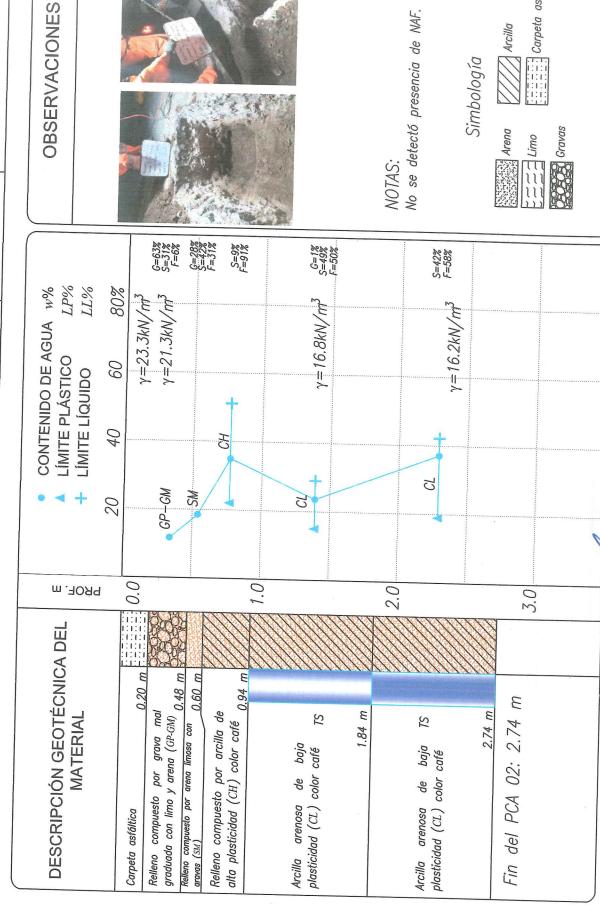
Ampliación del Metrobús Línea 3, longitud 4.27 km, seis estaciones y una terminal, Eje 1 Pte., de Av. Xola a Bruno Traven

Estación Miguel Laurent

10/10/2019 FECHA: PCA: 02

X=483180 Y=2142326

COORDENADAS UTM:





:::::: Carpeta asfáltica



## **REGISTRO DE EXPLORACIÓN**

	M3L6 PERFORÓ: MIGUEL HUERTA  SUPERVISÓ: ING. RICARDO BARAJAS  od-19	
1	PECHA DE TERMINACIÓN: 06-oct-19	
A 3 DE METBORIS	PERFORADORA: MD-B61 Y: 2142301	
NOMBRE DE LA OBRA: AMPIJACIÓN LINEA 3 DE	SONDEO : PCA-01 COORDENADAS X: 483175 FECHA DE INICIO : 06-0ct-19	

DE	MUESTRA	PROFUN	PROFUNDIDAD. (m)	LONGITUD DE	RECUPE	RECUPERACIÓN	Número de calca			
0.00 1.40 1.40 2.20 0.50 0.76 8-4 TUBO SHELBY - TS Archia fina a media color carie 2.30 0.50 0.25 2.9 TUBO SHELBY - TS Archia fina a media color carie 7 Archia fina a media color carie 6.20 0.50 0.25 2.9 TUBO SHELBY - TS Archia fina a media color carie 7 Archia fina a media carie 7 Arc				AVANCE			sadios as doines	z	TIPO DE HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN
140	No.	DE	A	(m)	(m)	%	15 15			
140   2.30   0.36   0.76   2.8   TUBO SHELBY   .   TS   Arena fina a media color cafe		0.00	1.40	1.40		1				P.C.A
2.30 3.20 0.90 0.25 2.8 TUBO SHELBY TO TS Arena fine a media color carlé  This color	-	1.40	2.30	06.0	0.76	84	TUBO SHELBY		TS	Arcilla arenosa color café
FIN DEL SONDEO  PROF. DE PROVECTO:  NA NA FE. NAA	2	2.30	3.20	06.0	0.25	28	TUBO SHELBY		TS	Arena fina a media color café
PROF. DE PROVIECTO:    PROF. RE PROF. RE PROF. REGAL:							FIN DEL	SONDEO		
PROF. DE PROVECTO:  PROF. REGAL: ADERIC: ADERI	/									
PROF. DE PROYECTO:    PROF. REAL:										
PROF. DE PROYECTO:  NA N. A. F.: NIA										
PROF. DE PROVECTO:  NA N.A.F.: NA N.A.F.: NA										
PROF. DE PROYECTO:  NA N.A.F.: NA				/						
PROF. DE PROYECTO:  PROF. BE PROYECTO:  PROF. BE PROYECTO:  PROF. REAL.:  ADEM:  NA N.A.F.: NA										
PROF. DE PROYECTO:  NA M.A.F.: NA										
PROF. DE PROYECTO:  NA NA F.: NA										
PROF. DE PROYECTO:    PROF. BE PROYECTO:   PROF. REAL. : ADEMS.   NA. A. F. : NA. A. F. : NA. A. F. : NA.										
PROF. DE PROYECTO:  ADEMIE: N/A  N.A.F.: N/A										
PROF. DE PROYECTO:  ADEME: N/A  N.A.F.: N/A  N.A.F.: N/A										
PROF. DE PROYECTO:  ADEME: N/A  N. A. F.: N/A  ADEME: N/A  N. A. F.: N/A										
PROF. DE PROYECTO:  ADEMS: N/A  N. A. F.: N/A										
PROF. DE PROYECTO:  ADEME: N/A  N.A. F.: N/A										
PROF. DE PROYECTO:  ADEME: N/A  N.A. F.: N/A										
PROF. DE PROYECTO:  ADEME: N/A N.A.F.: N/A										
PROF. DE PROYECTO: PROF. REAL : N/A N.A.F.: N/A										
PROF. DE PROYECTO:  ADEME: N/A N.A.F.: N/A										
PROF. DE PROYECTO:  ADEME: N/A  N.A. F.: N/A										
PROF. DE PROYECTO:         -										
PROF. DE PROYECTO:         -										
PROF. DE PROYECTO:         NA         PROF. REAL:										
PROF. DE PROYECTO:  ADEME:  N/A  N.A. F.: N/A										
PROF. DE PROYECTO:  ADEME:  NA  N.A. F.: N/A										
PROF. DE PROYECTO:  ADEME:  N/A  N. A. F.: N/A										
N/A	ERVACIONES:						PROF. DE PROYE	ECTO:		
							ADEME:	1	N/A	N.A.F.: N/A



## **REGISTRO DE EXPLORACIÓN**

SSERVACIONES:	MAILE				
		OMEG	AIFO.		
7					
				Control of the Contro	
				The same of the sa	The same of the sa
				The same of the sa	The state of the s
				The state of the s	The state of the s
				The same of the sa	The state of the s
				The state of the s	The state of the s
				The same of the sa	The state of the s
				The same of the sa	The state of the s
				The same of the sa	The state of the s
				The same of the sa	The state of the s
				The same of the sa	The same of the sa
				The same of the sa	The same of the sa
				The same of the sa	The same of the sa
				The same of the sa	The state of the s
				The same of the sa	The state of the s
				The same of the sa	The same of the sa
				The same of the sa	
				The state of the s	The state of the s

N.A.F.: N/A

N/A

ADEME:



### ANEXO B

RESULTADOS DE LABORATORIO









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

XUEUU

<del>▐▘▞▀▊▕▝▞▗▍▗▍▗▍</del> ▗▋▗▍				1967		Name and Address of the Owner, where the Owner, which is the Owner, where the Owner, which is the Owner, where the Owner, which is the Owne	The state of the s									
MR-1 MR-2 MR-3 MR-3 MR-5 MR-5 MR-6 Costal 1 TS-1 TS-1				Propi	piedades indice	ndice				-	1	STATE OF THE PERSON NAMED IN	Name of the Owner, where the Owner, which the Owner, whic			
MR-2 MR-3 MR-5 MR-5 MR-6 Costal 1 Costal 2 TS-1 TS-1	Profundidad [m]	-	Límites	Límites de consistencia	1	Granulometría simplificada	nplificada				Luaxiai OO			Estruct	Estructura de pavimentos	mentos
MR-2 MR-3 MR-4 MR-6 MR-6 Costal 1 Costal 2 TS-1 TS-1	de a	/%/w	[%] 77	LL [%] LP [%] IP [%]		[%] S	F [%]	SOCS	JKN/m <sup>3</sup> 1	e I	$\phi_{0}$	° "	$E_{\mu}$	y d, max	W opt	V.R.S.
MR-3 MR-4 MR-5 MR-6 Costal 1 Costal 2 Costal 3 TS-1 TS-1	0.00 0.21	,	ı			╀						[KFa]	liviraj	[kN/m]	%	[%]
MR-3 MR-6 MR-6 Costal 1 Costal 2 TS-1 TS-1	0.21 0.37			+	-				23.6			,	1		,	ı
MR-5 MR-6 MR-6 Costal 1 Costal 2 Costal 3 TS-1 TS-1	0.37 0.51	14.6		+			,	,	70.7			,		1	,	1
MR-5 MR-6 Costal 1 Costal 2 Costal 3 TS-1 TS-2	0.51 0.66	16.3							18.7	1	,	•	-	1	1	1
MR-6 Costal 1 Costal 3 TS-1 TS-2 Costal 1	0.66 0.96	┝		+		-					'	-	1			
-	-	-		'			'			,		-			1	t
	0.37 0.51	,	42	29 13	-	43	40	, 10	1			'		,		1
	0.66 0.96	,		+	+	2 2	2 7	MC	ı		T	,	,	16.3	20.6	117.6
HH	0.96 1.40		36	19 17	+	22	- 1	MIG		1	1	'	'	17.1	18.2	80.9
$\square$	1.40 2.30	27.4	38	+	+	200		73	, ,	'	'	,	ı	14.6	26.8	12.5
+	╀	+	3	+	+	00 1	40	73	18.7	0.8	18	47	13.4	,		
1	+	+		+	4	47	14	SM	16.3	ı	,	1				
_	+	-	51	22 29	0	6	91	CH		ı		,				
+	+	+	-	1	ı			,	23.34		1	I		1	1	
MK-Z	+	+	'	1	63	31	9	GP-GM	21.28	,	1	1			,	
+	+	18.5	-	1	28	42	31	NS			1		1	1		ı
+	0.60 0.94	35.0	31	23 38	0	7	93	HJ				+				
-	0.94 1.84	23.6	29	15 15	-	49	202	15	46 77	1			,		,	,
TS-2 1	1.84 2.74	37.1	42	$\vdash$	L	42	2000	3 5	10.7		1		,	1	1	1
				╀	+	7.	3	73	16.24	1		1	1	1	,	,
			1									-				
	1		H									1	T	T	1	
											T	1	1	1		
			1													
			-					×								T

T - Muestra inalterada (tubo shelby) Donde:

Índice de plasticidad Contenido de agua Límite plástico Límite líquido [%] 77 LP [%] IP [%] [%] w

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

F [%]

Ángulo de fricción interna Resistencia no drenada al Peso volumétrico natural esfuerzo cortante

 $\gamma \text{ [kN/m}^3]$ 

G [%] Gravas S [%] Arenas Finos

 $c_u$  [kPa]  $\phi_u$  [°]

Módulo de elasticidad al 50% del esfuerzo de falla

 $E_{50}$  [MPa]

 $\gamma d_{,max}$  [kN/m3] Peso volumétrico seco máximo  $\it Wopt~[\%]~$  Contenido de agua óptimo VRS [%] Valor Relativo de Soporte Relación de vacíos

# CONTENIDO NATURAL DE AGUA



OBRA: AMPLIACIÓN L3 METROBUS	FECHA:	14-10-19	
LOCALIZACIÓN: ESTACIÓN MIGUEL LAURENT	LABORATORISTA:	JORGE	
CLIENTE: CEMEX	HOJA:	1 de 1	1
		SACRETARION OF THE PROPERTY OF THE PERSON OF	



Sondeo	Muestra	Profund	Profundidad [m]	Tara	Peso		1			
O.	No.	DE	A	No.	Tara [g]	+ Suelo + Humedo [g]	Peso Tara + Suelo Seco [8]	Peso del Agua [g]	Peso del Suelo Seco [g]	Contenido de Agua [%]
	MR-3	0.37	0.51	91	15.56	90.04	80.57	9.47	65.01	14.57
	MR-4	0.51	0.66	188	15.32	127.80	112.01	15.79	69.96	16.33
PCA-01	MR-5	0.66	0.96	200	15.99	82.83	77.62	5.21	61.63	8.45
	MR-6	0.96	1.26	140	14.96	72.17	57.47	14.7	42.51	34.58
	TS-1	1.40	2.30	9	117.74	82.669	574.75	125.03	457.01	27.36
	TS-2	2.30	3.20	31	90.66	804	687.04	116.96	587.98	19.89
	MR-2	0.20	0.48	36	94.96	854.56	775.13	79.43	680.17	11.68
	MR-3	0.48	09:0	38	96.66	921.36	793.44	127.92	693.48	18,45
PCA-02	MR-4	09.0	0.94	346	16.91	156.43	120.27	36.16	103.36	34.98
	TS-1	0.94	1.84	20	71.76	730.06	604.31	125.75	532.55	23.61
	TS-2	1.84	2.74	18	61.16	428.5	329.18	99.32	268.02	37.06

A Report of the second

The state of the s





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

-	, , , , ,						CONTRACTOR OF INMERSION CON PARATINA	O PE HAIM	Thorona Co.	TAIL ITAIL IS
Obra:	Ampliacion Linea 3 del Metrobús	ea 3 del Metro	obús		Operador		GAR			
Ubicación:	Estación IV	Estación Miguel Laurent			Ing. De Proyecto	ecto	CIE			
					Fecha		14/10/2019			
i i			Peso	Peso con	Peso	Diferencia	Especimen	Peso de	Peso	Peso Volum.
Ensaye No.	Muestra No.	Prof: (m)	Humedo		Sumergido		con Parafina	Parafina		
			Inicial (g)	Parafina (g)	(g)	(g)	(g)	Total (g)	Especim. (g)	$(t/m^3) \gamma$
П	PCA-01 MR-1	0.00.0	392.66	496.52	223.22	100.86	273.3	103.98	169.32	2.337
2	1	7.00.0	236.95	282.58	136.2	45.63	146.38	47.04	99.34	2.385
									PROMEDIO	2.361
	PCA-1 MR-2	0.21-0.37	232.54	276.75	119.55	44.21	157.2	45.58	111.62	2,083
2			268.57	316.19	135.94	47.62	180.25	49.09	131.16	2.048
									PROMEDIO	2.065
1	PCA-01 MR-3	0.37-0 51	275.39	313.92	133.04	38.53	180.88	39.72	141.16	1.951
2			190.6	243.88	92.67	53.28	151.21	54.93	96.28	1.980
,										1.965
<del>-</del>	PCA-01 TS-2	2.30-3.20	62.63	86.00	23.59	23.37	62.41	24.09	38.32	1,635
									PROMEDIO	1.635
	PCA-02 MR-1	0.00-0.20	782.41	864.62	443.21	82.21	421.41	84.75	336.66	2.324
7			504.04	541.77	287.83	37.73	253.94	38.90	215.04	2.344
									PROMEDIO	2.334
	PCA-02 MR-2	0.20-0.48	263.81	284.11	140.75	20.3	143.36	20.93	122.43	2.155
7			168.51	184.97	87.84	16.46	97.13	16.97	80.16	2.102
,									PROMEDIO	2.128
H	PCA-02 TS-1	0.94-1.84	140.95	153.78	57.13	12.83	96.65	13.23	83.42	1.690
7			194.03	214.27	76.83	20.24	137.44	20.87	116.57	1.664
,									PROMEDIO	1.677
	PCA-02 TS-2	1.84-2.74	175.9	192.1	67.52	16.2	124.58	16.70	107.88	1,631
7			176.18	198.99	66.59	22.81	132.4	23.52	108.88	1.618
									PROMEDIO	1.624





Proyecto:		Localización:		Fecha:
Ampliación Línea 3 del Metrobús		Estación Miguel Laurent	rent	14/10/2019
Sondeo:	Muestras:	Profundidad:	Operador:	Revisor:
PCA-01, PCA-02	Muestras representativas e inalteradas	0.20 m - 2.74 m	GAR	AICA

Muestra         Profudidad         Peso seco inicial la malla No. 4 la malla No. 200				A	Análisis granulométrico simplificado	étrico simplificac	lo			
[m]         [g]         [g]         [g]         [g]           1.40-2.30         217.77         0.10         77.46         140.21           2.30-3.20         317.89         124.46         148.34         45.09           0.20-0.48         680.17         431.61         208.37         40.19           0.48-0.60         693.48         192.10         288.53         212.85           0.60-0.94         103.36         0.13         6.76         96.47           0.94-1.84         251.87         2.08         124.39         125.40           1.84-2.74         139.84         0.00         58.59         81.25	Mues	stra	Profudidad	Peso seco inicial	Peso retenido en la malla No. 4	Peso retenido en la malla No. 200	Peso que pasa la malla No. 200	Grava	Arena	Finos
1.40-2.30       217.77       0.10       77.46       140.21         2.30-3.20       317.89       124.46       148.34       45.09         0.20-0.48       680.17       431.61       208.37       40.19         0.48-0.60       693.48       192.10       288.53       212.85         0.60-0.94       103.36       0.13       6.76       96.47         0.94-1.84       251.87       2.08       124.39       125.40         1.84-2.74       139.84       0.00       58.59       81.25	2	0	[m]	[6]	[6]	[6]	0	[%]	[%]	[%]
2.30-3.20       317.89       124.46       148.34       45.09         0.20-0.48       680.17       431.61       208.37       40.19         0.48-0.60       693.48       192.10       288.53       212.85         0.60-0.94       103.36       0.13       6.76       96.47         0.94-1.84       251.87       2.08       124.39       125.40         1.84-2.74       139.84       0.00       58.59       81.25	F	2-1	1.40-2.30	217.77	0.10	77.46	140.21	0.0	35.6	64.4
0.20-0.48       680.17       431.61       208.37       40.19         0.48-0.60       693.48       192.10       288.53       212.85         0.60-0.94       103.36       0.13       6.76       96.47         0.94-1.84       251.87       2.08       124.39       125.40         1.84-2.74       139.84       0.00       58.59       81.25	۲	S-2	2.30-3.20	317.89	124.46	148.34	45.09	39.2	46.7	14.2
0.48-0.60     693.48     192.10     288.53     212.85       0.60-0.94     103.36     0.13     6.76     96.47       0.94-1.84     251.87     2.08     124.39     125.40       1.84-2.74     139.84     0.00     58.59     81.25       1.84-2.74     139.84     0.00     58.59     81.25	Σ	R-2	0.20-0.48	680.17	431.61	208.37	40.19	63.5	30.6	6.0
0.60-0.94     103.36     0.13     6.76     96.47       0.94-1.84     251.87     2.08     124.39     125.40       1.84-2.74     139.84     0.00     58.59     81.25	Σ	R-3	0.48-0.60	693.48	192.10	288.53	212.85	27.7	41.6	30.7
0.94-1.84     251.87     2.08     124.39     125.40       1.84-2.74     139.84     0.00     58.59     81.25       81.25     81.25	Σ	R-4	0.60-0.94	103.36	0.13	6.76	96.47	0.1	6.5	93.3
1.84-2.74     139.84     0.00     58.59     81.25		S-1	0.94-1.84	251.87	2.08	124.39	125.40	0.8	49.4	49.8
		S-2	1.84-2.74	139.84	0.00	58.59	81.25	0.0	41.9	58.1
	1									
										×
		2		9						
Contractive Contra										



Peso Total de la Muestra :



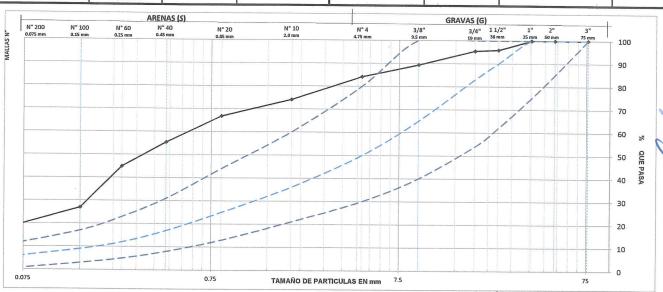
### Reporte de Análisis Granulométrico

M-MMP-1-06/03

Cliente :	CEMEX	Capa:	Costal 2	
Obra:	Ampliación Línea 3 del Metrobús	Fecha de muestreo:	8 de octubre de 2019	
Ubicación :	Estación Miguel Laurent	Fecha de prueba :	14 de octubre de 2019	
Sondeo :	PCA-01	Laboratorista :	Germán Aguilar Ramírez	
Profundidad :	0.65-0.96 m		- Community and	

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Peso Total de la Muest	tra :	3906.00	(g)	Fracción Retenida en M	lalla N°4 ·	617.54	(a)
Fracción que Pasa la N	//alla N°4 :	3288.46	(g)	Peso Corregido por Hur		0.00	(g)
Material más Fino que	Peso Tara (g)	0.00	Peso Mat. + Tara (q)	Peso de muestra de	the same of the sa	503.12	(g)
la Malla (0.075 mm)		P. Mat. Ret + Tara	107	P. Mat. Retenido (g)	103.63	Pérdida por Lavado (%)	0.79
M	ATERIAL RETENI	DO EN LA MALLA Nº	4	N N	ATERIAL QUE PA	ASA EN LA MALLA Nº 4	0.75
Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial %	Material que Pasa %	Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Material que Pasa (%) 84.19
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00	2.0 mm N°10	60.16	10.07	74.12
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00	0.85 mm N°20	43.37	7.26	66.87
38.1 mm (1 1/2")	0.00	0.00	100.00	0.43 mm N°40	68.08	11.39	55.47
25.4 mm (1")	158.53	4.06	95.94	0.25 mm N°60	62.95	10.53	44.94
19.05 mm(3/4")	16.79	0.43	95.51	0.15 mm N°100	107.04	17.91	27.03
9.525 mm (3/8")	236.62	6.06	89.45	0.075 mm N°200	57.89	9.69	17.34
4.75 mm N°4	205.60	5.26	84.19	Pasa 0.075 mm N°200	103.63	17.34	11.04
Pasa 4.75 mm N°4	3288,46	84.19		Sumas	503.12	84,19	
Sumas	3906.00	100.00		Análisis Efectuado con :	503.12	- 1110	
Peso Total de la Muestra	3906.00						



			RETENIDO E	EN %	
$D_{10} = 0.00$	$C_{U=}  \frac{D_{60}}{D_{10}} = \text{N/A}$		. 3" =	0.00	sucs:
$D_{30} = 0.16$			G =	15.81	
$D_{60} = 0.55$	$C_{C} = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \text{N/A}$		S =	66.85	SM
	$D_{10} \times D_{60}$		F =	17.34	SIVI
			%	100.00	
Laboratorista		Elaboró			Revisó

Germán Aguilar Ramírez Ana Paola Ramírez Delgado Adrián Iván Cázarez Acosta



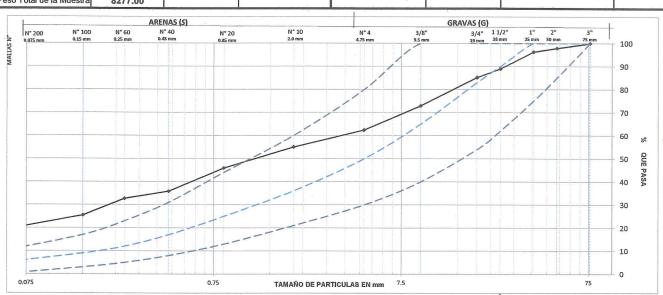


### Reporte de Análisis Granulométrico M-MMP-1-06/03

Cliente : CEMEX Costal 1 Capa: Obra: Ampliación Línea 3 del Metrobús Fecha de muestreo: 8 de octubre de 2019 Ubicación : Estación Miguel Laurent 14 de octubre de 2019 Fecha de prueba : Sondeo: PCA-01 Laboratorista : Germán Aguilar Ramírez Profundidad : 0.37-0.51 m

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

			ANALIOIO ON	WHO TO MIT I MOO			
Peso Total de la Muest	tra :	8277.00	(g)	Fracción Retenida en M	alla N°4 :	3107.05	(g)
Fracción que Pasa la N	/lalla N°4 :	5169.95	(g)	Peso Corregido por Hun	nedad :	0.00	(g)
	Peso Tara (g)	0.00	Peso Mat. + Tara (g)	Peso de muestra de	material fino:	591.63	
la Malla (0.075 mm)		P. Mat. Ret + Tara	181.98	P. Mat. Retenido (g)	181.98	Pérdida por Lavado (%)	0.69
M	ATERIAL RETENI	DO EN LA MALLA Nº	4	N	MATERIAL QUE PA	ASA EN LA MÀLLA Nº 4	
Malla N°	Peso Retenido	Retenido Parcial	Material que Pasa	Malla N°	Peso Retenido	Retenido Parcial	Matenal que Pasa (%)
	(g)	%	%		(g)	(%)	62.46
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00	2.0 mm N°10	69.77	7.37	55.10
50.8 mm (2")	171.29	2.07	97.93	0.85 mm N°20	86.38	9.12	45.98
38.1 mm (1 1/2")	133.12	1.61	96.32	0.43 mm N°40	95.45	10.08	35.90
25.4 mm (1")	602.41	7.28	89.04	0.25 mm N°60	29.88	3.15	32.74
19.05 mm(3/4")	315.04	3.81	85.24	0.15 mm N°100	68.91	7.28	25.47
9.525 mm (3/8")	1010.88	12.21	73.02	0.075 mm N°200	59.26	6.26	19.21
4.75 mm N°4	874.31	10.56	62.46	Pasa 0.075 mm N°200	181.98	19.21	
Pasa 4.75 mm N°4	5169.95	62.46		Sumas	591.63	62.46	
Sumas	8277.00	100.00		Análisis Efectuado con :	591.63		
Peso Total de la Muestra	8277.00						





Laboratorista Elaboró Revisó

Germán Aguilar Ramírez Ana Paola Ramírez Delgado Adrián Iván Cázarez Acosta

The second second







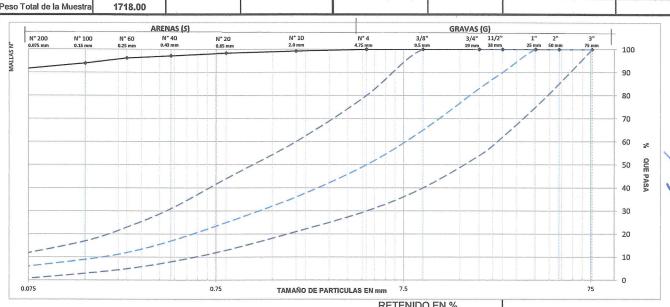
Peso Total de la Muestra



### Reporte de Análisis Granulométrico M-MMP-1-06/03

Control of Days of Chief				
Cliente :	CEMEX	Capa:	Costal 1	
Obra:	Ampliación Línea 3 del Metrobús	Fecha de muestreo:	14 de octubre de 2019	
Ubicación :	Estación Miguel Laurent	Fecha de prueba :	21 de octubre de 2019	
Sondeo :	PCA-02	Laboratorista :	Germán Aguilar Ramírez	
Profundidad :	0.60 m - 0.94 m			

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Peso Total de la Muestra : Fracción Retenida en Malla Nº4: 1718.00 0.00 (g) (g) Fracción que Pasa la Malla N°4 : 1718.00 Peso Corregido por Humedad: 0.00 (g) (g) Peso Mat. + Tara (g) Peso de muestra de material fino: Peso Tara (g) Material más Fino que 0.00 la Malla (0.075 mm) 499.50 Pérdida por Lavado (%) P. Mat. Ret + Tara P. Mat. Retenido (g) 499.50 0.09 MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4 MATERIAL QUE PASA EN LA MALLA Nº 4 Material Peso Retenido Material Peso Retenido Malla Malla que Pasa Retenido Parcial que Pasa Retenido Parcial N° (%) N° (g) % % (g) (%) 100.00 76.2 mm (3") 2.0 mm N°10 0.00 100.00 4.32 0.79 99.21 0.00 50.8 mm (2") 0.85 mm N°20 0.00 100.00 4.79 0.87 98.34 38.1 mm (1 1/2") 0.00 100.00 0.43 mm N°40 6.35 1.15 97.19 25.4 mm (1") 0.00 100.00 0.25 mm N°60 0.00 5.03 0.91 96.27 0.00 19.05 mm(3/4") 0.00 100.00 0.15 mm N°100 12.31 2.24 94.04 9.525 mm (3/8") 0.00 0.00 100.00 0.075 mm N°200 17.70 3.22 90.82 4.75 mm N°4 0.00 0.00 100.00 Pasa 0.075 mm N°200 499.50 90.82 Pasa 4.75 mm N°4 1718,00 100.00 Sumas 550.00 100.00 Sumas 1718.00 100.00 Análisis Efectuado con : 550.00



			RETENIDO	:N %	
$D_{10} = 0.00$	$C_{U=}$ $\frac{D_{60}}{D}$ = N/A		3"=	0.00	SUCS:
$D_{30} = 0.00$	D <sub>10</sub>		G =	0.00	
$D_{60} = 0.00$	$C_{C} = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = N/A$		S =	9.18	СН
	$D_{10 \ X} D_{60}$		F =	90.82	CII
			%	100.00	
Laboratorista		Elaboró			Revisó
			,	0.6	

Germán Aguilar Ramírez Ana Paola Ramírez Delgado Adrián Iván Cázarez Acosta



Peso Total de la Muestra :



3189.00

### Reporte de Análisis Granulométrico

0.00

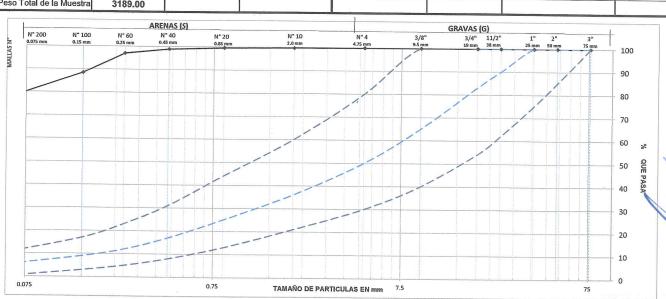
M-MMP-1-06/03

(g)

Cliente :	CEMEX	Capa:	Costal 3	
Obra:	Ampliación Línea 3 del Metrobús	Fecha de muestreo:	8 de octubre de 2019	
Ubicación :	Estación Miguel Laurent	Fecha de prueba :	14 de octubre de 2019	
Sondeo:	PCA-01	Laboratorista :	Germán Aguilar Ramírez	
Profundidad :	0.96-1.40 m		- Transit i ganar i tarimoz	

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Fracción Retenida en Malla N°4 :

Fraccion que Pasa la l		3189.00	(g)	Peso Corregido por Hui	medad :	0.00	(g)
	Peso Tara (g)	0.00	Peso Mat. + Tara (g)	Peso de muestra de	material fino:	538.02	(3)
la Malla (0.075 mm)		P. Mat. Ret + Tara		P. Mat. Retenido (g)	413.35	Pérdida por Lavado (%)	0.23
N.	IATERIAL RETENII	DO EN LA MALLA Nº	4	1	MATERIAL QUE PA	ASA EN LA MALLA Nº 4	
Malla · N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial %	Material que Pasa %	Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Material que Pasa (%) 100.00
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00	2.0 mm N°10	0.93	0.17	99.83
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00	0.85 mm N°20	0.91	0,17	99.66
38.1 mm (1 1/2")	0.00	0.00	100.00	0.43 mm N°40	3.63	0.67	98.98
25.4 mm (1")	0.00	0.00	100.00	0.25 mm N°60	10.36	1.93	97.06
19.05 mm(3/4")	0.00	0.00	100.00	0.15 mm N°100	45.83	8.52	88.54
9.525 mm (3/8")	0.00	0.00	100.00	0.075 mm N°200	63.01	11.71	76.83
4.75 mm N°4	0.00	0.00	100.00	Pasa 0.075 mm N°200	413.35	76.83	
Pasa 4.75 mm N°4	3189.00	100.00		Sumas	538.02	100.00	
Sumas	3189.00	100.00		Análisis Efectuado con :	538.02		1
Peso Total de la Muestra	3189.00						



		RETENIDO E	EN %	
$D_{10} = 0.00$	$\frac{C_{U=}}{D_{10}} = N/A$	3"=	0.00	sucs:
$D_{30} = 0.00$		G =	0.00	
$D_{60} = 0.00$	$C_{C} = \frac{(D_{30})^2}{D_{30} \times D_{60}} = \text{N/A}$	S =	23.17	CI
	D <sub>10</sub> x D <sub>60</sub>	F =	76.83	CL
A Company of the Comp		%	100.00	
Laboratorista	Elabo	ró		Revisó

Germán Aguilar Ramírez Ana Paola Ramírez Delgado Adrián Iván Cázarez Acosta









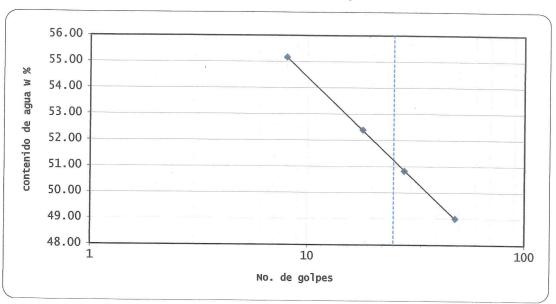


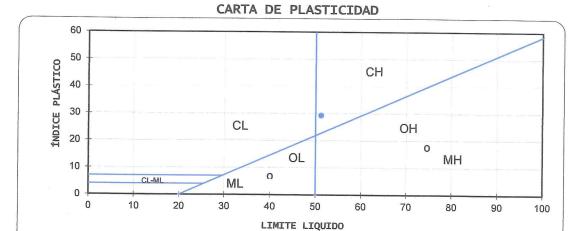


CLIENTE:	CEMEX	
FECHA:	18-oct-19	
PROYECTO:	Ampliación L3 MB	

SONDEO:	MB Miguel Laurent PCA-02
MUESTRA:	Costal 1
PROF.	0.60 m - 0.94 m

### GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO





CLASIFICACIÓN S	.U.C.S.
CH	
límite liquido % :	51.2
límite plastico %:	21.89
indice plastico % :	29.31

	OBSERVACIONES
	ARCILLA COLOR CAFÉ
M/	ATERIAL CRIBADO POR LA
	MALLA No 40

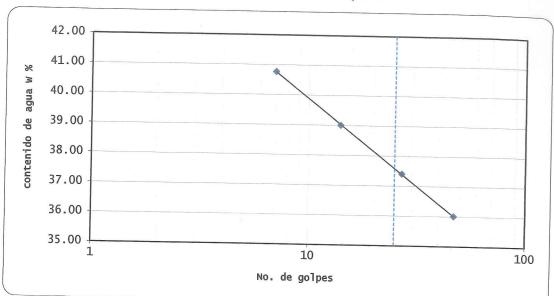


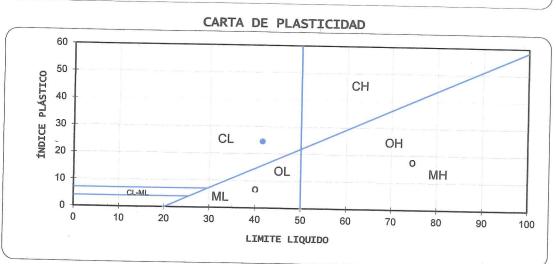


CLIENTE:	CEMEX	
FECHA:	18-oct-19	
PROYECTO:	Ampliación L3 MB	

SONDEO:	MB Miguel Laurent PCA-01
MUESTRA:	TS-1
PROF.	1.40 m - 2.30 m

### GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO





CLASIFICACIÓN S.U.C.S.	
CL	
límite liquido % :	37.55
límite plastico % :	16.90
indice plastico % :	20.65

OBS	ERVACIONES
ARCILL	A COLOR CAFÉ
MATERIAL	. CRIBADO POR LA
M	ALLA No 40

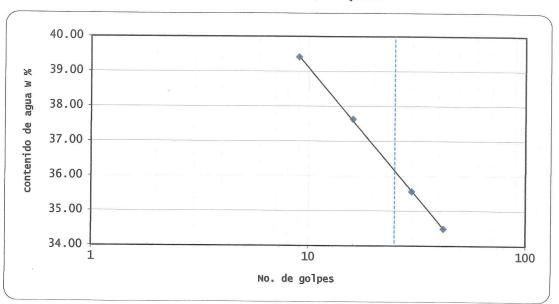


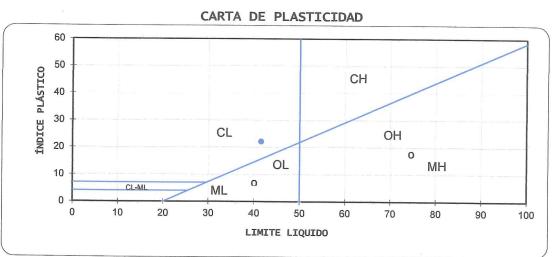


CLIENTE:	CEMEX	
FECHA:	18-oct-19	
PROYECTO:	Ampliación L3 MB	

SONDEO: MB Miguel Laurent PCA-01	
MUESTRA: Costal 3	
PROF.	0.96 m - 1.40 m

### GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO





CLASIFICACIÓN S.U.C.S.		
36.1		
19.3		
16.8		

OBSERVACIONES
ARCILLA COLOR CAFÉ
MATERIAL CRIBADO POR LA
MALLA No 40

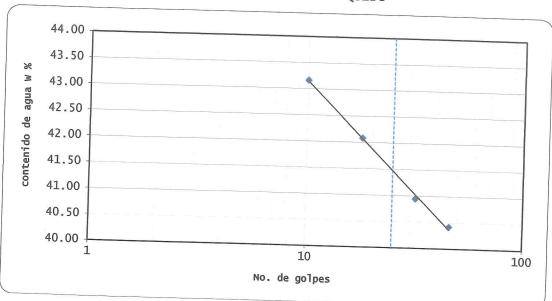


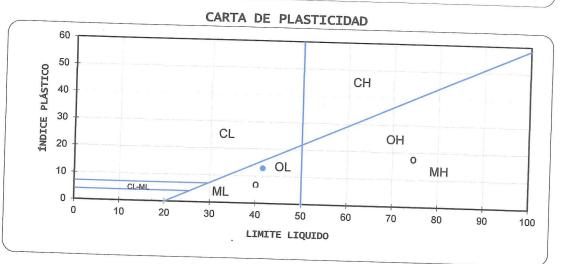


CLIENTE:	CEMEX	
FECHA:	18-oct-19	
PROYECTO:	Ampliación L3 MB	

	and an in the second	
SONDEO:	MB Miguel Laurent PCA-01	
MUESTRA:	Costal 1	
PROF.	0.37 m - 0.51 m	

### GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO





CLASIFICACIÓN S.U	.c.s.
ML	
límite liquido % :	41.5
límite plastico % :	28,57
indice plastico % :	12.93

 OBSERVACIONES	
 LIMO COLOR CAFÉ	
MATERIAL CRIBADO POR LA	
MALLA No 40	

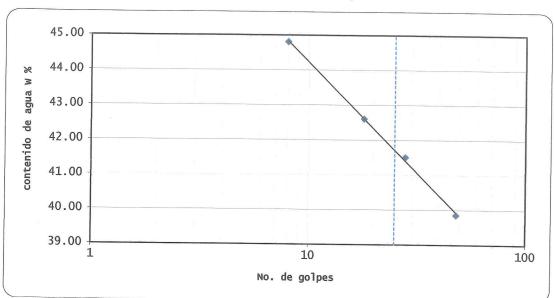


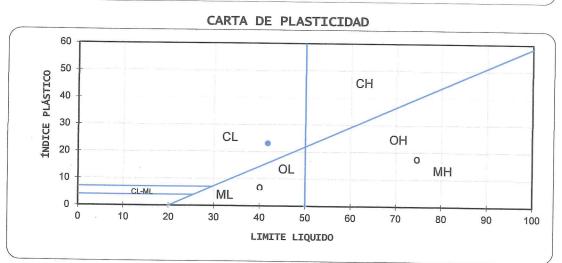


CLIENTE:	CEMEX		
FECHA:	23-oct-19		
PROYECTO:	Ampliación L3 MB		

SONDEO:	MB Miguel Laurent PCA-02	
MUESTRA:	TS-02	
PROF.	1.84 m - 2.74 m	

### GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO





CLASIFICACIÓN S.U	.c.s.
CL	
límite liquido % :	41.7
límite plastico % :	18.59
indice plastico % :	23.11

OE	BSERVACIONES
ARCI	LLA COLOR CAFÉ
MATERI	AL ODIDADO DODITA
	AL CRIBADO POR LA
	MALLA No 40

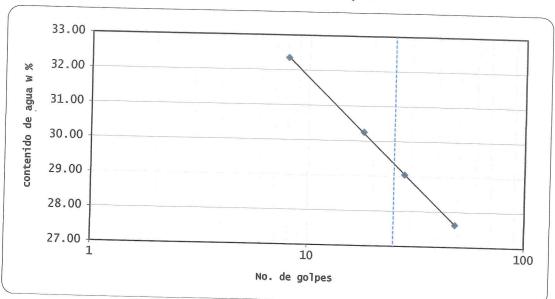


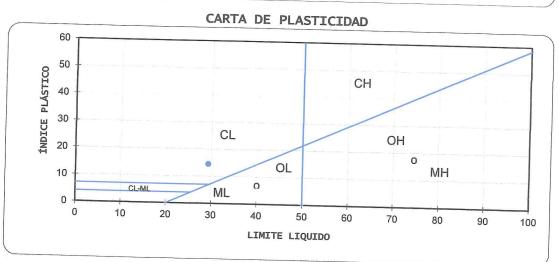


CLIENTE:	CEMEX	
FECHA:	23-oct-19	_
PROYECTO:	Ampliación L3 MB	

	Constant and Const
SONDEO:	MB Miguel Laurent PCA-02
MUESTRA:	TS-01
PROF.	0.94 m - 1.84 m

### GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO





	CLASIFICACIÓN S	U.C.S.
	CL	
límite l	iquido % :	29.3
límite p	lastico % :	14.76
indice p	lastico % :	14.54

OBSERVACIONES
ARCILLA COLOR CAFÉ
MATERIAL CRIBADO POR LA
MALLA No 40

cont	racción	lineal
	N/A	

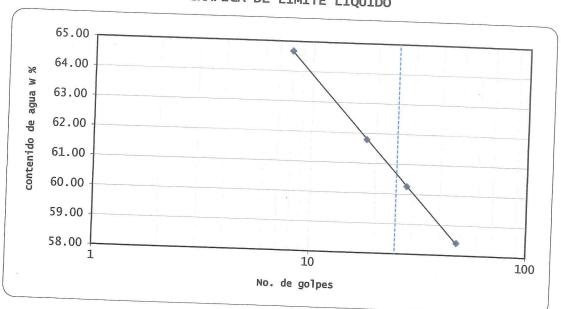
CLIENTE:	CEMEX	1
FECHA:	18-oct-19	-
PROYECTO:	Ampliación L3 MB	-



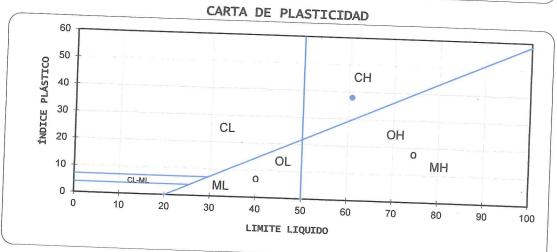


/	School of Contract Contract
SONDEO:	MB Miguel Laurent PCA-02
MUESTRA:	Jacot Ladiciti 1 CA-02
MUES I KA:	MR-4
DDOC	
PROF.	0.60 m - 0.94 m

### GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO







CLASTETCACTON	-		-	_	7
CLASIFICACIÓN	3.	. U.		- 6	

60.7
22.71
37.99

OPC	FDI/A	
UDS	FRVAL I	
	ERVACI	CIVES

ARCILLA COLOR CAFÉ

MATERIAL CRIBADO POR LA MALLA No 40

contracción lineal

N/A



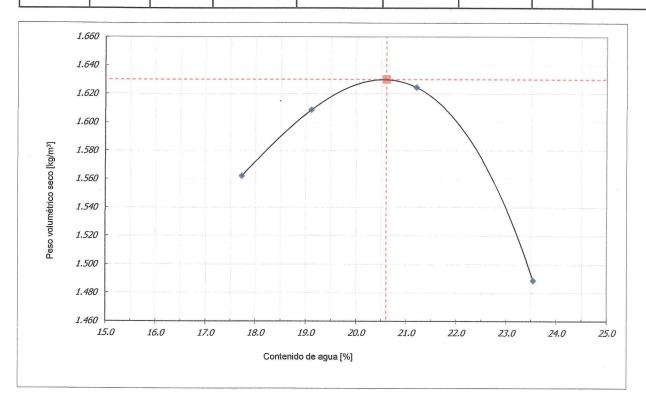


ASTM- D698-70 Y D1557-70 AASHTO T99-70 (ESTÁNDAR)

PROYECTO	Ampliación Línea 3 del Metrobús
LOCALIZACIÓN	Estación Miguel Laurent
BANCO	PCA-01
MUESTRA	Costal 1
PROF. (m)	0.37 - 0.51
FECHA	12/10/2019
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/cm²
15.24	2.120	7.014	4.526	5.05	45.6	56	5	27.258

**CONTENIDO DE AGUA DATOS MOLDE** CAPSULA PESO CAPS WC+SH WC +Ss WH + MOLDE **AGUA** WH WS PESO VOL.S. No % kg g g g kg No t/m³ 9 60.33 293.68 258.54 17.73 10.913 3.899 3.312 54 73.39 292.06 256.98 11.076 4.062 3.410 1.609 50 71.76 274.78 239.27 21.20 11.188 4.174 3.444 1.624 19 60.04 261.83 223.38 23.54 10.913 3.899 3.156 1.489



PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO

1.630	t/m
20.6	w%

OBSERVACIONES.

The second second











### COMPACTACIÓN

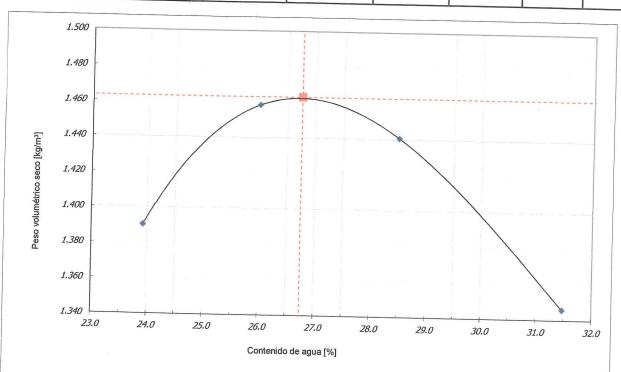
ASTM- D698-70 Y D1557-70 AASHTO T99-70 (ESTÁNDAR)

PROYECTO	Ampliación Línea 3 del Metrobús
LOCALIZACIÓN	Estación Miguel Laurent
BANCO	PCA-01
MUESTRA	Costal 3
PROF. (m)	0.96 - 1.40
FECHA	12/10/2019
OPERADOR	Germán Aguilar Ramírez

DIAM MOLDE	VOL MOLDE	DEGG MAN TO	Γ					
DAMIN NOLDE	VOL.MOLDE	PESO MOLDE	PESO MARTILLO	DIAM.MARTILLO	ALT.CAÍDA.	GOLPES/CAPA	CAPAS	ENERGÍA C.
cm	L	kg				COLI EDI CAPA	CAPAS	ENERGIA C.
10.15	0.010		kg	cm	cm	No	No	kg/cm <sup>2</sup>
10.15	0.942	4.418	2.494	5.08	30.5	20		-
				5100	30.3	25	3	6.056

CONTENIDO DE AGUA DATOS MOL

CAPSULA		DUDLAC			DATOS MOL	.DE		
No	PESO CAPS	WC+SH	WC +Ss	AGUA	WH + MOLDE	WH	Ws	PESO VOL.S
	9	9	g	%	kg	kg	No	t/m³
28	60.26	189.02	164.16	23.93	6.041	1.623	1.310	1.390
57	61.74	189.23	162.92	26.00	6.149	1.731		
21	60.57	191.01	162.08	28.50	6.162		1.374	1.458
46	72.15	231.18	193.11			1.744	1.357	1.441
	72,25	231.10	195.11	31.47	6.085	1.667	1.268	1.346
							1	





PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO

1.463	t/m
26.8	w%

OBSERVACIONES.

The second second

No.





### COMPACTACIÓN

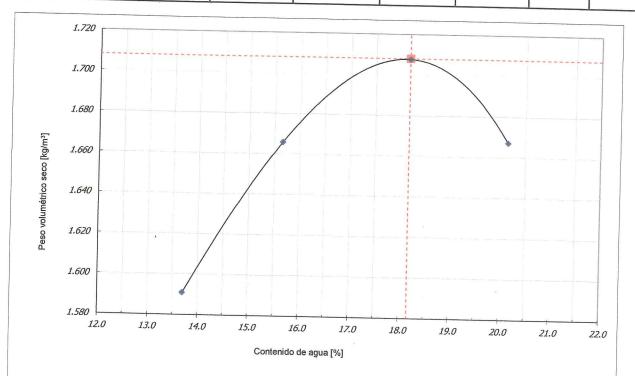
ASTM- D698-70 Y D1557-70 AASHTO T99-70 (ESTÁNDAR)

PROYECTO	Ampliación Línea 3 del Metrobús	_	
LOCALIZACIÓN	Estación Miguel Laurent		
BANCO	PCA-01	_	
MUESTRA	Costal 2	Property of	
PROF. (m)	0.65 - 0.96	_	
FECHA	12/10/2019	_	
OPERADOR	Germán Aguilar Ramírez		

DIAM, MOLDE	VOL MOLDE	DECO MOLDE	DECO MADERIA					
	- OLINOLDE	PESO MOLDE	PESU MARTILLO	DIAM.MARTILLO	ALT.CAÍDA.	GOLPES/CAPA	CAPAS	ENERGÍA C.
cm	L	kg	kg	cm	cm	No	D1-	
10.15	0.942	4,418	2,494	Ε 00		140	No	kg/cm <sup>2</sup>
		1.110	2.757	5.08	30.5	25	3	6.056

CONTENIDO DE AGUA DATOS MOLE

CAPSULA		U DL A			DATOS MOL	DE		
No	PESO CAPS	WC+SH	WC +Ss	AGUA	WH + MOLDE	WH	Ws	PESO VOL.S
	g	g	g	%	kg	kg	No	t/m³
13	60.21	203.63	186.35	13.70	6,122	1.704	1.499	
17	60.75	196.71	178.30	15.66	6.233	1.815		1.591
67	60.72	212.89	189.49	18.17	6.319		1.569	1.666
62	61.41	198.73	175.70	20.15		1.901	1.609	1.708
		200170	1/3./0	20.13	6,305	1.887	1.571	1.667
			I					



PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO

1.708	t/m
18.2	w%

OBSERVACIONES.

The state of the s

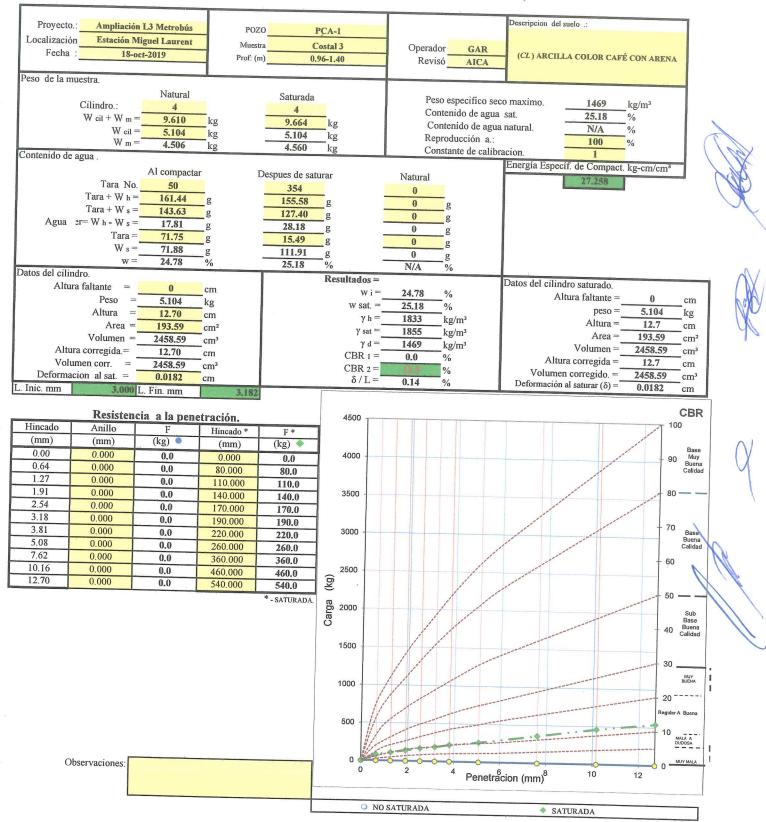






### VALOR RELATIVO DE SOPORTE (VRS)

(ASTM D1883-79)

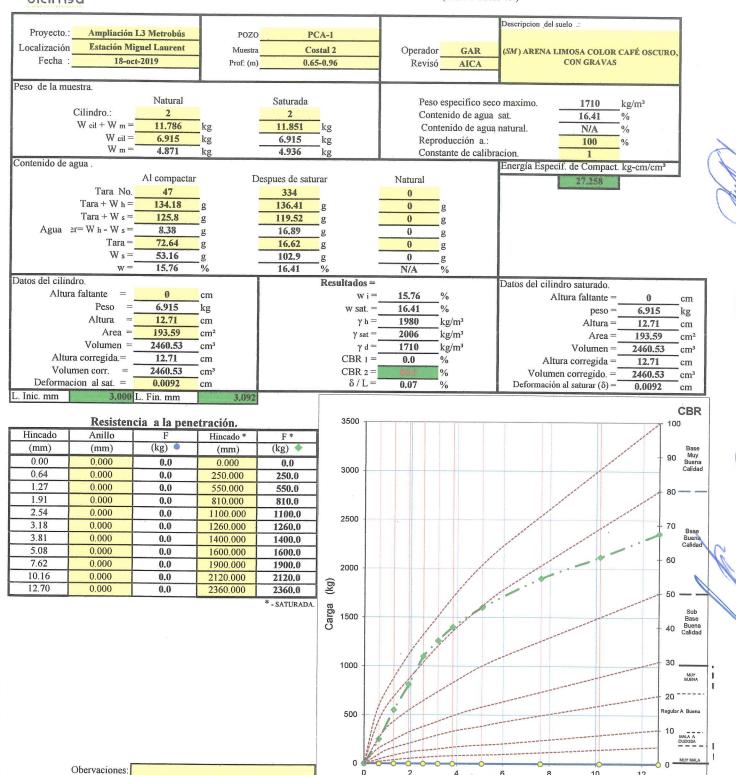






### VALOR RELATIVO DE SOPORTE (VRS)

(ASTM D1883-79)



O NO SATURADA

10

SATURADA

Penetracion (mm)8

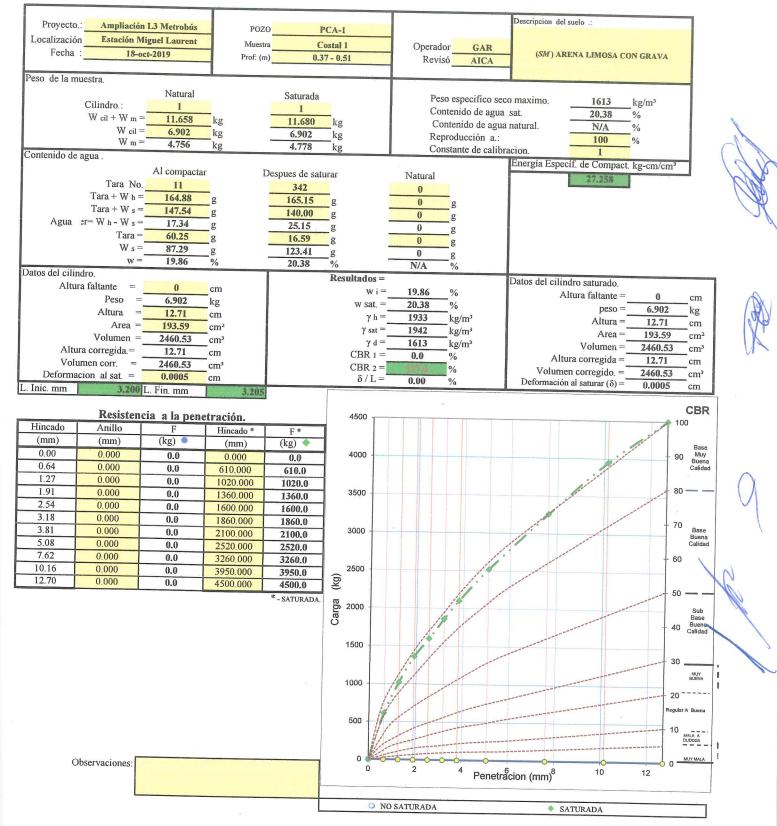
12





### VALOR RELATIVO DE SOPORTE (VRS)

(ASTM D1883-79)







### PRUEBA TRIAXIAL

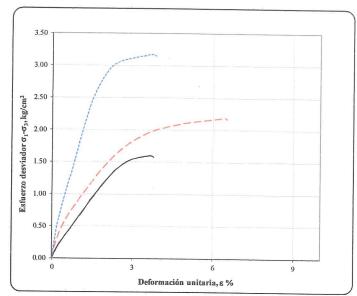
AMPLIACIÓN L3 MB, ESTACIÓN MIGUEL LAURENT

Proyecto: Realizó: **GAR** Ing. de proyecto: CJE Fecha: OCT 19

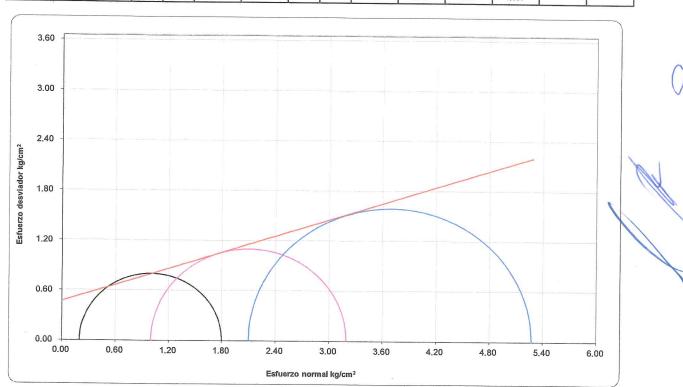
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(CL) ARCILLA ARENOSA COLOR CAFÉ OSCURO

SIMBOLO	σ₃ kg/cm²	E <sub>50</sub> kg/cm <sup>2</sup>	NOTAS
	0.20	63.84	
	1.00	85.60	
	2.10	183.00	



SONDEO	PROF.	MUESTRA	$\sigma_3$	$\sigma_{d}$	$W_i$	$w_f$	Ss		Gwi	Gwf	Υ <sub>ni</sub>	$\gamma_{\rm nf}$	С	ф
			kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	%	138	ei	%	%	kg/m³	kg/m <sup>3</sup>	t/m²	grados
			0.20	1.60	29.51	29.45		0.799	94.94	94.76	1.850	1.850		
TS	1.40-2.30 m	) m M-1	1.00	2.19	28.36	28.35	2.570	0.780	93.43	93.40	1.853	1.853	4.7	18
			2.10	3,17	27.78	27.75		0.731	97.70	97.63	1.897	1,897		





### **ANEXO** C

### REPORTE FOTOGRÁFICO







# **AMPLIACIÓN L3 METROBÚS**

PROYECTO:

SUPERVISOR: ING. RICARDO BARAJAS DOMINGUEZ PERFORADORA, ING. PERFORDIDAD EXPLORADA: 3.20m FECHA EJECUCION: 06 OCTUBRE DE 2019

COORDENADAS: X: 483175 Y: 2142301

jər	PCA-01 Migu	X
SONDEO:	PCA-01 Miguel Laurent	CEME
ROFUNDIDAD EXPLORADA:	3.20m	

PCA-01 Miguel Laurent















### PROFUNDIDAD EXPLORADA: **AMPLIACIÓN L3 METROBÚS** PROYECTO:

SUPERVISOR: ING. RICARDO BARAJAS DOMINGUEZ PERFORADORA: ING. RICARDO BARAJAS DOMINGUEZ PERPORADIA: 3.20m
FECHA EJECUCION: 06 OCTUBRE DE 2019

COORDENADAS: X: 483175 Y: 2142301

Figura 5. Maniobra de extracción de muestra inalterada PCA-01

3.20m Miguel Laurent	
3.2(	4

PCA-01 Miguel

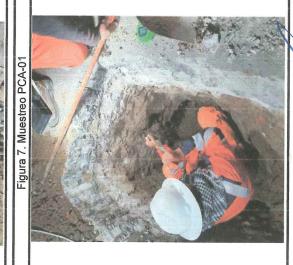
















### PROYECTO:

## **AMPLIACIÓN L3 METROBÚS**

SUPERVISOR: ING. RICARDO BARAJAS DOMINGUEZ PERFORADORA: N/A PROFUNDIDAD EXPLORADA: 2.74 m. FECHA EJECUCION: 10 OCTUBRE DE 2019

Figura 9. Excavación de PCA-02

COORDENADAS: X: 483180 Y: 2142326

PROFUNDIDAD EXPLORADA: 2.74 m.

PCA-02 Miguel Laurent Miguel Laurent PCA-02 SONDEO:









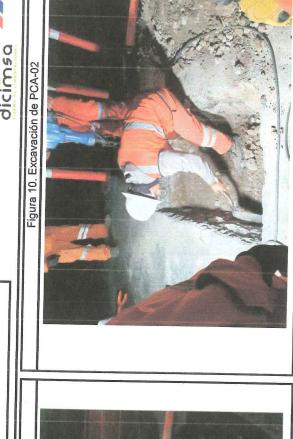


Figura 11. Perfil estratigráfico PCA-02













# **AMPLIACIÓN L3 METROBÚS**

PROYECTO:

SUPERVISOR: ING. RICARDO BARAJAS DOMINGUEZ PERFORADORA: ING. PERFORMIDIAD EXPLORADA: 2.74 m. FECHA EJECUCION: 10 OCTUBRE DE 2019

COORDENADAS: X: 483180 Y: 2142326

S		_
OFUNDIDAD EXPLORADA:	2.74 m.	

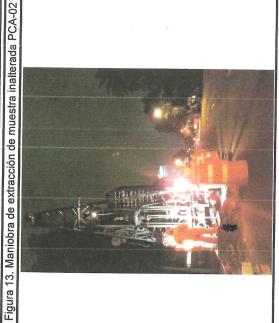


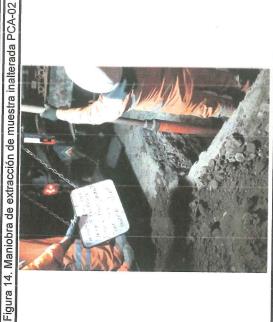




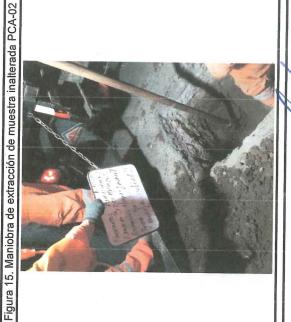
CEMEX

dicimsa











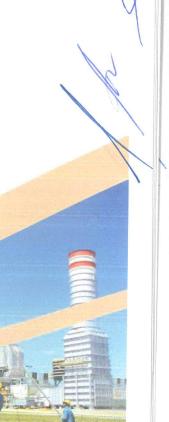




MEMORIA DE CÁLCULO









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



### Proyecto: Ampliación de la Línea 3 del Metrobús, estación Miguel Laurent

### Parámetros geométricos de la cimentación

Df := 1.5 Profundidad de desplante, m

B := 3.4 Ancho del cimiento, m

L:= 72.0 Longitud del cimiento, m



### Propiedades del suelo

γ := 18.7 Peso volumétrico del terreno de cimentación, kN/m³

φ := 18 Ángulo de fricción interna del terreno de cimentación, °

c:= 47 Cohesión del terreno de cimentación, kPa

 $p_v := \gamma \cdot Df$   $p_v = 28$  Presión total al nivel de desplante, en kPa

 $\phi = \frac{\phi}{180} \cdot \pi$  Ángulo de fricción interna del terreno de cimentación, rad

NAF := 3.4 Nivel del agua freática, m

NOTA: Si NAF=0 =>Considera que los

 $\gamma_{\rm w} := 9.81$  Peso volumétrico del agua, kN/m<sup>3</sup> elementos estarán sumergidos (parámetros efectivos)

 $c_u := c + p_v tan(\phi)$  Resistencia no drenada del terreno de cimentación, kPa

### 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

Fx := 0 Fuerza horizontal x, en kN

Fz := 0 Fuerza horizontal z, en kN

M<sub>B</sub> := 0 Momento flexionante en dirección del ancho, en kN-m

 $M_L := 0$  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:

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

$$e_L := \frac{M_L}{\Sigma O}$$
  $e_L = 0$  Excentricidad de carga en dirección del largo, en m

$$Rh := \sqrt{Fx^2 + Fz^2}$$
 Resultante horizontal, en t





### Primer término de la desigualdad:

$$A' := (B - 2 \cdot e_B) \cdot (L - 2 \cdot e_L)$$

$$A' = 244.8$$

Área reducida del cimiento, en m2

$$\text{CVMAX} := \frac{\Sigma Q \cdot \text{FC}_{cv}}{A'}$$

$$\frac{\Sigma Q \cdot FC_{cv}}{A'} = 0$$

Primer término de la desigualdad 3.3.1 de las NTC-DC (2017), en kPa

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

### Coeficientes de capacidad de carga:

$$Nc := 5.14 \cdot \left(1 + 0.25 \cdot \frac{Df}{B} + 0.25 \cdot \frac{B}{L}\right)$$

$$Nc = 5.77$$

### Carga unitaria reducida para suelos friccionantes:

 $F_R := 0.65$  Factor de reducción considerado. Inciso 3.2 de las NTC-DC (2017)

$$r_{\text{CVMAX}} := (c_u \cdot \text{Nc}) \cdot F_R + p_v$$

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

r<sub>CVMAX</sub> = 238.4

Carga unitaria reducida para suelos friccionantes, segundo término de la desigualdad 3.3.1 y 3.3.2 de las NTC-DC (2017), en kPa

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

 $\delta_{\text{per\_aset}} := 0.15$ 

 $100\delta_{\text{per aset}} = 15$ 

Asentamiento máximo permisible, cm

 $\delta_{\text{per\_emer}} := 0.15$ 

 $100\delta_{\text{per emer}} = 15$ 

Emersión máxima permisible, cm

Límites máximos para construcciones colindantes en la Zona Geotécnica II (Transición). Tabla 3.3.1. de las NTC-DC (2017)

### Modelo geotécnico considerado:

UNIDAD 1*	UNIDAD 2	UNIDAD 3	UNIDAD 4	UNIDAD 5	,	
$\gamma_1 := 19.7$	$\gamma_2 := 16$	$\gamma_3 := 18.7$	$\gamma_4 := 18.7$	$\gamma_5 := 18.7$	γ: Peso volumétrico, kN/m³	
$C_{c1} := 0.0001$	$C_{c2} := 0.0001$	$C_{c3} := 0.49$	$C_{c4} := 0.49$	$C_{c5} := 0.49$	Cc: Coeficiente de compresión	
$C_{r1} := 0.0001$	$C_{r2} := 0.0001$	$C_{r3} := 0.07$	$C_{r4} := 0.07$	$C_{r5} := 0.07$	Cr: Coeficiente de recompresión	
$e_{01} := 0.50$	$e_{02} := 0.7$	$e_{03} := 1.7$	$e_{04} := 1.7$	$e_{05} := 1.7$	e0: relación de vacíos inicial	
$OCR_1 := 1$	$OCR_2 := 1$	$OCR_3 := 1.85$	$OCR_4 := 1.85$	$OCR_5 := 1.85$	OCR: relación de sobreconsolidacion	ón
$E_1 := 45$	$E_2 := 45$	$E_3 := 13.4$	$E_4 := 13.4$	$E_5 := 13.4$	E: Módulo de elasticidad, MPa	
$\nu_1 := 0.30$	$v_2 := 0.30$	$\nu_3 := 0.45$	$\nu_4 := 0.45$	$\nu_5 := 0.45$	v: Relación de Poisson	
$z_1 := 0.96$	$z_2 := 1.4$	$z_3 := 3.5$	$z_4 := 9.0$	$z_5 := 12.0$	z: Profundidad del estrato, m	

### 1.- Esfuerzos efectivos

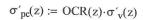
$$u(z) := \left| \begin{array}{l} 0 \quad \text{if} \ z \leq \text{NAF} \\ \\ \gamma_{\text{W}}(z - \text{NAF}) \quad \text{if} \ z > \text{NAF} \end{array} \right|$$

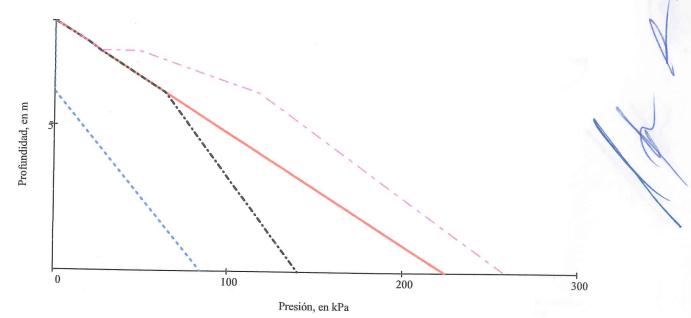




$$\begin{split} \sigma_v(z) &:= \left[ \begin{array}{l} \gamma_1 \cdot z & \mathrm{if} \ 0 \leq z \leq z_1 \\ \gamma_1 \cdot z_1 + \gamma_2 \cdot \left(z - z_1\right) & \mathrm{if} \ z_1 < z \leq z_2 \\ \gamma_1 \cdot z_1 + \gamma_2 \cdot \left(z_2 - z_1\right) + \gamma_3 \cdot \left(z - z_2\right) & \mathrm{if} \ z_2 < z \leq z_3 \\ \gamma_1 \cdot z_1 + \gamma_2 \cdot \left(z_2 - z_1\right) + \gamma_3 \cdot \left(z_3 - z_2\right) + \gamma_4 \cdot \left(z - z_3\right) & \mathrm{if} \ z_3 < z \leq z_4 \\ \gamma_1 \cdot z_1 + \gamma_2 \cdot \left(z_2 - z_1\right) + \gamma_3 \cdot \left(z_3 - z_2\right) + \gamma_4 \cdot \left(z_4 - z_3\right) + \gamma_5 \cdot \left(z - z_4\right) & \mathrm{if} \ z_4 < z \leq z_5 \\ \end{split}$$

$\sigma_{v}(z) := \sigma_{v}(z)$	- u(z)	NAF = 3.4	z := 0.01,	$0.015z_5 \ C_c(z) := \ C_{c1} \ \text{if} \ 0 \le z \le z_1 \ C_r(z) :$	$=  C_{r1}  \text{ if } 0 \le z \le z_1$
z =	$\sigma_{v}(z) =$	u(z) =	$\sigma'_{v}(z) =$	$C_{c2}$ if $z_1 < z \le z_2$	$C_{r2}$ if $z_1 < z \le z_2$
0	0.2	0	0.2	$C_{c3}$ if $z_2 < z \le z_3$	$C_{r3}$ if $z_2 < z \le z_3$
0	0.4	0	0.3	$C_{c4}$ if $z_3 < z \le z_4$	$C_{r4}$ if $z_3 < z \le z_4$
0	0.5	0	0.5	$C_{c5}$ if $z_4 < z \le z_5$	$C_{r5}$ if $z_4 < z \le z_5$
0	0.6	0	0.6	$\mathbb{E}(z) := \begin{bmatrix} E_1 & \text{if } 0 \le z \le z_1 \\ & & \end{bmatrix} = e_0(z) :=$	$e_{01}$ if $0 \le z \le z_1$
0	0.7	0	0.7	$E_2$ if $z_1 < z \le z_2$	$e_{02} \text{ if } z_1 < z \le z_2$
0	0.8	0	0.8	$E_3$ if $z_2 < z \le z_3$	$e_{03}$ if $z_2 < z \le z_3$
0	0.9	0	0.9		
0.1	1	0	1	$E_4$ if $z_3 < z \le z_4$	$e_{04}$ if $z_3 < z \le z_4$
0.1	1.1	0	1.1	$E_5$ if $z_4 < z \le z_5$	$e_{05}$ if $z_4 < z \le z_5$
0.1	1.2	0	1.2	$OCR(z) :=  OCR_1 \text{ if } 0 \le z \le z_1  \nu(z) := $	$\nu_1$ if $0 < 7 < 7$ .
0.1	1.3	0	1.3		
0.1	1.4	0	1.4	$OCR_2$ if $z_1 < z \le z_2$	$v_2$ if $z_1 < z \le z_2$
0.1	1.5	0	1.5	$OCR_3$ if $z_2 < z \le z_3$	$\nu_3$ if $z_2 < z \le z_3$
0.1	1.6	0	1.6	$OCR_4$ if $z_3 < z \le z_4$	$v_4$ if $z_3 < z \le z_4$
	•••		***	$OCR_5$ if $z_4 < z \le z_5$	$v_5$ if $z_4 < z \le z_5$





Esfuerzos totales
Presión hidrostática

---- Esfuerzos efectivos

Esfuerzos de preconsolidación

### Esfuerzos inducidos por la cimentación

### Al centro del área cargada

### Solución de Boussinesq

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

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

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

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

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

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

$$w(B,z,L) := \begin{bmatrix} 0 & \text{if } z \leq Df \\ \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{2 \cdot BB(B,z,L) \cdot CB(B,z,L) \cdot \sqrt{AB(B,z,L)}}{AB(B,z,L) \cdot \left(AB(B,z,L) + BB(B,z,L)^2\right)} + DB(B,z,L) + EB(B,z,L) \right] & \text{Distribución de esfuerzos en el punto considerado} \\ \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{2 \cdot BB(B,z,L) \cdot CB(B,z,L) \cdot \sqrt{AB(B,z,L)}}{AB(B,z,L) \cdot \left(AB(B,z,L) + BB(B,z,L)^2\right)} + DB(B,z,L) + EB(B,z,L) \right] & \text{If } z > Df & \text{Distribución de esfuerzos en el punto considerado} \\ \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{2 \cdot BB(B,z,L) \cdot CB(B,z,L) \cdot \sqrt{AB(B,z,L)}}{AB(B,z,L) \cdot BB(B,z,L)} + DB(B,z,L) + EB(B,z,L) \right] & \text{If } z > Df & \text{Distribución de esfuerzos en el punto considerado} \\ \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{2 \cdot BB(B,z,L) \cdot CB(B,z,L) \cdot \sqrt{AB(B,z,L)}}{AB(B,z,L) \cdot BB(B,z,L)} + DB(B,z,L) + EB(B,z,L) \right] & \text{If } z > Df & \text{Distribución de esfuerzos en el punto considerado} \\ \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{2 \cdot BB(B,z,L) \cdot CB(B,z,L) \cdot \sqrt{AB(B,z,L)}}{AB(B,z,L) \cdot BB(B,z,L)} + DB(B,z,L) + EB(B,z,L) \right] & \text{Distribución de esfuerzos en el punto considerado} \\ \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{2 \cdot BB(B,z,L) \cdot CB(B,z,L) \cdot AB(B,z,L)}{AB(B,z,L) \cdot BB(B,z,L)} + DB(B,z,L) + EB(B,z,L) \right] & \text{Distribución de esfuerzos en el punto considerado} \\ \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{2 \cdot BB(B,z,L) \cdot CB(B,z,L) \cdot AB(B,z,L)}{AB(B,z,L) \cdot BB(B,z,L)} + DB(B,z,L) + EB(B,z,L) \right] & \text{Distribución de esfuerzos en el punto considerado} \\ \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{2 \cdot BB(B,z,L) \cdot CB(B,z,L) \cdot AB(B,z,L)}{AB(B,z,L) \cdot BB(B,z,L)} + DB(B,z,L) + EB(B,z,L) \right] & \text{Distribución de esfuerzos en el punto considerado} \\ \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{2 \cdot BB(B,z,L) \cdot CB(B,z,L) \cdot AB(B,z,L)}{AB(B,z,L) \cdot BB(B,z,L)} + DB(B,z,L) + EB(B,z,L) \right] & \text{Distribución de esfuerzos en el punto considerado} \\ \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{2 \cdot BB(B,z,L) \cdot CB(B,z,L) \cdot AB(B,z,L)}{AB(B,z,L) \cdot BB(B,z,L)} + DB(B,z,L) + BB(B,z,L) \right] & \text{Distribución de esfuerzos en el punto considerado} \\ \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{2 \cdot BB(B,z,L) \cdot AB(B,z,L) \cdot AB(B,z,L) \cdot AB(B,z,L)}{AB(B,z,L) \cdot AB(B,z,L)} + BB(B,z,L) \right] & \text{Distribución de esfuerzos en el punto considerado} \\ \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{2 \cdot BB(B,z,L) \cdot AB(B,z,L) \cdot A$$

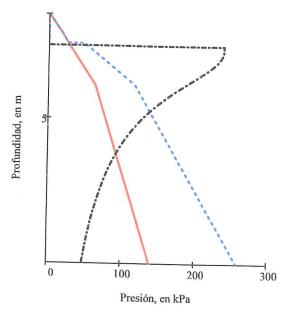
### q<sub>est</sub> := 5,10..250 Presión de servicio de la estructura (carga viva media), en kPa

$$q_{net}(q_{est}) := q_{est} - \gamma \cdot Df$$

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

$$w_{carga}(B, z_3, L, r_{CVMAX}) = 181.8$$

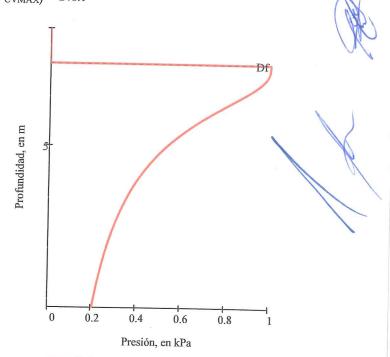
$$\sigma'_{final}\!\!\left(B,z,L,q_{neta}\right) \coloneqq w_{carga}\!\!\left(B,z,L,q_{neta}\right) + \sigma'_{v}\!\!\left(z\right) \quad \sigma'_{final}\!\!\left(B,z_{3},L,r_{CVMAX}\right) = 246.1$$



Esfuerzos efectivos

Esfuerzos de preconsolidación

Esfuerzos inducidos por la sobrecarga

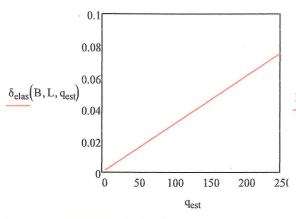


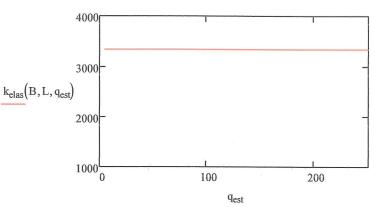
### 2.- Asentamientos a corto plazo

$$\operatorname{Es}(z) := \frac{1000 \operatorname{E}(z)}{\left(1 - \nu(z)^2\right)}$$

$$\delta_{elas}\big(B\,,L\,,q_{est}\big) := \int_{D^{\mathcal{E}}}^{Z_5} \frac{w_{carga}\big(B\,,z\,,L\,,q_{est}\big)}{Es(z)} \; dz$$

$$k_{elas}(B, L, q_{est}) := \frac{q_{est}}{\delta_{elas}(B, L, q_{est})}$$





 $100 \, \delta_{\text{elas}}(B, L, r_{\text{CVMAX}}) = 7.15$ 

Asentamiento de corto plazo (construcción) asociado con la capacidad de carga reducida, cm

 $k_{elas}(B,L,r_{CVMAX}) = 3333.4$ 

Modulo de reacción vertical en condiciones de corto plazo (construcción), kPa/m

### 3.- Asentamientos a largo plazo

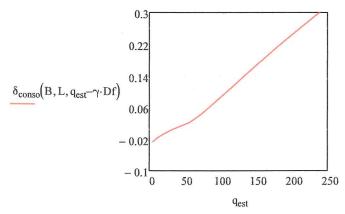
$$\Delta p_1(z) := \sigma'_{pc}(z) - \sigma'_{v}(z)$$

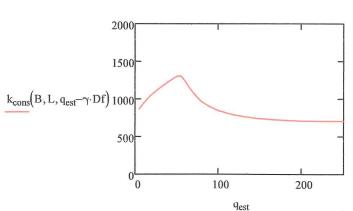
$$\Delta p_2(B, z, L, q_{neta}) := \sigma'_{final}(B, z, L, q_{neta}) - \sigma'_{pc}(z)$$

$$\begin{split} d\delta_{conso}\!\!\left(B,z,L,q_{neta}\!\right) \coloneqq & \left[ \frac{C_{r}\!\!\left(z\right)}{1+e_{0}\!\!\left(z\right)} \cdot log\!\!\left(\frac{\sigma^{'}_{\nu}\!\!\left(z\right)+w_{carga}\!\!\left(B,z,L,q_{neta}\!\right)}{\sigma^{'}_{\nu}\!\!\left(z\right)}\right) & \text{if } \sigma^{'}_{final}\!\!\left(B,z,L,q_{neta}\!\right) < \sigma^{'}_{pc}\!\!\left(z\right) \\ & \left[ \frac{C_{r}\!\!\left(z\right)}{1+e_{0}\!\!\left(z\right)} \cdot log\!\!\left(\frac{\sigma^{'}_{\nu}\!\!\left(z\right)+\Delta p_{1}\!\!\left(z\right)}{\sigma^{'}_{\nu}\!\!\left(z\right)}\right) + \frac{C_{c}\!\!\left(z\right)}{1+e_{0}\!\!\left(z\right)} \cdot log\!\!\left(\frac{\sigma^{'}_{pc}\!\!\left(z\right)+\Delta p_{2}\!\!\left(B,z,L,q_{neta}\!\right)}{\sigma^{'}_{pc}\!\!\left(z\right)}\right) & \text{otherwise} \end{split} \right] \end{split}$$

$$\delta_{conso}(B, L, q_{neta}) := \int_{Df}^{z_5} d\delta_{conso}(B, z, L, q_{neta}) dz$$

$$k_{cons}\!\!\left(B\,,L\,,q_{neta}\right) \coloneqq \frac{q_{neta}}{\delta_{conso}\!\!\left(B\,,L\,,q_{neta}\right)}$$





$$100 \delta_{\text{conso}}(B, L, r_{\text{CVMAX}} - \gamma \cdot Df) = 29.89$$

$$k_{cons}(B, L, r_{CVMAX} - \gamma \cdot Df) = 703.8$$

Asentamiento de largo plazo (consolidación) asociado con la capacidad de carga reducida, cm

Modulo de reacción vertical en condiciones de largo plazo (consolidación), asociado con la capacidad de carga reducida, kPa/m

Asentamiento esperado mayor que el permisible; por tanto, la carga viva media tendría que ser menor que 140.3 kPa.

### CVM := 140.3

$$100 \, \delta_{\text{conso}}(B, L, \text{CVM} - \gamma \cdot \text{Df}) = 15$$

$$k_{cons}(B, L, CVM - \gamma \cdot Df) = 748.2$$

### CVMin := 5

$$100 \, \delta_{\text{conso}}(B, L, \text{CVMin} - \gamma \cdot \text{Df}) = -2.66$$

$$k_{cons}(B, L, CVMin - \gamma \cdot Df) = 866.6$$

Carga Viva Media máxima permisible, kPa

Asentamiento de largo plazo (consolidación) asociado con la Carga Viva Media máxima permisible, cm

Modulo de reacción vertical en condiciones de largo plazo (consolidación), asociado con la capacidad de carga reducida, kPa/m

Carga Viva Media mínima, kPa

Asentamiento de largo plazo (consolidación) asociado con la Carga Viva Media máxima permisible, cm

Modulo de reacción vertical en condiciones de largo plazo (consolidación), asociado con la capacidad de carga reducida, kPa/m

CAR