dicimsa
DISEÑO DE CIMENTACIONES

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

Benito Juárez, Ciudad de México, México

Informe preparado para:

CEMEX

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

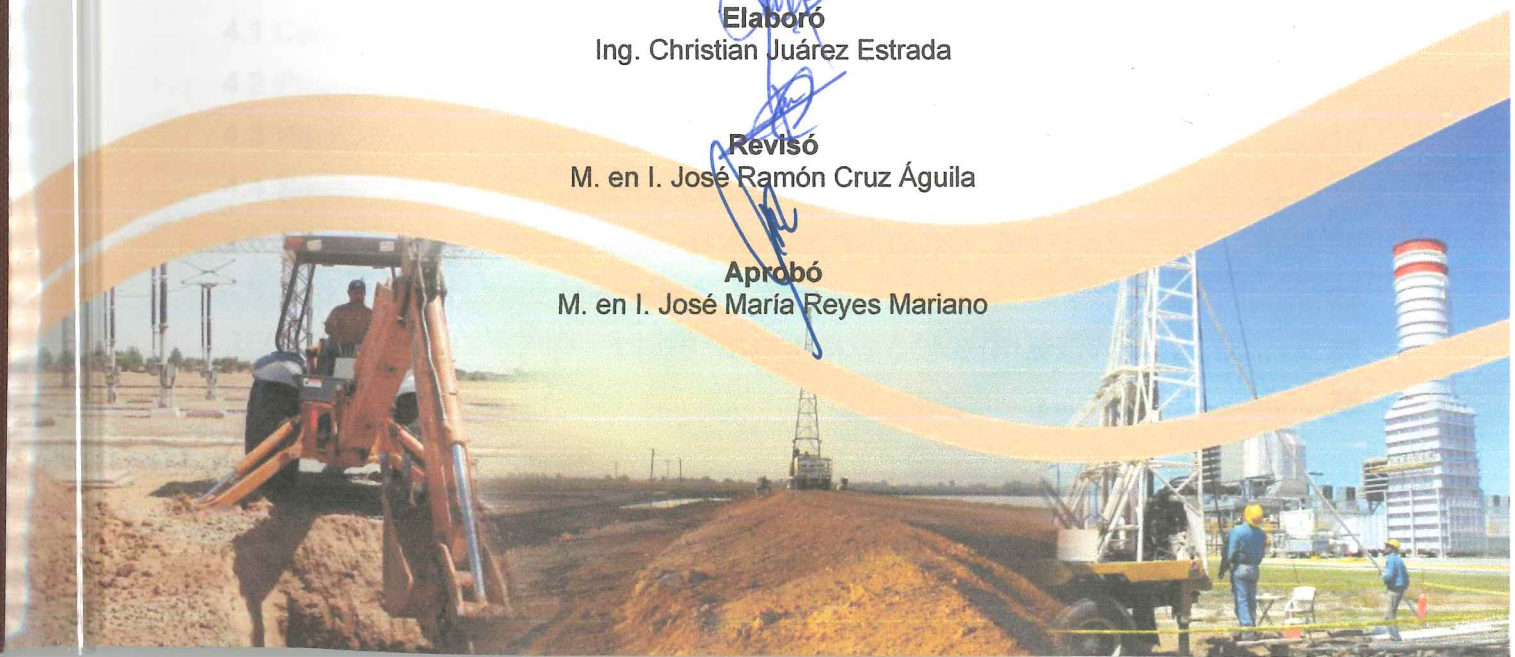
Informe final
EMS-CCMT-19-04-03

Octubre de 2019

Elaboró
Ing. Christian Juárez Estrada

Revisó
M. en I. José Ramón Cruz Águila

Aprobó
M. en I. José María Reyes Mariano



CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS ii
LISTA DE TABLAS iii
LISTA DE ECUACIONES iii
1 INTRODUCCIÓN 1
1.1 Antecedentes 1
1.2 Objetivo y alcances 2
1.3 Información proporcionada 2
1.4 Descripción general del proyecto 3
2 TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO 5
2.1 Trabajos de exploración geotécnica 5
2.2 Trabajos de laboratorio 9
3 CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL SITIO 11
3.1 Zonificación geotécnica (RCDF-2017) 11
3.2 Hundimiento regional 12
3.3 Aspectos sísmicos 13
3.4 Atlas de riesgo de la Ciudad de México 14
3.5 Riesgos geológicos y geotécnicos 15
3.6 Modelo geotécnico 16
4 ANÁLISIS GEOTÉCNICOS 17
4.1 Cargas a nivel de la cimentación e hipótesis de análisis 17
4.2 Propuesta para la cimentación de las estructuras 17
4.3 Hipótesis de análisis 18
4.4 Revisión de los estados límite de falla (NTC-DC, 2017) 19
4.5 Revisión de los estados límite de servicio (RCCDMX, 2017) 20
4.6 Módulos de reacción verticales 22
5 RECOMENDACIONES PARA LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS 23
6 CONCLUSIONES 26

REFERENCIAS 28

Anexo A Reportes de exploracion geotécnica

Anexo B Resultados de laboratorio

Anexo C Reporte fotográfico

Anexo D Memória de Cálculo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Vista general de localización del sitio en estudio, estación División del Norte, Ampliación de la L3 del MB, Ciudad de México (INEGI 2018) 1
Figura 1.2. Trazo de la ampliación de la Línea 3 del Metrobús y ubicación de la estación División del Norte 3
Figura 1.3. Vista en corte de la estación División del Norte (CEMEX 2019) 4
Figura 1.4. Vista en corte de la estación División del Norte, tomando como referencia la información de la estación Luz Saviñón, Eugenia y Terminal Xoco (Cemex, 2019) 4
Figura 2.1. Posición posible del cajón de la Línea 3 del STC Metro y posición de posibles instalaciones subterráneas asociadas con la misma línea, esta interpretación deberá cruzarse con los resultados de la exploración geofísica para una conclusión completa 5
Figura 2.2. Vista esquemática de la rejilla y la losa encontrada en el PCA-01 6
Figura 2.3. Vista de la excavación y muestreo de los materiales encontrados en el PCA-01 . 7
Figura 2.4. Relleno y compactación del PCA-01 7
Figura 2.5. Vista de la excavación del PCA-02 8
Figura 2.6. Vista del PCA-02 al final de la excavación 8
Figura 3.1. Zonificación geotécnica y localización de la estación División del Norte (RCDF, 2017) 11
Figura 3.2. Hundimiento regional registrado por el II-UNAM entre 1998-2002 (Méndez, et al., 2010) 12
Figura 3.3. Espectro de diseño sísmico, estación División del Norte, CDMX (SASID, 2017) 13
Figura 3.4. Ubicación general de la estación División del Norte en el contexto del Atlas de Riesgos de la Ciudad de México (SGIRPC, 2019) 14
Figura 3.5. Riesgos geológico-geotécnicos identificados por medio del Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2018) 15
Figura 4.1. Modificación del mecanismo de falla del cajón de Metrobús debido a la presencia del cajón de la Línea 3 del Metro 19

Figura 5.1. Zona mínima de homologación de calidades del material de relleno 25

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Muestras recuperadas de la exploración mediante pozos a cielo abierto..... 9
Tabla 2.2 Resultados de laboratorio del PCA-01 y PCA-02, estación División del Norte 10
Tabla 3.1 Modelo geotécnico..... 16
Tabla 4.1. Verificación del estado límite de falla de acuerdo con el NTC-DC (2017) 20

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 4.1..... 20
Ecuación 4.2..... 21
Ecuación 4.3..... 22

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 División del Norte, 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 Eje 6 Sur (Ángel Urraza) y Av. División del Norte, 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.

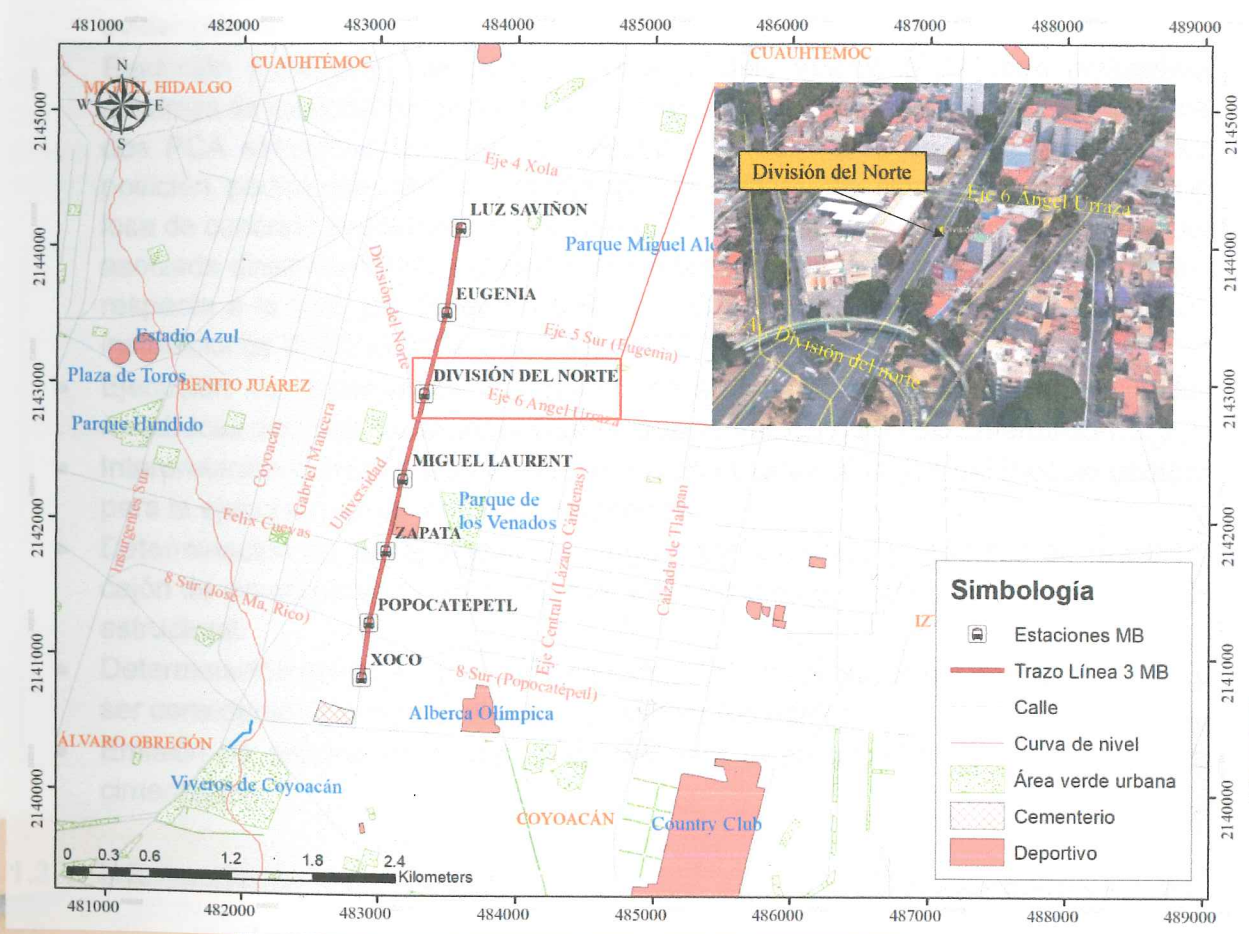


Figura 1.1. Vista general de localización del sitio en estudio, estación División del Norte, Ampliación de la L3 del MB, Ciudad de México (INEGI 2018)

1.2 Objetivo y alcances

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

- Especialistas en geotecnia realizaron un reconocimiento del sitio en estudio para identificar la presencia de anomalías geotécnicas (en el caso de existir) que debieran ser consideradas en el diseño de las cimentaciones, tales como sistemas de fallas, evidencias de agrietamientos regionales o la presencia de estructuras enterradas.
- Ejecución y muestreo de dos (2) pozos a cielo abierto (PCA) con profundidades máximas de exploración de 0.83 y 1.65 metros, respectivamente. La profundidad de los dos PCA estuvo acotada por la presencia de dos losas de concreto, que, por su posición, podría pensarse que corresponden a diferentes estructuras. En el caso de la losa de concreto encontrada a 1.65 metros (PCA-2), se presume que ésta se encuentra asociada directamente con el cajón de cimentación de la L3 del STC Metro. En lo que respecta a la losa encontrada a 0.83 m (PCA-1), probablemente esté asociada con instalaciones diversas de la Línea 3 del STC Metro.
- Ejecución de pruebas de laboratorio para determinar las propiedades índice y mecánicas del material sobre el cual se desplantará el cajón de cimentación.
- Interpretación estratigráfica del sitio en estudio y determinación del modelo geotécnico para la ejecución de los análisis geotécnicos.
- Determinación de la capacidad de carga, asentamientos y módulos de reacción del cajón de cimentación de la estación de MB División del Norte para su posterior diseño estructural.
- Determinación del valor relativo de soporte (*VRS*) de las muestras obtenidas *in situ* para ser considerado durante el diseño de pavimentos rígidos.
- Emisión de recomendaciones generales para el proceso constructivo del cajón de cimentación.

1.3 Información proporcionada

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

- Eje del trazo del proyecto de ampliación de la Línea 3 del Metrobús (marzo de 2019), 190912_Eje de Trazo (formato pdf).
- Plano de la Estación División del Norte (marzo de 2019), MBL3-CMX-EST-ARQ-004A-1-DIV (formato dwg).
- Plano del trazo general en planta (marzo de 2019), PLT_GRAL_ampli_MBL3-EQUIDIST-01 (formato dwg.).

1.4 Descripción general del proyecto

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

Figura 1.2. Trazo de la ampliación de la Línea 3 del Metrobús y ubicación de la estación División del Norte

De manera particular, la estación División del Norte 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.

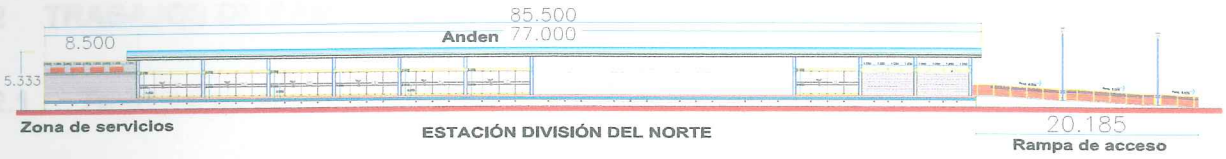


Figura 1.3. Vista en corte de la estación División del Norte (CEMEX 2019)

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

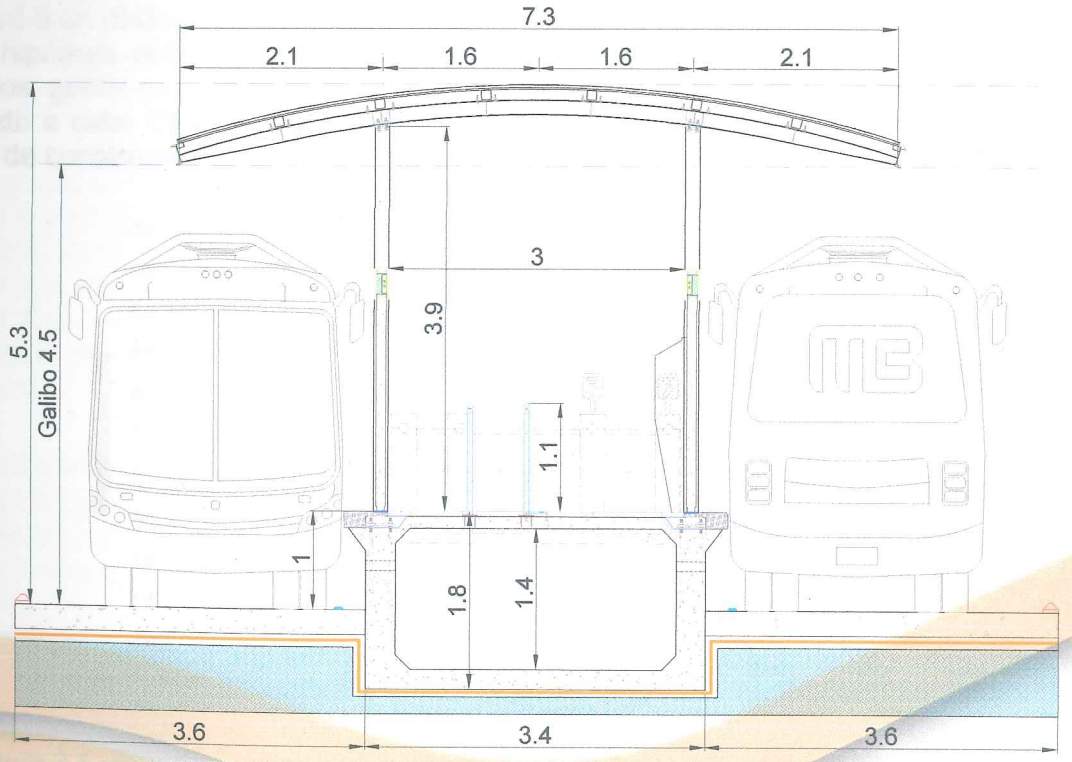


Figura 1.4. Vista en corte de la estación División del Norte, tomando como referencia la información de la estación Luz Saviñón, Eugenia y Terminal Xoco (Cemex, 2019)

2 TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO

2.1 Trabajos de exploración geotécnica

Los trabajos de exploración geotécnica efectuados para fines del presente estudio constaron de la ejecución de dos (2) pozos a cielo abierto, con profundidades máximas de exploración de 0.83 m y 1.65 metros, medidos a partir del nivel de la superficie vial de concreto asfáltico. La profundidad de los dos PCA estuvo acotada por la presencia de dos losas de concreto, que, por su posición, podría pensarse que corresponden a diferentes estructuras.

En el caso de la losa de concreto encontrada a 1.65 metros (PCA-2), se presume que ésta se encuentra asociada directamente con el cajón de cimentación de la Línea 3 del STC Metro. Esta hipótesis se realizó considerando que, en la exploración realizada para las estaciones del MB Luz Saviñón y Eugenia, la posición de la losa del cajón de la L3 del Metro presumiblemente se encontró a 1.55 y 1.30 m de profundidad, respectivamente, Figura 2.1. En lo que respecta a la losa encontrada a 0.83 m (PCA-1), probablemente ésta esté asociada con instalaciones diversas de la Línea 3 del STC Metro, como puede ser la rejilla que se observó a un costado de donde se realizó el PCA-01, Figura 2.2. No obstante, para confirmar estas hipótesis deberá cruzarse la información de este estudio con la obtenida mediante los estudios geofísicos para detectar estructuras enterradas, mismos que actualmente está llevando a cabo CEMEX, esto con la finalidad de tomar las medidas pertinentes durante la etapa de construcción.

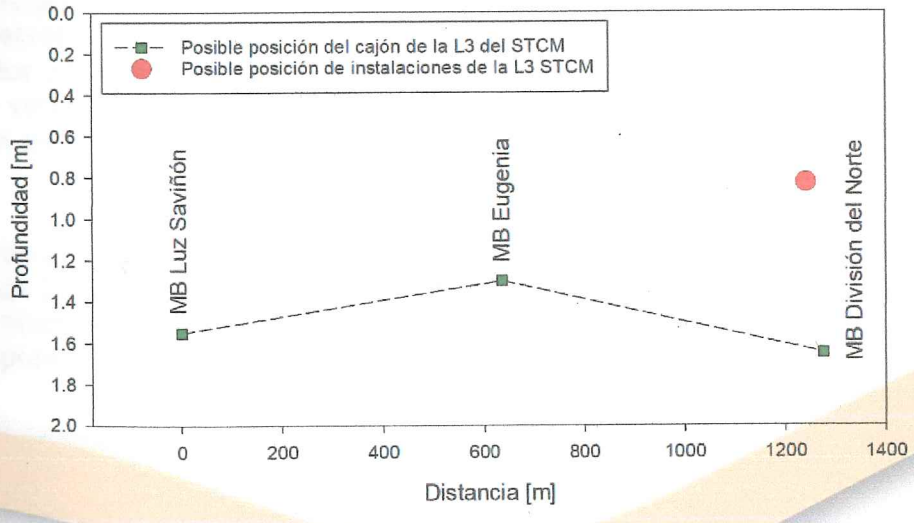


Figura 2.1. Posición posible del cajón de la Línea 3 del STC Metro y posición de posibles instalaciones subterráneas asociadas con la misma línea, esta interpretación deberá cruzarse con los resultados de la exploración geofísica para una conclusión completa

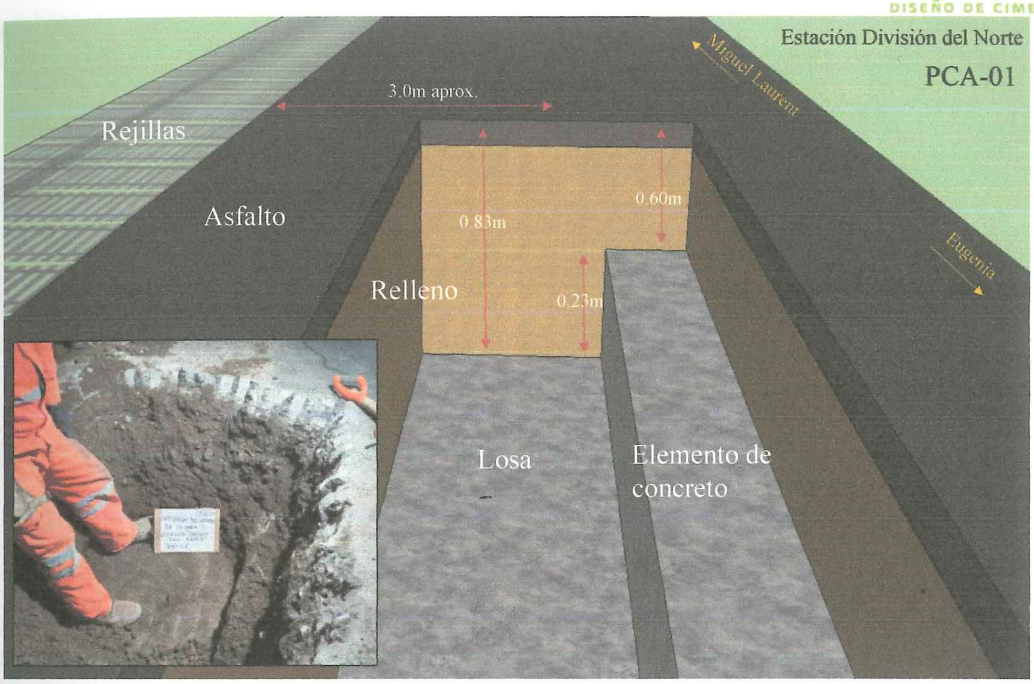


Figura 2.2. Vista esquemática de la rejilla y la losa encontrada en el PCA-01

A partir de estos trabajos fueron recuperadas muestras alteradas con la finalidad de conocer la composición y características de los materiales que subyacen a la carpeta asfáltica, ya que dichos materiales servirán como desplante del cajón de cimentación de la estación División del Norte. 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.

En las Figuras 2.3 a 2.6, 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.

Figura 2.3. Vista de la excavación y muestreo de los materiales encontrados en el PCA-01

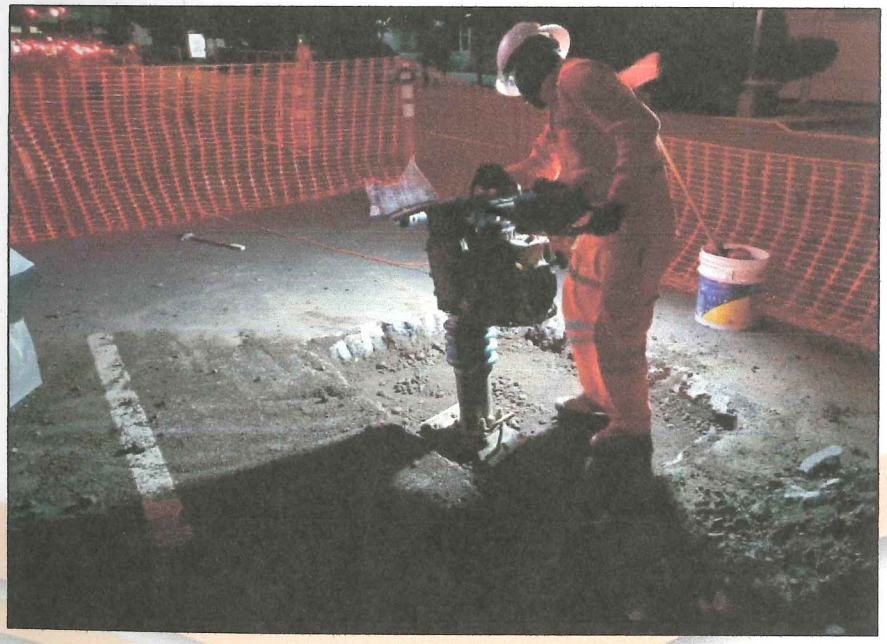


Figura 2.4. Relleno y compactación del PCA-01

Figura 2.5. Vista de la excavación del PCA-02

Figura 2.6. Vista del PCA-02 al final de la excavación

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

Pozo	Prof. Máxima de exploración	Coordenadas UTM		Muestra	Profundidad [m]		Tipo de muestra
		X	Y		de	a	
PCA-01	0.83 m	483332	2142952	1	0.25	0.47	Representativa
				2	0.47	0.83	Representativa
				Costal 1	0.47	0.83	Alterada
				Costal 2	0.25	0.47	Alterada
PCA-02	1.65 m	483324	2142923	1	0.10	1.12	Representativa
				2	1.12	1.65	Representativa

2.2 Trabajos de laboratorio

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

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

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

Tabla 2.2 Resultados de laboratorio del PCA-01 y PCA-02, estación División del Norte

Pozo	Muestra	Profundidad [m]		w	γ	Granulometría			SUCS	Pavimentos		
		De	A	[%]	[kN/m^3]	G [%]	S [%]	F [%]		$\gamma_{d,max}$ [kN/m^3]	w_{opt} [%]	VRS [%]
PCA-01	1	0.25	0.47	11	-	40	46	14	*SM*	-	-	-
	2	0.47	0.83	16	-	38	52	10	*SW-SM*	-	-	-
	Costal 1	0.47	0.83	-	-	43	49	8	*SP-SM*	18.0	12.9	64.7
	Costal 2	0.25	0.47	-	-	38	45	17	*SM*	16.5	12.6	104.4
PCA-02	1	0.10	1.12	9	-	38	51	11	*SM*	-	-	-
	2	1.12	1.65	13	-	32	57	11	*SM*	-	-	-

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

3 CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL SITIO

3.1 Zonificación geotécnica (RCDF-2017)

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

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

La estación División del Norte se localiza dentro de la Zona II (Transición), tal y como se muestra en la Figura 3.1.

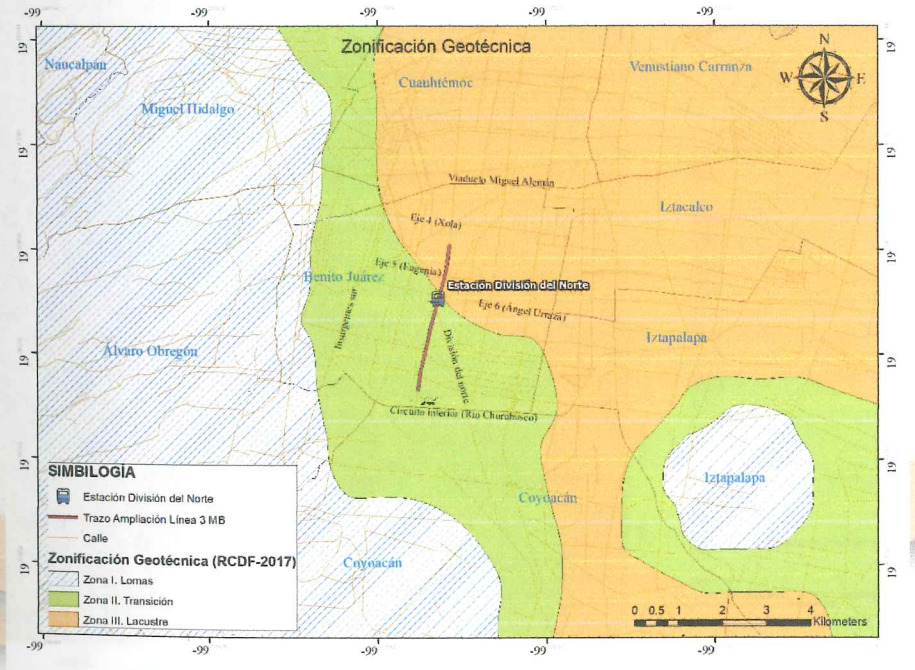


Figura 3.1. Zonificación geotécnica y localización de la estación División del Norte (RCDF, 2017)

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 División del Norte está entre 0 y 4 cm/año; sin embargo, ante la presencia del cajón de la L3 del Metro, este fenómeno tendrá un impacto poco significativo en la cimentación de la estación del MB División del Norte.

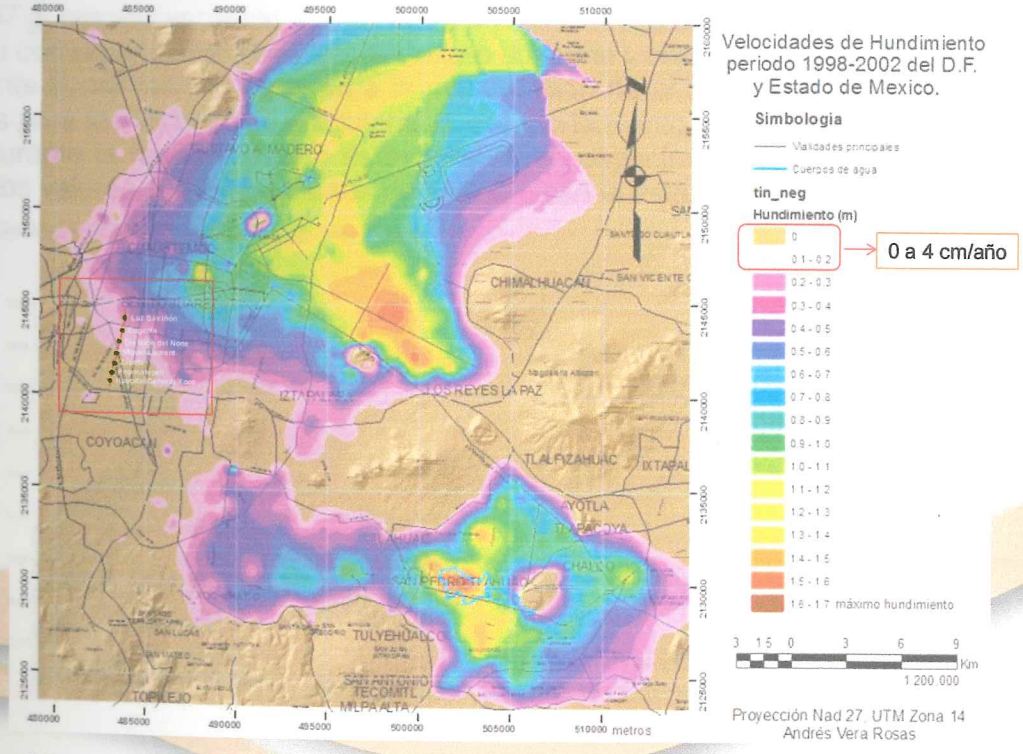


Figura 3.2. Hundimiento regional registrado por el II-UNAM entre 1998-2002 (Méndez, et al., 2010)

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

Con base en lo anteriormente expuesto, al *espectro de diseño* le corresponden valores del coeficiente sísmico de la meseta espectral (c_s) y de la aceleración pico del terreno (a_0) de 0.583 g y 0.157 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.

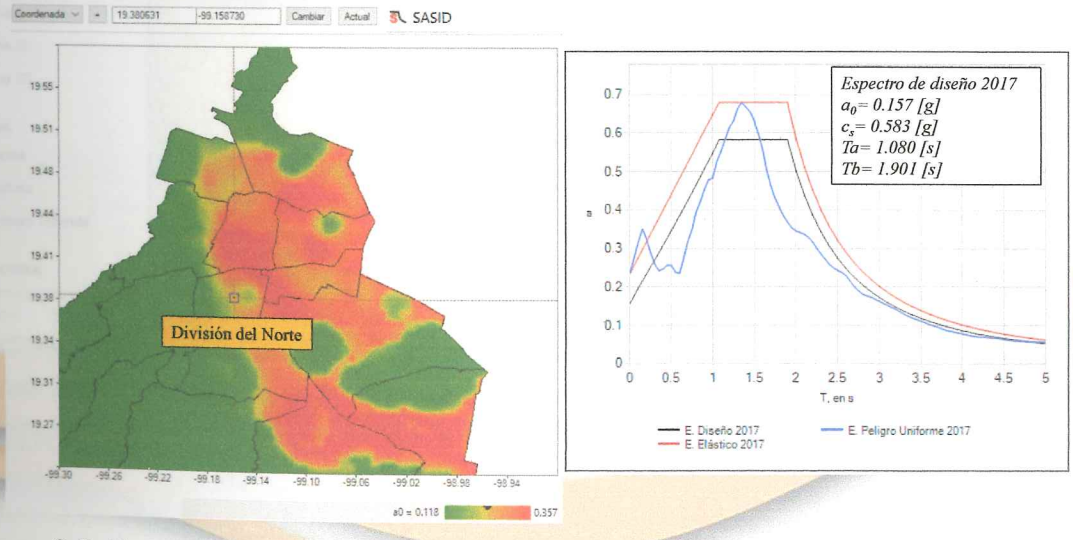


Figura 3.3. Espectro de diseño sísmico, estación División del Norte, CDMX (SASID, 2017)

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 División del Norte, ubicada sobre la Av. Cuauhtémoc, entre las calles Eje 6 Ángel Urraza y Av. División del Norte, dentro de la Alcaldía Benito Juárez.

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

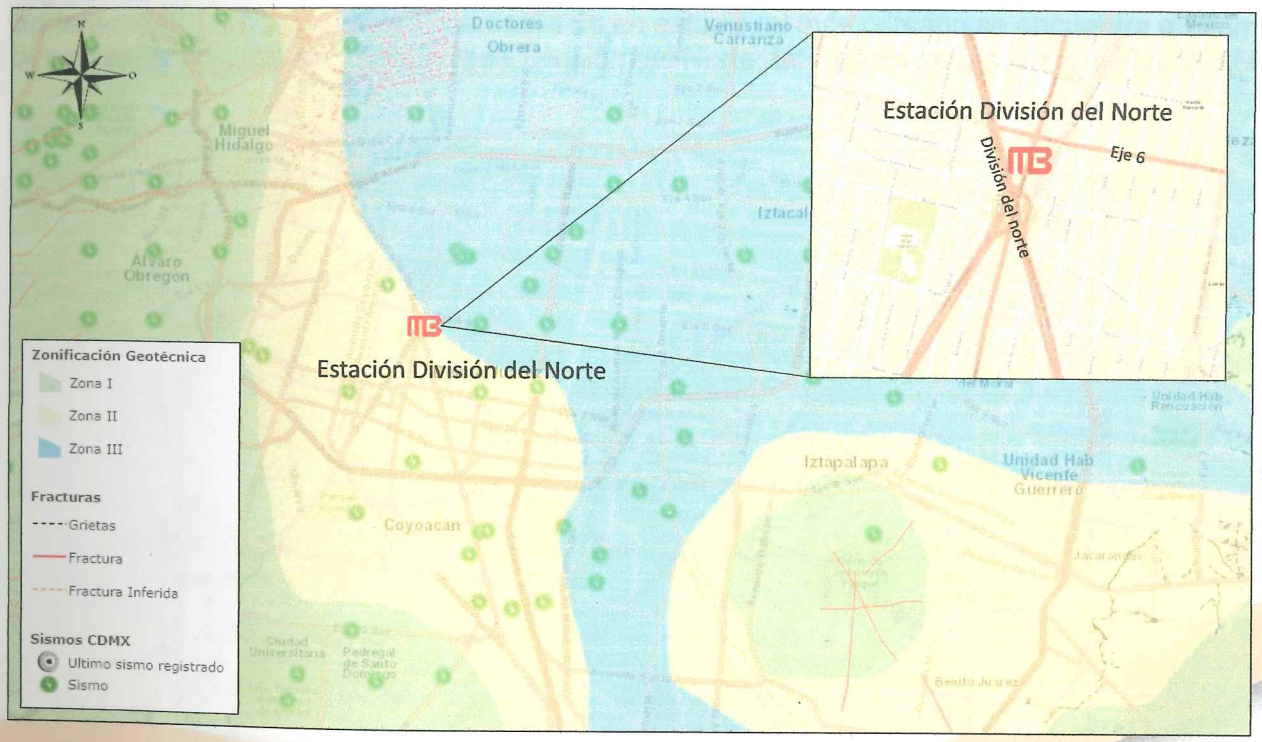


Figura 3.4. Ubicación general de la estación División del Norte en el contexto del Atlas de Riesgos de la Ciudad de México (SGIRPC, 2019)

3.5 Riesgos geológicos y geotécnicos

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

De acuerdo con base de datos del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), a través del Atlas Nacional de Riesgos, mismo que está sujeto al Artículo 2 de la Ley General de Protección Civil, la distancia de la estación División del Norte a la falla inferida más cercana es de aproximadamente 103 m; asimismo, la distancia al epicentro registrado más cercano es del orden de 840 metros. También se pueden observar varios agrietamientos en las inmediaciones del sitio en estudio, el más cercano se encuentra a 220m al sureste de la estación del Metrobús División del Norte, tal y como se ilustra en la Figura 3.5.

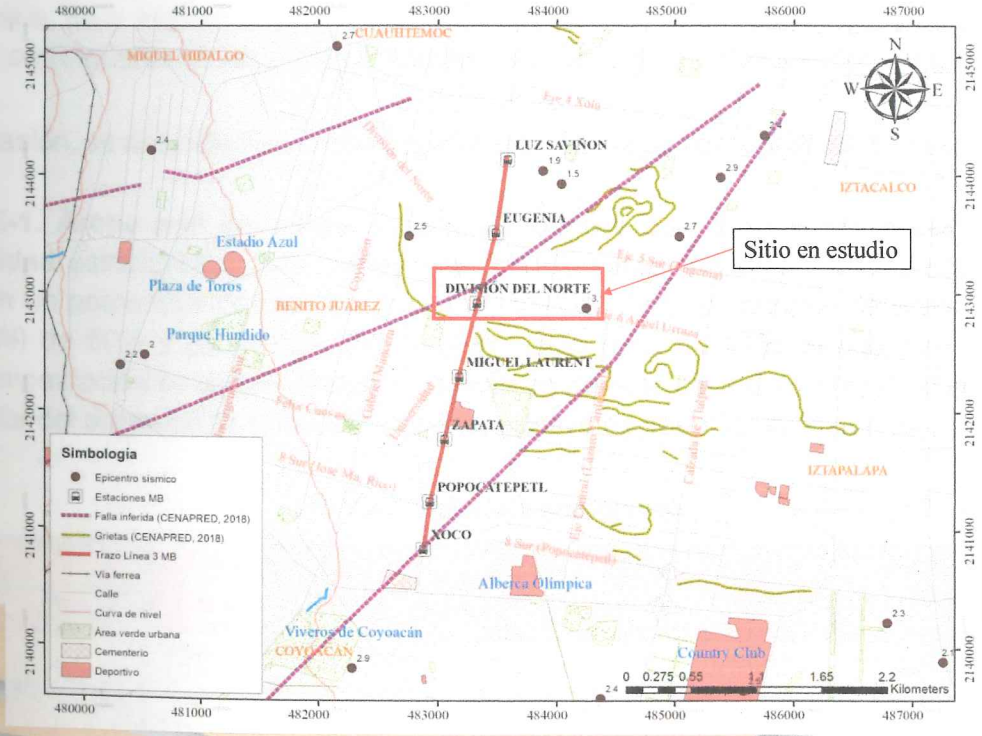


Figura 3.5. Riesgos geológico-geotécnicos identificados por medio del Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2018)

3.6 Modelo geotécnico

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

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

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

- **UE-1. Arena mal graduada color café oscuro con limo y gravas (SP-SM):** esta unidad estratigráfica está compuesta predominantemente por materiales granulares, con un porcentaje de gravas promedio ($G\%$) de 39%, porcentaje de arenas promedio ($A\%$) de 50% y porcentaje de finos promedio ($F\%$) de 11%. A partir de pruebas de compactación se obtuvo el peso volumétrico de esta capa de material, el cual tiene un valor del orden de 18.0 kN/m^3 y un valor relativo de soporte (VRS) que va de 65 a 104%.

Tabla 3.1 Modelo geotécnico

Unidad	Prof. [m]		Descripción	ω	SUCS	γ	VRS	c	ϕ	E
	De:	A:		[%]		[kN/m^3]	[%]	[kPa]	[°]	[MPa]
UE-1	0.10	1.65	Arena mal graduada color café con limo y gravas	16	SP-SM	18.0	65-104	5-25	33-42	32-56

4 ANÁLISIS GEOTÉCNICOS

4.1 Cargas a nivel de la cimentación e hipótesis de análisis

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

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

4.2 Propuesta para la cimentación de las estructuras

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

- **Cajón de cimentación** desplantado a una profundidad mínima de 0.8 metros. Esta profundidad se consideró debido a la posición de la losa superior del cajón del metro, misma que se asumió a una profundidad de 1.65 m con respecto a la superficie de rodamiento de la Av. Cuauhtémoc.
- El nivel de desplante se podrá incrementar de acuerdo con los requerimientos y especificaciones aplicables en la fase de diseño definitivo de la cimentación; sin embargo, es recomendable que se mantenga una separación de al menos 50 cm con respecto al cajón del metro, principalmente como una medida de protección del cajón del Metro durante los procesos constructivos del cajón del Metrobús.
- De no cumplirse esta condición, será recomendable optar por desplantar el cajón del Metrobús directamente sobre el cajón del Metro. En este caso deberá obtenerse la autorización expedita del Sistema de Transporte Colectivo Metro; asimismo, deberán seguirse los lineamientos y medidas de mitigación y protección del cajón del Metro que establezca dicha dependencia.

4.3 Hipótesis de análisis

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

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

Metro y del Metrobús (d_c) es igual que 0.85 m, entonces el asentamiento máximo permisible en este caso sería igual que 1.7 cm.

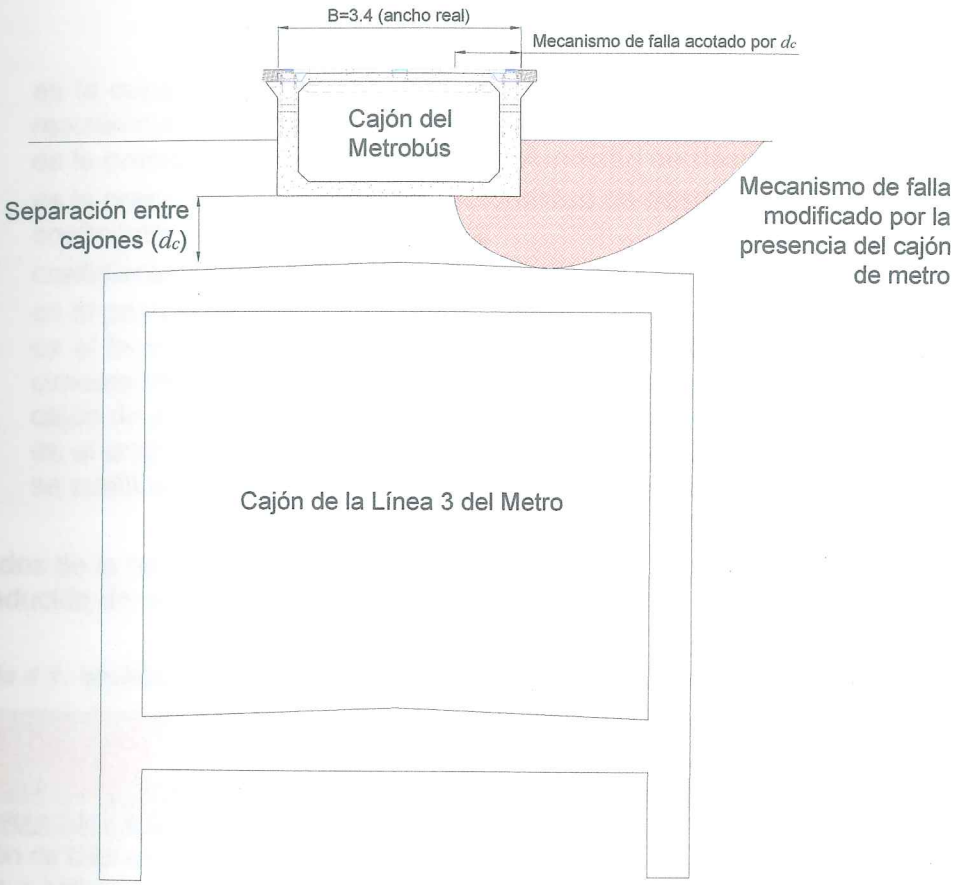


Figura 4.1. Modificación del mecanismo de falla del cajón de Metrobús debido a la presencia del cajón de la Línea 3 del Metro

4.4 Revisión de los estados límite de falla (NTC-DC, 2017)

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

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

donde:

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

Los resultados de la revisión se muestran en la Tabla 4.1, en donde destaca que la capacidad de carga reducida de acuerdo con las NTC-DC (2017) es igual a 350 kPa (35 t/m²).

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

Cimentación	Capacidad de carga unitaria reducida, *r [kPa]*
Cajón desplantado a 0.8 m de profundidad, con una separación de 0.85 metros con respecto al cajón de la Línea 3 del Metro	350 (35 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 División del Norte del MB se efectuó con el objetivo de estimar los posibles asentamientos producto del nivel de cargas aplicado, para lo cual se tomaron en cuenta las consideraciones siguientes:

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

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

- Con base en el RCDF (2017), los desplazamientos verticales permisibles para la estación División del Norte serían del orden de 15 cm (zona de Transición); sin embargo, debido a la presencia superficial del cajón de la Línea 3 del STC Metro, se consideró que la deformación vertical del relleno granular antrópico será menor que el 2%.
- Para la estación División del Norte, se espera que la separación entre los cajones del Metro y del Metrobús (d_c) sea de cuando menos 0.85 m; por tanto, el asentamiento máximo permisible en este caso sería igual que 1.7 cm.
- La deformación elástica del subsuelo se consideró a partir del nivel de desplante de la cimentación.

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

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

dónde:

δ_{perm} = desplazamiento, que deberá ser igual o menor que 1.7 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
ν_i = relación de Poisson del estrato i
q = presión en el cimiento
El término de la integral representa la distribución de esfuerzos definida mediante la solución de Boussinesq

Al aplicar la Ecuación 4.2 para las condiciones particulares del cajón de cimentación de la estación del MB División del Norte, y considerando una presión neta igual a la obtenida en la evaluación de los estados límites de falla (354 kPa), se obtiene un asentamiento del orden de 0.67 cm, inferior al mínimo permisible (1.7 cm), por tanto, se considera que la cimentación cumple con los estados límite de servicio.

4.6 Módulos de reacción verticales

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

$$k_s = \frac{q}{\delta}$$ Ecuación 4.3

dónde:

q = presión de contacto incidente en el cimiento
δ = asentamiento total del cimiento

Los módulos de reacción verticales al centro del cajón de cimentación de la estación División del Norte son del orden de 52290.9 *kPa/m*.

5 RECOMENDACIONES PARA LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS

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

- Ratificar la profundidad a la cual se encuentra el cajón del Metro a lo largo de todo el eje del cajón del Metrobús, así como la presencia de estructuras de ajenas al cajón del STC Metro, esto podrá realizarse con base en los resultados de los estudios geofísicos del proyecto. Para referencia se podrá hacer uso de la Figura 2.1, en donde se han planteado las hipótesis generales de posición del cajón de la Línea 3 del Metro y de posibles instalaciones subterráneas.
- Para el caso de estructuras enterradas, una vez que estén perfectamente identificadas espacialmente, es recomendable considerar sistemas estructurales desacoplados con la finalidad de evitar concentraciones de esfuerzos en el cajón de cimentación del Metrobús. En el caso que se detecte una estructura subterránea de gran longitud (más allá de 10 metros), podrá considerarse el agregar juntas constructivas adicionales que separen el cajón del andén, de tal manera que, podría ser aceptable, tener dos diferentes niveles de desplante.
- Es altamente recomendable que los ejes de los cajones del Metro y del Metrobús sean coincidentes, esto con la finalidad de evitar la eventual aparición de mecanismos de falla por efectos de borde, los cuales podrían ser de importancia principalmente ante la ocurrencia de cargas sísmicas.
- En caso de que el cajón de la L3 del STC Metro no se encontrase en todo lo largo y ancho de la zona donde se pretende construir la estación, deberá ratificarse que el comportamiento geotécnico del cajón sea el adecuado ante cargas excéntricas (sismo), principalmente.
- Los PCA realizados permitieron dilucidar que el relleno que se encuentra sobre el cajón del metro es controlado, de composición granular y de compacidad muy densa. Sin embargo, si durante la apertura de la trinchera para alojar el cajón se presentarán materiales diferentes a los encontrados en los PCA realizados, éstos deberán ser sustituidos por materiales granulares con calidad de subrasante o superior.
- En complemento con el punto anterior, es probable que el relleno granular controlado que se detectó mediante los PCA's, únicamente se encuentre sobre el ancho del cajón de la Línea 3 del STC Metro. Por tanto, esta condición deberá tomarse en cuenta,

considerando una zona mínima de homologación de calidades del material de relleno. Esta zona deberá extenderse al menos 0.5 metros a partir del borde de la superficie de rodamiento del Metrobús, tal y como se ilustra en la Figura 5.1.

- La zanja donde se alojará la cimentación deberá tener el ancho y la profundidad indicados en el proyecto definitivo, se deberá garantizar que el desplante quede a una profundidad de cuando menos 0.8 m, y que exista una separación de al menos 0.5 metros entre las losas del Metro y del Metrobús.
- Las excavaciones para la construcción de cimentaciones superficiales podrán ser verticales siempre y cuando no excedan 1.5 metros de profundidad y no se detecten materiales sueltos durante la excavación.
- Una vez que se realice la excavación del cajón de cimentación, deberá verificarse que el relleno controlado no ha sufrido alteraciones por el proceso constructivo, ratificándose que el material cumpla con un nivel de compactación igual o superior a calidad de subrasante.
- En caso de ser necesario, el material que se colocará para rellenar la zanja del cajón deberá ser controlado, con calidad mínima de terraplén, y su compactación se realizará en capas de 20 cm de espesor máximo en estado suelto con el contenido de agua óptimo (+ 2% determinado en las pruebas de laboratorio que realice el área de control de calidad durante la construcción de la obra) y el número de pasadas del equipo de compactación necesarios.
- El material producto de la excavación, en ningún caso debe estar a menos de 2.0 m de distancia de la orilla de la zanja. Asimismo, este material no debe tener taludes mayores a 45° con respecto de la horizontal.
- Aún y cuando el cajón del Metrobús no sea desplantado directamente sobre el cajón de la Línea3 del STC Metro, y especialmente si la distancia entre cajones es menor que 1.5 metros, es altamente recomendable que se verifique el adecuado comportamiento del cajón del Metro ante las cargas impuestas por el cajón del Metrobús. En esta condición podrá asumirse que el 100% de las cargas de compresión a nivel de la cimentación del Metrobús son directamente aplicadas sobre el cajón del STC Metro.

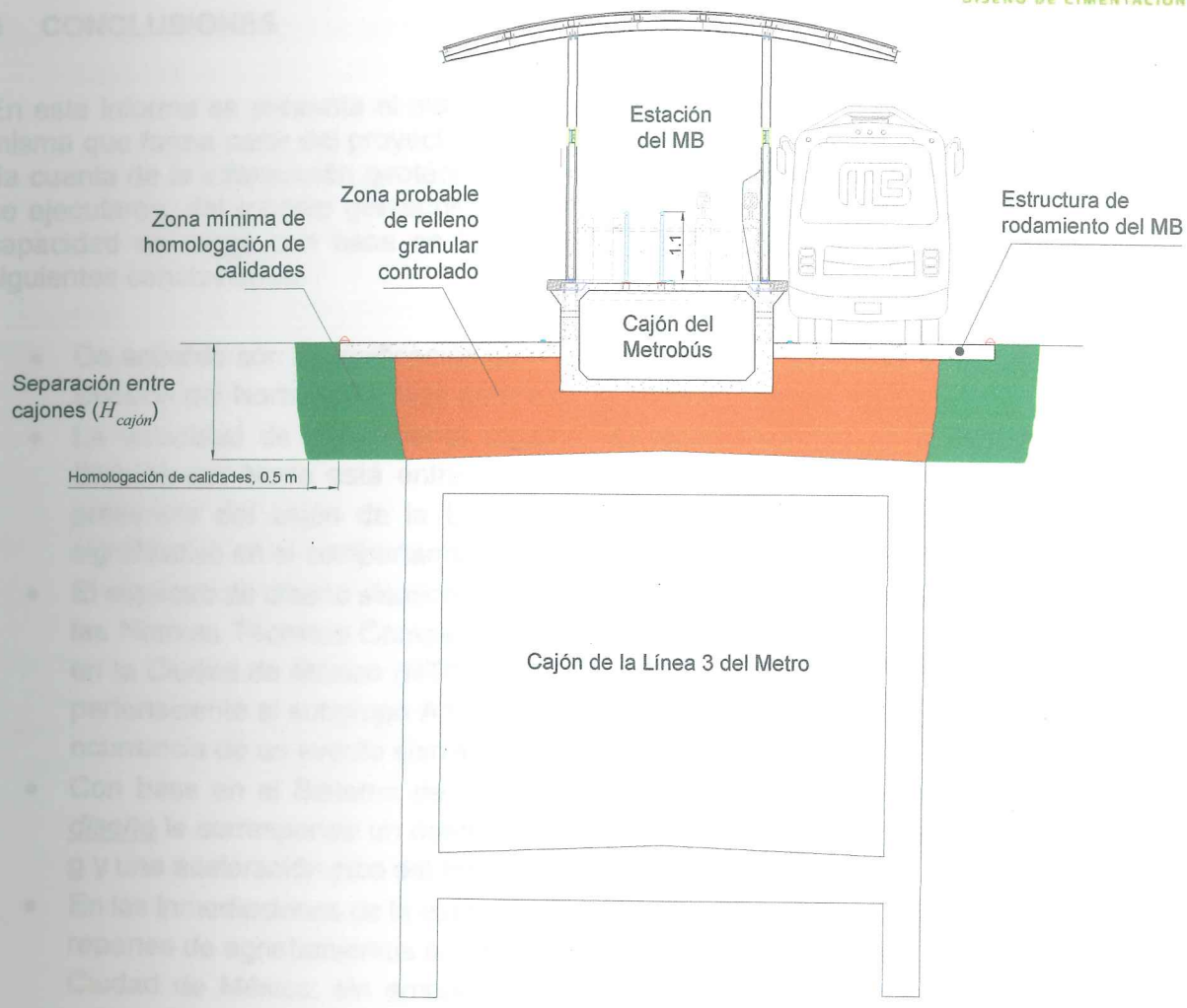


Figura 5.1. Zona mínima de homologación de calidades del material de relleno

6 CONCLUSIONES

En este informe se presenta el marco geotécnico general de la estación División del Norte, 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 División del Norte se localiza dentro de la Zona II (Transición).
- La velocidad de hundimiento regional en la zona donde se construirá la estación División del Norte está entre 0 y 4 cm/año (II-UNAM, 2010); sin embargo, ante la presencia del cajón de la L3 del Metro, este fenómeno tendrá un impacto poco significativo en el comportamiento de la cimentación del Metrobús.
- 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 División del Norte se clasifica como perteneciente al subgrupo A1, pues deberá mantenerse en operación ante la eventual ocurrencia de un evento sísmico de intensidad importante.
- Con base en el Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño (SASID), al *espectro de diseño* le corresponde un coeficiente sísmico de la meseta espectral (c_s) igual a 0.583 g y una aceleración pico del terreno (a_0) 0.157 g.
- En las inmediaciones de la estación División del Norte, de manera puntual, no se tienen reportes de agrietamientos o lineamientos inferidos por parte del Atlas de riesgos de la Ciudad de México; sin embargo, dicha estación se encuentra a 103 metros de un posible lineamiento geológico, en donde se han registrado eventos sísmicos con magnitud menor que 3, y a 220 metros al sureste se tiene la presencia de un agrietamiento. Esta información, que es de carácter indicativo, deberá ratificarse con los resultados que se obtengan del Estudio Geofísico de la Ampliación de la Línea 3 del Metrobús que CEMEX actualmente está realizando.
- A través de los trabajos de exploración geotécnica efectuados, se detectaron dos losas de concreto, una a 0.83 m y la otra a 1.65 metros de profundidad. En el caso de la losa de concreto encontrada a 1.65 metros (PCA-2), se presume que ésta se encuentra asociada directamente con el cajón de cimentación de la L3 del STC Metro. En lo que respecta a la losa encontrada a 0.83 m (PCA-1), probablemente ésta esté asociada con instalaciones diversas de la Línea 3 del STC Metro.

- El relleno granular controlado (material muestreado *in situ*) que se encuentra sobre el cajón de la Línea 3 del Sistema de Transporte Colectivo Metro, presentó un valor de *VRS* mínimo de 65% y máximo de 104%; sin embargo, para el diseño definitivo de pavimentos, deberá considerarse que es probable que este material únicamente se encuentre directamente sobre la losa del cajón de la Línea 3 del Metro.
- Se analizó un cajón de 3.4 m de ancho, desplantado a una profundidad de 0.8 m y separado 0.85 m de la losa del Cajón del Metro; obteniéndose una capacidad de carga reducida de acuerdo con las NTC-DC (2017) igual a 350 kPa (35 t/m²).
- Para la presión obtenida en la evaluación de los estados límites de falla (354 kPa), se calcularon los asentamientos, obteniéndose un valor del orden de 0.67 cm, inferior al establecido como mínimo permisible (1.7 cm, asociado con el 2% de deformación vertical del relleno granular que se encontrará entre los cajones del Metrobús y del STC Metro); por tanto, se considera que el cajón de cimentación de la estación del MB División del Norte cumpliría con los estados límite de servicio para capacidades de carga inferiores al estado de falla.

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

REFERENCIAS

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

15. **Gaceta Oficial de la Ciudad de México (2018).** Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Ciudad de México.

16. **INEGI (2018).** Biblioteca digital de mapas. Ags. México. http://inegi.org.mx/app/mapas/

17. **Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (2016).** Determinación experimental de la relación existente entre el índice de 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.

Elaboró:

Ing. Christian Juárez Estrada

Revisó

M. en I. José Ramón Cruz Águila

Aprobó

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

dicimsa
DISEÑO DE CIMENTACIONES

ANEXO A

REPORTES DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

dicimsa
DISEÑO DE CIMENTACIONES

PROYECTO:			
Ampliación del Metrobús Línea 3, longitud 4.27 km, seis estaciones y una terminal, Eje 1 Pte., de Av. Xola a Bruno Traven			
LOCALIZACIÓN: Estación División del Norte	PCA 01	FECHA DE MUESTREO: 4/10/2019	COORDENADAS: X=483332 Y=2142952

DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL MATERIAL

		PROF. m
Carpeta asfaltica	0.13 m	0.0
Relleno compuesto por arena limosa con grava angulosas (SM), color café	0.47 m	
Relleno compuesto por arena mal graduada con limo y grava, (SP-SM) color café	0.83 m	
Losa de concreto		1.0
Fin del PCA 01: 0.83 m		2.0
		3.0

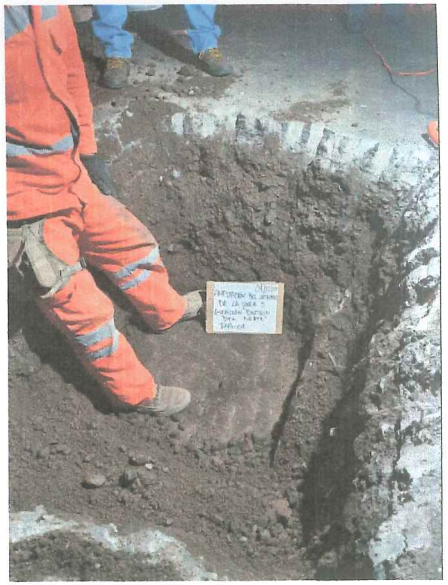
● CONTENIDO DE AGUA $w\%$
▲ LÍMITE PLÁSTICO $LP\%$
\+ LÍMITE LÍQUIDO $LL\%$

20 40 60 80%

VRS=104%
SM
G=38%
S=45%
F=17%

VRS=65%
SP-SM
G=43%
S=49%
F=8%

OBSERVACIONES



NOTA:

El PCA se detuvo al encontrar una losa de concreto a 0.83m.

No se detectó presencia de NAF

Simbología

Arena
Arcilla
Limo
Carpeta asfáltica
Gravas

dicimsa
DISEÑO DE CIMENTACIONES

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

LOCALIZACIÓN:	PCA	FECHA DE MUESTREO:	COORDENADAS:
Estación División del Norte	02	4/10/2019	X=483324 Y=2142923

DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL MATERIAL

PROF. m

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

20 40 60 80%

Carpeta asfaltica 0.10m	0.0		
Relleno compuesto por arena color café con limo y grava (SM) 1.12 m	1.0	SM	G=38% S=51% F=11%
Relleno compuesto por arena color café con limo y grava (SM) 1.65 m		SM	G=32% S=57% F=11%
Losa de concreto	2.0		
Fin del PCA 02: 1.65 m	3.0		

OBSERVACIONES

NOTA:

El PCA se detuvo al encontrar una losa de concreto a 1.65m.

No se detectó presencia de NAF

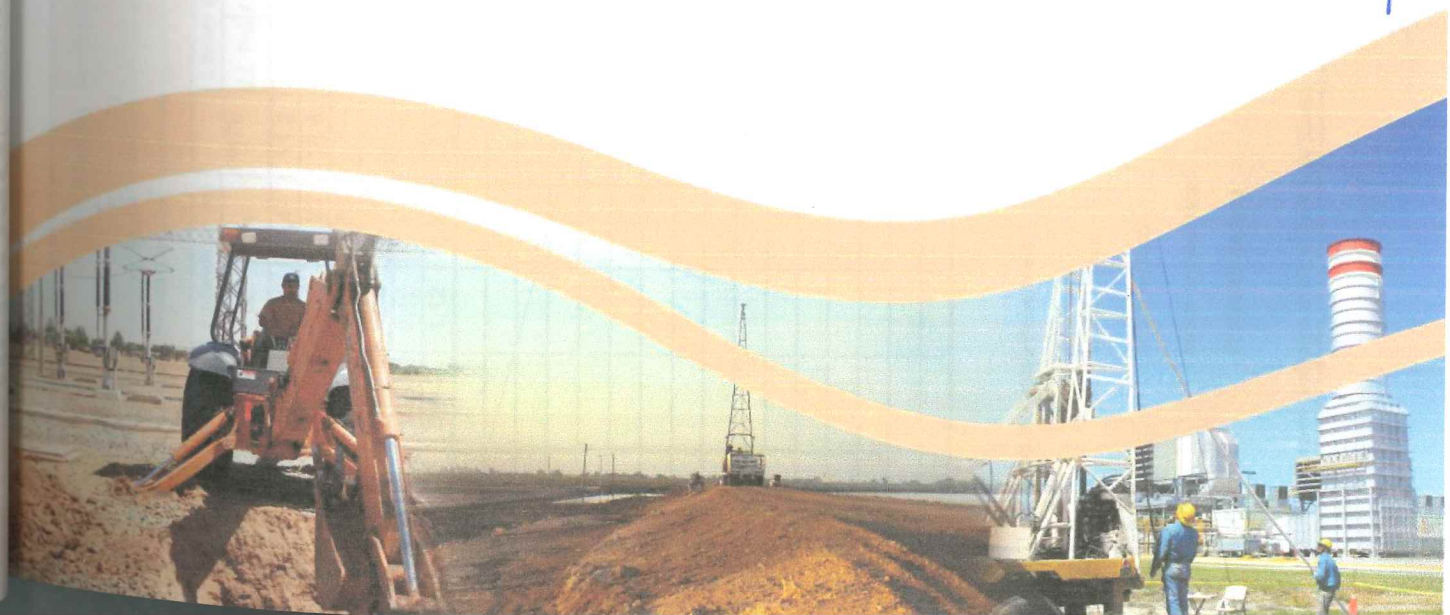
Simbología

- Arena
- Arcilla
- Limo
- Carpeta asfáltica
- Gravas

dicimsa
DISEÑO DE CIMENTACIONES

ANEXO B

RESULTADOS DE LABORATORIO



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 División del norte

Pozo	Muestra No.	Profundidad [m]		Propiedades índice								Triaxial UU					Estructura de pavimentos		
		de	a	w[%]	Límites de consistencia			Granulometría simplificada			SUCS	γ [kN/m^3]	e [-]	ϕu [°]	c_u [kPa]	E_u [MPa]	$\gamma d,max$ [kN/m^3]	w_{opt} [%]	V.R.S. [%]
					LL [%]	LP [%]	IP [%]	G [%]	S [%]	F [%]									
PCA-01	MR-1	0.25	0.47	11.2	-	-	-	40	46	14	SM	-	-	-	-	-	-	-	-
	MR-2	0.47	0.83	15.6	-	-	-	38	52	10	SW-SM	-	-	-	-	-	-	-	-
	Costal-1	0.47	0.83	-	-	-	-	43	49	8	SP-SM	-	-	-	-	-	17.9	12.9	64.7
	Costal-2	0.25	0.47	-	-	-	-	38	45	17	SM	-	-	-	-	-	16.5	12.6	104.4
PCA-02	MR-1	0.10	1.12	8.7	-	-	-	38	51	11	SM	-	-	-	-	-	-	-	-
	MR-2	1.12	1.65	13.1	-	-	-	32	57	11	SM	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota:

T - Muestra inalterada (tubo shelby)

Donde:

LL [%]	Límite líquido	G [%]	Gravas	γ [kN/m^3]	Peso volumétrico natural	e	Relación de vacíos
LP [%]	Límite plástico	S [%]	Arenas	c_u [kPa]	Resistencia no drenada al esfuerzo cortante	$\gamma d,max$ [kN/m3]	Peso volumétrico seco máximo
IP [%]	Índice de plasticidad	F [%]	Finos	ϕ_u [°]	Ángulo de fricción interna	$Wopt$ [%]	Contenido de agua óptimo
w [%]	Contenido de agua			E_{50} [MPa]	Módulo de elasticidad al 50% del esfuerzo de falla	VRS [%]	Valor Relativo de Soporte

$SUCS$: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

CONTENIDO NATURAL DE AGUA

OBRA:	Ampliación de la Línea 3 del Metrobús	**FECHA:**	10-10-19
LOCALIZACIÓN:	Estación División del Norte	**LABORATORISTA:**	GAR
CLIENTE:	CEMEX	**HOJA:**	1 de 1

Sondeo No	Muestra No.	Profundidad (m) DE	A	Tara No.	Peso Tara	Peso Tara + Suelo Humedo (g)	Peso Tara + Suelo Seco (g)	Peso del Agua (g)	Peso del Suelo Seco (g)	Contenido de agua (%)
PCA-1	MR-1	0.25	0.47	31	99.03	1411.1	1279.02	132.08	1179.99	11.19
	MR-2	0.47	0.83	6	117.75	1975.00	1724	251	1606.25	15.63
PCA-2	MR-1	0.10	1.12	45	86.21	850.21	789.13	61.08	702.92	8.69
	MR-2	1.12	1.65	35	101.94	972.44	871.74	100.7	769.8	13.08

Reporte de Análisis Granulométrico

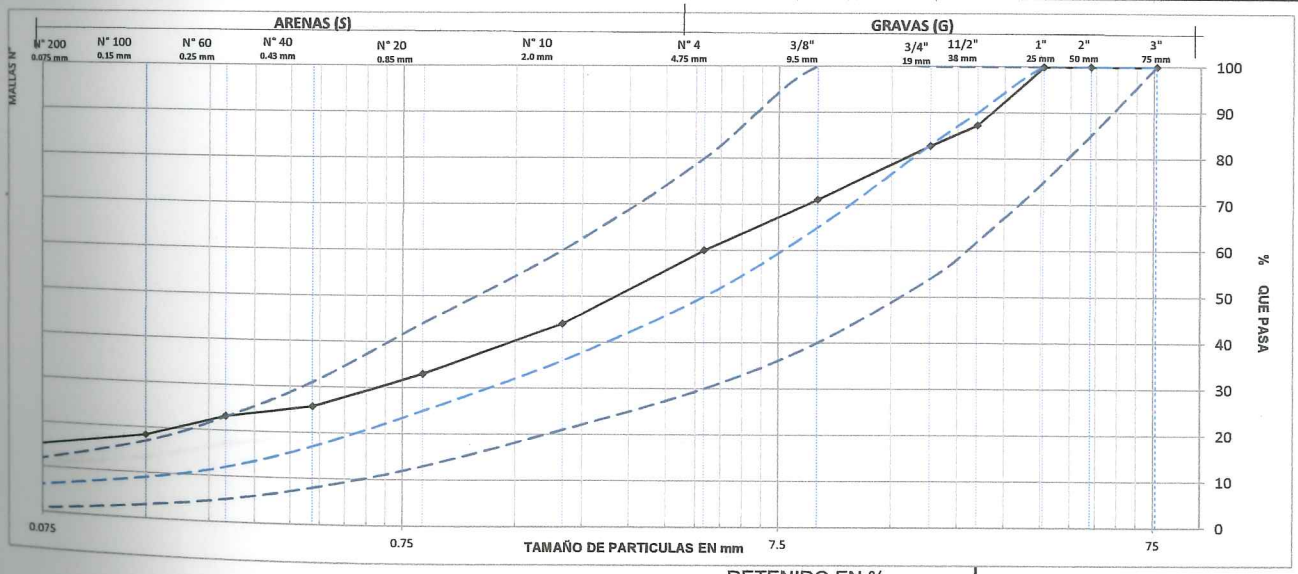
M-MMP-1-06/03

Cliente :	CEMEX	Capa :	MR -1
Obra :	Ampliación Línea 3 del Metrobús	Fecha de muestreo:	4 de octubre de 2019
Ubicación :	Estación División del Norte	Fecha de prueba :	10 de octubre de 2019
Sondeo :	PCA-01	Laboratorista :	Germán Aguilar Ramírez
Profundidad :	0.25-0.47 m		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Peso Total de la Muestra :	1179.93	(g)		Fracción Retenida en Malla N°4 :	471.29	(g)	
Fracción que Pasa la Malla N°4 :	708.64	(g)		Peso Corregido por Humedad :	0.00	(g)	
Material más Fino que la Malla (0.075 mm)	Peso Tara (g)	0.00	Peso Mat. + Tara (g)	Peso de muestra de material fino:	708.64		
		P. Mat. Ret + Tara	164.68	P. Mat. Retenido (g)	164.68	Pérdida por Lavado (%)	0.77

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N° 4				MATERIAL QUE PASA EN LA MALLA N° 4			
Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial %	Material que Pasa %	Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Material que Pasa (%)
							60.06
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00	2.0 mm N°10	189.21	16.04	44.02
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00	0.85 mm N°20	129.60	10.98	33.04
38.1 mm (1 1/2")	0.00	0.00	100.00	0.43 mm N°40	85.61	7.26	25.78
25.4 mm (1")	149.39	12.66	87.34	0.25 mm N°60	30.91	2.62	23.16
19.05 mm(3/4")	53.27	4.51	82.82	0.15 mm N°100	56.44	4.78	18.38
9.525 mm (3/8")	138.17	11.71	71.11	0.075 mm N°200	52.19	4.42	13.96
4.75 mm N°4	130.46	11.06	60.06	Pasa 0.075 mm N°200	164.68	13.96	
Pasa 4.75 mm N°4	708.64	60.06		Sumas	708.64	60.06	
Sumas	1179.93	100.00		Análisis Efectuado con :	708.64		
Peso Total de la Muestra	1179.93						



D_{10} = 0.00

D_{30} = 0.64

D_{60} = 4.80

$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ = N/A

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

RETENIDO EN %	
3" =	0.00
G =	39.94
S =	46.10
F =	13.96
%	100.00

SUCS:

SM

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*	*Capa :*	*MR-2*
Obra :	*Ampliación Línea 3 del Metrobús*	*Fecha de muestreo:*	*4 de octubre de 2019*
Ubicación :	*Estación División del Norte*	*Fecha de prueba :*	*10 de octubre de 2019*
Sondeo :	*PCA-01*	*Laboratorista :*	*Germán Aguilar Ramírez*
Profundidad :	*0.47-0.83 m*		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

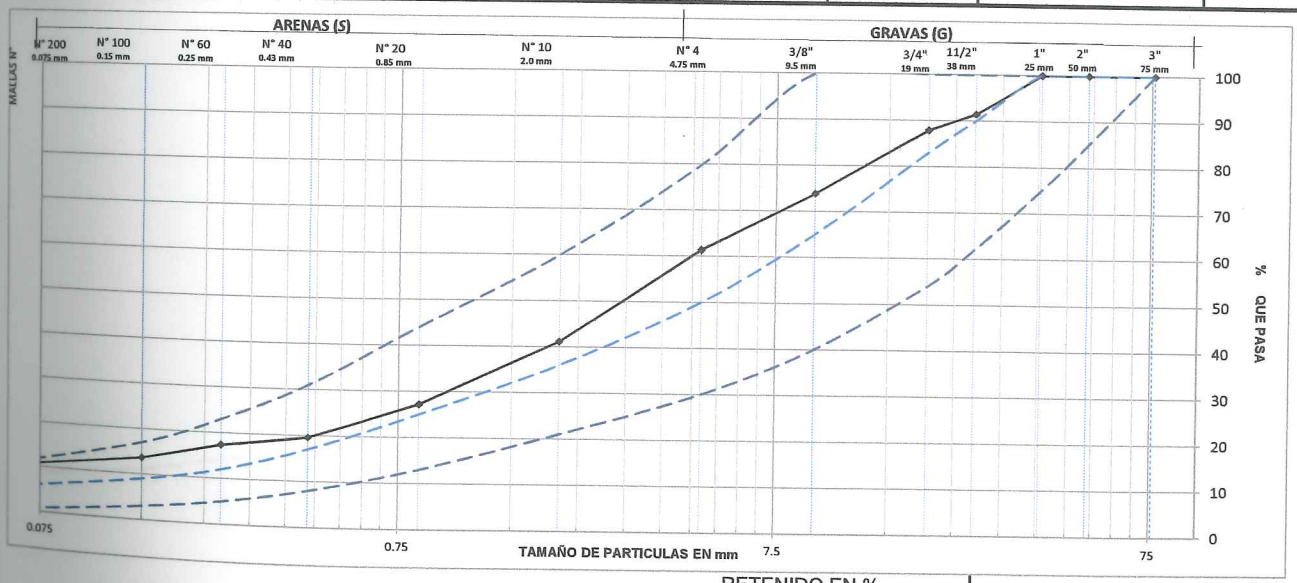
Peso Total de la Muestra :	1606.25	(g)		Fracción Retenida en Malla N°4 :	619.55	(g)	
Fracción que Pasa la Malla N°4 :	986.70	(g)		Peso Corregido por Humedad :	0.00	(g)	
Material más Fino que la Malla (0.075 mm)	Peso Tara (g)	0.00	Peso Mat. + Tara (g)	Peso de muestra de material fino:	986.70		
		P. Mat. Ret + Tara	158.01	P. Mat. Retenido (g)	158.01	Pérdida por Lavado (%)	0.84

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N° 4

Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial %	Material que Pasa %
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00
38.1 mm (1 1/2")	0.00	0.00	100.00
25.4 mm (1")	137.66	8.57	91.43
19.05 mm(3/4")	55.80	3.47	87.96
9.525 mm (3/8")	225.80	14.06	73.90
4.75 mm N°4	200.29	12.47	61.43
Pasa 4.75 mm N°4	986.70	61.43	
Sumas	1606.25	100.00	
Peso Total de la Muestra	1606.25		

MATERIAL QUE PASA EN LA MALLA N° 4

Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Material que Pasa (%)
			61.43
2.0 mm N°10	325.33	20.25	41.17
0.85 mm N°20	224.44	13.97	27.20
0.43 mm N°40	121.61	7.57	19.63
0.25 mm N°60	35.67	2.22	17.41
0.15 mm N°100	59.67	3.71	13.70
0.075 mm N°200	61.97	3.86	9.84
Pasa 0.075 mm N°200	158.01	9.84	
Sumas	986.70	61.43	
Análisis Efectuado con :	986.70		



D_{10} = 0.08
D_{30} = 1.00
D_{60} = 4.60

$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ = 57.50

$C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ = 2.72

RETENIDO EN %

3" =	0.00
G =	38.57
S =	51.59
F =	9.84
%	100.00

SUCS: *SW-SM*

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

Reporte de Análisis Granulométrico

M-MMP-1-06/03

Cliente :	CEMEX	*Capa :*	Costal 1
Obra :	Ampliación Línea 3 del Metrobús	*Fecha de muestreo:*	4 de octubre de 2019
Ubicación :	Estación División del Norte	*Fecha de prueba :*	10 de octubre de 2019
Sondeo :	PCA-01	*Laboratorista :*	Germán Aguilar Ramírez
Profundidad :			

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

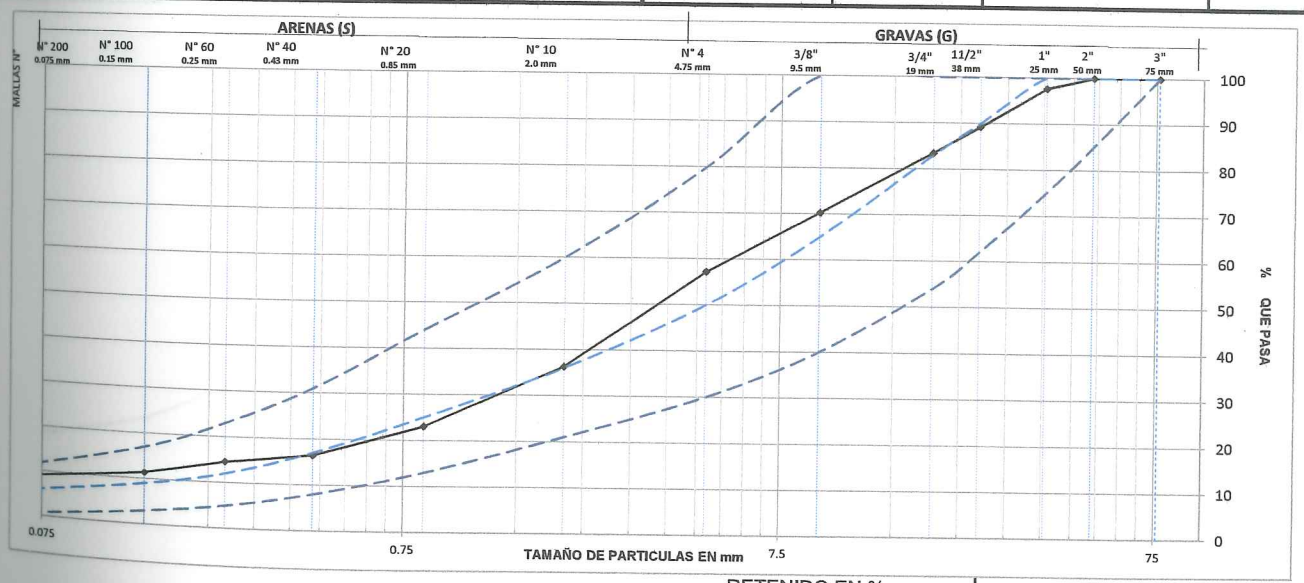
Peso Total de la Muestra :	9964.00	(g)		Fracción Retenida en Malla N°4 :	4259.49	(g)	
Fracción que Pasa la Malla N°4 :	5704.51	(g)		Peso Corregido por Humedad :	0.00	(g)	
Material más Fino que la Malla (0.075 mm)	Peso Tara (g)	0.00	Peso Mat. + Tara (g)	Peso de muestra de material fino:	700.00		
		P. Mat. Ret + Tara	102.17	P. Mat. Retenido (g)	102.17	Pérdida por Lavado (%)	0.85

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N° 4

Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial %	Material que Pasa %
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00
38.1 mm (1 1/2")	231.73	2.33	97.67
25.4 mm (1")	837.89	8.41	89.27
19.05 mm(3/4")	574.49	5.77	83.50
9.525 mm (3/8")	1312.14	13.17	70.33
4.75 mm N°4	1303.24	13.08	57.25
Pasa 4.75 mm N°4	5704.51	57.25	
Sumas	9964.00	100.00	
Peso Total de la Muestra	9964.00		

MATERIAL QUE PASA EN LA MALLA N° 4

Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Material que Pasa (%)
			57.25
2.0 mm N°10	255.72	20.91	36.34
0.85 mm N°20	162.39	13.28	23.06
0.43 mm N°40	80.45	6.58	16.48
0.25 mm N°60	22.83	1.87	14.61
0.15 mm N°100	38.93	3.18	11.42
0.075 mm N°200	37.51	3.07	8.36
Pasa 0.075 mm N°200	102.17	8.36	
Sumas	700.00	57.25	
Análisis Efectuado con :	700.00		



D_{10} = 0.10

D_{30} = 1.50

D_{60} = 5.40

$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ = 54.00

$C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ = 4.17

RETENIDO EN %	
3" =	0.00
G =	42.75
S =	48.89
F =	8.36
%	100.00

SUCS: *SP-SM*

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

Reporte de Análisis Granulométri

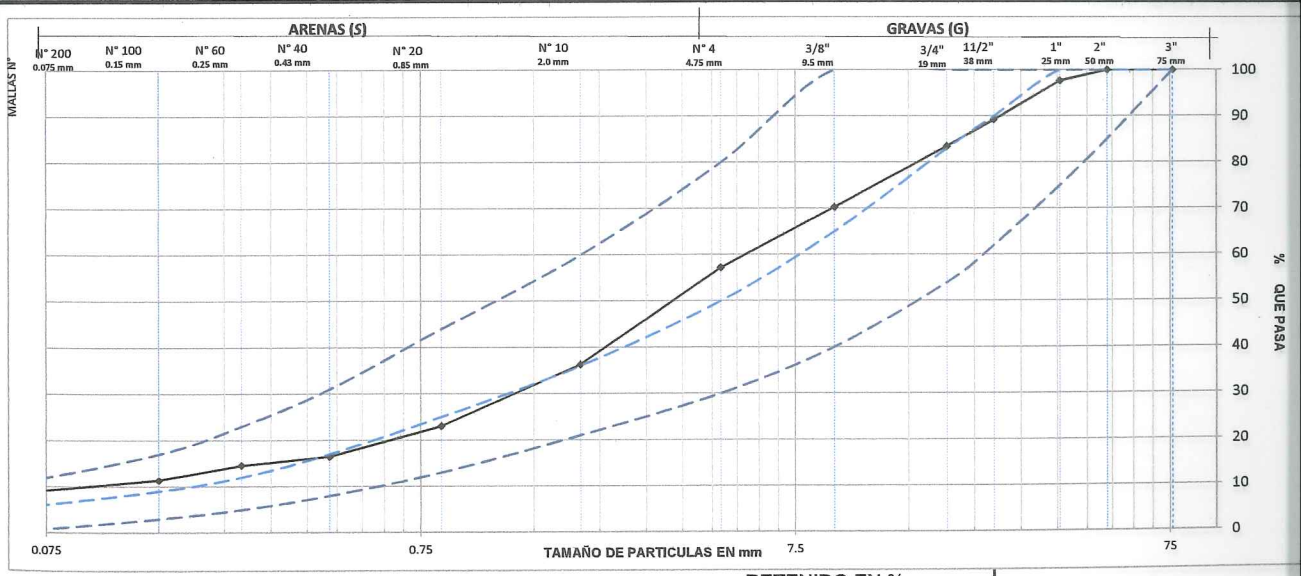
M-MMP-1-06

Cliente :	CEMEX	*Capa :*	Costal 1
Obra :	Ampliación Línea 3 del Metrobús	*Fecha de muestreo:*	4 de octubre de 2019
Ubicación :	Estación División del Norte	*Fecha de prueba :*	10 de octubre de 2019
Sondeo :	PCA-01	*Laboratorista :*	Germán Aguilar Ramírez
Profundidad :			

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Peso Total de la Muestra :	9964.00	(g)		Fracción Retenida en Malla N°4 :	4259.49	(g)	
Fracción que Pasa la Malla N°4 :	5704.51	(g)		Peso Corregido por Humedad :	0.00	(g)	
Material más Fino que la Malla (0.075 mm)	Peso Tara (g)	0.00	Peso Mat. + Tara (g)	Peso de muestra de material fino:	700.00		
		P. Mat. Ret + Tara	102.17	P. Mat. Retenido (g)	102.17	Pérdida por Lavado (%)	0.85

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N° 4				MATERIAL QUE PASA EN LA MALLA N° 4			
Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial %	Material que Pasa %	Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Materia que Pa (%)
							57.25
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00	2.0 mm N°10	255.72	20.91	36.34
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00	0.85 mm N°20	162.39	13.28	23.06
38.1 mm (1 1/2")	231.73	2.33	97.67	0.43 mm N°40	80.45	6.58	16.48
25.4 mm (1")	837.89	8.41	89.27	0.25 mm N°60	22.83	1.87	14.61
19.05 mm(3/4")	574.49	5.77	83.50	0.15 mm N°100	38.93	3.18	11.42
9.525 mm (3/8")	1312.14	13.17	70.33	0.075 mm N°200	37.51	3.07	8.36
4.75 mm N°4	1303.24	13.08	57.25	Pasa 0.075 mm N°200	102.17	8.36	
Pasa 4.75 mm N°4	5704.51	57.25		Sumas	700.00	57.25	
Sumas	9964.00	100.00		Análisis Efectuado con :	700.00		
Peso Total de la Muestra	9964.00						



D_{10} = 0.10

D_{30} = 1.50

D_{60} = 5.40

$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ = 54.00

$C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ = 4.17

RETENIDO EN %	
3" =	0.00
G =	42.75
S =	48.89
F =	8.36
%	100.00

SUCS:

SP-SM

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	*Capa :*	Costal 2
Obra :	Ampliación Línea 3 del Metrobús	*Fecha de muestreo:*	4 de octubre de 2019
Ubicación :	Estación División del Norte	*Fecha de prueba :*	10 de octubre de 2019
Sondeo :	PCA-01	*Laboratorista :*	Germán Aguilar Ramírez
Profundidad :			

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

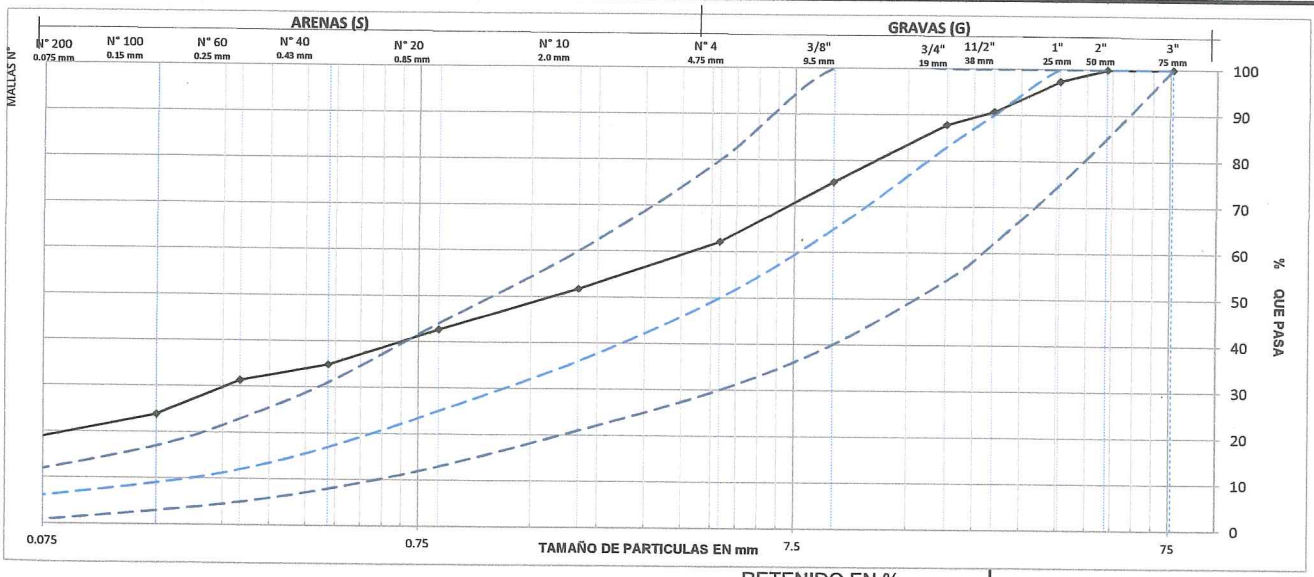
Peso Total de la Muestra :	9198.00	(g)		Fracción Retenida en Malla N°4 :	3474.87	(g)	
Fracción que Pasa la Malla N°4 :	5723.13	(g)		Peso Corregido por Humedad :	0.00	(g)	
Material más Fino que la Malla (0.075 mm)	Peso Tara (g)	0.00	Peso Mat. + Tara (g)	Peso de muestra de material fino:	678.25		
		P. Mat. Ret + Tara	185.18	P. Mat. Retenido (g)	185.18	Pérdida por Lavado (%)	0.73

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N° 4

Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial %	Material que Pasa %
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00
38.1 mm (1 1/2")	237.38	2.58	97.42
25.4 mm (1")	612.62	6.66	90.76
19.05 mm(3/4")	264.19	2.87	87.89
9.525 mm (3/8")	1152.41	12.53	75.36
4.75 mm N°4	1208.27	13.14	62.22
Pasa 4.75 mm N°4	5723.13	62.22	
Sumas	9198.00	100.00	
Peso Total de la Muestra	9198.00		

MATERIAL QUE PASA EN LA MALLA N° 4

Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Material que Pasa (%)
			62.22
2.0 mm N°10	113.76	10.44	51.79
0.85 mm N°20	99.08	9.09	42.70
0.43 mm N°40	84.83	7.78	34.91
0.25 mm N°60	38.87	3.57	31.35
0.15 mm N°100	81.35	7.46	23.88
0.075 mm N°200	75.18	6.90	16.99
Pasa 0.075 mm N°200	185.18	16.99	
Sumas	678.25	62.22	
Análisis Efectuado con :	678.25		



D_{10} = 0.00

D_{30} = 0.23

D_{60} = 4.00

$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ = N/A

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

RETENIDO EN %	
3" =	0.00
G =	37.78
S =	45.23
F =	16.99
%	100.00

SUCS:

SM

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	**Capa :**	MR-1
Obra :	Ampliación Línea 3 del Metrobús	**Fecha de muestreo:**	4 de octubre de 2019
Ubicación :	Estación División del Norte	**Fecha de prueba :**	10 de octubre de 2019
Sondeo :	PCA-02	**Laboratorista :**	Germán Aguilar Ramírez
Profundidad :	0.10-1.12 m		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

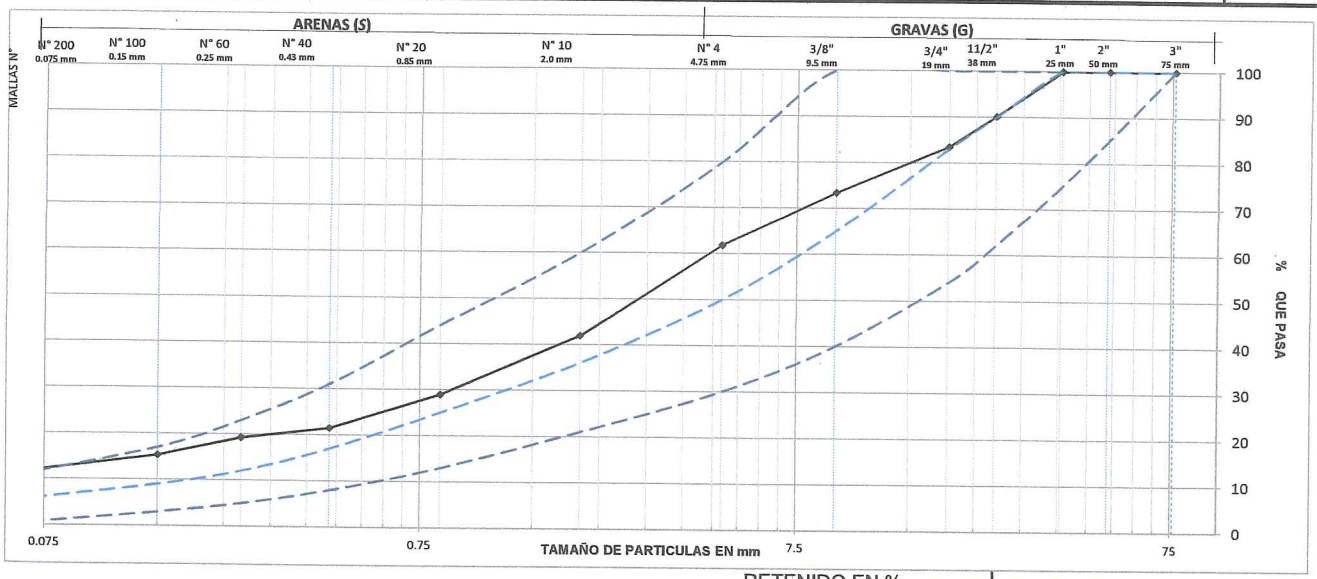
Peso Total de la Muestra :	702.92	(g)		Fracción Retenida en Malla N°4 :	267.93	(g)	
Fracción que Pasa la Malla N°4 :	434.99	(g)		Peso Corregido por Humedad :	0.00	(g)	
Material más Fino que la Malla (0.075 mm)	Peso Tara (g)	0.00	Peso Mat. + Tara (g)	Peso de muestra de material fino:	434.99		
		P. Mat. Ret + Tara	77.56	P. Mat. Retenido (g)	77.56	Pérdida por Lavado (%)	0.82

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N° 4

Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial %	Material que Pasa %
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00
38.1 mm (1 1/2")	0.00	0.00	100.00
25.4 mm (1")	68.92	9.80	90.20
19.05 mm(3/4")	46.88	6.67	83.53
9.525 mm (3/8")	71.08	10.11	73.41
4.75 mm N°4	81.05	11.53	61.88
Pasa 4.75 mm N°4	434.99	61.88	
Sumas	702.92	100.00	
Peso Total de la Muestra	702.92		

MATERIAL QUE PASA EN LA MALLA N° 4

Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Material que Pasa (%)
			61.88
2.0 mm N°10	140.26	19.95	41.93
0.85 mm N°20	91.17	12.97	28.96
0.43 mm N°40	52.22	7.43	21.53
0.25 mm N°60	15.78	2.24	19.29
0.15 mm N°100	27.91	3.97	15.31
0.075 mm N°200	30.09	4.28	11.03
Pasa 0.075 mm N°200	77.56	11.03	
Sumas	434.99	61.88	
Análisis Efectuado con :	434.99		



D_{10} = 0.00

D_{30} = 0.90

D_{60} = 4.40

$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ = N/A

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

RETENIDO EN %	
3" =	0.00
G =	38.12
S =	50.85
F =	11.03
%	100.00

SUCS:

SM

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

Reporte de Análisis Granulométrico

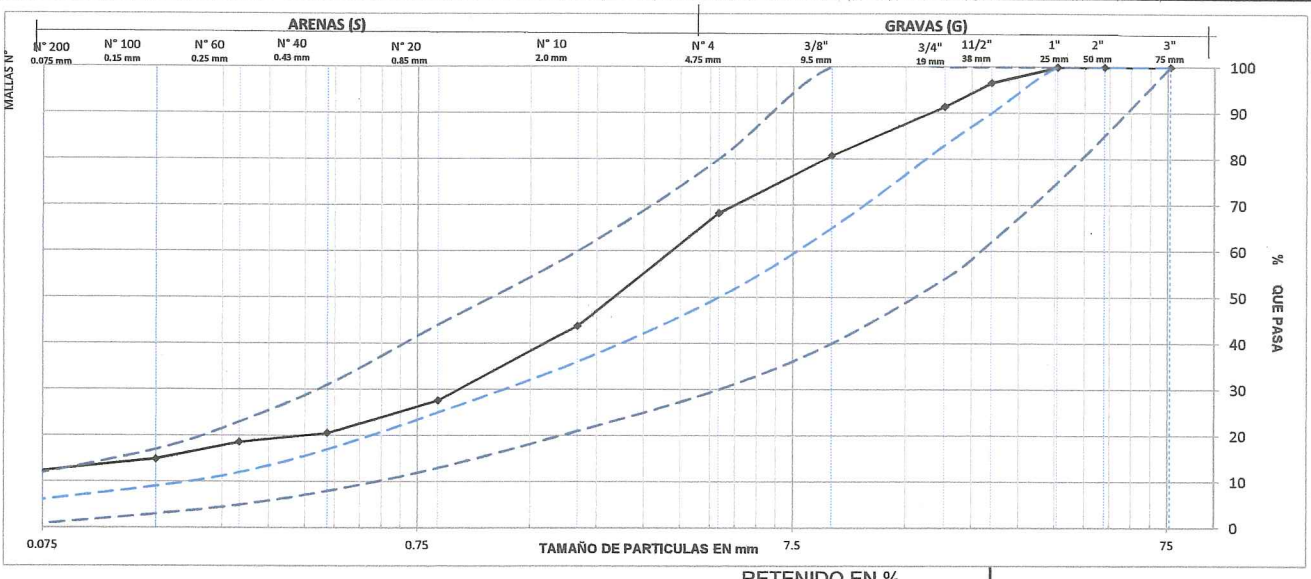
M-MMP-1-06/03

Cliente :	CEMEX	**Capa :**	MR-2
Obra :	Ampliación Línea 3 del Metrobús	**Fecha de muestreo:**	4 de octubre de 2019
Ubicación :	Estación División del Norte	**Fecha de prueba :**	10 de octubre de 2019
Sondeo :	PCA-02	**Laboratorista :**	Germán Aguilar Ramírez
Profundidad :	1.12-1.65 m		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Peso Total de la Muestra :	769.80	(g)		Fracción Retenida en Malla N°4 :	243.97	(g)	
Fracción que Pasa la Malla N°4 :	525.83	(g)		Peso Corregido por Humedad :	0.00	(g)	
Material más Fino que la Malla (0.075 mm)	Peso Tara (g)	0.00	Peso Mat. + Tara (g)	Peso de muestra de material fino:	525.83		
		P. Mat. Ret + Tara	87.75	P. Mat. Retenido (g)	87.75	Pérdida por Lavado (%)	0.83

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N° 4				MATERIAL QUE PASA EN LA MALLA N° 4			
Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial %	Material que Pasa %	Malla N°	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Material que Pasa (%)
							68.31
76.2 mm (3")	0.00	0.00	100.00	2.0 mm N°10	188.88	24.54	43.77
50.8 mm (2")	0.00	0.00	100.00	0.85 mm N°20	124.48	16.17	27.60
38.1 mm (1 1/2")	0.00	0.00	100.00	0.43 mm N°40	53.98	7.01	20.59
25.4 mm (1")	26.38	3.43	96.57	0.25 mm N°60	15.04	1.95	18.63
19.05 mm(3/4")	39.91	5.18	91.39	0.15 mm N°100	28.40	3.69	14.95
9.525 mm (3/8")	81.71	10.61	80.77	0.075 mm N°200	27.30	3.55	11.40
4.75 mm N°4	95.97	12.47	68.31	Pasa 0.075 mm N°200	87.75	11.40	
Pasa 4.75 mm N°4	525.83	68.31		Sumas	525.83	68.31	
Sumas	769.80	100.00		Análisis Efectuado con :	525.83		
Peso Total de la Muestra	769.80						



D_{10} = 0.00

D_{30} = 0.97

D_{60} = 3.60

$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ = N/A

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

RETENIDO EN %	
3" =	0.00
G =	31.69
S =	56.91
F =	11.40
%	100.00

SUCS:

SM

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

COMPACTACIÓN

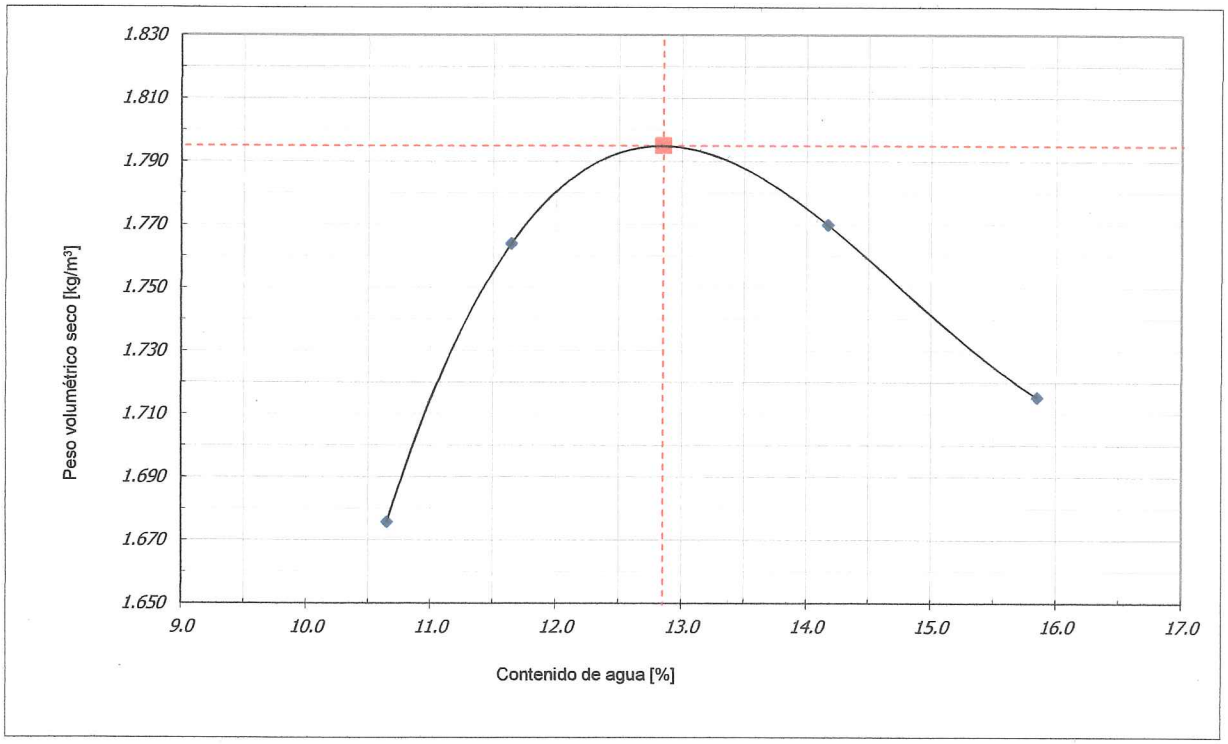
ASTM- D698-70 Y D1557-70
AASHTO T99-70 (ESTÁNDAR)

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

DIAM. MOLDE cm	VOL.MOLDE L	PESO MOLDE kg	PESO MARTILLO kg	DIAM.MARTILLO cm	ALT.CAÍDA. cm	GOLPES/CAPA No	CAPAS No	ENERGÍA C. kg/cm²
15.24	2.120	7.014	4.526	5.05	45.6	56	5	27.258

CONTENIDO DE AGUA / DATOS MOLDE

CAPSULA No	PESO CAPS g	WC+SH g	WC +Ss g	AGUA %	WH + MOLDE kg	W H kg	WS No	PESO VOL.S. t/m³
26	60.41	248.99	230.84	10.65	10.945	3.931	3.553	1.676
50	71.75	279.33	257.68	11.64	11.189	4.175	3.740	1.764
53	73.40	340.32	307.19	14.17	11.298	4.284	3.752	1.770
16	60.17	287.20	256.14	15.85	11.227	4.213	3.637	1.715



PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO	1.795	t/m³
CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO	12.9	w%

OBSERVACIONES. _____

COMPACTACIÓN

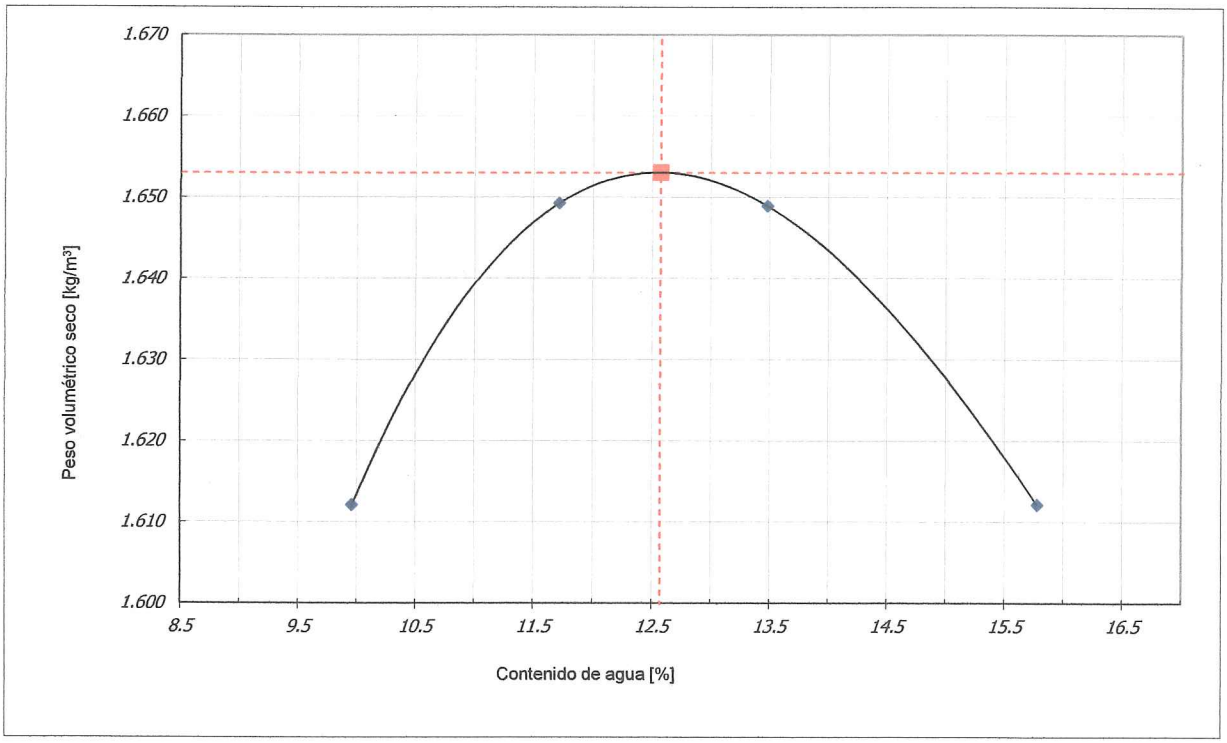
ASTM- D698-70 Y D1557-70
AASHTO T99-70 (ESTÁNDAR)

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

DIAM. MOLDE cm	VOL.MOLDE L	PESO MOLDE kg	PESO MARTILLO kg	DIAM.MARTILLO cm	ALT.CAÍDA. cm	GOLPES/CAPA No	CAPAS No	ENERGÍA C. kg/cm²
15.24	2.120	7.014	4.526	5.05	45.6	56	5	27.258

CONTENIDO DE AGUA / DATOS MOLDE

CAPSULA No	PESO CAPS g	WC+SH g	WC +Ss g	AGUA %	WH + MOLDE kg	W H kg	WS No	PESO VOL.S. t/m³
55	72.80	324.41	301.62	9.96	10.772	3.758	3.418	1.612
59	60.78	258.00	237.32	11.71	10.920	3.906	3.496	1.649
52	73.06	309.93	281.79	13.48	10.981	3.967	3.496	1.649
10	60.49	334.76	297.38	15.78	10.971	3.957	3.418	1.612



PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO	1.653	t/m³
CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO	12.6	w%

OBSERVACIONES. _____

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (*VRS*)

(ASTM D1883-79)

Proyecto.:	Ampliación L3 Metrobús	Pozo:	PCA-1	Operador:	GAR
Localización:	Estación división del norte	Muestra:	Costal 1	Revisó:	AICA
Fecha :	12-oct-2019	Prof: (m)			

Descripción del suelo .:

(*SP-SM*) Arena mal graduada con limo y grava color café

Peso de la muestra.

	Natural		Saturada	
Cilindro.:	3		3	
W cil + W m =	9.652	kg	9.791	kg
W cil =	4.741	kg	4.741	kg
W m =	4.911	kg	5.050	kg

Peso específico seco máximo.	1774	kg/m³
Contenido de agua sat.	16.70	%
Contenido de agua natural.	N/A	%
Reproducción a.:	100	%
Constante de calibración.	1	

Contenido de agua .

	Al compactar		Despues de saturar		Natural	
Tara No.	27		29		0	
Tara + W h =	216.52	g	279.04	g	0	g
Tara + W s =	199.29	g	247.78	g	0	g
Agua = W h - W s =	17.23	g	31.26	g	0	g
Tara =	61.32	g	60.62	g	0	g
W s =	137.97	g	187.16	g	0	g
w =	12.49	%	16.70	%	N/A	%

Energía Específ. de Compact. kg-cm/cm³: 27.258

Datos del cilindro.

Altura faltante =	0	cm
Peso =	4.741	kg
Altura =	12.71	cm
Área =	193.59	cm²
Volumen =	2460.53	cm³
Altura corregida =	12.71	cm
Volumen corr. =	2460.53	cm³
Deformación al sat. =	0	cm

L. Inic. mm: 1.000 L. Fin. mm: 1.000

Resultados =

w i =	12.49	%
w sat. =	16.70	%
γ h =	1996	kg/m³
γ sat =	2052	kg/m³
γ d =	1774	kg/m³
CBR 1 =	0.0	%
CBR 2 =	64.7	%
δ / L =	0.00	%

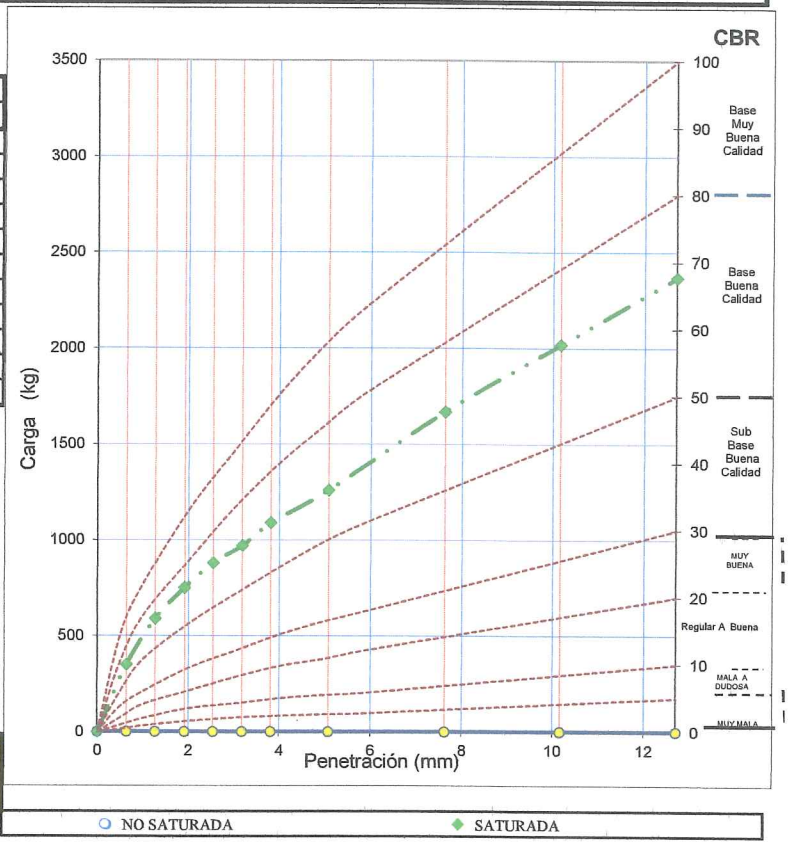
Datos del cilindro saturado.

Altura faltante =	0	cm
Peso =	4.741	kg
Altura =	12.71	cm
Área =	193.59	cm²
Volumen =	2460.53	cm³
Altura corregida =	12.71	cm
Volumen corregido. =	2460.53	cm³
Deformación al saturar (δ) =	0	cm

Resistencia a la penetración.

Hincado (mm)	Anillo (mm)	F (kg) ●	Hincado * (mm)	F * (kg) ◆
0.00	0.000	0.0	0.000	0.0
0.64	0.000	0.0	350.000	350.0
1.27	0.000	0.0	590.000	590.0
1.91	0.000	0.0	750.000	750.0
2.54	0.000	0.0	880.000	880.0
3.18	0.000	0.0	970.000	970.0
3.81	0.000	0.0	1090.000	1090.0
5.08	0.000	0.0	1260.000	1260.0
7.62	0.000	0.0	1670.000	1670.0
10.16	0.000	0.0	2020.000	2020.0
12.70	0.000	0.0	2370.000	2370.0

* - SATURADA.



Observaciones:

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (*VRS*)

(ASTM D1883-79)

Proyecto.:	Ampliación L3 Metrobús	Pozo:	PCA-1		Descripción del suelo .:
Localización:	Estació división del norte	Muestra:	Costal 2	Operador: GAR	(*SM*) Arena limosa con grava color café obscuro.
Fecha :	12-oct-2019	Prof. (m)		Revisó: AICA	

Peso de la muestra.

	Natural		Saturada	
Cilindro.:	4		4	
W cil + W m =	9.548	kg	9.741	kg
W cil =	5.104	kg	5.104	kg
W m =	4.444	kg	4.637	kg

Peso especifico seco máximo.	1613	kg/m³
Contenido de agua sat.	15.79	%
Contenido de agua natural.	N/A	%
Reproducción a.:	100	%
Constante de calibración.	1	

Contenido de agua .

	Al compactar		Despues de saturar		Natural	
Tara No.	19		63		0	
Tara + W h =	222.51	g	300.78	g	0	g
Tara + W s =	204.99	g	268.18	g	0	g
Agua = W h - W s =	17.52	g	32.60	g	0	g
Tara =	60.05	g	61.75	g	0	g
W s =	144.94	g	206.43	g	0	g
w =	12.09	%	15.79	%	N/A	%

Energía Específ. de Compact. kg-cm/cm³: 27.258

Datos del cilindro.

Altura faltante =	0	cm
Peso =	5.104	kg
Altura =	12.70	cm
Área =	193.59	cm²
Volumen =	2458.59	cm³
Altura corregida.=	12.70	cm
Volumen corr. =	2458.59	cm³
Deformación al sat. =	0.0008	cm

Resultados =

w i =	12.09	%
w sat. =	15.79	%
γ h =	1808	kg/m³
γ sat =	1886	kg/m³
γ d =	1613	kg/m³
CBR 1 =	0.0	%
CBR 2 =	104.3	%
δ / L =	0.01	%

Datos del cilindro saturado.

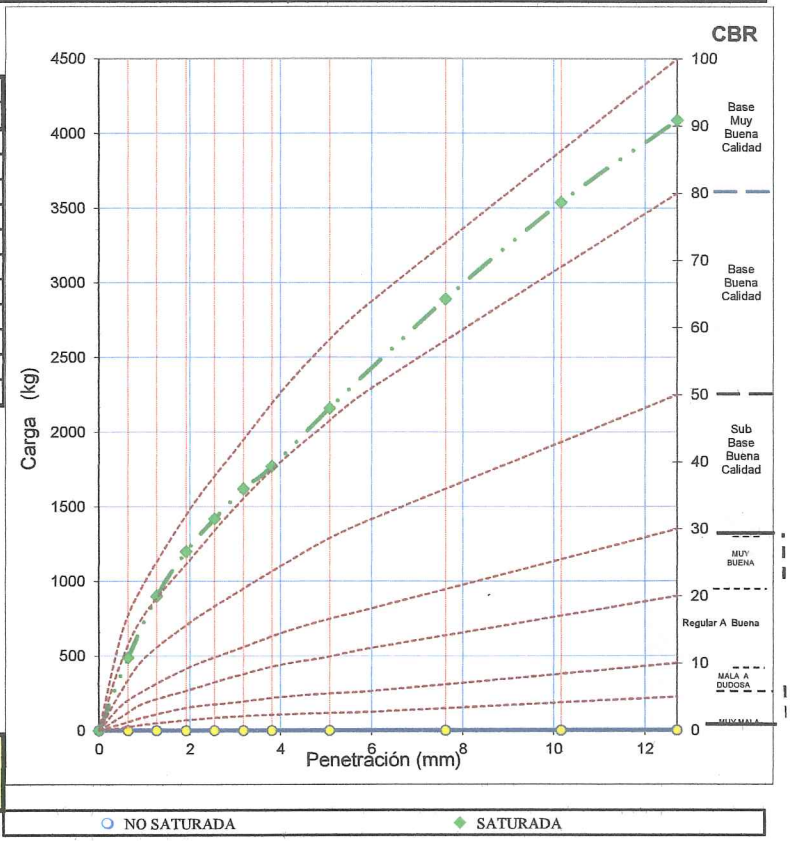
Altura faltante =	0	cm
Peso =	5.104	kg
Altura =	12.7	cm
Área =	193.59	cm²
Volumen =	2458.59	cm³
Altura corregida =	12.7	cm
Volumen corregido. =	2458.59	cm³
Deformación al saturar (δ) =	0.0008	cm

L. Inic. mm: 2.000 L. Fin. mm: 2.008

Resistencia a la penetración.

Hincado (mm)	Anillo (mm)	F (kg) ●	Hincado * (mm)	F * (kg) ◆
0.00	0.000	0.0	0.000	0.0
0.64	0.000	0.0	490.000	490.0
1.27	0.000	0.0	900.000	900.0
1.91	0.000	0.0	1200.000	1200.0
2.54	0.000	0.0	1420.000	1420.0
3.18	0.000	0.0	1620.000	1620.0
3.81	0.000	0.0	1770.000	1770.0
5.08	0.000	0.0	2160.000	2160.0
7.62	0.000	0.0	2890.000	2890.0
10.16	0.000	0.0	3540.000	3540.0
12.70	0.000	0.0	4090.000	4090.0

* - SATURADA.



Observaciones:

dicimsa
DISEÑO DE CIMENTACIONES

ANEXO C

REPORTE FOTOGRÁFICO

PROYECTO:	PROFUNDIDAD EXPLORADA:	SONDEO:	PCA-01 División del Norte
AMPLIACIÓN L3 METROBÚS	0.83m	PCA-01 División del Norte	

SUPERVISOR: ING. RICARDO BARAJAS DOMINGUEZ
PERFORADORA: N/A
PROFUNDIDAD EXPLORADA: 0.83m
FECHA EJECUCION: 04 OCTUBRE DE 2019

COORDENADAS:
X: 483332
Y: 2142952

dicimsa
DISEÑO DE CIMENTACIONES

CEMEX

Figura 1. Excavación de PCA-01

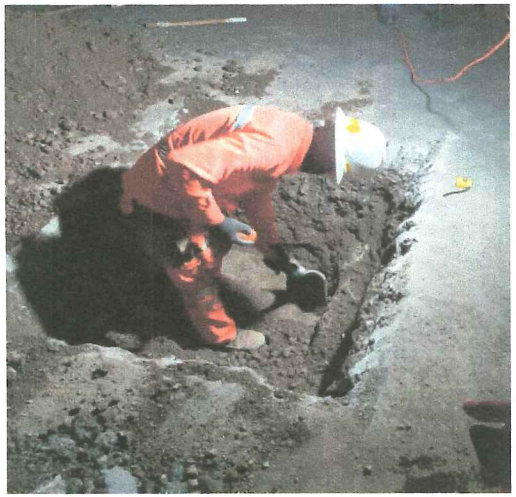
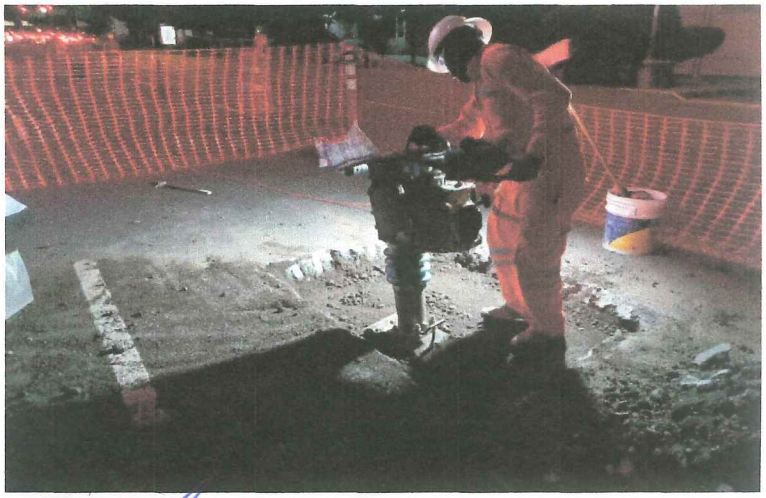


Figura 2. Levantamiento geotécnico y muestreo PCA-01

Figura 3. Perfil estratigráfico PCA-01

Figura 4. Relleno compactado de PCA-01



PROYECTO:	PROFUNDIDAD EXPLORADA:	SONDEO:	PCA-02 División del
AMPLIACIÓN L3 METROBÚS	1.65m.	PCA-02 División del Norte	

SUPERVISOR: ING. RICARDO BARAJAS DOMINGUEZ
PERFORADORA: N/A
PROFUNDIDAD EXPLORADA: 1.65m.
FECHA EJECUCION: 04 OCTUBRE DE 2019

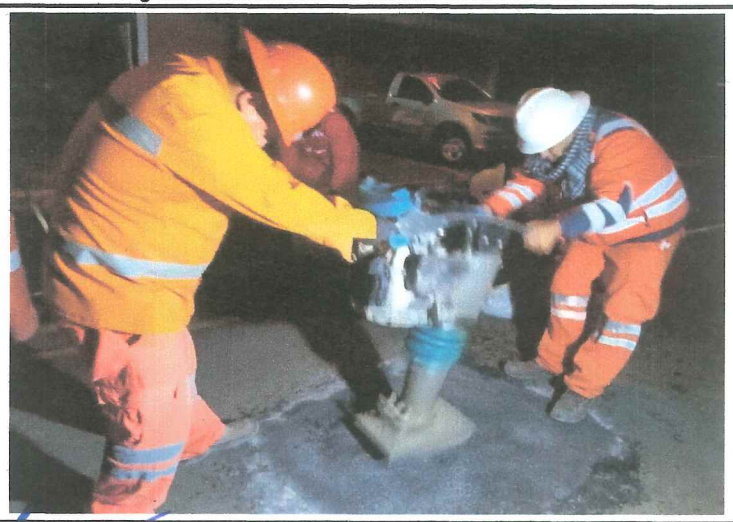
COORDENADAS:
X: 483324
Y: 2142923

Figura 5. Excavación de PCA-02

Figura 6. Levantamiento geotécnico y muestreo PCA-02

Figura 7. Perfil estratigráfico PCA-02

Figura 8. Colocación de asfalto en el PCA-02



dicimsa
DISEÑO DE CIMENTACIONES

ANEXO D

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 División del Norte*

Parámetros geométricos de la cimentación

$Df := 0.8$ Profundidad de desplante, m

$B := 3.4$ Ancho del cimiento, m

$L := 77$ Longitud del cimiento, m

$d_{caj} := 0.85$ Separación entre los cajones del STC-Metro y del Metrobús, m

Propiedades del suelo

$\gamma := 18$ Peso volumétrico del terreno de cimentación, kN/m^3

$\phi := 36$ Ángulo de fricción interna del terreno de cimentación, °

$c := 0.0$ Cohesión del terreno de cimentación, kPa

$p_v := \gamma \cdot Df$ $p_v = 14.4$ Presión total al nivel de desplante, en kPa

$E_1 := 40$ Módulo de elasticidad, MPa

$\nu_1 := 0.3$ Relación de Poisson

$z_1 := 1.65$ Posición del cajón de la Línea 3 del STC-Metro

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

$NAF := 10$ Nivel del agua freática, m

NOTA: Si NAF=0 =>Considera que los elementos estarán sumergidos (parámetros efectivos)

$\gamma_w := 9.81$ Peso volumétrico del agua, kN/m^3

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

$M_B := 0$ Momento flexionante en dirección del ancho, en kN-m

$M_L := 0$ Momento flexionante en dirección del largo, en kN-m

$FC_{cv} := 1.5$ Factor de carga, estructura del grupo A

Excentricidades de carga:

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

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

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

Primer término de la desigualdad:

$A' := (B - 2 \cdot e_B) \cdot (L - 2 \cdot e_L)$ $A' = 261.8$ Área reducida del cimiento, en m²

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

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

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

Coeficientes de capacidad de carga:

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

$N\gamma := 2(Nq + 1) \cdot \tan(\phi)$

$Nq = 38$

$N\gamma = 56.3$

Factores de forma:

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

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

Carga unitaria reducida para suelos friccionantes:

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

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

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

$r_{CVMAX} = 350.4$ **Carga unitaria reducida para suelos friccionantes, segundo término de la desigualdad 3.3.1 de las NTC-DC (2017), *en kPa***

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

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

$100\delta_{per_cp} = 1.7$ Asentamiento máximo permisible, cm

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

Esfuerzos inducidos por la cimentación

Al centro del área cargada

Solución de Boussinesq

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

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

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

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

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

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

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

Distribución de esfuerzos en el punto considerado

$$w_{carga}(B,z,L,p) := p\cdot w(B,z,L) \qquad w_{carga}(B,z_1,L,r_{CVMAX}) = 336.2$$

Asentamientos elástico y módulo de reacción vertical

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

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

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

$100\,\delta(B,L,r_{CVMAX}) = 0.67$ **Asentamiento asociado con la capacidad de carga reducida, cm**

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

$k(B,L,r_{CVMAX}) = 52290.9$ **Modulo de reacción vertical, kPa/m**