



**Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legal, de riesgos, técnico y financiero**

**Entregable 4**  
**Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte**  
**Anexo A**

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

## CONTROL DE CAMBIOS

### ÍNDICE DE MODIFICACIONES

| Versión | Fecha      | Sección Modificada                                | Observaciones   |
|---------|------------|---|---|
| A       | 18-02-2022 | -   | Versión Inicial   |
| B       | 08-03-2022 | Integración general de modificaciones solicitadas | Observaciones de FDN/Interventoría/EMB. Se asigna el capítulo al Apéndice 5 del Anexo H         |
| C       | 05-05-2022 | -   | Observaciones del Ministerio de Transporte. Se reasigna el capítulo a la Sección 10 del Anexo A |

## REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

|                             |
|-----------------------------|
| J. C. Pantoja<br>18-05-2022 |
| Gerente de estructuración   |

## REVISIÓN Y APROBACIÓN

|                                       |                                       |   |  |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---|--|
| Revisó:<br><br>O. Véliz<br>05-05-2022 | Revisó:<br><br>F. Faria<br>05-05-2022 | Revisó:<br><br>C.L. Umaña<br>05-05-2022 | Aprobó:<br><br>J.M. Martínez<br>05-05-2022 |
| VoBo. Director Técnico                | VoBo. Director Financiero             | VoBo. Director Legal                    | VoBo. Director General de Estructuración   |

## TABLA DE CONTENIDO

|  |          |
|--|----------|
| <b>A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO</b>                    | <b>7</b> |
| <b>10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN</b>                | <b>7</b> |
| 10.7. GEOTECNIA Y PAVIMENTOS   | 7        |
| 10.7.1. Cimentación del viaducto   | 7        |
| 10.7.1.1. Características de la solución de cimentación adoptada             | 10       |
| 10.7.1.2. Caracterización geotécnica del sector                              | 11       |
| 10.7.1.3. Cargas   | 16       |
| 10.7.1.3.1. Viaducto   | 17       |
| 10.7.1.3.2. Estación   | 18       |
| 10.7.1.3.3. Aproximación   | 20       |
| 10.7.1.4. Sistema de cimentación recomendado                                 | 20       |
| 10.7.2. Pavimentos   | 25       |
| 10.7.2.1. Descripción Zonas de Intervención                                  | 25       |
| 10.7.2.1.1. Límites de intervención de las estaciones                        | 25       |
| 10.7.2.1.2. Prolongación de la Calle 145, Calle 146, Calle 144, Carrera 136A | 55       |
| 10.7.2.1.3. Desvíos de tráfico (PMT)   | 56       |
| 10.7.2.2. Criterios y Metodologías para el pre diseño de pavimentos          | 58       |
| 10.7.2.2.1 Caracterización de la Subrasante                                  | 58       |
| 10.7.2.2.1 Diseño Pavimento Flexible   | 60       |
| 10.7.2.2.3 Espacio Público   | 66       |
| 10.7.2.3. Pre diseño de Pavimentos   | 69       |
| 10.7.2.3.2. Límites de intervención de las estaciones                        | 69       |
| 10.7.2.3.1. Prolongación de la Calle 145, Calle 146, Calle 144               | 75       |
| 10.7.2.3.3. Desvíos de tráfico (PMT)   | 78       |

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Perfil de diseño.

Tabla 2. Combinaciones de carga en la base de las pilas del viaducto.

Tabla 3. Carga del pilote más cargado para cada escenario de carga.

Tabla 4. Combinaciones de carga en el dado de cimentación de los accesos a la estación.

Tabla 5. Carga del pilote más cargado para cada escenario de carga.

Tabla 6. Ítems CAPEX para obras relacionadas con la en la totalidad de la L2MB

Tabla 7. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 1

Tabla 8. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 2

Tabla 9. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 3

Tabla 10. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 4

Tabla 11. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 5

Tabla 12. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 6

Tabla 13. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 7

Tabla 14. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 8

Tabla 15. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 9

Tabla 16. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 10

Tabla 17. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 11

Tabla 18. Resumen Tipo de Intervención

Tabla 19. Longitud Estimada Vías de desvío

Tabla 20. Temperaturas mensuales del aire y factores de ponderación del método SHELL

Tabla 21. Módulos Capas Granulares

Tabla 22. Parámetros de entrada al método AASHTO

Tabla 23. Tipos de Subrasante Cartilla de Andenes de Bogotá D.C.

Tabla 24. Mejoramiento del Suelo de Subrasante- Cartilla de Andenes de Bogotá D.C.

Tabla 25. Mejoramiento del suelo de subrasante

Tabla 26. Estaciones por Zona

Tabla 27. Estructura de pavimentos Vías a intervenir - Zonas de Estaciones

Tabla 28. Espesores Existentes – Calzada Occidental

Tabla 29. Espesores Existentes – Calzada Oriental

Tabla 30. Mejoramiento del suelo de subrasante - Zona III

Tabla 31. Estructura de pavimentos Vías a intervenir - Zonas de Estaciones

Tabla 32. Incremento anual de fisuramiento

Tabla 33. Ítems CAPEX para obras de pavimentos en la totalidad de la L2MB



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Tramo elevado de la L2MB según lo presentado en el estudio de Prefactibilidad.
- Figura 2. Corte transversal de la parte final del segmento elevado de la L2MB, según Prefactibilidad.
- Figura 3. Planta de la bajada al Patio Taller según el predimensionamiento planteado en la Prefactibilidad.
- Figura 4. Sección del viaducto.
- Figura 5. Sección de las pilas y de la cimentación del viaducto.
- Figura 6. Zona de transición entre el segmento subterráneo y el elevado.
- Figura 7. Trazado de la L2MB sobre el mapa de zonas de respuesta sísmica de la MZSB.
- Figura 8. Zonas de amenaza por inundación.
- Figura 9. Resumen de resultados de ensayos de laboratorio e in situ.
- Figura 10. Análisis de granulometrías, humedad y plasticidad de las muestras extraídas.
- Figura 11. Distribución de clasificación USCS.
- Figura 12. Parámetros de resistencia.
- Figura 13. Ábaco para cimentaciones del tramo elevado de la L2MB. Estado límite-resistencia.
- Figura 14. Ábacos para cimentaciones del tramo elevado de la L2MB. Estado límite-evento extremo
- Figura 15. Geometría para la excavación para los datos de cimentación.
- Figura 16. Ejemplo del límite de intervención según ET08 - Urbanismo y paisajismo
- Figura 17. Ejemplo de Intervención de mejoramiento en sección transversal
- Figura 18. Ejemplo de Reconfiguración de tipo de calle en sección transversal
- Figura 19. Intervención Estación 1
- Figura 20. Intervención Estación 2
- Figura 21. Intervención Estación 3
- Figura 22. Intervención Estación 4
- Figura 23. Intervención Estación 5
- Figura 24. Intervención Estación 6
- Figura 25. Intervención Estación 7

Figura 26. Intervención Estación 8

Figura 27. Intervención Estación 9

Figura 28. Intervención Estación 10

Figura 29. Intervención Estación 11

Figura 30. Implantación Vías nuevas

Figura 31. Vías de desvío por Estación

Figura 32. Curva de ponderación de temperatura

Figura 33. Relación entre temperatura efectiva de las capas asfálticas y de la mezcla.

Figura 34. Módulo de mezcla tipo MD-12

Figura 35. Coeficiente de aporte. Mezcla tipo MD-12

Figura 36. Parámetros Capas Granulares. a) Subbase granular b) Base granular

Figura 37. Estructura de Andén para Subrasante Tipo S1 y Criterio de Diseño 3

Figura 38. Estructura de Andén para Subrasante Tipo S2 y Criterio de Diseño 3

Figura 39. Carta de Plasticidad de Casagrande

Figura 40. Contenido de Materia Orgánica

Figura 41. Correlación CBR Natural y CBR Sumergido

Figura 42. CBR de la subrasante

Figura 43. Estructura de pavimento para las calzadas afectadas

Figura 44. Estructura para los andenes

Figura 45. CBR de la subrasante

Figura 46. Estructura de pavimento Calle 145, Calle 144 y Carrera 136

Figura 47. Estructura de pavimento Calle 146

Figura 48. Estructura para los andenes

Figura 49. Estructura para la cicloruta de la Calle 145

Figura 50. Incremento anual de fisuramiento (INGETEC, 2020)

## A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO

### 10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN

#### 10.7. GEOTECNIA Y PAVIMENTOS



Antes de entrar en el tema se acota el alcance de este documento: la estructura de los informes se ajusta a la división temática planteada en la formulación de las Especificaciones Técnicas del proyecto, y hay temas relacionados con geotecnia en las siguientes especificaciones:

- ET10 – Geotecnia y Pavimentos.
- ET19 – Patio Taller.
- ET24 – Túnel.
- ET25 – Estaciones y edificaciones.

Este documento está enfocado en la especificación ET10 – Geotecnia y pavimentos, y el alcance que se ha dado a su revisión cubre dos temáticas:

1. Las cimentaciones profundas para el segmento elevado del trazado (incluidas las necesarias para la estación 11 y la aproximación al viaducto).
2. Las intervenciones de los pavimentos en las zonas aledañas a las estaciones, las vías de desvío y la calle 145.

Todo lo que no esté dentro de los ejes temáticos planteados debe ser consultado en los documentos asociados a las especificaciones técnicas correspondientes, por ejemplo:

- La infraestructura necesaria para la implementación y construcción de las obras subterráneas relacionadas con el túnel, debe ser consultado en el documento asociado a la ET24.
- Lo asociado a la conformación de la plataforma del patio taller, que incluye tratamientos para mejoramiento del suelo y la construcción de un terraplén, debe ser consultado en el documento asociado a la ET19; también en ese documento está lo relacionado con los pavimentos en el patio taller.
- Lo relacionado con las excavaciones y la construcción de las estaciones 1 a 10, que son subterráneas, está consignado en el capítulo de geotecnia de la ET25.

##### 10.7.1. Cimentación del viaducto

El segmento final de la L2MB, que va desde el pozo de entrada hasta el Patio Taller, se construirá con una tipología elevada (en ese segmento está localizada también la última estación del proyecto: la estación 11–Fontanar), esto se muestra en planta en la Figura 1 y en la Figura 3. La infraestructura asociada a este segmento incluye, en lo que tiene que ver con la ET10, los siguientes componentes:

- Cimentación de cada una de las pilas del viaducto. En la Figura 3 se muestra un corte transversal del viaducto, en el que se puede observar de forma esquemática la separación entre pilas
- En la Figura 4 se muestra una sección típica del viaducto en un punto en el que se haya proyectado una pila.
- Cimentación de la estructura de aproximación al tablero del viaducto.
- Cimentación de los módulos de acceso a la estación 11.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

Dadas las características del depósito lacustre de la ciudad, la fundación de ambos componentes requiere el uso de cimentaciones profundas. Teniendo en cuenta las experiencias constructivas en la ciudad, de entrada se establece que la tipología constructiva sea la de pilotes pre excavados y fundidos in situ.



La Figura 1 muestra la transición entre el segmento subterráneo y el elevado y muestra un punto final, sin embargo, ese punto final no es el final del viaducto, es el inicio de la bajada al Patio taller, esa bajada también será construida con la tipología elevada y es una continuación del viaducto.

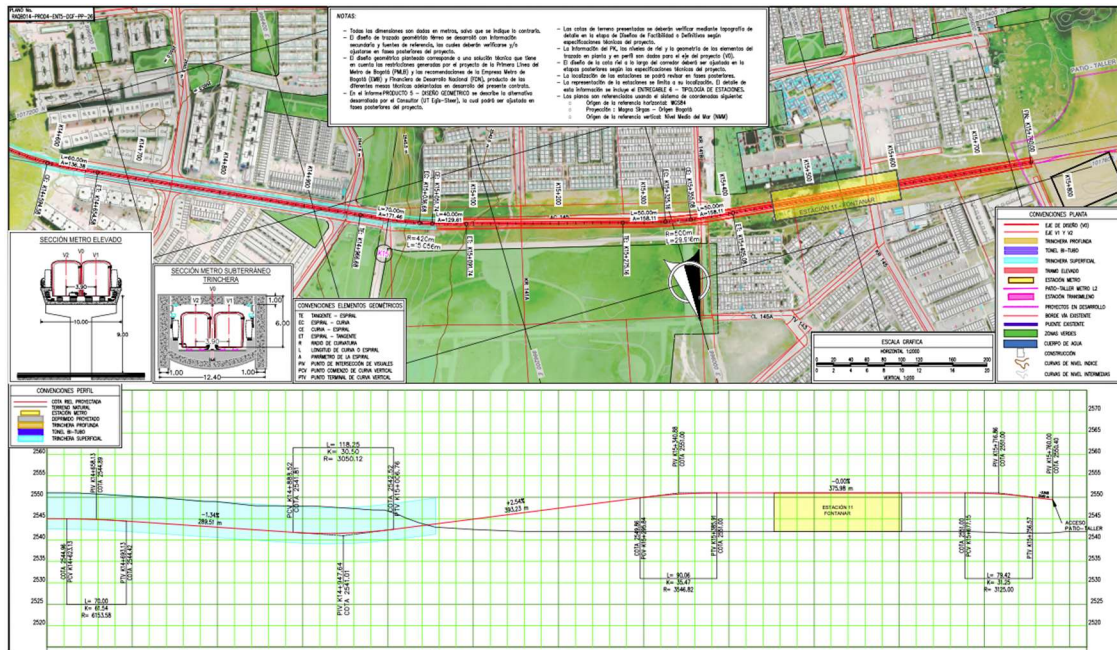


Figura 1. Tramo elevado de la L2MB según lo presentado en el estudio de Prefactibilidad.  
Fuente: Egis-Steer, 2021. Trazado geométrico férreo planta-perfil. (RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-26).

En la Figura 2 se muestra un corte transversal del tramo final del viaducto, en el que las vías pasan a ser soportadas por el terraplén de conformación de la plataforma del Patio. La Figura 3 muestra la planta de este tramo.

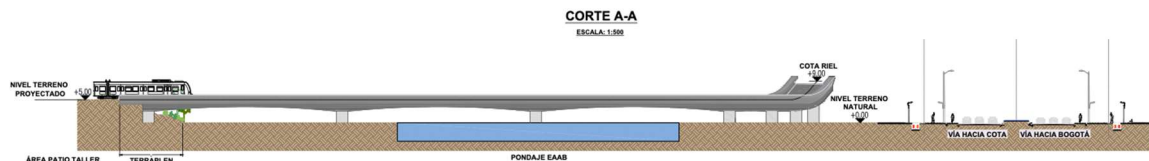


Figura 2. Corte transversal de la parte final del segmento elevado de la L2MB, según Prefactibilidad.  
Fuente: Egis-Steer, 2021. (RAQB014-PROD4-ENT7-TYC-SE-01).

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

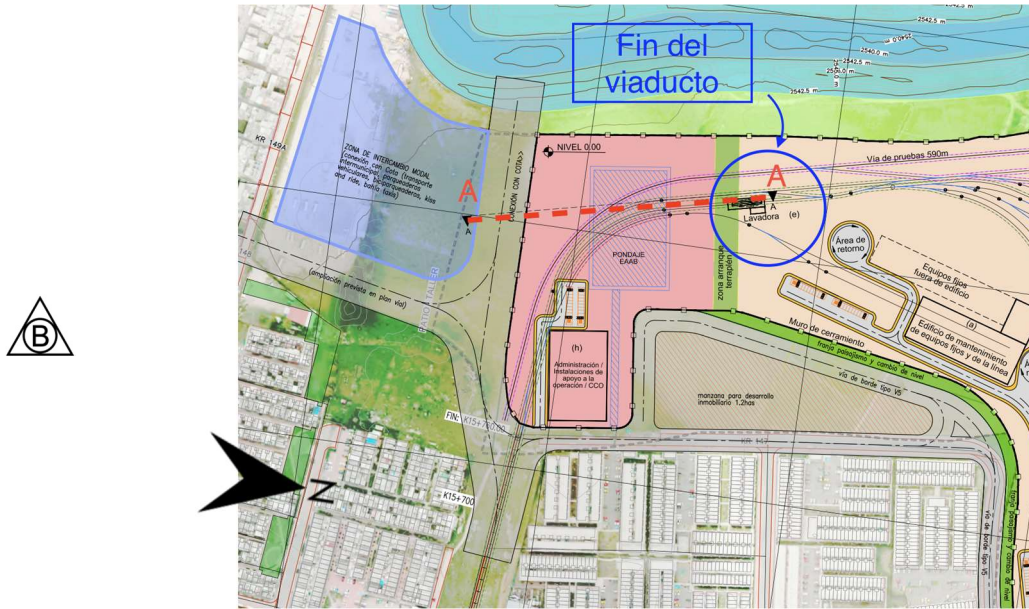


Figura 3. Planta de la bajada al Patio Taller según el predimensionamiento planteado en la Prefactibilidad.  
Fuente: Egis-Steer, 2021. (RAQB014-PROD4-ENT7-TYC-PL-02).

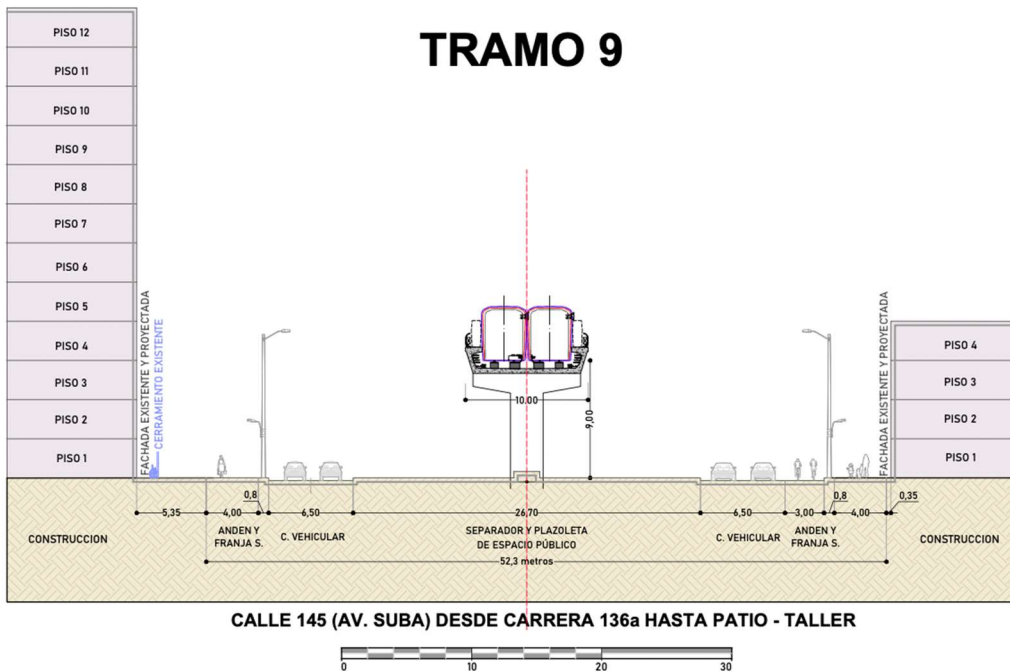


Figura 4. Sección del viaducto.  
Fuente: Egis-Steer, 2021. (RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-SE-04).

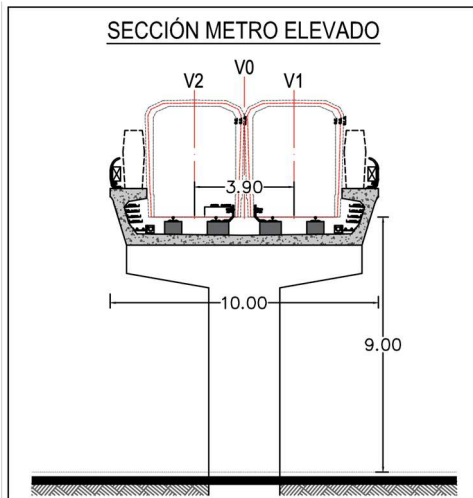


### 10.7.1.1. Características de la solución de cimentación adoptada

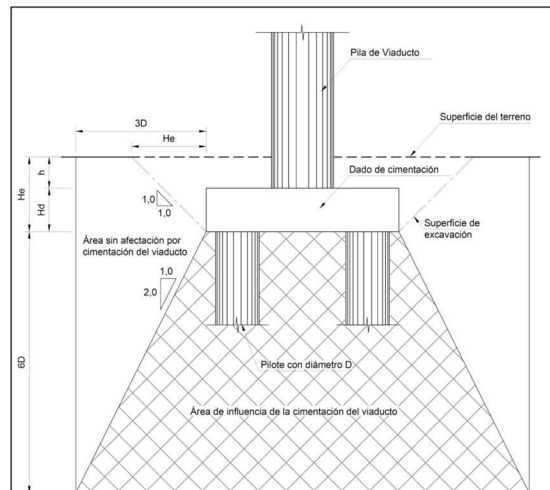
El sistema de cimentación planteado se basa en los siguientes postulados:



- El viaducto estará conformado por vanos apoyados sobre pilas con luces que van hasta los 35 m en tramos donde el trazado sea recto, llegando a reducirse a 30 m en curvas de radio menor a 300 m.
- El viaducto gran-U se soporta mediante pilas de columna circular, acabadas en un capitel de aproximadamente la misma anchura que la base de la sección gran-U de apoyo del tablero. Esto se muestra en la Figura 5, a continuación.



Fuente: Egis-Steer, 2021. (RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-SE-04).



Fuente: Consorcio Metro Bog., 2018. Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá D. C. Informe Geotécnico de Cimentaciones. (ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0).

Figura 5. Sección de las pilas y de la cimentación del viaducto.

Ahora, teniendo en cuenta lo mostrado en la Figura 1 y en la Figura 3, la longitud del viaducto es 1,1 km que se dividen así:

- Los primeros 100 m corresponden a la estructura de aproximación, mostrada en la Figura 6. La pendiente de esta estructura es de 2,54%.
- En aproximadamente 800 m el vano es recto, con la sección que se muestra en la Figura 6.
- En los 200 m restantes el vano es curvo, y corresponde a lo mostrado en la Figura 3 y en la Figura 3.

Con esta clasificación y usando la distancia entre pilas planteada antes se tiene entonces un total de 33 pilas; esta cifra resulta de las siguientes operaciones:

- $100 \text{ m} / (35 \text{ m/dado}) = 3$  dados de cimentación. En la estructura de aproximación, dadas las características del depósito lacustre y para reducir al máximo la posibilidad de asentamientos diferenciales en la transición entre estructuras, la losa de la estructura de cimentación se debe apoyar sobre cimentación profunda.
- $800 \text{ m} / (35 \text{ m/pila}) = 23$  pilas. En la zona de vano recto.

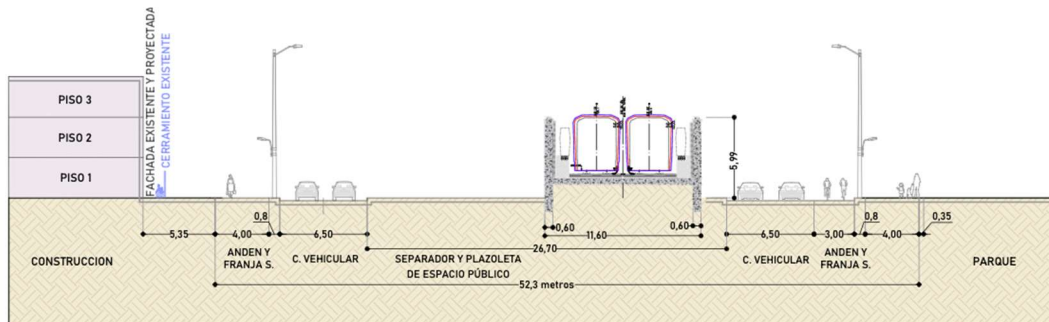
REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

- $200 \text{ m}/(30 \text{ m/pila}) = 7 \text{ pilas}$ . En la zona de vano curvo.

Para los módulos de acceso a la estación elevada será necesario también el uso de cimentación profunda; son dos, y en cada uno hay 10 nodos de cimentación, es decir, hacen falta 20 grupos de pilotes para este componente.

Conocido el número de pilas y de nodos de cimentación, es necesario dimensionar el sistema de cimentación de cada uno de estos componentes.



CALLE 145 (AV. SUBA) ZONA DE TRANSICIÓN SUBTERRANEO A ELEVADO



Figura 6. Zona de transición entre el segmento subterráneo y el elevado.

Fuente: Egis-Steer, 2021. (RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-SE-05)



#### 10.7.1.2. Caracterización geotécnica del sector

Para dar contexto a la caracterización presentada en esta sección se muestra en la Figura 7 el mapa de zonas geotécnicas de la ciudad, y se señala (con un recuadro de color rojo) el sector elevado del trazado del corredor de la L2MB. El tramo está localizado en la zona Lacustre 500, que de manera general es descrita así: “Suelo lacustre blando: Arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba”, además, se espera que el espesor del depósito esté entre 300 y 500 m.

En esta zona de la ciudad además de la naturaleza lacustre del depósito, es importante tener en cuenta la cercanía del río Bogotá (pues existe la posibilidad de encontrar depósitos aluviales), de hecho, por esta cercanía con el cauce, el segmento elevado y el Patio Taller están clasificados como zonas de amenaza media y alta de inundación por desbordamiento, como se muestra en la Figura 8.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

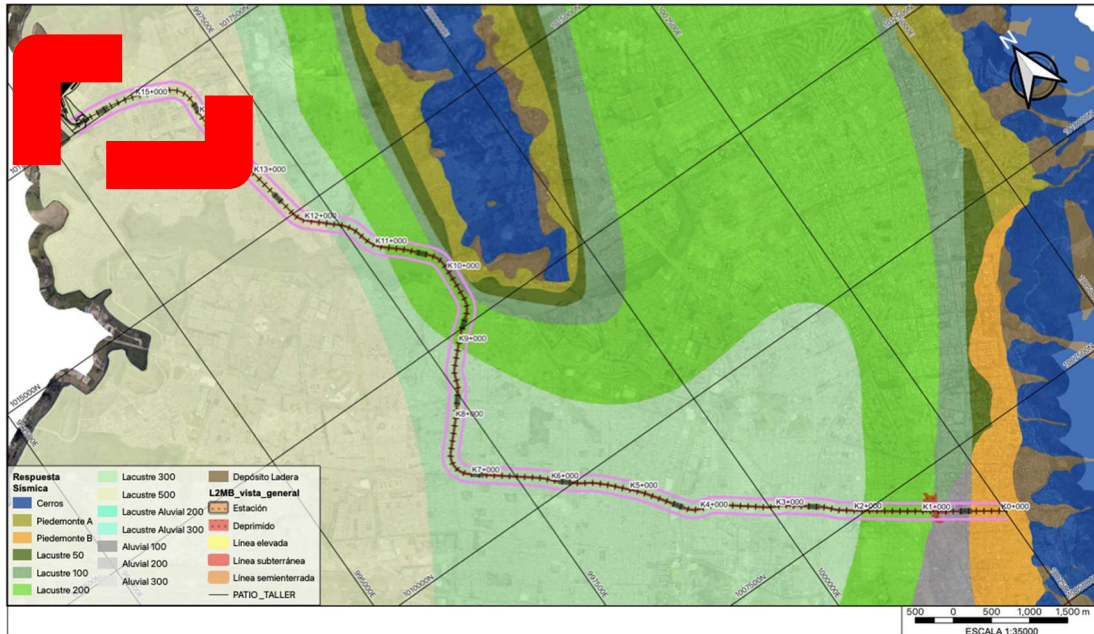


Figura 7. Trazado de la L2MB sobre el mapa de zonas de respuesta sísmica de la MZSB.  
Fuente: FOPAE (2010)

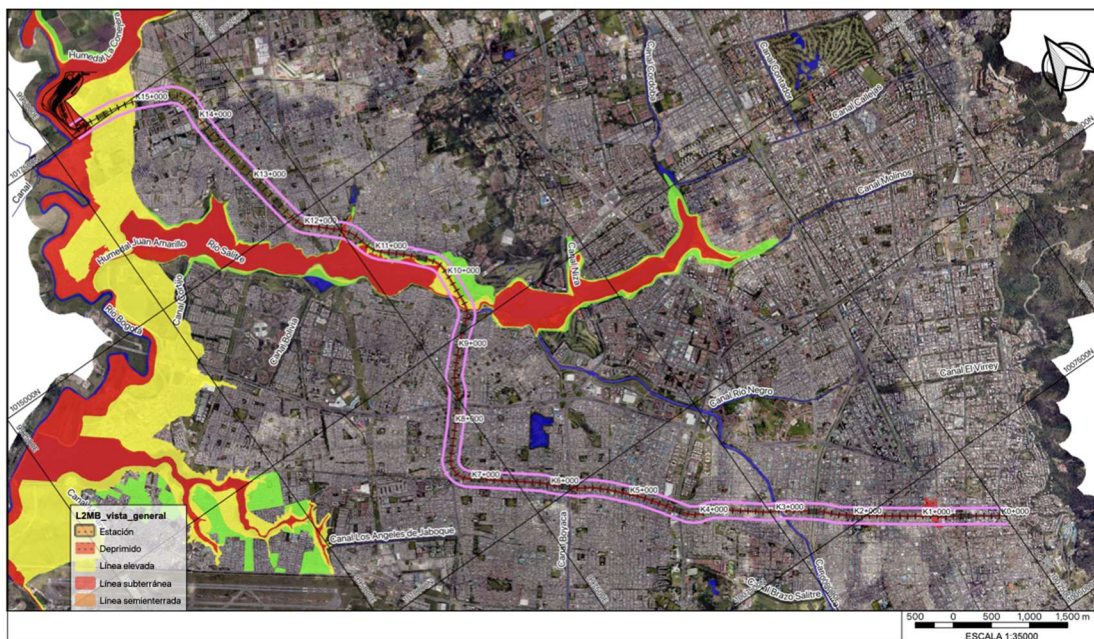


Figura 8. Zonas de amenaza por inundación.  
Fuente: IDIGER (2020)



Para caracterizar geotécnicamente los suelos de la zona se ejecutó en campo un Plan de exploraciones que comprende las siguientes perforaciones:

- L2MB-TUN-PT-89
- L2MB-EST11-PT-01
- L2MB-EST11-PT-02
- L2MB-ELE-PT-02
- L2MB-ELE-CPT-01
- L2MB-EST-11-SCPT-01

Las muestras extraídas de esas perforaciones fueron sometidas a los ensayos establecidos en la ET10, y a manera de resumen de los resultados se muestra la siguiente figura:

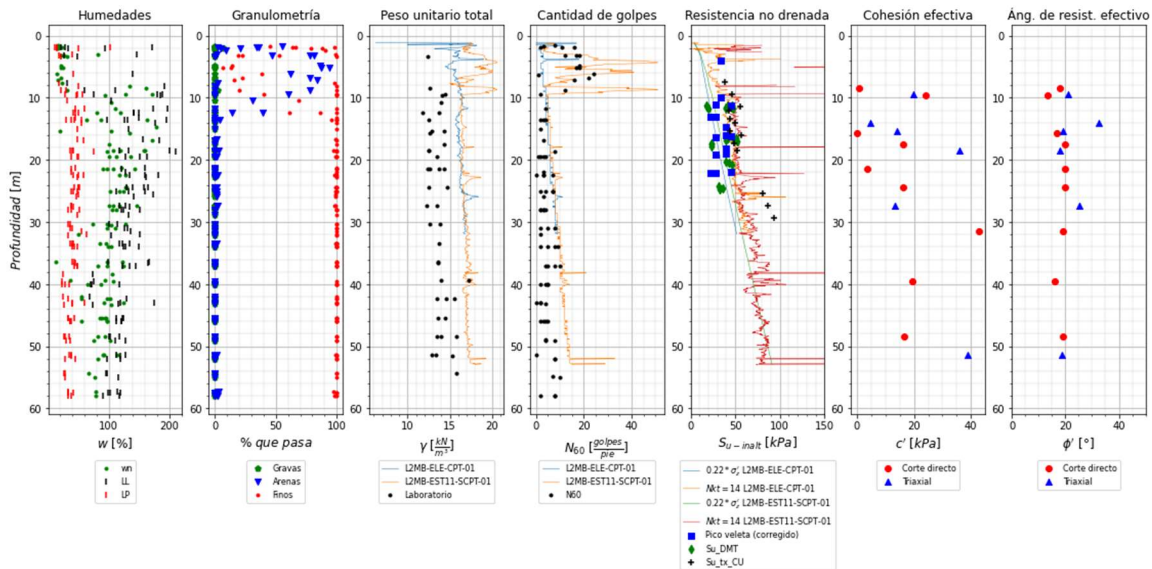


Figura 9. Resumen de resultados de ensayos de laboratorio e in situ.  
Fuente: elaboración propia.

Ahora, orientando la caracterización al diseño de cimentaciones profundas es necesario establecer el comportamiento dominante durante los procesos de carga, para eso se establece el siguiente criterio: si consistentemente, a lo largo del perfil, el contenido de finos es mayor al 12% y el IP es mayor a 7% se trabaja en términos de esfuerzos totales y la resistencia se representa por medio de  $S_u$  (resistencia al corte en condición no drenada), el efecto práctico de esta definición es el uso del método alfa para la determinación la resistencia en el fuste de los pilotes.

Si bien la información presentada en la Figura 25 muestra que, a la luz del criterio planteado, es necesario trabajar en función de la resistencia no drenada, a continuación, en la Figura 10, se presentan los perfiles de humedades y granulometrías, acompañados por las curvas granulométricas y la carta de plasticidad de las muestras ensayadas. Esta figura confirma lo planteado antes, a pesar de que en los 10 más superficiales del perfil hay cierta cantidad de arenas (clasifica como arena limosa o arena arcillosa), por el contenido de finos y la plasticidad del material es necesario calcular la resistencia de los pilotes usando el método alfa y para el perfil de diseño se debe establecer la variabilidad de  $S_u$ .

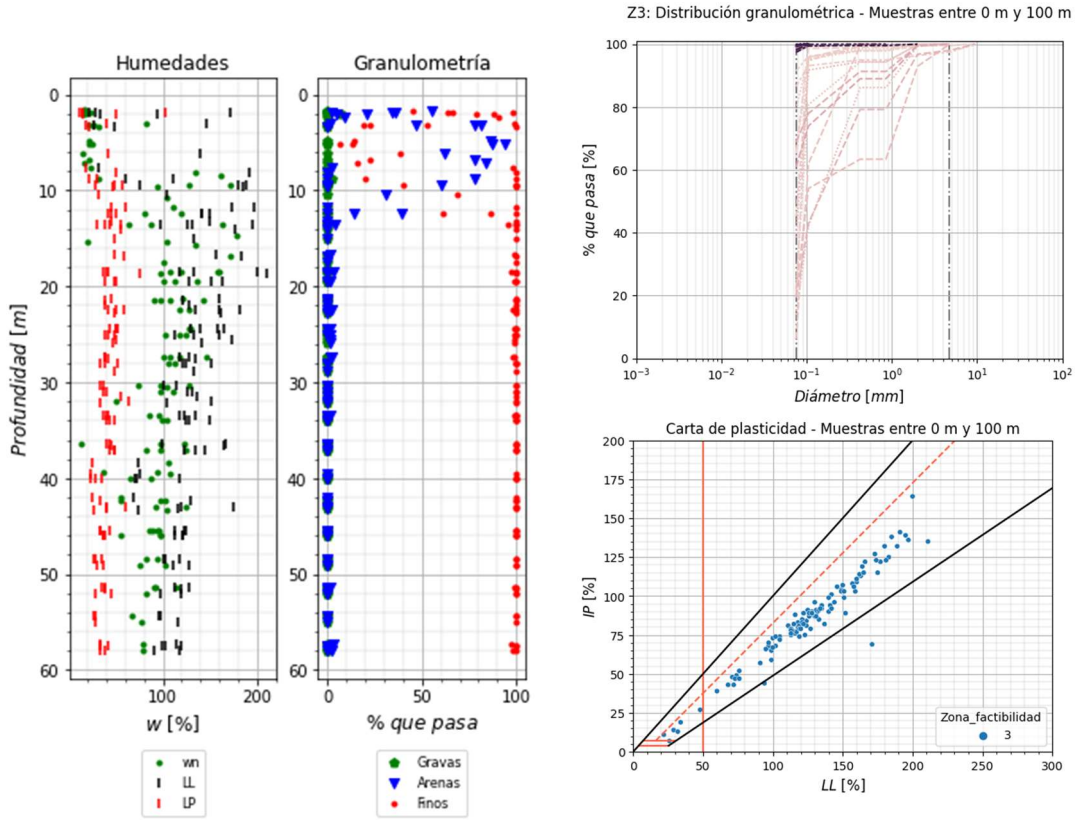


Figura 10. Análisis de granulometrías, humedad y plasticidad de las muestras extraídas.  
Fuente: elaboración propia.

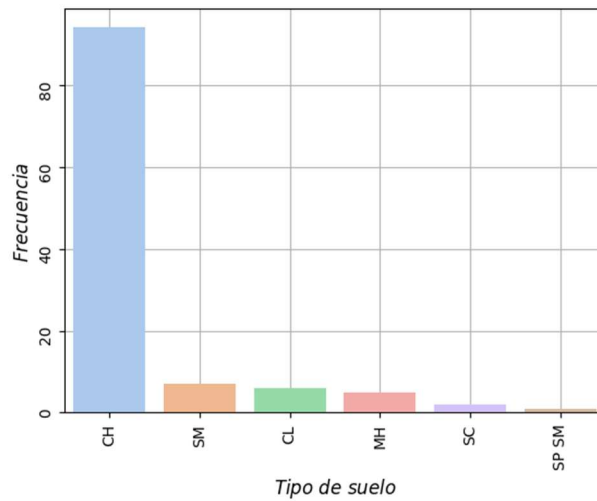


Figura 11. Distribución de clasificación USCS.  
Fuente: elaboración propia.



Dadas las condiciones planteadas, para la definición de un perfil de diseño es necesario establecer valores representativos de la resistencia al corte en condición no drenada, en la siguiente figura se muestra la variación en profundidad de este parámetro. Es importante notar que para la definición de los valores representativos se cuenta con cuatro fuentes de información:

- Correlaciones con los resultados de los ensayos CPT. Usando un factor  $N_{kt}=14$ .
- Correlaciones con los resultados de ensayos de DMT.
- Valores de  $S_u$  calculados con los parámetros de resistencia obtenidos en ensayos triaxiales CU, analizados en términos de esfuerzos totales.
- Valores de  $S_u$  calculados a partir de ensayos de veleta de campo, corregidos por plasticidad.

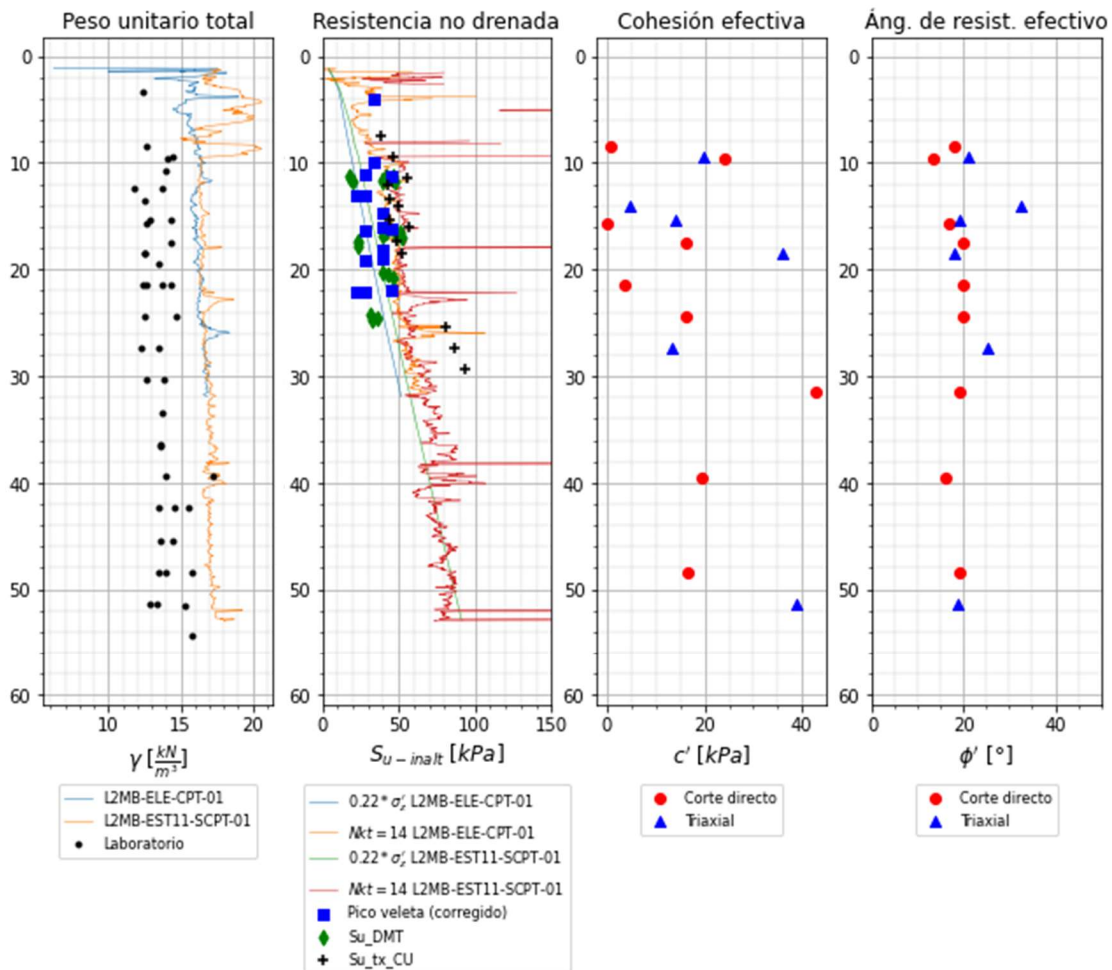


Figura 12. Parámetros de resistencia.  
Fuente: elaboración propia.

Los parámetros propuestos para el diseño de los pilotes se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1. Perfil de diseño.

| Estrato | Profundidad inicial (m) | Profundidad final (m) | Descripción   | Su (kPa) | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) |
|---------|-------------------------|-----------------------|---|----------|-------------------------------|
| 1       | 0,0                     | 2,0                   | Limo arenoso de color marrón, con presencia de raíces, humedo y suelto.   | -        | 12,0                          |
| 2       | 2,0                     | 10,0                  | Arena fina, suelta y de humedad alta.   | 30,0     | 16,0                          |
| 3       | 10,0                    | 23,0                  | Arcilla de alta plasticidad, de color gris oliva, de consistencia dura y de humedad alta.                             | 40,0     | 14,5                          |
| 4       | 23,0                    | 40,0                  | Arcilla de alta plasticidad, de color gris con lentes de color negro y rojizo, de consistencia blanda y humedad alta. | 60,0     | 15,0                          |
| 5       | 40,0                    | 53,0                  | Arcilla de alta plasticidad, de color gris oscuro a gris verdoso. De humedad alta y consistencia dura.                | 80,0     | 15,0                          |

Fuente: elaboración propia.

### 10.7.1.3. Cargas

El dimensionamiento de las cimentaciones de las pilas del viaducto parte de los siguiente postulados:

- Para esta fase del proyecto se trabaja con cargas de referencia, extraídas del informe de diseño de PLMB, particularmente las del Tramo 3.5 de ese proyecto, geotécnicamente similar al segmento elevado de L2MB. Se habla de similitud pues el Tramo 3.5 de PLMB está ubicado en zona Lacustre 200 del mapa de zonas de respuesta de la MZSB, de características similares a Lacustre 500, que es la zona en la que se ubica el segmento elevado de L2MB.
- Por las características del depósito (y teniendo en cuenta experiencias constructivas previas) el método constructivo recomendado es el de pilotes pre excavados.
- Dadas las características del proyecto, el enfoque de análisis es LRFD, como lo plantea el CPP-14.
- Como se mostró en la sección anterior, el material es predominantemente fino, y en esa medida el cálculo de la capacidad portante se hará en términos de esfuerzos totales, usando la resistencia al corte no drenada para caracterizar los materiales.
- Para la disposición de pilotes en grupos se plantea un espaciamiento mínimo de tres veces el diámetro, entre centros, de esa forma se evita la interferencia entre bulbos de esfuerzos generados por cada elemento.
- Por defecto (para minimizar la cantidad de elementos a construir y para limitar las dimensiones de los dados de cimentación) se plantea que cada pila se apoye sobre un grupo de 4 pilotes. Si es necesario, se debe revisar la necesidad de construir más elementos en sitios puntuales.

Ahora, para analizar puntualmente las necesidades de carga que deben suplir las cimentaciones profundas es necesario evaluar la magnitud de las cargas que llegan a los pilotes, estas cargas se dividen en los siguientes componentes (2) cargas horizontales, (2) los momentos que las cargas horizontales generan sobre la cimentación y (3) las cargas verticales (entre las que se debe incluir el peso del dado). Una vez se tiene conocimiento de las cargas mencionadas, se debe estudiar la distribución de éstas entre los pilotes del grupo, esto se hizo bajo las siguientes consideraciones:

- Cuando se aplica una carga concéntrica al dado, cada pilote del grupo soporta la misma carga. Si  $n$  pilotes soportan una carga total  $Q$ , la carga soportada por cada pilote  $P_p$  es:

$$P_p = \frac{Q}{n}$$

- Cuando al dado de cimentación llega una carga vertical de magnitud  $Q$  y momento (en una o dos direcciones), la carga que soporta cada pilote es:

$$P_{pi} = \frac{Q}{n} \pm \frac{M_y x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x y}{\Sigma y^2}$$

Donde:

$M_y$  y  $M_x$ : son los momentos alrededor de  $x$  y  $y$ , respectivamente.

$x$  y  $y$ : son las distancias desde el origen hasta el centro de cada pilote.

$\Sigma x^2$  y  $\Sigma y^2$ : son los momentos de inercia del grupo.

Estas suposiciones, a su vez, se basan en las siguientes condiciones:

- El dado está en contacto con el suelo.
- Las dimensiones del dado varían de acuerdo a la geometría, disposición y cantidad de pilotes.
- Los pilotes son verticales.
- La carga es aplicada en el centro del grupo de pilotes.
- El grupo de pilotes es simétrico.
- El dado es muy rígido.

A la luz de estos lineamientos se plantea lo siguiente: el diseño del grupo de pilotes está gobernado por la capacidad de soporte del pilote más cargado. Así, para determinar las dimensiones de los elementos en cada una de las pilas se debe determinar el diámetro y longitud mínimas del pilote más cargado del grupo. Esto se debe hacer en los escenarios de carga planteados en el CCP-14 y en todos se debe garantizar el cumplimiento: resistencia factorada > cargas mayoradas.

#### 10.7.1.3.1. Viaducto

En la siguiente tabla se muestra una aproximación a las cargas esperadas en la base de las pilas, ahora, partiendo de la experiencia del diseño del proyecto PLMB, se propone un dado típico con cuatro pilotes y con las siguientes dimensiones  $B \times L \times H = (7,8 \text{ m}) \times (7,8 \text{ m}) \times (2,3 \text{ m})$ .

Tabla 2. Combinaciones de carga en la base de las pilas del viaducto.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| COMBINACIÓN DE CARGAS ESTADO LIMITE DE SERVICIO | FUERZAS COMBINADAS EN BASE DE PILA |         |         |          |          |
|---|------------------------------------|---------|---------|----------|----------|
|   | V (kN)                             | Hx (kN) | Hy (kN) | Mx (mkN) | My (mkN) |
| E.L.SERVICIO - V max                            | 9340                               | 182     | 92      | 1355     | 2097     |
| E.L.SERVICIO - V min                            | 1896                               | 0       | 541     | 3776     | 0        |
| E.L.SERVICIO- Hx/My máx                         | 9340                               | 182     | 92      | 1355     | 2097     |
| E.L.SERVICIO- Hy/Mx max                         | 1896                               | 0       | 619     | 3949     | 0        |

| COMBINACIÓN DE CARGAS ESTADO LIMITE DE RESISTENCIA | FUERZAS COMBINADAS EN BASE DE PILA |         |         |          |          |
|--|------------------------------------|---------|---------|----------|----------|
|  | V (kN)                             | Hx (kN) | Hy (kN) | Mx (mkN) | My (mkN) |
| E.L.RESISTENCIA - V max                            | 12395                              | 309     | 317     | 32       | 3562     |
| E.L.RESISTENCIA - V min                            | 2008                               | 0       | 414     | 4305     | 0        |
| E.L.RESISTENCIA- Hx/My máx                         | 12387                              | 309     | 280     | 82       | 3562     |
| E.L.RESISTENCIA- Hy/Mx max                         | 2008                               | 0       | 492     | 4478     | 0        |

| COMBINACIÓN DE CARGAS ESTADO LIMITE DE EVENTO EXTREMO I | FUERZAS COMBINADAS EN BASE DE PILA |         |         |          |          |
|---|------------------------------------|---------|---------|----------|----------|
|   | V (kN)                             | Hx (kN) | Hy (kN) | Mx (mkN) | My (mkN) |
| COMB. SISMO ESPERADO - Hx/My máx.                       | 9311                               | 2028    | 798     | 2474     | 23659    |
| COMB. SISMO ESPERADO - Hy/Mx máx.                       | 9767                               | 714     | 1741    | 6826     | 8316     |
| COMB. SISMO MÁXIMO - Hx/My máx.                         | 9762                               | 2771    | 877     | 3261     | 32333    |
| COMB. SISMO MÁXIMO - Hy/Mx máx.                         | 10045                              | 862     | 2358    | 9070     | 10055    |

Fuente: Cargas para zona Lacustre 200. Consorcio Metro Bog., 2018. Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá D. C. Informe Geotécnico de Cimentaciones. (ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0).

Con las dimensiones establecidas y las cargas esperadas se puede hacer el análisis de carga del pilote más cargado, si se usa un diámetro de pilote de 1,8 m la carga del pilote más cargado en cada escenario de carga será la mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 3. Carga del pilote más cargado para cada escenario de carga.

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| Estado Límite de Servicio       | 4021 kN |
| Estado Límite de Resistencia    | 5300 kN |
| Estado Límite de Evento Extremo | 8999 kN |

Fuente: elaboración propia.

#### 10.7.1.3.2. Estación

Para el caso de la estación elevada, es necesario replicar el análisis presentado anteriormente para determinar la carga que soporta el pilote más cargado del grupo. Se requiere, entonces, de la misma información de entrada (1) las combinaciones de carga en la base de la pila y (2) las dimensiones de un dado de cimentación típico. Esta información se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 4. Combinaciones de carga en el dado de cimentación de los accesos a la estación.



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| COMBINACIÓN DE CARGAS<br>ESTADO LIMITE DE<br>SERVICIO | FUERZAS COMBINADAS EN BASE DE PILA |            |            |               |             |
|---|------------------------------------|------------|------------|---------------|-------------|
|   | V<br>(kN)                          | Hx<br>(kN) | Hy<br>(kN) | Mx<br>(mkN)   | My<br>(mkN) |
| E.L.SERVICIO I - V max                                | <b>22969</b>                       | 435        | 195        | -3206         | 6445        |
| E.L.SERVICIO I - V min                                | <b>19226</b>                       | 0          | 149        | -13591        | 0           |
| E.L.SERVICIO I - Hx max                               | 20959                              | <b>435</b> | 195        | -14279        | 6445        |
| E.L.SERVICIO I - Hy max                               | 22969                              | 435        | <b>195</b> | -3206         | 6445        |
| E.L.SERVICIO I - Mx max                               | 20093                              | 261        | 172        | <b>-15629</b> | 3867        |
| E.L.SERVICIO I - My max                               | 20959                              | 435        | 195        | -14279        | <b>6445</b> |

| COMBINACIÓN DE CARGAS ESTADO<br>LIMITE DE RESISTENCIA | FUERZAS COMBINADAS EN BASE DE PILA |            |            |               |              |
|---|------------------------------------|------------|------------|---------------|--------------|
|   | V<br>(kN)                          | Hx<br>(kN) | Hy<br>(kN) | Mx<br>(mkN)   | My<br>(mkN)  |
| E.L.RESISTENCIA U0 - V max                            | <b>32161</b>                       | 740        | 576        | -9565         | 10956        |
| E.L.RESISTENCIA U0 - V min                            | <b>25798</b>                       | 0          | 497        | -27219        | 0            |
| E.L.RESISTENCIA U0 - Hx max                           | 28744                              | <b>740</b> | 576        | -28388        | 10956        |
| E.L.RESISTENCIA U0 - Hy max                           | 32161                              | 740        | <b>576</b> | -9565         | 10956        |
| E.L.RESISTENCIA U0 - Mx max                           | 27271                              | 444        | 536        | <b>-30683</b> | 6574         |
| E.L.RESISTENCIA U0 - My max                           | 28744                              | 740        | 576        | -28388        | <b>10956</b> |

| COMBINACIÓN DE CARGAS ESTADO LIMITE<br>DE EVENTO EXTREMO I - SISMO MAXIMO | FUERZAS COMBINADAS EN BASE DE<br>PILA |             |             |             |             |
|---|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   | V<br>(kN)                             | Hx<br>(kN)  | Hy<br>(kN)  | Mx<br>(mkN) | My<br>(mkN) |
| E.L.EVENTO EXTREMO U3b (sismo máximo) - V<br>max                          | <b>24114</b>                          | 2684        | 2295        | -32518      | 38275       |
| E.L.EVENTO EXTREMO U3b (sismo máximo) - V<br>min                          | <b>13288</b>                          | 2549        | 2281        | -32305      | 36275       |
| E.L.EVENTO EXTREMO U3b (sismo máximo) - Hx<br>max                         | 20499                                 | <b>7932</b> | 2295        | -32518      | 112546      |
| E.L.EVENTO EXTREMO U3b (sismo máximo) - Hy<br>max                         | 20499                                 | 2684        | <b>7543</b> | -106789     | 38275       |

Fuente: Cargas para zona Lacustre 200. Consorcio Metro Bog., 2018. Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá D. C. Informe Geotécnico de Cimentaciones. (ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0).

Se propone usar un dado de (12,8 m)x(12,8 m)x(1,7 m) para cada módulo de acceso, y con esa geometría y con 12 pilotes de 1,2 m de diámetro, la carga del pilote más cargado en cada escenario de carga es la que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5. Carga del pilote más cargado para cada escenario de carga.

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| Estado Límite de Servicio       | 2663 kN |
| Estado Límite de Resistencia    | 3879 kN |
| Estado Límite de Evento Extremo | 8125 kN |

Fuente: elaboración propia.

#### 10.7.1.3.3. Aproximación

Es necesario minimizar asentamientos diferenciales entre la estructura de aproximación y el viaducto, en esa medida se propone lo siguiente:

- Reducir el espesor de relleno granular de la estructura mostrada en la Figura 6.
- Apoyar la estructura y el relleno sobre grupos de pilotes de las mismas dimensiones propuestas para las pilas del viaducto.

#### 10.7.1.4. Sistema de cimentación recomendado

La recomendación presentada en esta sección se basa en el perfil de diseño y en los planteamientos presentados en el numeral anterior y está soportada en los ábacos de diseño presentados a continuación, en los que se ilustran dos escenarios:

- La Figura 12 muestra el ábaco con las cargas admisibles para el estado límite de resistencia.
- La Figura 13 muestra el ábaco con las cargas admisibles para el estado límite de evento extremo.

La interpretación conjunta de las cargas máximas en el pilote más cargado y las cargas admisibles se hace directamente en las figuras usando la siguiente convención:

- Las líneas de color rojo señalan la carga del pilote más cargado en las pilas del viaducto.
- Las líneas de color azul claro señalan la carga en el pilote más cargado en los módulos de acceso a las estaciones.

Para el cálculo del factor de adhesión  $\alpha$  con el que se calculó la resistencia que aporta el fuste de los pilotes se usó la relación propuesta por Marulanda, León, & Álvarez (2021), que partiendo de los resultados del programa de pruebas de carga llevado a cabo en el proyecto PLMB, proponen la siguiente ecuación:

$$\alpha = 0,463 + 0,72 \exp\left(0,45 - 2,6\left(\frac{Su}{101}\right)\right)$$



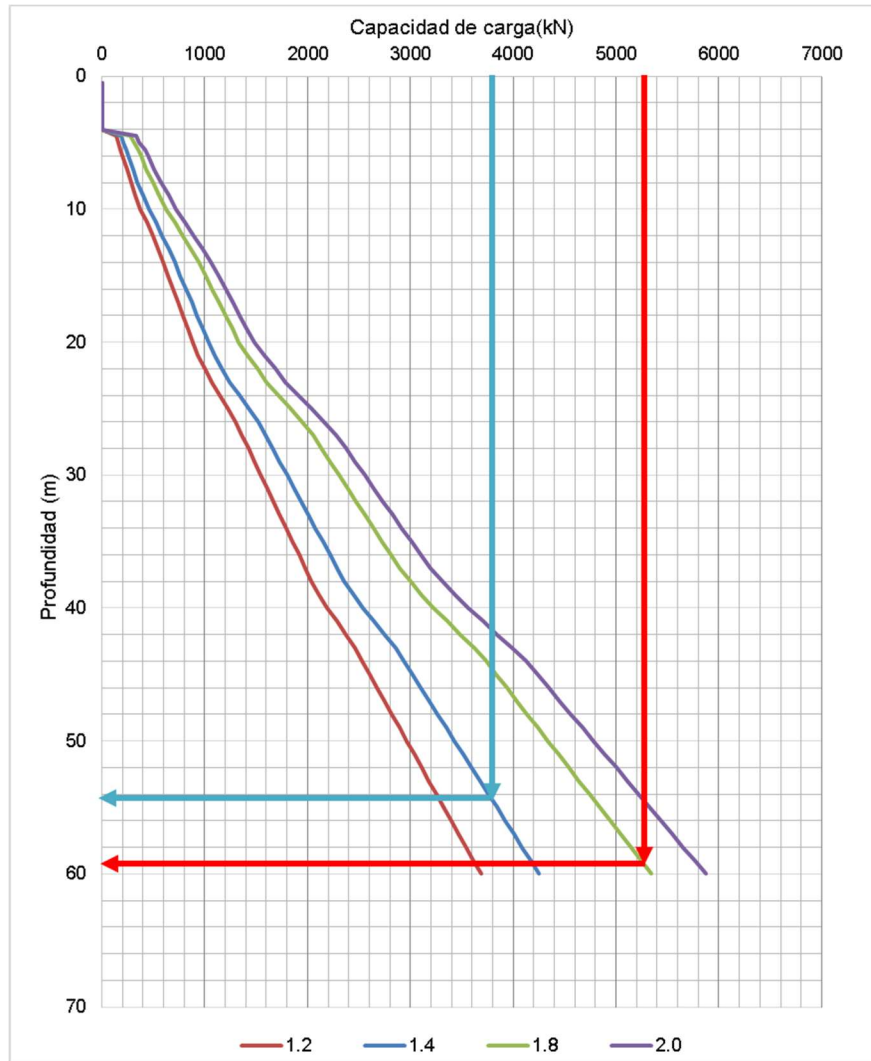


Figura 13. Ábaco para cimentaciones del tramo elevado de la L2MB. Estado límite-resistencia.  
Fuente: elaboración propia.

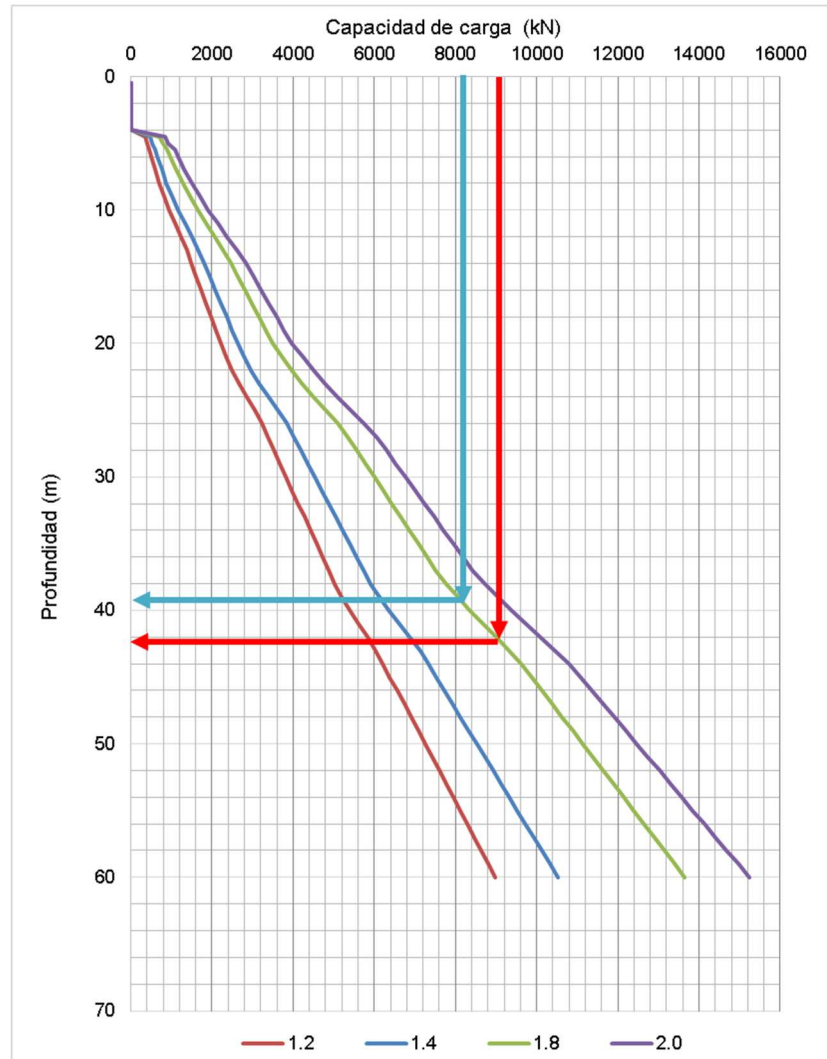


Figura 14. Ábacos para cimentaciones del tramo elevado de la L2MB. Estado límite-evento extremo  
Fuente: elaboración propia.

La primera conclusión a la que se puede llegar en el análisis de las curvas es que el dimensionamiento de los elementos de cimentación está controlado por las cargas en el estado límite de resistencia (es decir, se requiere una mayor longitud de pilote para cumplir con la sollicitación de carga de ese escenario). Así, es la Figura 13 la que debe ser usada para recomendar el sistema de cimentación adecuado para este segmento del proyecto, y es la siguiente:

- Para las pilas del viaducto los pilotes (pre excavados) deben tener una longitud de 60 m (flecha de color rojo en la Figura 13). Cada pila debe ir apoyada en un dado con cuatro pilotes, cada uno de 1,8 m de diámetro, separados 3 diámetros entre centros. Las dimensiones del dado son  $B=7,8$  m,  $L=7,8$  m y  $H = 2,3$  m.
- El dimensionamiento propuesto para las pilas del viaducto aplica también para la estructura de aproximación.

- La cimentación de los módulos de acceso a la estación debe contar con pilotes pre excavados de 1,4 m de diámetro y de 54 m de longitud (flecha de color azul en la Figura 13). Este dimensionamiento aplica para un dado de cimentación con 12 pilotes (separados 3D centro a centro) y con las siguientes dimensiones  $B=12,8$  m,  $L=12,8$  m y  $H=1,7$  m.
- El dimensionamiento recomendado en este informe puede ser optimizado mediante la ejecución de pruebas de carga que permitan cuantificar el mecanismo de transmisión de carga de los pilotes al suelo. La experiencia de diseño de las cimentaciones de PLMB, proyecto en el que se ejecutó un programa de pruebas de carga, permite hacer esta afirmación. Para este segmento de L2MB, teniendo en cuenta que es relativamente homogéneo, una prueba de carga sería suficiente para caracterizar el comportamiento de las cimentaciones.
- La excavación y los rellenos para los dados de cimentación se deben desarrollar bajo estos lineamientos:
  - Para la inclinación de las paredes de las excavaciones una inclinación de 1H:1V, como se muestra en la Figura 15.
  - La profundidad de excavación  $H_e$  se define como la suma de  $H_d$  (que es la altura del dado de cimentación) y una distancia  $h$  –entre la superficie reconstituida del terreno y la cota superior del dado– para la cual se adopta un valor de 1,0 m, para las pilas del viaducto y la aproximación esta altura será 3,3 m, y para los módulos de acceso a la estación será 2,5 m,
  - Rellenos: los necesarios para restituir el nivel del terreno sobre el dado de cimentación, el espesor de este relleno corresponde al valor adoptado para la distancia  $h$ , es decir, 1,0 m.
  - Para evitar afectaciones a redes de servicios públicos o a edificaciones vecinas, puede ser necesaria la instalación de entibados para las excavaciones.
- Teniendo en cuenta la cercanía del viaducto y la estación a edificaciones construidas actualmente, es necesario implementar un programa de instrumentación durante la construcción del viaducto, con los siguientes componentes:
  - Puntos de control topográfico que deben ser monitoreados durante la construcción de la cimentación de las pilas, para hacer un seguimiento a la influencia sobre las estructuras y edificaciones vecinas. Preliminarmente se propone la construcción de un par de puntos por cada pila de cimentación.
  - Inclínómetros, con el mismo propósito de los puntos de control topográfico, también un par por cada pila en que se tengan estructuras vecinas.

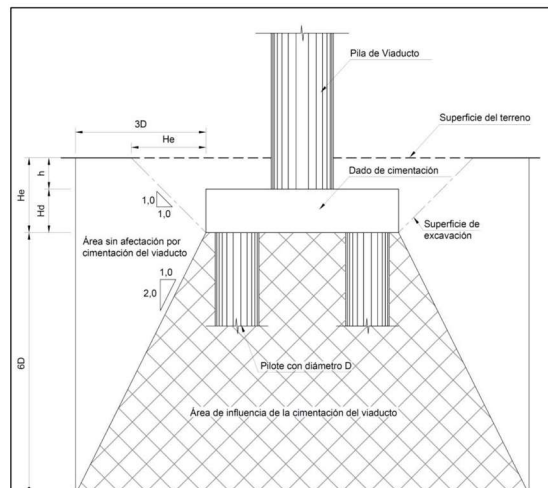


Figura 15. Geometría para la excavación para los dados de cimentación.

Fuente: Consorcio Metro Bog., 2018. Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá D. C. Informe Geotécnico de Cimentaciones. (ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0).

Como se planteó en el alcance del documento, el diseño geotécnico de las cimentaciones del viaducto y la estación elevada están asociadas a la ET10. En términos de cantidades, el componente de geotecnia se encarga de la cuantificación de las excavaciones, rellenos e instrumentación y el componente de estructuras se encarga de la cuantificación de los demás ítems. A continuación se presenta un resumen de los ítems considerados.

Tabla 6. Ítems CAPEX para obras relacionadas con la en la totalidad de la L2MB

| Ítem   | Unidad         |
|--|----------------|
| <b>EXCAVACIONES</b>  |                |
| IDU 3170. EXCAVACIÓN MECÁNICA EN MATERIAL COMÚN PARA ESTRUCTURAS. (Incluye Cargue)   | m <sup>3</sup> |
| <b>RELLENOS</b>  |                |
| IDU 4908. MATERIAL SELECCIONADO. SUMINISTRO, EXTENDIDO MANUAL, NIVELACIÓN, HUMEDECIMIENTO Y COMPACTACIÓN.  | m <sup>3</sup> |
| <b>ENTIBADOS</b>   |                |
| IDU. 8643. ALQUILER DE ENTIBADO METÁLICO TIPO CAJÓN (E1A-E1B) O DESLIZANTE   | m <sup>3</sup> |
| <b>INSTRUMENTACIÓN</b>   |                |
| IDU 7160- INCLINÓMETRO, INCLUYE PERFORACIÓN, CABLE DE CONEXIÓN Y CAJA DE PROTECCIÓN. (INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN).                           | un             |
| IDU 6703-CONCRETO DE 2000 psi PARA MOJONES O PUNTOS DE CONTROL TOPOGRÁFICO (0.21mx 0.21m x 0.21m) (PREMEZCLADO, INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN). | un             |
| CONTROL MEDIANTE NIVELETAS FIJAS SOBRE LOS SOPORTES DE LOS EDIFICIOS Y/O ESTRUCTURAS.  | un             |
| <b>PRUEBAS DE CARGA</b>  |                |
| PRUEBAS DE CARGA EN PILOTES. INCLUYE LA CONSTRUCCIÓN DE PILOTES DE SACRIFICIO Y LA INSTRUMENTACIÓN CON CELDAS OSTERBERG.                           | un             |



## 10.7.2. Pavimentos

Las intervenciones de los pavimentos se relacionan a continuación:

1. Diseño de las vías internas y externas del Patio taller (cuya descripción se presenta en el documento 10.14.2).
2. Diseño de un pavimento nuevo y zonas de espacio público de la prolongación de la Calle 145, prolongación de la Calle 146, Calle 144 entre carreras 150 - 153A y Carrera 148 entre calles 14 - 145.
3. Diseño de rehabilitación de las vías ubicadas dentro del límite de intervención de las estaciones y diseño de andenes.
4. Mantenimiento de las vías que se vean afectadas por el plan de manejo de desvíos.

A continuación se presenta un breve resumen de las vías a intervenir. Las recomendaciones realizadas en capítulos posteriores, son con base en información de referencia y resultados de las capas superficiales de las perforaciones ejecutadas en el presente estudio.

### 10.7.2.1. Descripción Zonas de Intervención

#### 10.7.2.1.1. Límites de intervención de las estaciones

De acuerdo con la ET 08 - Urbanismo y paisajismo, el límite de intervención “alrededor de las estaciones el diseño de espacio público y paisajismo debe contemplar un radio de 150 m, sin que, en ningún caso, sea inferior a una manzana alrededor de la misma.”

Por lo anterior, a partir de la implantación de las estaciones de la L2MB sobre las caras exteriores de la estación se proyecta un área de 150 metros y se correlaciona con la estructura urbana de la ciudad existente de acuerdo a lo definido en la ET-08, sin que en ningún caso sea inferior a una manzana alrededor de la misma. La Figura 16 ejemplifica lo mencionado anteriormente.

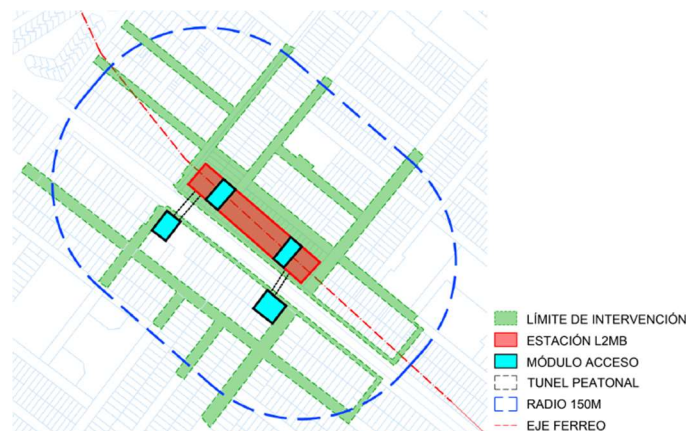


Figura 16. Ejemplo del límite de intervención según ET08 - Urbanismo y paisajismo

Como se menciona en el documento 10.5 Urbanismo y Paisajismo, se proyectan intervenciones de dos tipos:

- Intervenciones de mejoramiento del espacio público cuando se busca continuar con el funcionamiento actual de la vía, conservando el número de carriles vehiculares existentes, regularizando el ancho efectivo de los

carriles vehiculares a 3 metros (de acuerdo con el Decreto 555, Artículo 155. Anchos de referencia para las franjas funcionales de las calles del espacio público para la movilidad.), favoreciendo el ancho útil de otras franjas del espacio público como lo es la franja de circulación peatonal, dotándola de elementos que permitan cumplir con los principios de la accesibilidad universal.

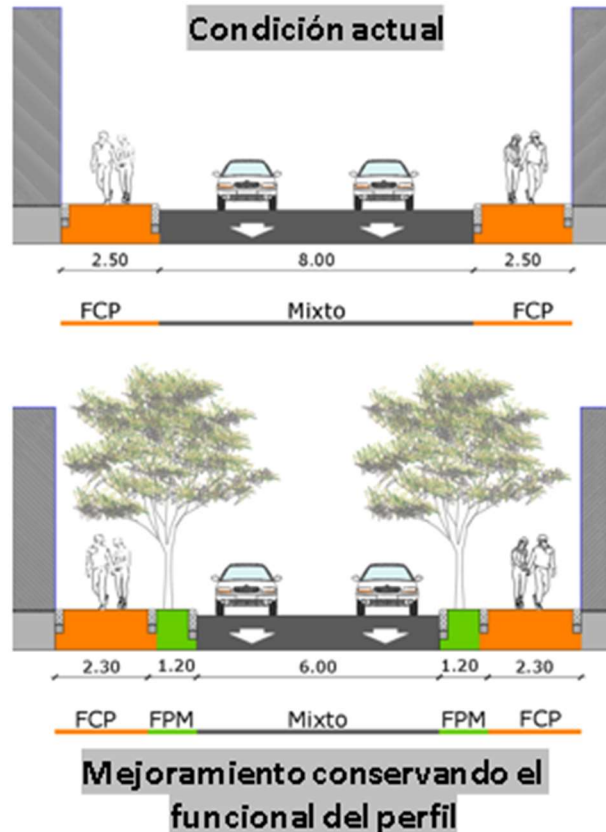


Figura 17. Ejemplo de Intervención de mejoramiento en sección transversal  
Fuente:Elaboración propia

- Se proyecta una reconfiguración de tipo de calle cuando el diagnóstico concluya que el tramo a intervenir le favorece cambiar su funcionamiento, ya sea porque esto permite potenciar la intermodalidad o por la cercanía de equipamientos que generan grandes volúmenes peatonales. La reconfiguración de tipo de calle se manifiesta en la disminución del ancho útil de alguna franja funcional favoreciendo el ancho útil de otras franjas funcionales, o simplemente en la implantación de nuevas franjas funcionales como la inclusión de las franjas ciclo-infraestructura o de paisajismo. Ejemplos de reconfiguración de tipo de calle pueden ser la peatonalización o la pacificación del tránsito vehicular de un tramo en particular, la reducción de carriles vehiculares para el favorecimiento de la franja de circulación peatonal o la incorporación de franjas de ciclo-infraestructura o de paisajismo y calidad.

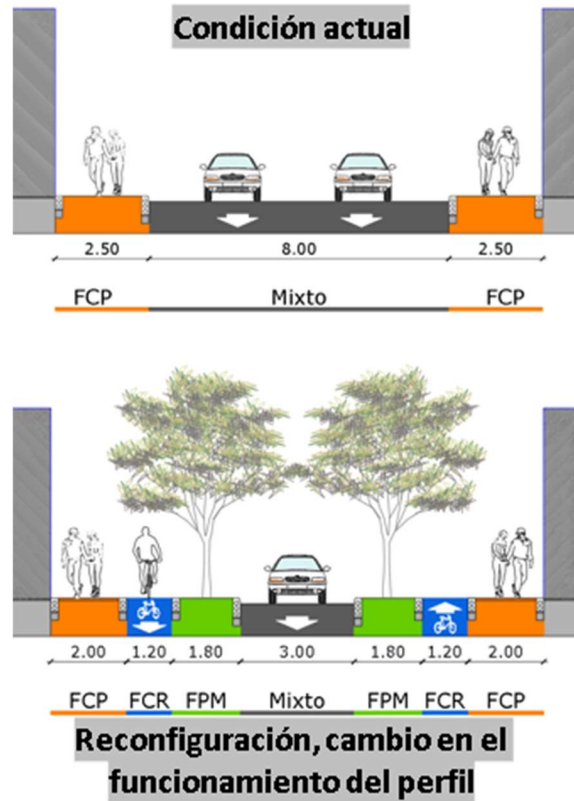


Figura 18. Ejemplo de Reconfiguración de tipo de calle en sección transversal  
Fuente: Elaboración propia

A continuación se describe la intervención prevista en las vías aledañas a las estaciones del proyecto:

- Estación 1: Esta estación es un punto de conexión de la L2MB con la Primera Línea de Metro de Bogotá y el Corredor Verde de alta capacidad de la Cra 7ma en el cual se localizan estaciones para el tránsito BRT. En todas las vías aledañas a la estación se definió realizar un mejoramiento de la sección vial.



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

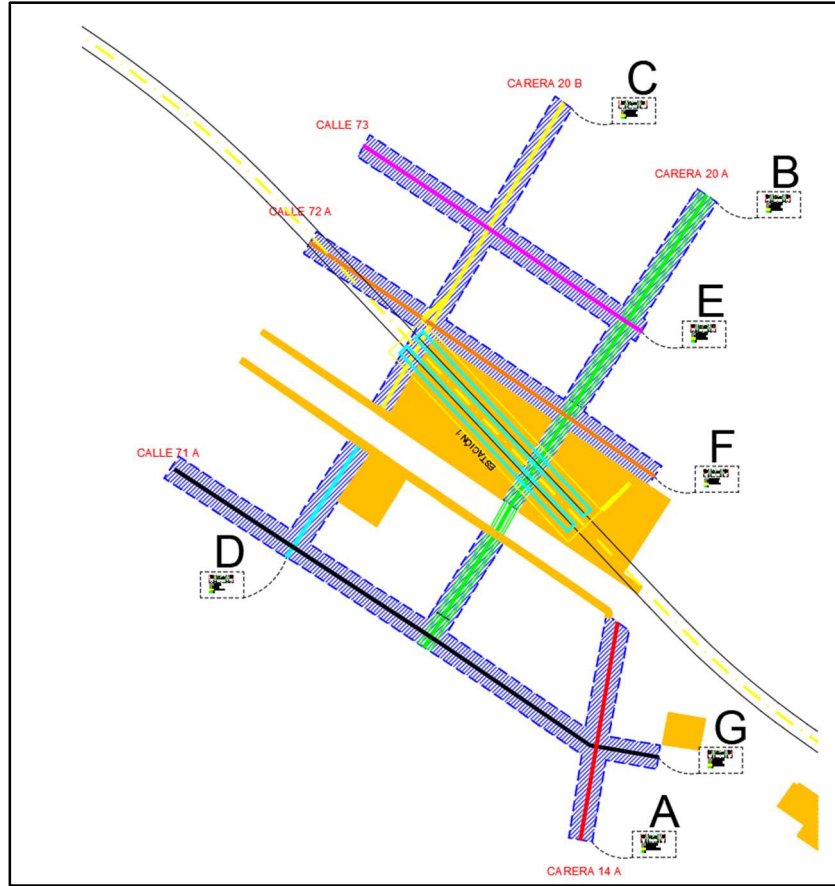


Figura 19. Intervención Estación 1






Tabla 7. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 1

| EJE | SECCIÓN ACTUAL | ESTADO ACTUAL  |
|-----|----------------|--|
| A   |                | <p>Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales y se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p> |



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL  |
|-----|---|--|
| B   |    | <p>Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales y se encuentra en pavimento flexible en regulares condiciones. Se observa un espacio deteriorado.</p> |
| C   |    | <p>Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales y se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones. Se observa un espacio deteriorado.</p>    |
| D   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales y se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p>                                       |
| E   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales y se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p>                                       |
| F   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales y se encuentra en pavimento flexible en malas condiciones, con presencia de baches.</p>               |

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

- Estación 2: Esta estación se encuentra en la Calle 72 cerca a la Av. Ciudad de Quito o Carrera 30. En las vías ubicadas alrededor de la estación, se propone un mejoramiento de la sección vial.

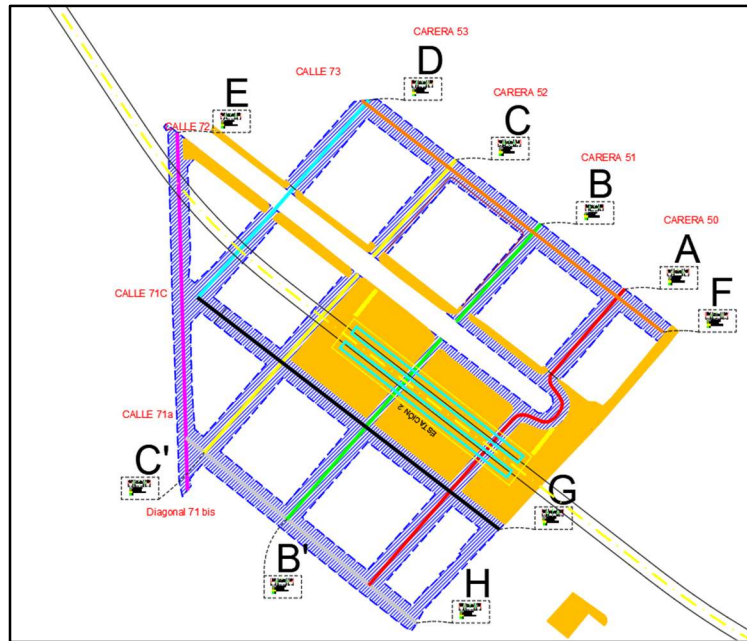




Figura 20. Intervención Estación 2

Tabla 8. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 2

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL   |
|-----|---|---|
| A   |  | Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales y andenes en ambos costados de la vía. Se encuentra en pavimento flexible en adecuadas condiciones. |

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL  |
|-----|---|--|
| B   |    | Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales y andenes en ambos costados de la vía. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.                         |
| C   |    | Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales y andenes en ambos costados de la vía. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.                         |
| D   |   | Esta vía cuenta con dos carriles bidireccionales y andenes en malas condiciones, en ambos costados de la vía. Se encuentra en pavimento flexible en regulares condiciones. |
| E   |  | Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales. Se encuentra en pavimento flexible en malas condiciones, con presencia de fisuras tipo piel de cocodrilo.               |
| F   |  | Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales y andenes en ambos costados de la vía. Se encuentra en pavimento flexible en malas condiciones, con presencia de baches. |



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL  |
|-----|---|--|
| G   |  | Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales y andenes en ambos costados de la vía. Se encuentra en pavimento flexible en regulares condiciones, con presencia de parcheos. |

- Estación 3: Esta estación deberá garantizar la intermodalidad con la futura troncal de la Cra 68, se deberá prever el espacio público que permita la continuidad de los flujos peatonales y de la ciclorruta planteada por la Cra 68 permitiendo así la intermodalidad de los diferentes sistemas. En las vías alrededor de la estación, se propone el mejoramiento de la sección vial actual.

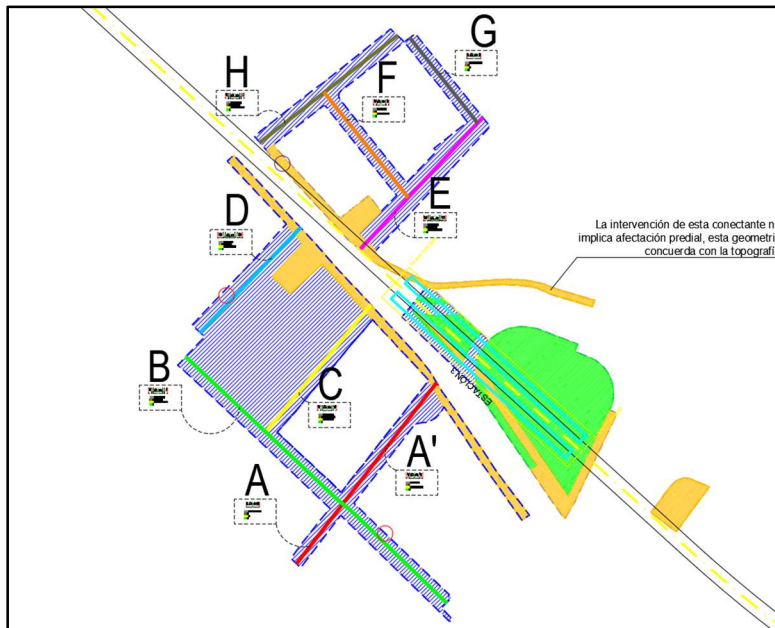







Figura 21. Intervención Estación 3

Tabla 9. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 3

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL   |
|-----|---|---|
| A   |  | Esta vía cuenta con dos carriles bidireccionales. Se encuentra en pavimento flexible en regulares condiciones con desgaste en la carpeta asfáltica. |


REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL  |
|-----|---|--|
| B   |    | <p>Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p>  |
| C   |    | <p>Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales. Se encuentra en pavimento flexible en regulares condiciones, con presencia de fisuras tipo piel de cocodrilo ubicadas sobre una reparación tipo parcheo.</p> |
| D   |   | <p>Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p>  |
| E   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales. Se encuentra en pavimento flexible en regulares condiciones, con grietas tipo piel de cocodrilo.</p>   |
| F   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales. Se encuentra en pavimento flexible en regulares condiciones, con grietas tipo piel de cocodrilo.</p>   |

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL  |
|-----|---|--|
| G   |  | Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales. Se encuentra en pavimento flexible en malas condiciones, con pérdida parcial de la carpeta asfáltica. |
| H   |  | Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.   |

- Estación 4: De acuerdo al Decreto 555 de 2021 POT del Distrito Capital, se proyecta la construcción de la L4MB por la Av Boyacá por lo tanto se deberá prever en el diseño de espacio público una futura conexión con dicha línea, así como con los bicusuarios que llegarán por la ciclorruta de la Av Boyacá. En las vías aledañas a la estación se propone mejorar la sección vial, a excepción de las vías A', B y C, en las cuales se plantea una reconfiguración del tipo de calle.

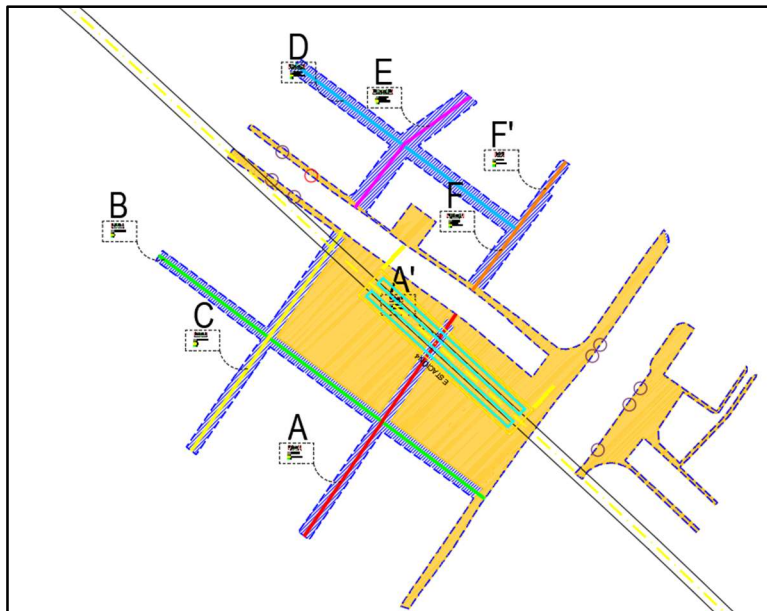



Figura 22. Intervención Estación 4



Tabla 10. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 4

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL  |
|-----|---|--|
| A   |    | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p> |
| B   |    | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p> |
| C   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p> |
| D   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p> |

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL   |
|-----|---|---|
| E   |  | Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en condición regular con algunos baches y daños por humedad. |
| F   |  | Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.                                       |

- Estación 5: De acuerdo al Decreto 555 de 2021 POT del Distrito Capital, se proyecta la construcción del corredor verde de alta capacidad (Troncal Transmilenio Av Ciudad de Cali) por tal motivo se deberá prever en el diseño de espacio público la continuidad de los flujos peatonales. En todas las vías aledañas a esta estación, se prevé realizar mejoramiento de la sección vial.

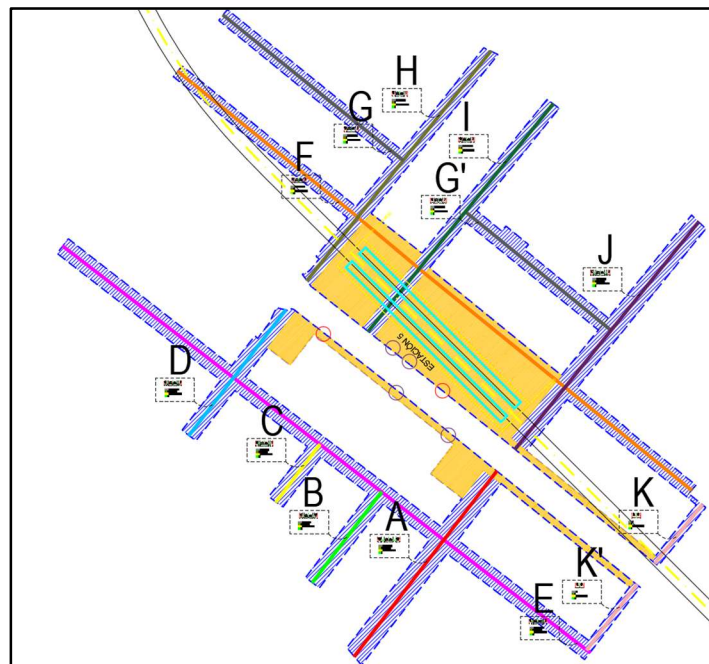







Figura 23. Intervención Estación 5  
 Tabla 11. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 5



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL   |
|-----|---|---|
| A   |    | <p>Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p>   |
| B   |    | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en condiciones regulares. Se presentan fisuras de borde y de junta de construcción.</p>             |
| C   |   | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p>  |
| D   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p>  |
| E   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en condiciones regulares. Se observa pulimiento y pérdida de agregados de la carpeta asfáltica.</p> |

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL   |
|-----|---|---|
| F   |    | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p>  |
| G   |   | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p>  |
| H   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p>  |
| I   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible con presencia de fisuras tipo piel de cocodrilo causada por fatiga.</p> |

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL   |
|-----|---|---|
| J   |  | Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en condiciones buenas a regulares. |

- Estación 6: De acuerdo al Decreto 555 de 2021 POT del Distrito Capital, se proyecta la construcción del corredor verde de alta capacidad (Troncal Transmilenio Av Ciudad de Cali) la cual permitirá la intermodalidad con el sistema BRT así como con la troncal de la Cll 80, por tal motivo desde el diseño de espacio público se preverán los espacios que garanticen la intermodalidad, continuidad y mejoramiento de las franjas peatonales y de biciusuarios. En las vías A, D, E, y G, se propone realizar mejoramiento de la sección vial y en los ejes B, C y F, reconfiguración de la vía.

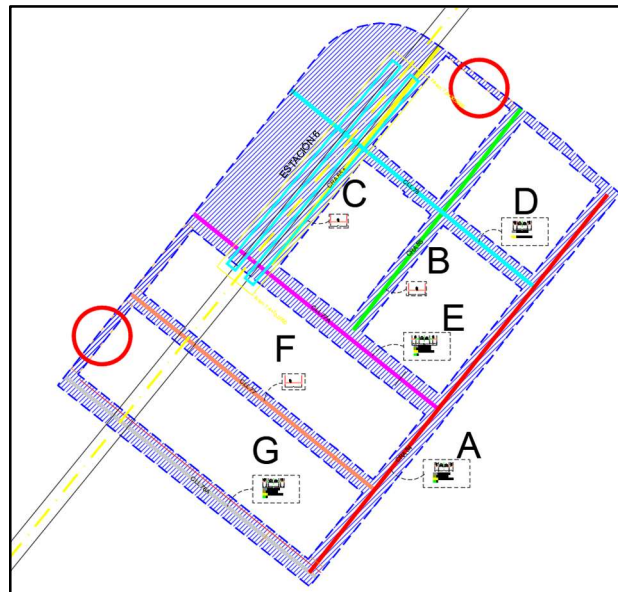







Figura 24. Intervención Estación 6

Tabla 12. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 6





REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL  |
|-----|---|--|
| A   |    | Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.   |
| B   |    | Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.   |
| C   |   | Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales. Se encuentra en pavimento flexible en condiciones regulares. Se observa desprendimiento de agregados, pérdida de la carpeta asfáltica y algunos baches. |
| D   |  | Esta vía cuenta con dos carriles unidireccionales. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.   |
| E   |  | Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.  |

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL   |
|-----|---|---|
| F   |  | Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en condiciones buenas a regulares. |
| G   |  | Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones              |

- Estación 7: De acuerdo al Decreto 555 de 2021 POT del Distrito Capital, no se plantean proyectos de movilidad que se relacionen directamente con la L2MB. Por lo tanto el diseño de espacio público garantizara las conexiones peatonales, viales y de biciusuarios con la infraestructura existente cumpliendo con los tipos de calles según apliquen. En todas las vías aledañas se propone mejoramiento de la sección vial, a excepción de las vías C, H e I.

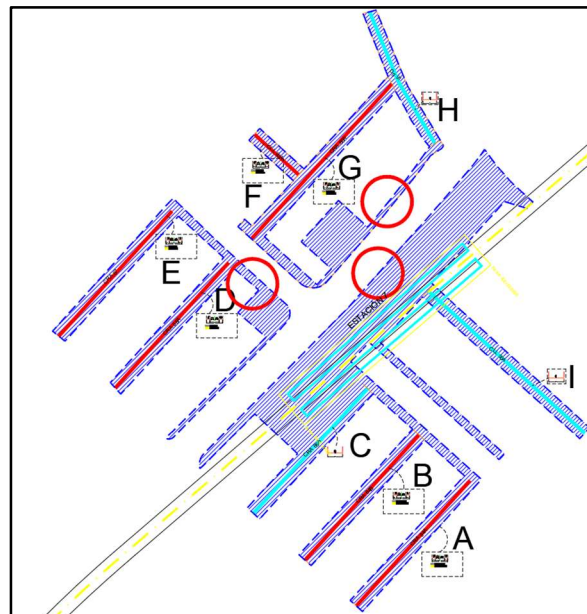






Figura 25. Intervención Estación 7

Tabla 13. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 7







REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL  |
|-----|---|--|
| A   |    | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p> |
| B   |   | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p> |
| C   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p> |
| D   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p> |

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL   |
|-----|---|---|
| E   |    | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible. Se observa desprendimiento de la carpeta asfáltica y algunas fisuras longitudinales.</p> |
| F   |   | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p>  |
| G   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en buenas condiciones.</p>  |
| H   |  | <p>Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible. Se observan fisuras del tipo piel de cocodrilo causadas por fatiga.</p>                  |

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL   |
|-----|---|---|
| I   |  | Esta vía cuenta con dos carriles. Se encuentra en pavimento flexible en condiciones buenas a regulares. |

- Estación 8: De acuerdo al Decreto 555 de 2021 POT del Distrito Capital, no se plantean proyectos de movilidad que se relacionen directamente con la L2MB. Por lo tanto el diseño de espacio público garantizará las conexiones peatonales, viales y de bicisuarios con la infraestructura existente cumpliendo con los tipos de calles según apliquen. En todas las vías aledañas a esta estación se propone realizar la reconfiguración de la sección vial.

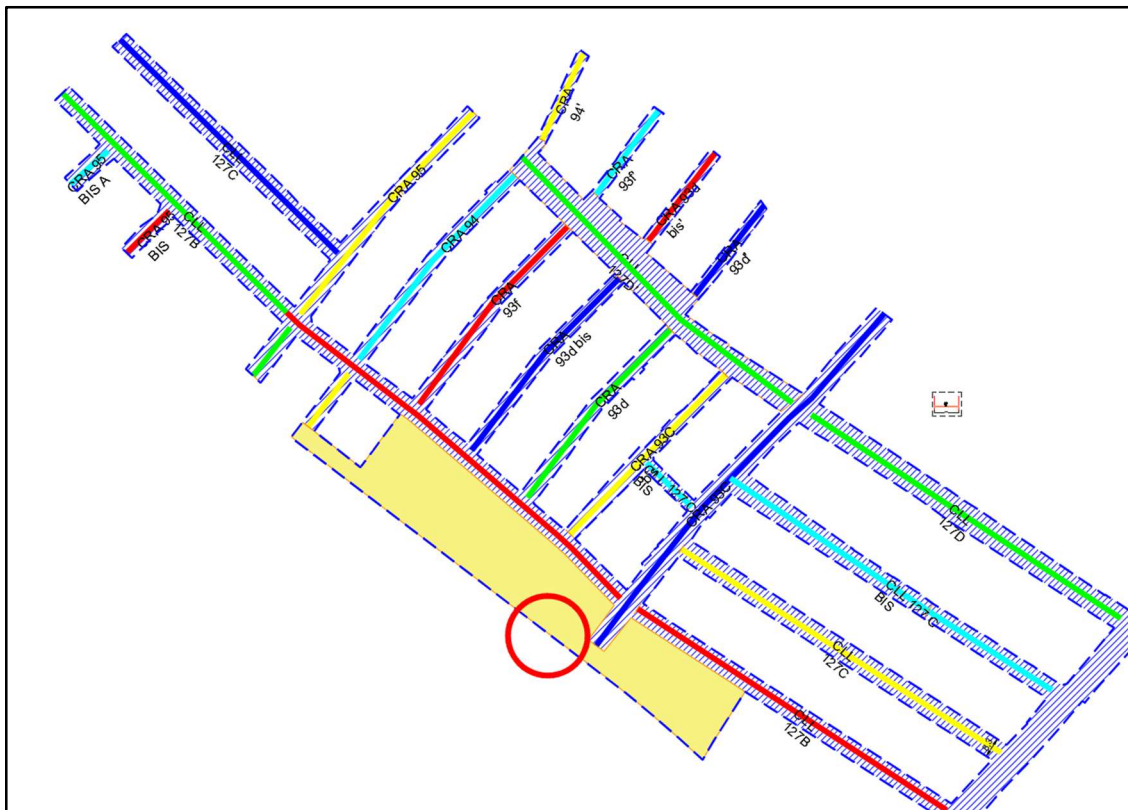







Figura 26. Intervención Estación 8

Tabla 14. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 8

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE           | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL   |
|---------------|---|---|
| CLL 127B      |    | Vía con dos carriles en pavimento rígido en buen estado.  |
| CLL 127 C     |   | Vía con un carril en adoquín en buen estado.  |
| CLL 127 C BIS |  | Vía con dos carriles en pavimento rígido en regular estado. Algunas losas presentan desportillamiento con pérdida de bloques. |
| CRA 93 C      |  | Vía con dos carriles en pavimento rígido en buen estado.  |
| CRA 93 D BIS  |  | Vía con un carril en pavimento rígido en buen estado.   |



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE         | SECCIÓN ACTUAL   | ESTADO ACTUAL  |
|-------------|--|--|
| CRA 94      |   | Vía con un carril en pavimento flexible en regular estado. Se observan algunas fisuras longitudinales y transversales. |
| CRA 93<br>F |  | Vía en un carril con pavimento flexible en buen estado.  |

- Estación 9: De acuerdo al Decreto 555 de 2021 POT del Distrito Capital, no se plantean proyectos de movilidad que se relacionen directamente con la L2MB. Por lo tanto el diseño de espacio público garantizará las conexiones peatonales, viales y de bicisuarios con la infraestructura existente cumpliendo con los tipos de calles según apliquen. En todas las vías aledañas a esta estación, se prevé realizar una reconfiguración de la sección vial, a excepción de los ejes B,D y E, en las cuales se propone mejoramiento de la vía.



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

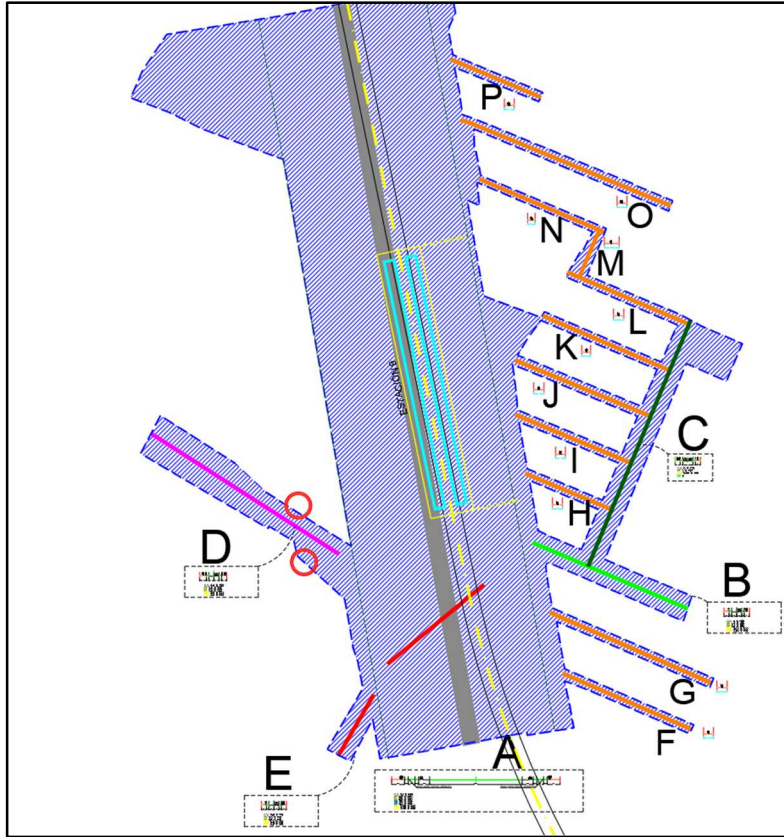






Figura 27. Intervención Estación 9

Tabla 15. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 9

| EJE | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL   |
|-----|---|---|
| B   |  | Esta vía tiene una calzada con dos carriles en pavimento flexible. Se observan desprendimientos de la carpeta asfáltica y baches. |

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE       | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL  |
|-----------|---|--|
| C         |    | Vía bidireccional en pavimento flexible. La carpeta asfáltica se encuentra en un estado  |
| D         |    | Vía bidireccional con dos tipos de pavimento. En cercanías a la estación prevista cuenta con un tramo en materiales granulares y posteriormente en pavimento rígido. Se observa que las losas de concreto presentan grietas en bloque. |
| H-I-J-K-L |   | Vía con un carril en pavimento rígido en buen estado.  |
| M-N       |  | Estos ejes son vías peatonales en adoquín.   |

- Estación 10: Las vías aledañas a esta estación son en su mayoría vías peatonales en las cuales se tiene previsto mejorar la sección vial (ejes C, D, E, F, G, H, I, J y K), mantenidas peatonales, pero mejorando el espacio público. El eje A, es una vía nueva que tendrá dos calzadas bidireccionales y el eje B, es una vía existente en la cual se propone un mejoramiento de la sección vial.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

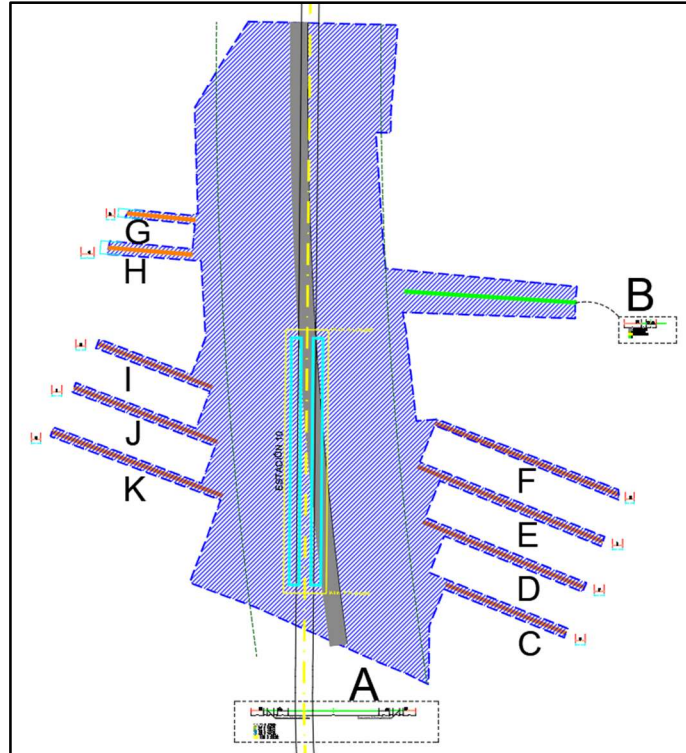



Figura 28. Intervención Estación 10

Tabla 16. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 10

| EJE     | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL   |
|---------|---|---|
| B       |  | Esta vía tiene una calzada con dos carriles en pavimento flexible. Se observan algunas fisuras longitudinales a lo largo de la vía. |
| C-D-E-F |  | Estos ejes son vías peatonales en adoquín o losetas de concreto.  |

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE   | SECCIÓN ACTUAL  | ESTADO ACTUAL   |
|-------|---|---|
| I-J-K |  | <p>Estos ejes son vías peatonales en adoquín o losetas de concreto.</p> |

- Estación 11: Las vías a intervenir alrededor de la estación 11 se encuentran en pavimento flexible a excepción de la Calle 145a, la cual se encuentra en pavimento rígido. Todas las vías tienen previsto un mejoramiento en la sección, menos la sección G y G', en la cual se propone realizar una reconfiguración vial a una vía de dos calzadas, cada calzada con dos carriles unidireccionales.

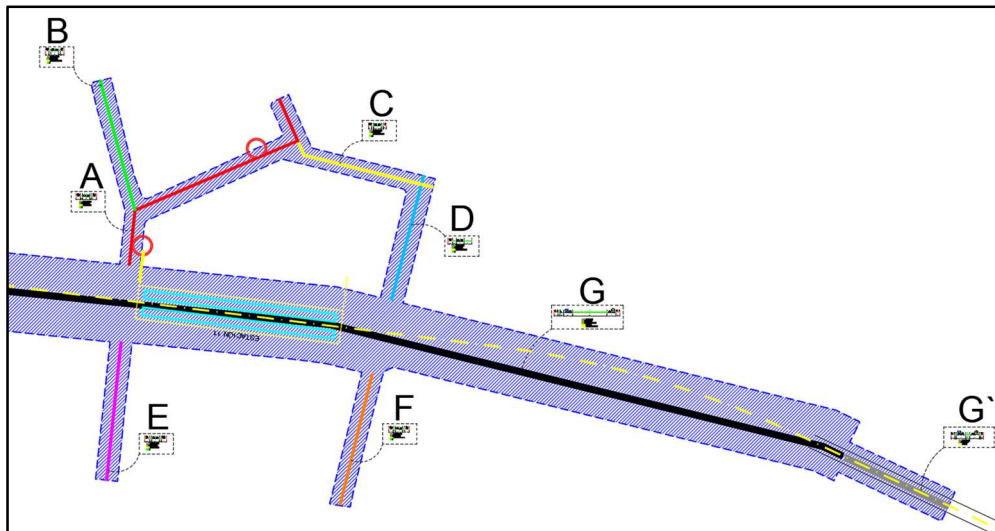






Figura 29. Intervención Estación 11

Tabla 17. Descripción Estado Actual - Vías a intervenir Estación 11



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO


E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL   | ESTADO ACTUAL   |
|-----|--|---|
| A   |  <p data-bbox="493 722 727 747">Calle 145 a Carrera 145</p>     | <p data-bbox="906 506 1404 674">Esta vía tiene 3 tipos de pavimentos. Junto al eje C, tiene un tramo en granulares, posteriormente tiene un tramo en pavimento rígido, seguido por un pavimento flexible en la zona en donde se une al eje B.</p> |
| B   |  <p data-bbox="493 1033 727 1058">Carrera 145 Calle 145 a</p>  | <p data-bbox="906 863 1404 961">Vía bidireccional en pavimento flexible en condiciones de regulares a buenas, con presencia de algunos huecos.</p>  |
| C   |   | <p data-bbox="935 1178 1375 1245">Actualmente esta vía se encuentra a nivel de materiales granulares.</p>   |
| E   |  <p data-bbox="493 1621 727 1646">Carrera 145 Calle 144 c</p> | <p data-bbox="919 1457 1393 1556">Vía bidireccional en pavimento flexible en condiciones de regulares a buenas, con algunos parches.</p>  |



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| EJE | SECCIÓN ACTUAL   | ESTADO ACTUAL  |
|-----|--|--|
| F   |  <p>Carrera 141 b Calle 144 c</p> | Vía bidireccional en pavimento flexible en buenas condiciones. |

En la Tabla 18 se presenta el resumen de la intervención para cada una de las vías aledañas a las estaciones del proyecto.

Tabla 18. Resumen Tipo de Intervención

| Estación | Calles y Nomenclatura vial   | Tipo de Intervención |
|----------|--|----------------------|
| 1        | A (Cr. 14a)<br>B (Cr. 20a)<br>C (Cr. 20b)<br>D (Cr. 20b)<br>E (Cll. 73)<br>F (Cll. 72a)<br>G (Cll.71a).  | Mejoramiento         |
| 2        | A (Cr. 50)<br>B (Cr. 51)<br>B' (Cr. 51)<br>C (Cr. 52)<br>C' (Cr. 52)<br>D (Cr. 53)<br>E (Dg.71 bis)<br>F (Cll. 73)<br>G (Cll. 71c)<br>H (Cll. 71b) | Mejoramiento         |
| 3        | A (Cr. 68b)<br>A' (Cr. 68b)<br>B (Cll. 71)<br>C (Cr. 68b bis)<br>D (Cr. 68f)<br>E (Cr. 68c)<br>F(Cll. 74a)<br>G (Cll. 73 bis)<br>H (Cr. 68g)       | Mejoramiento         |

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| Estación | Calles y Nomenclatura vial   | Tipo de Intervención             |
|----------|--|----------------------------------|
| 4        | A (Cil. 72a)<br>D (Cil. 72a)<br>E (Cr. 73a)<br>F (Cr. 72a)<br>F'(Cr. 72a)  | Mejoramiento                     |
|          | A' (Cr. 72a)<br>B (Cil. 71a)<br>C (Cr. 73a)  | Reconfiguración de tipo de calle |
| 5        | A (Cr. 80)<br>B (Cr. 80a)<br>C (Cr. 81)<br>D (Cr. 81a)<br>E (Cil. 71b)<br>F (Cil. 72a)<br>G (Cil. 72b)<br>G' (Cil. 72b)<br>H (Cr. 81a)<br>I (Cr. 80c)<br>J (Cr. 80)<br>K (Cr. 78)<br>k' (Cr. 78) | Mejoramiento                     |
| 6        | A (Cr.84)<br>D (Cil. 78)<br>E (Cil. 77a)<br>G (Cil. 76a)   | Mejoramiento                     |
|          | B (Cr. 85)<br>C (Cr. 85a)<br>F (Cil. 77)   | Reconfiguración de tipo de calle |
| 7        | A (Cr. 84a)<br>B (Cr. 84b)<br>D (Cr. 86a)<br>E (Cr. 87)<br>F (Cil. 90a)<br>G (Cr. 86a)   | Mejoramiento                     |
|          | C (Cr. 85a)<br>H (Dg. 91)<br>I (Cil. 90a)  | Reconfiguración de tipo de calle |
| 8        | Cil 127b, Cil 127c, Cil 127c bis, Cil 127d, Cr. 93c bis, Cr. 93d, Cr. 93d bis,   | Reconfiguración de tipo de calle |

| Estación | Calles y Nomenclatura vial  | Tipo de Intervención             |
|----------|---|----------------------------------|
|          | Cr. 93f, Cr. 94, Cr.95, Cr.127b, CII 127, Cr. 95 bis, Cr. 95 bis A, Cr. 94, Cr. 95, Cr. 93d, Cr. 93d bis, Cr. 93f, Cr. 94,  |                                  |
| 9        | B (CII. 129d)<br>D (CII. 129d)<br>E (Cr. 119d)  | Mejoramiento                     |
|          | A (ALO)<br>C (Cr.106)<br>F (CII. 129c)<br>G (CII. 129c bis)<br>H (CII. 129f)<br>I (CII. 130)<br>J (CII. 130a)<br>K (CII. 130b)<br>L (CII. 130c)<br>M (Carrera 107a)<br>N (Calle 130c bis)<br>O (Calle 130d)<br>P (Calle 130d bis) | Reconfiguración de tipo de calle |
| 10       | B (CII. 142)  | Mejoramiento                     |
|          | A (ALO)<br>C (CII. 139a)<br>D (CII. 139b)<br>E (CII. 139c)<br>F (CII. 140)<br>G (N.A.)<br>H (N.A.)<br>I (CII. 140)<br>J (CII. 139c)<br>K (CII. 139b)  | Reconfiguración de tipo de calle |
| 11       | A (CII 145)<br>B (CII 145)<br>C (CII 145a)<br>D (Cr. 141b)<br>E (Cr. 145)<br>F(Cr. 141b)<br>G (CII. 145 - Desde Cr. 136 al occidente)<br>G' (CII 145 - Desde Cr.136 al Oriente)   | Mejoramiento                     |

Fuente: Elaboración propia

#### 10.7.2.1.2. Prolongación de la Calle 145, Calle 146, Calle 144, Carrera 136A

La prolongación de la calle 145 es una vía en doble calzada de aproximadamente 1 km de longitud, se desprende de la carrera 136A donde actualmente llega la calle 145 existente y va hasta la carrera 147 en la zona del Patio Taller. A la altura de la estación 11 costado oriental las calzadas se abren conformando un separador de 27 m para darle paso a la estación, al pasar el costado occidental de la estación 11 las calzadas se unen nuevamente quedando dentro de la franja de reserva, y a la altura de la carrera 147 se planea diseñar un retorno sentido oriente - oriente. En la Fotografía 1 se presenta el estado actual de la prolongación de esta vía.



Fotografía 1. Vista General Alineamiento Calle 145

La prolongación de la calle 146 es una vía de aproximadamente 480 m que va de la carrera 136D a la diagonal 147 y se diseña con el fin de dar continuidad a la red vial local existente para poder acceder al Patio Taller por la calle 146 a la altura de la diagonal 151. En la Fotografía 2 se presenta el estado actual de la prolongación de esta vía.



Fotografía 2. Vista General Alineamiento Calle 146

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

El tramo vial entre calle 144 entre carreras 150 - 153A y carrera 148 entre calles 14 - 145 con una longitud aproximada de 600 metros se diseña con el fin de dar continuidad a la red vial local existente y poder acceder al Patio Taller por el costado sur.

El tramo vial de la carrera 136A es una vía de aproximadamente 200 m que se diseña con el objetivo de reparar la red vial local existente.

Estas vías suman en total una longitud de 2.28.8 km y actualmente se encuentran en granulares. Dentro de las intervenciones se incluye la reconfiguración de la vía, a vías con dos calzadas, cada una con dos carriles de 3 m, para un ancho total de 7.0 m por calzada. Así mismo, se prevé un andén con un ancho de 4 m en ambos costados de la calzada y una cicloruta de 3 m de ancho en un solo costado.

En la Figura 30 se presenta el esquema de la prolongación de las vías descritas anteriormente.



Figura 30. Implantación Vías nuevas

#### 10.7.2.1.3. Desvíos de tráfico (PMT)

Teniendo en cuenta los cierres previstos para la construcción de las estaciones del proyecto, se prevé la necesidad de emplear las siguientes vías de desvío. Es importante aclarar que para las estaciones N° 4, 5, 8, 9 y 10, no se espera tener la necesidad de implementar vías de desvío, ya que por la ubicación de las estaciones (separador o viviendas existentes), no se espera afectar la movilidad; sin embargo, se dejó una longitud prevista (Ver Tabla 19), teniendo en cuenta que estos desvíos se encuentran en proceso de definición.

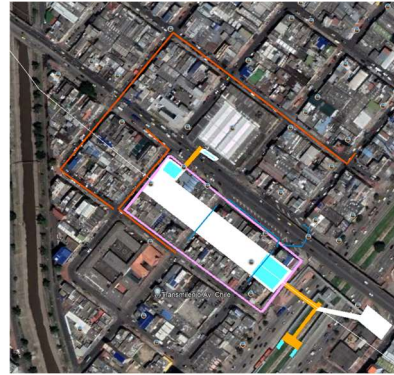


REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC



Estación 1



Estación 2



Estación 3



Estación 6 y 7



Estación 11

Figura 31. Vías de desvío por Estación

Es importante aclarar, que las vías de desvío y longitudes presentadas, podrán tener ajustes en etapas posteriores, de acuerdo a la necesidad del proyecto.

Tabla 19. Longitud Estimada Vías de desvío

| ESTACIÓN    | Longitud (Km) PMT Y DESVÍOS |
|-------------|-----------------------------|
| Estación 1  | 2,0                         |
| Estación 2  | 2,4                         |
| Estación 3  | 5,4                         |
| Estación 4  | 1,1                         |
| Estación 5  | 1,2                         |
| Estación 6  | 2,1                         |
| Estación 7  | 7,5                         |
| Estación 8  | 1,6                         |
| Estación 9  | 1,5                         |
| Estación 10 | 1,5                         |
| Estación 11 | 1,1                         |

#### 10.7.2.2. Criterios y Metodologías para el pre diseño de pavimentos

A continuación se describe la metodología empleada para el prediseño del pavimento de las vías a intervenir en el proyecto. El prediseño del pavimento de estas vías está enfocado como un pavimento nuevo.

##### 10.7.2.2.1 Caracterización de la Subrasante

Para la caracterización de la subrasante del corredor vial en estudio, se emplearon los resultados de laboratorio de Humedad Natural, Límites de Atterberg y ensayos de CBR Inalterado, obtenidos a profundidades máximas de 2,0m, tanto de exploraciones ejecutadas en el presente estudio, como información de referencia (Proyecto Av. Ciudad de Cali y ALO). De los ensayos de campo se utilizaron para la caracterización los valores de SPT obtenidos a profundidades máximas de 2,0m.

En el Anexo 10.7.2, se presenta el cuadro resumen de la caracterización de la subrasante.

Los parámetros de resistencia de la subrasante se evaluaron en términos de CBR en condición natural, los cuales se obtuvieron a partir de las siguientes correlaciones en función de ensayos de granulometría y SPT.

- A partir de los ensayos de clasificación, se empleó la siguiente correlación extraída de la AASHTO 2002.

$$CBR = \frac{75}{1 + 0.728 * IP * \%Finos}$$

- A partir de los ensayos de SPT
  - ❖ Suelos Cohesivos con SPT entre 0-15

$$CBR = 0.026 * SPT^2 + 0.298 * SPT - 0.38$$

- ❖ Suelos Cohesivos con SPT >15

$$CBR = 3.9474 * SPT - 48.42$$

- ❖ Andalucía

$$CBR = 0.7561^{0.185 * SPT}$$

Finalmente, con esta información se obtuvo el módulo resiliente para la subrasante aplicando la siguiente correlación presentada en la Guía Metodológica del INVIAS:

$$MR \left( \frac{kg}{cm^2} \right) = 130 * CBR^{0.714}$$

En caso de requerirse, para los casos en los cuales el valor del CBR de diseño es menor al 2.5%, se considera necesario realizar un mejoramiento de la subrasante, el cual se dimensiona a partir de la metodología de IVANOV. La metodología de IVANOV permite determinar un módulo equivalente en función de los módulos de la subrasante y el material de mejoramiento. A continuación se presentan las ecuaciones utilizadas por la metodología descrita.

$$E_q = \frac{E_s}{1 - \frac{2}{\pi} \left[ 1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right] \arctan \left[ n \frac{hm}{2a} \right]}$$

$$n = \left[ \frac{E_m}{E_s} \right]^{2.5}$$

Donde:

a: Radio de la huella en mm, que para este caso se asumió de 15.22 cm

Es: Módulo de la subrasante (kg/cm<sup>2</sup>)

Em: Módulo del material de mejoramiento (kg/cm<sup>2</sup>)

hm: Espesor de reemplazo (cm)

Eq: Módulo combinado (kg/cm<sup>2</sup>)

Los módulos de los materiales de las capas de fundación se determinan a partir de correlaciones con el ensayo de CBR, a partir de las siguientes expresiones:

$$E_s = 130 * CBR^{0.714}$$

$$E_m = \frac{4326 * \ln(CBR + 241)}{14.22}$$

### 10.7.2.2.1 Diseño Pavimento Flexible

Para el pre diseño de pavimentos de la prolongación de la Calle 145, Calle 146, Calle 144 y las vías que se verán afectadas por la construcción de las estaciones, se empleó la metodología AASHTO. La ecuación utilizada para el diseño de los espesores de la estructuras es:

$$\text{Log}(N) = ZR * S_0 + 9.36\text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \left( \frac{\text{Log}(\Delta\text{PSI}/4.2-1.5)}{0.4(1094/(SN+1))^{5.19}} \right) + 2.32\text{Log}(M_r) - 8.07$$

Ecuación 1.

Donde:

N=Número de ejes equivalentes de 8,2 t.

ZR=Desviación estándar normal = -1.645 que corresponde a una confiabilidad del 95%.

S<sub>0</sub>=Error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento = La guía de diseño de la AASHTO en el Numeral 4.3 “Criterios para la selección de la desviación estándar”, establece que el valor de desviación estándar del tráfico (s<sub>0</sub>) depende de la certeza en la variación del tránsito futuro. Para este estudio se adoptó un valor de 0.45 que corresponde al promedio de los valores típicos para un pavimento flexible (0.4-0.5).

ΔPSI=Diferencia entre el índice de servicio inicial (P<sub>0</sub>) y el final (P<sub>t</sub>). = 4,2 – 2,5

M<sub>r</sub>=Módulo Resiliente de la subrasante. En el siguiente capítulo se presenta la estimación del módulo resiliente.

SN=Número estructural

Ecuación 2.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

Siendo:

a<sub>i</sub>=Coeficiente estructural de la capa i.

d<sub>i</sub>=Espesor de la capa i en pulgadas.

m<sub>i</sub>=Coeficiente de drenaje de la capa i.

En todos los casos, el número de ejes equivalentes calculado debe ser superior a la cantidad requerida.

En cuanto a los coeficientes de aporte de los materiales se emplearon los ábacos de la AASHTO. A continuación se presentan la metodología empleada para estimar el coeficiente de los materiales empleados en los prediseños:

- Mezcla asfáltica

Inicialmente se determinó la temperatura de operación (T<sub>mix</sub>) del concreto asfáltico de la zona del proyecto. Para esto, se encontró la temperatura media mensual de Bogotá. Con esta información y utilizando la Figura 32 (Curva de ponderación de temperatura sugerida por el método de diseño SHELL) se obtuvo una temperatura media anual ponderada del aire w-MAAT de 13,5°C, tal como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Temperaturas mensuales del aire y factores de ponderación del método SHELL

| Mes | MMAT (°C) | Factor de ponderación |
|-----|-----------|-----------------------|
| ENE | 13,2      | 0,42                  |

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| <b>Mes</b>                  | <b>MMAT (°C)</b> | <b>Factor de ponderación</b> |
|-----------------------------|------------------|------------------------------|
| <b>FEB</b>                  | 13,5             | 0,45                         |
| <b>MAR</b>                  | 13,9             | 0,47                         |
| <b>ABR</b>                  | 14,0             | 0,49                         |
| <b>MAY</b>                  | 13,8             | 0,46                         |
| <b>JUN</b>                  | 13,4             | 0,43                         |
| <b>JUL</b>                  | 13,1             | 0,41                         |
| <b>AGO</b>                  | 13,1             | 0,41                         |
| <b>SEP</b>                  | 13,2             | 0,42                         |
| <b>OCT</b>                  | 13,3             | 0,42                         |
| <b>NOV</b>                  | 13,5             | 0,45                         |
| <b>DIC</b>                  | 13,4             | 0,43                         |
| Factor ponderación promedio |                  | 0,44                         |
| w-MAAT (°C)                 |                  | 13,5                         |



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

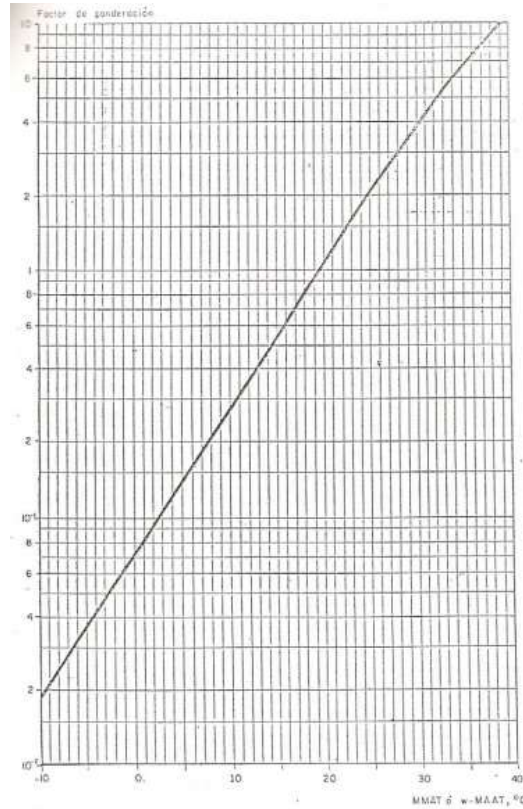


Figura 32. Curva de ponderación de temperatura  
(Fuente: Shell International Petroleum Company Limited, Shell Pavement Design Manual, London, 1978)

Conociendo la temperatura media anual ponderada del aire w-MAAT (13,5°C) y tomando un espesor promedio de la capa asfáltica de 20 cm, se empleó la Figura 33 (Gráfico RT del método Shell), obteniendo una temperatura de operación (Tmix) de 20°C en la zona del proyecto.

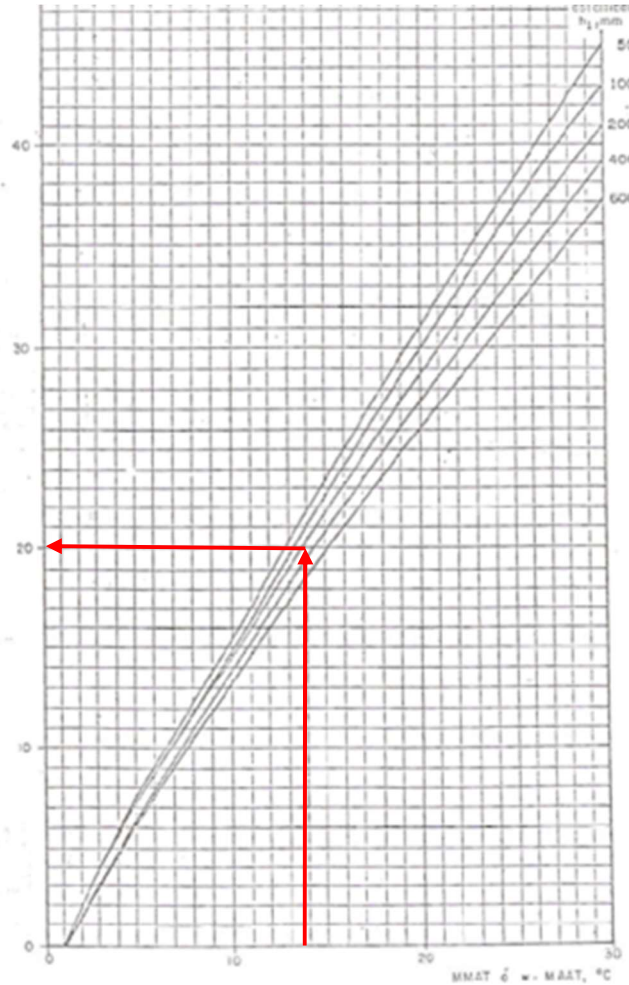


Figura 33. Relación entre temperatura efectiva de las capas asfálticas y de la mezcla.  
(Fuente: Shell International Petroleum Company Limited, Shell Pavement Design Manual, London, 1978)

Para estimar el módulo de la mezcla MD12 se tomaron como base los ensayos reportados en el proyecto de grado “Recopilación y Análisis de Ensayos de Caracterización Dinámica de Materiales Asfálticos en Colombia, 2012”, presentado por Andrés F. Acelas, documento en el cual se recopilan un buen número de ensayos realizados en el laboratorio de la Universidad de los Andes. Los módulos dinámicos se realizaron a frecuencias de 1, 4, 10, y 16 Hz, y temperaturas de 5°C, 25°C y 40°C. Con esta información se determinaron los módulos a una frecuencia de 4,77 Hz (correspondiente a una velocidad de operación de 30km/h) y 20°C (Ver Figura 34).

| Temp | MÓDULO - 4,77 Hz- (MPa) |
|------|-------------------------|
| (°C) | MD-12                   |

| Temp      | MÓDULO - 4,77 Hz- (MPa) |
|-----------|-------------------------|
| # Ensayos | 7                       |
| 5         | 8,899                   |
| 25        | 2,881                   |
| 40        | 1,075                   |
| 20        | 3,632                   |

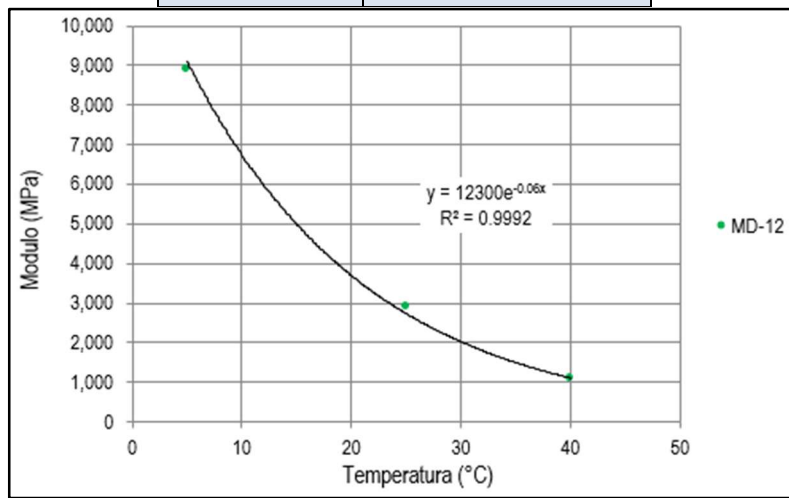


Figura 34. Módulo de mezcla tipo MD-12

Con este módulo y aplicando el ábaco de la AASHTO (ver Figura 35) , se determinó un coeficiente de aporte de 0.47.

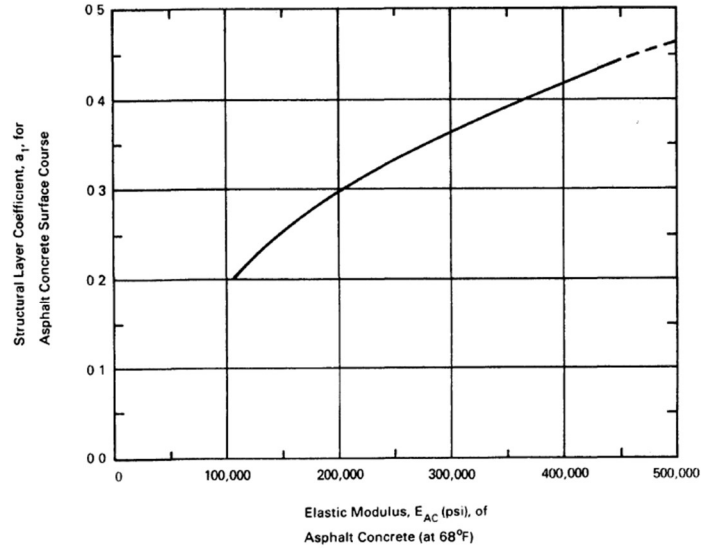


Figure 2.5. Chart for Estimating Structural Layer Coefficient of Dense-Graded Asphalt Concrete Based on the Elastic (Resilient) Modulus (3)

Figura 35. Coeficiente de aporte. Mezcla tipo MD-12

- Materiales granulares

Para estimar los módulos de las capas granulares se aplicaron las expresiones o ábacos desarrollados por la AASHTO e incluidas en "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993". Los módulos aplicados se estimaron con base en los módulos resilientes mínimos establecidos en la especificación IDU-10-18 para subbase y base granular.

Tabla 21. Módulos Capas Granulares

| Capa                       | Módulo Mínimo (MPa) |
|----------------------------|---------------------|
| Base granular - Clase A    | 100                 |
| Subbase granular - Clase A | 70                  |

Con estos módulos y aplicando los ábacos mostrados en la Figura 36, se obtuvieron coeficientes de aporte de 0.07 para bases y subbases granulares.

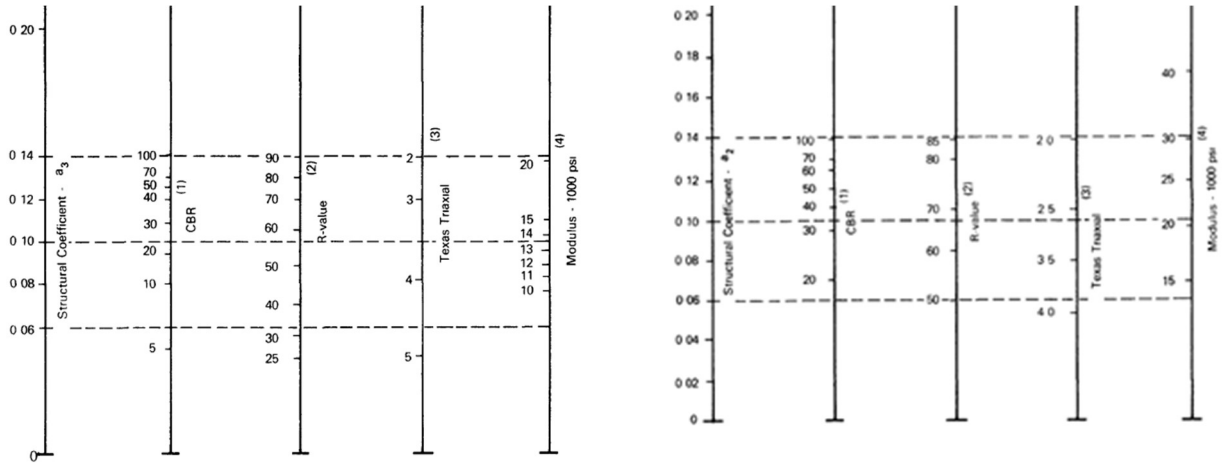


Figura 36. Parámetros Capas Granulares. a) Subbase granular b) Base granular  
(Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavements Structures, 1993)

En la Tabla 22 se presenta el resumen de los parámetros de entrada al método AASHTO 93.

Tabla 22. Parámetros de entrada al método AASHTO

| Parámetro                                | Descripción   |
|--|---|
| Serviciabilidad $\Delta$ PSI             | $\Delta$ PSI = PSI final – PSI inicial<br>= 4,2 – 2,5 = 1,7 |
| Confiabilidad R                          | 95% para un $Z_r = -1,645$                                  |
| Drenaje<br>Factor $m_i$                  | - Base granular: $m = 0,8$<br>- Subbase Granular: $m = 0,8$ |
| Desviación estándar del tráfico $S_0$    | 0,45  |
| Coefficiente de aporte, Mezcla asfáltica | 0,47  |
| Coefficiente de aporte, Base Granular    | 0,07  |
| Coefficiente de aporte, Subbase granular | 0,07  |

### 10.7.2.2.3 Espacio Público

El diseño de los andenes y ciclo rutas que corresponden al espacio público ubicado en las vías a intervenir, se realizó con base en los criterios presentados en el Capítulo 6 de la Cartilla de Andenes del IDU actualizada por el Decreto Distrital 308 del 06 de junio de 2018. Los materiales empleados deben cumplir con las especificaciones técnicas generales de materiales y construcción de IDU vigentes.

- Caracterización subrasante



Para la selección del tipo de estructura, se siguieron las recomendaciones planteadas en el Capítulo 6 de la Cartilla de Andenes del IDU. Primero se analiza la calidad de la subrasante en términos de resistencia considerando el CBR en condición saturada, y con base en los resultados obtenidos, se clasifica según el tipo de subrasante. Ver Tabla 23.

Tabla 23. Tipos de Subrasante Cartilla de Andenes de Bogotá D.C.

| TIPO DE SUBRASANTE CBR (Condición de inmersión) |                    |
|---|--------------------|
| <b>S1</b>                                       | Mayor o igual a 3% |
| <b>S2</b>                                       | Menor de 3%        |

(Fuente: Cartilla de Andenes del IDU, 2018, p. 78)

Una vez definido el tipo de subrasante, se determina el tipo de mejoramiento requerido (Ver Tabla 24).

Tabla 24. Mejoramiento del Suelo de Subrasante- Cartilla de Andenes de Bogotá D.C.

| TIPO DE SUELOS EXISTENTE EN LA SUBRASANTE           | CLASIFICACIÓN AASHTO | CLASIFICACIÓN AASHTO | CBR | PROCESO A SEGUIR   |
|---|----------------------|----------------------|-----|--|
| Suelos Granulares (Gravas y Arenas)                 | Tipos A1, A2, A3     | Excelente a Buena    | >3% | Rectificar y compactar hasta obtener la densidad especificada por el diseñador                           |
| Suelos Finos (Arcillas y Limos de baja plasticidad) | Tipos A4             | Regular a Mala       | >3% | Perfilar   |
| Suelos Finos (Arcillas y Limos de baja plasticidad) | Tipos A4 y A5        | Regular a Mala       | <3% | Reemplazar 20 cm con material de relleno de CBR mínimo de 10% (Sección 320 de IDU - ET - 2011 o vigente) |
| Suelos Finos (Arcillas y Limos de alta plasticidad) | Tipos A6 y A7        | Regular a Mala       | <3% | Mejorar 20 cm con algún proceso químico o cal viva (Sección 230 de IDU ET - 2011 o vigente)              |

(Fuente: Cartilla de Andenes del IDU, 2018, p. 78)

- Dimensionamiento estructuras de pavimento Espacio público

El pre dimensionamiento de las estructuras de pavimento proyectadas para el espacio público como andenes, y ciclorutas, se realizó teniendo en cuenta lo establecido en la Cartilla de Andenes de Bogotá D.C. En esta cartilla se presenta el dimensionamiento de las estructuras de pavimento para espacio público con unas condiciones particulares determinadas.

La estructura de espacio público peatonal a nivel de andén, incluida en la cartilla, , que a veces soporta carga vehicular pesada (Criterio de diseño 2), corresponde a un pavimento articulado cuya superficie es construida con elementos prefabricados, que se apoyan sobre un material granular de espesor mínimo de 35 cm tipo sub-base SBG-C (Ver Figura 37). En el caso en que el suelo de subrasante presente las características de subrasante tipo S2, se adiciona un mejoramiento de 20 cm (Ver Figura 38). Sobre la capa de subbase normalmente se dispone una capa de arena.

*Estructuras para Espacio Público Peatonal y Red de ciclorrutas (a nivel de andén)  
para Subrasante - Tipo S1 y Criterio de diseño 2*

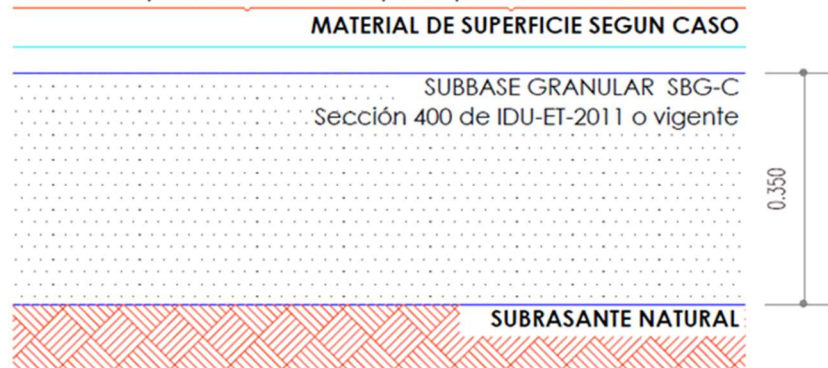


Figura 37. Estructura de Andén para Subrasante Tipo S1 y Criterio de Diseño 3  
(Fuente: Cartilla de Andenes del IDU, 2018, p. 85)

*Estructuras para Espacio Público Peatonal y Red de ciclorrutas (a nivel de andén)  
para Subrasante - Tipo S2 y Criterio de diseño 2*

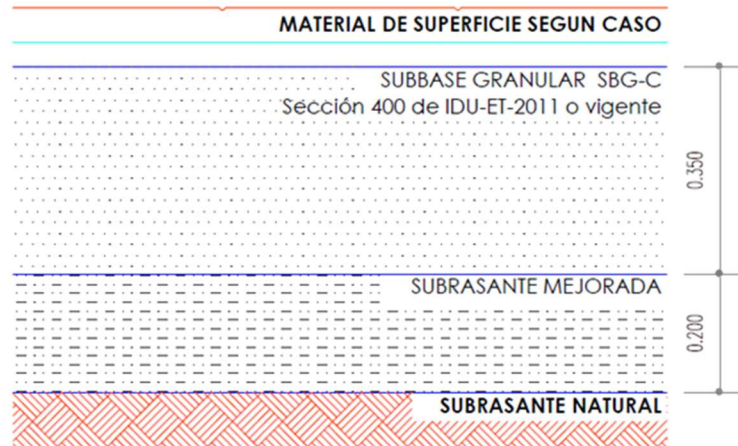


Figura 38. Estructura de Andén para Subrasante Tipo S2 y Criterio de Diseño 3  
(Fuente: Cartilla de Andenes del IDU, 2018, p. 84)

### 10.7.2.3. Pre diseño de Pavimentos

A continuación se describe la solución de los pavimentos a intervenir:

#### 10.7.2.3.2. Límites de intervención de las estaciones

Para la caracterización de los materiales que conforman la subrasante a lo largo del trazado de la Línea 2 del Metro de Bogotá, el trazado fue dividido en tres zonas denominadas I, II y III que se describen a continuación:

- Zona I comprendida entre el K0+000 al K0+450 de la L2MB (pozo de salida y la Intersección con la Av. Caracas). Está compuesta por materia orgánica, con suelo limo-arcillosos o rellenos en la parte superficial, con un espesor del orden de 2 m y depósitos coluviales, con clastos de arenisca en matriz areno-arcillosa, no plástico en una profundidad que podría variar de los 2 m a 25 m.
- La zona II, definida desde K0+450 a K7+900 de la L2MB (entre la intersección de la Ac. Caracas hasta la intersección de la Av. Ciudad de Cali). En esta zona se reportó material de relleno antrópico y suelo con contenido orgánico de medio a alto en una profundidad entre 0,0 m a (1,20 - 3,0 m). De los (1,20 - 3,0 m) a (32,0 m - 40,0 m), se reportaron arcillas limosas y ocasionalmente arenas limosas, con humedad media a alta y plasticidad alta a muy alta. También se mencionó que la compresibilidad podía ser muy alta. El perfil del subsuelo es relativamente homogéneo, con altos contenidos de humedad, con valores máximos de hasta 216% y en promedio 102%, siendo decrecientes en profundidad. El comportamiento del material fue considerado ser muy plástico, con un índice de plasticidad promedio del 96%.
- La zona III, fue establecida desde K7+900 (cercano a la Estación 7) a K15+760 (cercano a la Estación 11) de la L2MB, es decir, el tramo del trazado que va por la Av. Ciudad de Cali hasta el Patio taller. En este sector entre los 0,0 m y (0,70 a 2,40 m), se previó material de relleno antrópico y suelos de contenido orgánico de medio a alto. Luego se consideró desde los (0,70 m - 2,40 m) a los 22,10 m de profundidad, una arcilla con bajos contenido de limos y con humedad de alta a muy alta, con plasticidad alta a muy alta. El perfil del subsuelo en esta zona fue considerado relativamente homogéneo, compuesto por arcillas o arcillas con bajo contenido de limos, con un nivel de plasticidad (en promedio del 98% del índice de plasticidad) y con humedades altas (en promedio del 103%, con picos de hasta 242 %). En esta zona se presentan humedales, que se asocian con posible susceptibilidad a cambios de volumen por alta compresibilidad de los suelos y a la alta humedad respectivamente.

En la Figura 39 se presentan los resultados de índice de plasticidad y límite líquido de los suelos de subrasante (hasta una profundidad de 2.0m) de las zonas que conforman el corredor en estudio. Como se puede observar, la subrasante del corredor está conformada en su mayoría por limos de alta plasticidad.

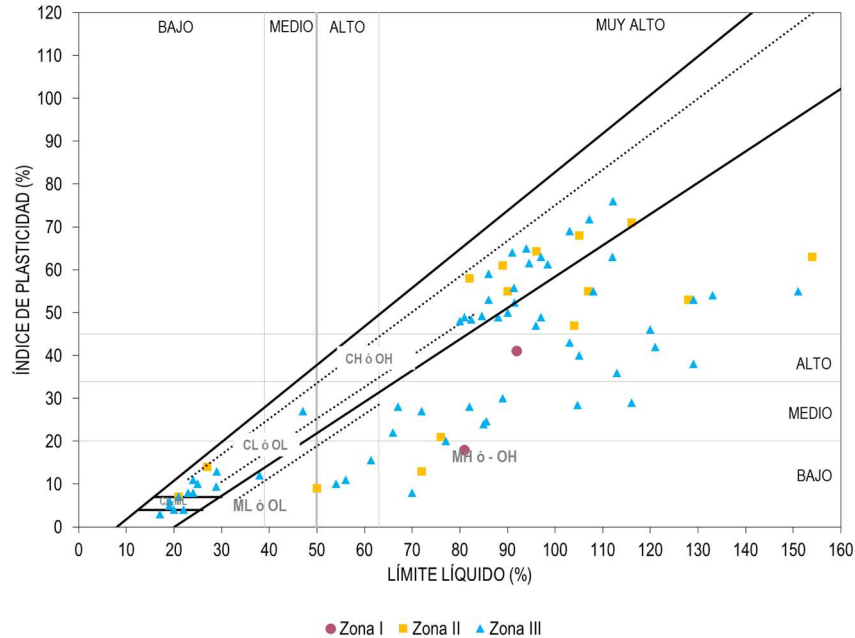


Figura 39. Carta de Plasticidad de Casagrande

Con base en los ensayos de materia orgánica de la información de referencia (Ver Figura 40), se observa que los valores promedio para la zona II es de 18.6% y para la zona III de 19.2%. Teniendo en cuenta que porcentajes mayores del 5% pueden generar comportamientos indeseables en las estructuras de pavimento, en estos sectores se recomienda, en el caso en que a la profundidad del mejoramiento aún se encuentren estos materiales, retirar y reemplazar este material con relleno seleccionado hasta un espesor de 1.00 por debajo del nivel de la subrasante.

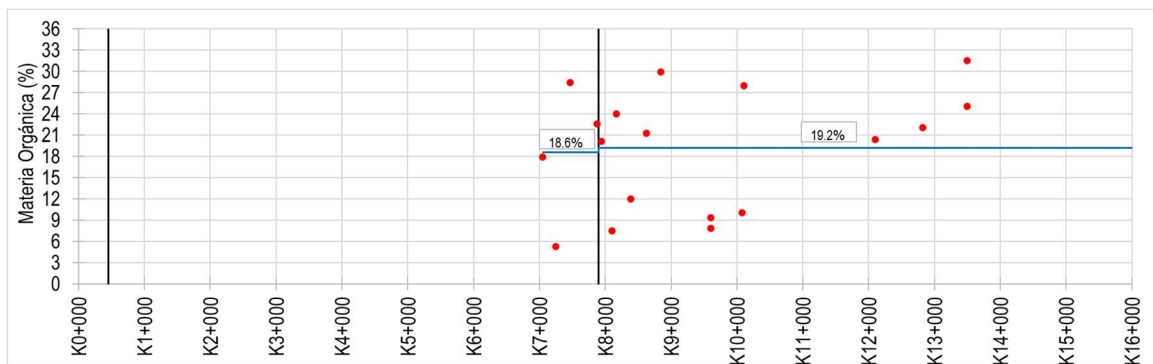


Figura 40. Contenido de Materia Orgánica

Los valores de resistencia de la subrasante en términos de CBR en condición sumergida, obtenidos aplicando las correlaciones descritas en el numeral 10.7.2.2.1 y los resultados de CBR de referencia, se presentan en la Figura 42. Para poder estimar los valores de CBR en condición sumergida, se aplicó el ajuste mostrado en la Figura 41, la cual se obtuvo con los ensayos de laboratorio de la información de referencia.

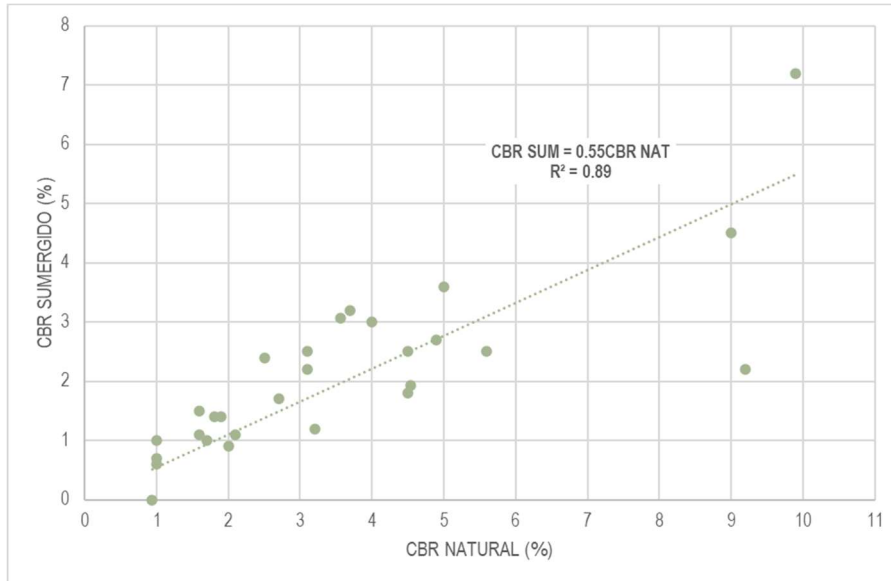


Figura 41. Correlación CBR Natural y CBR Sumergido

Como se puede observar en la Figura 42, en la Zona I del corredor, la resistencia obtenida es mayor en comparación con el resto del corredor, comportamiento esperado en razón a que la Zona I se encuentra más cerca al piedemonte. Para el prediseño, se empleó el percentil 87.5% mostrado en la Figura 42, para cada zona en estudio.

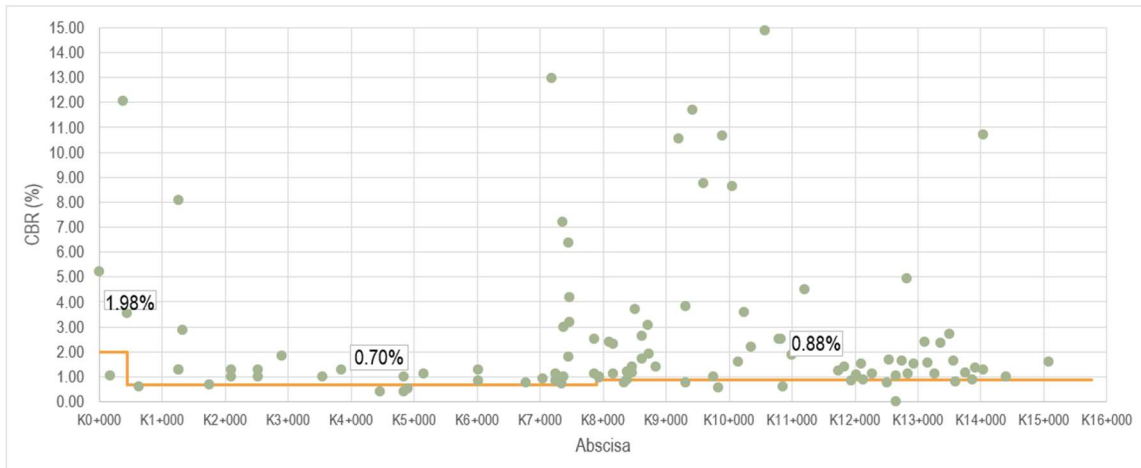


Figura 42. CBR de la subrasante

Teniendo en cuenta que el valor del CBR de diseño es menor al 3%, se considera necesario realizar un mejoramiento de la subrasante, el cual se dimensiona a partir de la metodología de IVANOV descrita en el numeral 10.7.2.2.1. Como criterio de diseño se estableció un CBR de 5% como resistencia de plataforma mínima para cimentar la estructura de pavimento. En la Tabla 25 se presenta el mejoramiento mínimo de la subrasante para cada una de las zonas del proyecto.



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

Tabla 25. Mejoramiento del suelo de subrasante

| Sector | Desde  | Hasta   | MEJORAMIENTO      | MEJORAMIENTO |                           |                   |                   |      |                  |                     |                    |   |                         |      |                                 |                    | CBR |
|--------|--------|---------|-------------------|--------------|---------------------------|-------------------|-------------------|------|------------------|---------------------|--------------------|---|-------------------------|------|---------------------------------|--------------------|-----|
|        |        |         |                   | CBR          |                           | E <sub>INF.</sub> | E <sub>SUP.</sub> | n    | n <sup>3.5</sup> | h <sub>i</sub> (cm) | h <sub>i</sub> /2a | tan <sup>-1</sup> (n <sup>3</sup> h <sub>i</sub> /2a) | 1-(1/n <sup>3.5</sup> ) | 2/π  | 2/π <sup>n</sup> J <sup>n</sup> | E <sub>equiv</sub> |     |
|        |        |         |                   | SUBRASANTE   | RAJÓN / MAT. SELECCIONADO |                   |                   |      |                  |                     |                    |   |                         |      |                                 |                    |     |
| 1      | K0+000 | K0+450  | RAJÓN             | 1.98         | 10.0                      | 212               | 567.98            | 1.48 | 3.98             | 30                  | 1.00               | 0.98  | 0.75                    | 0.64 | 0.47                            | 396.58             | 3.5 |
| 1      | K0+000 | K0+450  | MAT. SELECCIONADO | 3.48         | 12.0                      | 397               | 772.90            | 1.31 | 2.55             | 20                  | 0.67               | 0.72  | 0.61                    | 0.64 | 0.28                            | 548.41             | 5.7 |
| 2      | K0+450 | K7+900  | RAJÓN             | 0.70         | 10.0                      | 101               | 349.25            | 1.64 | 5.70             | 53                  | 1.77               | 1.24  | 0.82                    | 0.64 | 0.65                            | 288.29             | 2.4 |
| 2      | K0+450 | K7+900  | MAT. SELECCIONADO | 2.44         | 12.0                      | 288               | 749.76            | 1.47 | 3.81             | 28                  | 0.93               | 0.94  | 0.74                    | 0.64 | 0.44                            | 515.93             | 5.2 |
| 3      | K7+900 | K15+760 | RAJÓN             | 0.88         | 10.0                      | 119               | 411.24            | 1.64 | 5.70             | 53                  | 1.77               | 1.24  | 0.82                    | 0.64 | 0.65                            | 339.46             | 2.9 |
| 3      | K7+900 | K15+760 | MAT. SELECCIONADO | 2.89         | 12.0                      | 339               | 772.90            | 1.39 | 3.16             | 28                  | 0.93               | 0.91  | 0.68                    | 0.64 | 0.40                            | 563.88             | 6.0 |

En la Tabla 26 se presentan las zonas en donde se encuentran las estaciones del proyecto, y por ende, las vías que se verán afectadas durante su construcción.

Tabla 26. Estaciones por Zona

| ZONA | ESTACIÓN |
|------|----------|
| I    | -        |
| II   | 1 a 5    |
| III  | 6 a 11   |

Por último, se consideró para los diseños un número de ejes equivalentes para un periodo de diseño de 10 años, de 4.500.000, que corresponde al paso de 328 camiones tipo C3 al día. Este valor se considera razonable, teniendo en cuenta los números de ejes equivalentes de las vías de servicio o calzadas mixtas no pagas del proyecto ALO, los cuales varían entre 2.9 millones y 4.8 millones de ejes.

Con base en los criterios de pavimentos descritos en el numeral 10.7.2.2.1, se plantea la siguiente estructura de pavimento determinada mediante la metodología AASHTO.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

**Parámetros AASHTO**

|         |              |     |                                 |    |        |
|---------|--------------|-----|---------------------------------|----|--------|
|         | $\Delta$ PSI |     | CONFIABILIDAD (95%)             | Zr | -1.645 |
| INICIAL | 4.2          | 1.7 | DESV. ESTANDAR                  | So | 0.45   |
| FINAL   | 2.5          |     | MODULO SR (lb/in <sup>2</sup> ) |    | 7112   |

| e(cm.) |                             | PARAMETROS DE RESISTENCIA |     |                            |            | H<br>( in. ) | m           | SN   |
|--------|-----------------------------|---------------------------|-----|----------------------------|------------|--------------|-------------|------|
|        |                             | a                         | CBR | E<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | E<br>(MPa) |              |             |      |
| 20     | Mezcla asfáltica            | 0.47                      |     | 37,036                     | 3,632      | 7.87         | 1           | 3.68 |
| 25     | BASE GRANULAR               | 0.07                      |     | 1,085                      | 106        | 9.84         | 0.8         | 0.52 |
| 25     | SUBBASE GRANULAR<br>Clase A | 0.07                      |     | 717                        | 70         | 9.84         | 0.8         | 0.56 |
|        | SR                          |                           | 5.0 | 500                        | 49         |              |             |      |
| 70     |                             | <b>SN</b>                 |     |                            |            |              | <b>4.75</b> |      |

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| # EJES EQUIVALENTES ADMISIBLES | 4,538,852 |
| # EJES EQUIVALENTES DE DISEÑO  | 4,500,000 |

**DISEÑO ADECUADO**

Figura 43. Estructura de pavimento para las calzadas afectadas

En la Tabla 27 se presentan las estructuras de pavimento de cada una de las vías aledañas a las estaciones del proyecto.

Tabla 27. Estructura de pavimentos Vías a intervenir - Zonas de Estaciones

| ZONA | ESTACIÓN | ESPEORES (cm) |              |    |     |             |       |
|------|----------|---------------|--------------|----|-----|-------------|-------|
|      |          | MD12          | MD20 con GCR | BG | SBG | Mat. Selec. | Rajón |
| II   | 1 a 5    | 7             | 13           | 25 | 25  | 28          | 53    |
| III  | 6 a 11   | 7             | 13           | 25 | 25  | 28          | 53    |

La estructura de pavimento propuesta es un pavimento flexible conformado por una mezcla asfáltica MD12, seguida por una mezcla con GCR, una base Granular convencional, una subbase granular y un mejoramiento. Con esta alternativa se da cumplimiento a lo descrito en la ET10, en cuanto a la utilización del grano caucho, producto del procesamiento de las llantas. La utilización del grano caucho (GCR), producto del procesamiento de las llantas, se proyecta en las capas asfálticas tipo MD-20, teniendo en cuenta que estas mezclas modificadas con caucho son más resistentes al fenómeno de fatiga que las mezclas convencionales, y la capa de mezcla tipo MD-20 se ubica en una posición en la que se ve más afectada por el fenómeno de fatiga. Teniendo en cuenta que el diseño presentado corresponde a un prediseño, se empleó únicamente la metodología AASHTO para determinar los espesores de la estructura de pavimento. Los análisis mecanicistas se presentarán en la siguiente etapa de diseño.

En los pavimentos del proyecto, el RCD aprovechable se podrá utilizar de la siguiente manera:

- Los materiales provenientes de la demolición de las losas de concreto se pueden emplear en la totalidad de las capas de materiales granulares tipo base y subbase granular, en las zonas donde se requiera. Se aclara que en este proyecto no existe en general un volumen representativo de residuos de losas de concreto, por lo cual este material podría ser traído de las zonas de acopio.
- Los materiales granulares provenientes de las zonas de espacio público y los provenientes de los materiales bajo el pavimento existente, pueden ser utilizados parcialmente en función de sus características, en el volumen requerido de relleno recomendado para el mejoramiento de la subrasante de las vías.

Teniendo en cuenta que el diseño propuesto corresponde a un pavimento nuevo, para estimar las cantidades de demolición de la estructura de pavimento de las calzadas existentes se tuvieron en cuenta los espesores mezcla asfáltica identificados en los apiques de referencia cercanos a la zona en estudio y realizados por INGETEC en el proyecto de “Factibilidad y actualización, complementación, ajustes de los estudios y diseños, y estudios y diseños para la ampliación y extensión de la Avenida Ciudad de Cali al Sistema Transmilenio, entre la avenida circunvalar del sur y la avenida calle 170 y de los equipamientos urbanos complementarios, en Bogotá D.C”, en el año 2017. En la Tabla 28 y Tabla 29 se presentan los espesores de la estructura de pavimento existente en la Av. Ciudad de Cali entre Calle 72 y Calle 128 A (K15+800 al K20+000 del proyecto Av. Ciudad de Cali).

Tabla 28. Espesores Existentes – Calzada Occidental

| Sector | Desde   | Hasta   | ESPESORES EXISTENTES (cm) |    |
|--------|---------|---------|---------------------------|----|
|        |         |         | CA                        | MG |
| 5      | K7+416  | K10+375 | 29                        | 39 |
| 6      | K10+375 | K14+897 | 15                        | 65 |
| 7      | K14+897 | K23+650 | 19                        | 45 |

Fuente: Tabla 9-14 Informe DTACC-EYD-CP08A-R5 (2017)

Tabla 29. Espesores Existentes – Calzada Oriental

| Sector | Desde   | Hasta   | ESPESORES EXISTENTES (cm) |    |
|--------|---------|---------|---------------------------|----|
|        |         |         | CA                        | MG |
| 4      | K7+416  | K9+942  | 30                        | 40 |
| 5      | K9+942  | K12+967 | 20                        | 67 |
| 6      | K12+967 | K18+422 | 15                        | 30 |
| 7      | K18+422 | K23+650 | 21                        | 32 |

Fuente: Tabla 9-15 Informe DTACC-EYD-CP08A-R5 (2017)

Para el caso de los andenes y teniendo en cuenta lo descrito en el numeral 10.7.2.2.3 y el CBR de diseño mostrado en la Figura 42, la subrasante clasifica como tipo S2 (CBR en condición sumergida menor al 3%), por lo tanto se propone un mejoramiento de 20 cm con cal viva como lo establece la Tabla 24. La Figura 44 muestra la estructura para los andenes.

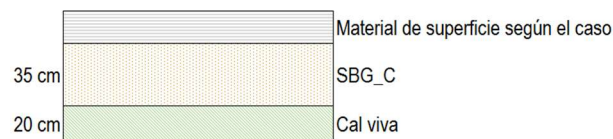


Figura 44. Estructura para los andenes

10.7.2.3.1. Prolongación de la Calle 145, Calle 146, Calle 144

Para el diseño de estas vías se tuvo en cuenta la caracterización de la subrasante presentada en el capítulo anterior. Teniendo en cuenta que estas se encuentran ubicadas en la Zona III del proyecto, el CBR de diseño es de 0.88%.

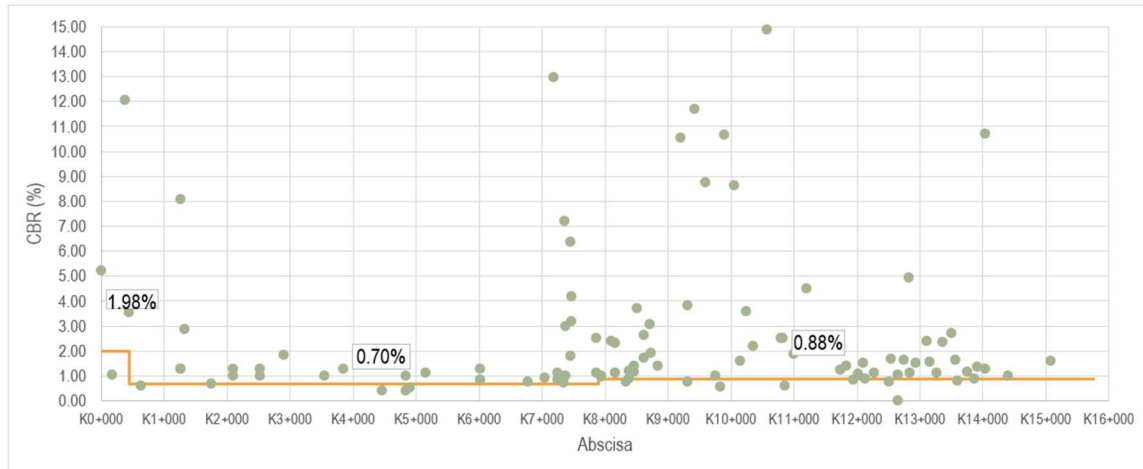


Figura 45. CBR de la subrasante

Con este valor, se estimó el mejoramiento necesario para alcanzar la resistencia de plataforma mínima del 5%. En la Tabla 30 se presenta el resultado obtenido.

Tabla 30. Mejoramiento del suelo de subrasante - Zona III

| Sector | Desde  | Hasta   | MEJORAMIENTO      | MEJORAMIENTO |                           |                   |                   |      |                  |                     |                     |   |                         |      |                                 |                    |     |
|--------|--------|---------|-------------------|--------------|---------------------------|-------------------|-------------------|------|------------------|---------------------|---------------------|---|-------------------------|------|---------------------------------|--------------------|-----|
|        |        |         |                   | CBR          |                           | E <sub>INF.</sub> | E <sub>SUP.</sub> | n    | n <sup>3.5</sup> | h <sub>1</sub> (cm) | h <sub>1</sub> / 2a | tan <sup>-1</sup> (n <sup>2</sup> h <sub>1</sub> /2a) | 1-(1/n <sup>3.5</sup> ) | 2/π  | 2/π <sup>2</sup> J <sup>2</sup> | E <sub>equiv</sub> | CBR |
|        |        |         |                   | SUBRASANTE   | RAJÓN / MAT. SELECCIONADO |                   |                   |      |                  |                     |                     |   |                         |      |                                 |                    |     |
| 3      | K7+900 | K15+760 | RAJÓN             | 0.88         | 10.0                      | 119               | 411.24            | 1.64 | 5.70             | 53                  | 1.77                | 1.24  | 0.82                    | 0.64 | 0.65                            | 339.46             | 2.9 |
| 3      | K7+900 | K15+760 | MAT. SELECCIONADO | 2.89         | 12.0                      | 339               | 772.90            | 1.39 | 3.16             | 28                  | 0.93                | 0.91  | 0.68                    | 0.64 | 0.40                            | 563.88             | 6.0 |

Para el diseño de la Calle 145, Calle 144 y Carrera 136, se consideró un número de ejes equivalentes para un periodo de diseño de 10 años, de 4.500.000, que corresponde al paso de 328 camiones tipo C3 al día. Este valor se considera razonable, teniendo en cuenta los números de ejes equivalentes de las vías de servicio o calzadas mixtas no pagas del proyecto ALO, los cuales varían entre 2.9 millones y 4.8 millones de ejes.

Para la prolongación de la calle 146, la cual se diseña con el fin de dar continuidad a la red vial local existente y poder acceder al Patio Taller, se consideró el mismo tránsito del Patio Taller el cual corresponde a 1.000.000 de ejes equivalentes. Este valor se tomó con base en la "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures -1993", en donde recomiendan cargas de tránsito para vías de bajo tránsito. El valor adoptado corresponde al máximo del límite superior, el cual varía entre 700.000 y 1.000.000 de ejes equivalentes de 8,2 toneladas.

Con base en los criterios de pavimentos descritos en el numeral 10.7.2.2.1 y el tránsito considerado, se plantean las siguientes estructuras de pavimentos determinadas mediante la metodología AASHTO.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

**Parámetros AASHTO**

|         |       |     |                                 |      |        |
|---------|-------|-----|---------------------------------|------|--------|
|         | Δ PSI |     | CONFIABILIDAD (95%)             | Zr   | -1.645 |
| INICIAL | 4.2   | 1.7 | DES. ESTANDAR                   | So   | 0.45   |
| FINAL   | 2.5   |     | MODULO SR (lb/in <sup>2</sup> ) | 7112 |        |

| e(cm.) |                             | PARAMETROS DE RESISTENCIA |     |                            |            | H<br>( in. ) | m           | SN   |
|--------|-----------------------------|---------------------------|-----|----------------------------|------------|--------------|-------------|------|
|        |                             | a                         | CBR | E<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | E<br>(MPa) |              |             |      |
| 20     | Mezcla asfáltica            | 0.47                      |     | 37,036                     | 3,632      | 7.87         | 1           | 3.68 |
| 25     | BASE GRANULAR               | 0.07                      |     | 1,085                      | 106        | 9.84         | 0.8         | 0.52 |
| 25     | SUBBASE GRANULAR<br>Clase A | 0.07                      |     | 717                        | 70         | 9.84         | 0.8         | 0.56 |
|        | SR                          |                           | 5.0 | 500                        | 49         |              |             |      |
| 70     |                             | <b>SN</b>                 |     |                            |            |              | <b>4.75</b> |      |

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| # EJES EQUIVALENTES ADMISIBLES | 4,538,852 |
| # EJES EQUIVALENTES DE DISEÑO  | 4,500,000 |

**DISEÑO ADECUADO**

Figura 46. Estructura de pavimento Calle 145, Calle 144 y Carrera 136

**Parámetros AASHTO**

|         |       |     |                                 |      |        |
|---------|-------|-----|---------------------------------|------|--------|
|         | Δ PSI |     | CONFIABILIDAD (95%)             | Zr   | -1.645 |
| INICIAL | 4.2   | 1.7 | DES. ESTANDAR                   | So   | 0.45   |
| FINAL   | 2.5   |     | MODULO SR (lb/in <sup>2</sup> ) | 7112 |        |

| e(cm.) |                             | PARAMETROS DE RESISTENCIA |     |                            |            | H<br>( in. ) | m           | SN   |
|--------|-----------------------------|---------------------------|-----|----------------------------|------------|--------------|-------------|------|
|        |                             | a                         | CBR | E<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | E<br>(MPa) |              |             |      |
| 15     | Mezcla asfáltica            | 0.47                      |     | 37,036                     | 3,632      | 5.91         | 1           | 2.76 |
| 25     | BASE GRANULAR Clase A       | 0.07                      |     | 1,085                      | 106        | 9.84         | 0.8         | 0.52 |
| 25     | SUBBASE GRANULAR<br>Clase A | 0.07                      |     | 717                        | 70         | 9.84         | 0.8         | 0.56 |
|        | SR                          |                           | 5.0 | 500                        | 49         |              |             |      |
| 65     |                             | <b>SN</b>                 |     |                            |            |              | <b>3.84</b> |      |

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| # EJES EQUIVALENTES ADMISIBLES | 1,118,020 |
| # EJES EQUIVALENTES DE DISEÑO  | 1,000,000 |

**DISEÑO ADECUADO**

Figura 47. Estructura de pavimento Calle 146



En la Tabla 31 se presentan las estructuras de pavimento de cada una de las vías aledañas a las estaciones del proyecto.

Tabla 31. Estructura de pavimentos Vías a intervenir

| Zona | Vía                                | ESPESORES (cm) |              |    |     |             |       |
|------|------------------------------------|----------------|--------------|----|-----|-------------|-------|
|      |                                    | MD12           | MD20 con GCR | BG | SBG | Mat. Selec. | Rajón |
| III  | Calle 145, Calle 144 y Carrera 136 | 7              | 13           | 25 | 25  | 28          | 53    |
|      | Calle 146                          | 7              | 8            | 25 | 25  | 28          | 53    |

Tal como se mencionó anteriormente, con base en los ensayos de materia orgánica de la información de referencia (Ver Figura 40), se observa que los valores promedio para la zona III de 19.2%, por lo tanto, en estos sectores se recomienda, en el caso en que a la profundidad del mejoramiento aún se encuentren estos materiales, retirar y reemplazar este material con relleno seleccionado hasta un espesor de 1.0m por debajo del nivel de la subrasante.

En cuanto al diseño de los andenes de estas vías, la estructura es

Para el caso de los andenes y teniendo en cuenta lo descrito en el numeral 10.7.2.2.3 y el CBR de diseño mostrado en la Figura 42, la subrasante clasifica como tipo S2 (CBR en condición sumergida menor al 3%), por lo tanto se propone un mejoramiento de 20 cm con cal viva como lo establece la Tabla 24. La Figura 44 muestra la estructura para los andenes.

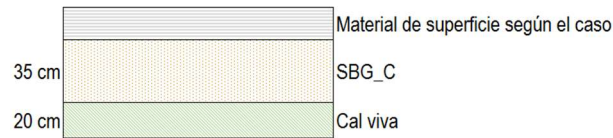


Figura 48. Estructura para los andenes

Al igual que los andenes, la estructura de cicloruta sigue el Criterio de diseño 2 y corresponde a la misma estructura planteada en el numeral anterior, con una carpeta asfáltica MD-10 de 5 cm sobre la subbase (Ver Figura 9). La cartilla de andenes realiza una recomendación de un espesor mínimo de 3,0 cm, sin embargo, con este espesor recomendado, se han presentado fisuramientos en bloque en las capas de rodadura de las ciclorutas. En este sentido, el diseño se realizó con un espesor de 5,0 cm con el cual, en condiciones normales de operación, este tipo de deterioro no se presenta.



Figura 49. Estructura para la cicloruta de la Calle 145

### 10.7.2.3.3. Desvíos de tráfico (PMT)

La evaluación y diagnóstico de los desvíos tiene como finalidad establecer el nivel de deterioro que pueden generar las cargas adicionales de tránsito, y estimar con base en esta información los recursos requeridos para asegurar que al final de la etapa de construcción estas vías presenten igual o mejor condición funcional y estructural que el presentado al iniciar su utilización como desvío durante el periodo de construcción.

Para el caso de los desvíos de tráfico por la construcción de las estaciones se contempló un mantenimiento rutinario con sello de fisuras, parcheo y bacheo durante dos años para las estaciones N° 1 a la 10. Las tasas de crecimiento anual de fisuramiento se obtuvieron a partir de información de referencia de las corridas del programa de gestión de pavimentos HDM 4 (INGETEC, 2020), de proyectos de similares características, y se pueden observar en la Figura 53 y Tabla 34. El porcentaje de afectación tomado no es el de una vía nueva sino de una vía con siete años de operación. De los valores anuales obtenidos, es posible suponer que el 50% de este fisuramiento requiere sello de fisuras, asumiendo para el cálculo del área aferente de fisura de 0,40 m, y el otro 50% puede ser reparado por medio de parcheos y bacheos. Para el cálculo de estas cantidades se consideró el ancho de la calzada sin incluir las bermas.

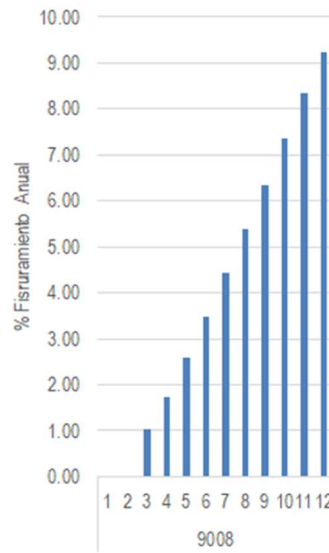


Figura 50. Incremento anual de fisuramiento (INGETEC, 2020)

Tabla 32. Incremento anual de fisuramiento

| Año       | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ruta 9008 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,70 | 2,60 | 3,50 | 4,40 | 5,40 | 6,40 | 7,40 | 8,36 | 9,23 |

Fuente: (INGETEC,2020)

Para los desvíos asociados a la construcción de la estación N° 11 se contempla realizar la reconstrucción de las vías existentes, con el diseño de pavimentos presentado en la Figura 46, teniendo en cuenta la posibilidad de encontrar estructuras de pavimento y subrasantes con baja capacidad, por la cercanía al río Bogotá.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

Los ítems calculados para las cantidades anteriormente expuestas son los siguientes.

Tabla 33. Ítems CAPEX para obras de pavimentos en la totalidad de la L2MB

| Ítem  | Unidad |
|---|--------|
| ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON RAJÓN, INCLUYE EQUIPO DE COMPACTACIÓN (SUMINISTRO, EXTENDIDO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN CON EQUIPO MECÁNICO)   | m3     |
| BASE GRANULAR CLASE A (BG-A) ESTABILIZADA CON CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL TIPO MGEA_A (Incluye suministro, transporte, colocación y compactación).   | m3     |
| SUBBASE GRANULAR CLASE A (SBG_A) (Suministro, Extendido, Nivelación, Humedecimiento y Compactación con vibrocompactador)  | m3     |
| MATERIAL SELECCIONADO. SUMINISTRO, EXTENDIDO MANUAL, NIVELACIÓN, HUMEDECIMIENTO Y COMPACTACIÓN.   | m2     |
| IMPRIMACION CON EMULSION ASFALTICA CRL-0 (Suministro, Barrido Superficie y Riego)   | m2     |
| MEZCLA ASFÁLTICA CON ASFALTO CAUCHO (Suministro, Extendido, Nivelación y Compactación)  | m3     |
| MEZCLA ASFÁLTICA Densa EN CALIENTE MD12 con Cemento Asfáltico 60-70 (Suministro, Extendido, Nivelación y Compactación con vibrocompactador y compactador de llantas)                          | m3     |
| MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE TIPO DensO MD10 ASFALTO CONVENCIONAL (Cemento asfáltico 80-100) (Suministro, Extendido, Nivelación y Compactación con vibrocompactador y compactador de llantas) | m3     |
| RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN MODIFICADA CON POLIMEROS CRR-1m (Suministro, Barrido Superficie y Riego)   | m2     |
| LOSA DE CONCRETO MR45 (Suministro, Formateado, Colocación, Curado, Juntas y Acabado. Incluye Canastilla Pasa Junta.   | m3     |
| ACERO DE REFUERZO (Incluye Suministro, Figurado y Fijación)   | kg     |
| (DOVELAS) ACERO LISO PARA TRANSFERENCIA DE LOSAS D= 1" (NO INCLUYE CANASTILLA). SUMINISTRO E INSTALACIÓN.   | kg     |
| SARDINEL FUNDIDO EN SITIO EN CONCRETO PREMEZCLADO DE 3000PSI. SUMINISTRO Y CONSTRUCCIÓN. (Grava común) E=0.20m H=0.35m (Incluye formaleta metálica, acero de refuerzo y alambre negro).       | ml     |
| CORTE Y AMPLIACIÓN DE JUNTA EN PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO   | ml     |
| SUBBASE GRANULAR CLASE C (SBG_C) (Suministro, Extendido Manual, Humedecimiento y Compactación)  | m3     |
| Material para filtro  | m3     |
| TUBERÍA PVC PARA DRENAJE D=6" SIN FILTRO (Incluye Suministro e Instalación)   | ML     |
| GEOTEXTIL NT 3000 PARA SUBDRENES/FILTROS (Incluye Suministro e Instalación)   | m2     |
| GEOTEXTIL NT 2500 PARA SEPARACION SUBRASANTE/CAPAS GRANULARES (Incluye Suministro e Instalación)  | m2     |

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

| Ítem  | Unidad |
|---|--------|
| CAPA DE SUELO DE SUBRASANTE ESTABILIZADA CON CAL HIDRATADA TIPO N, IN SITU AL 4%. (SUMINISTRO, EXTENDIDO, NIVELACIÓN, HUMEDECIMIENTO Y COMPACTACIÓN).   | m3     |
| LOSA DE CONCRETO MR41 (Suministro, Formateado, Colocación y Acabado. No Incluye Acero, Curado, Juntas)  | m3     |
| FRESADO PAVIMENTO ASFÁLTICO (Incluye Cargue) Incluye agua, puntas. No incluye transporte de maquinaria, transporte del fresado ni disposición final).   | m3     |
| EXCAVACIÓN MECÁNICA EN MATERIAL COMÚN (Incluye Cargue)  | m3     |
| PARCHEO EN PAVIMENTO FLEXIBLE E=0.14M. (INCLUYE DEMOLICIÓN MANUAL Y CARGUE DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE E=0.14M, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL DE ESCOMBROS, IMPRIMACIÓN, COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN MD20 E=10CM Y MD12 E=4CM , RIEGO CRR-1, IMPRIMA CLR-0) | m2     |
| BACHEO EN PAVIMENTO FLEXIBLE E= 0.14M. (INCLUYE DEMOLICIÓN MANUAL Y CARGUE DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE E=0.14M, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL DE ESCOMBROS, EXCAVACIÓN Y REPOSICIÓN BASE GRANULAR CLASE A (BG_A) E=0.20M, BASE ASFÁLTICA MD10)            | m2     |
| SELLO DE FISURAS  | ml     |

En cuanto a las especificaciones técnicas para construcción, a continuación se presenta el listado general de las normas a las que se le deben dar cumplimiento durante la construcción de las obras asociadas a los pavimentos y espacio público. En caso de tener una actividad diferente a las enunciadas, se deben cumplir con los requerimientos descritos en las Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y de espacio público para Bogotá D.C o las dispuestas por el dueño del proyecto.

- IDU 300-18 Excavaciones para conformación de la subrasante .
- IDU 310-18 Rellenos para conformación de la subrasante.
- IDU 410-18 Mejoramiento de la subrasante con rajón .
- IDU 320-18 Subdrenes con geotextil y material granular.
- DU 510-18 Capas granulares de base y subbase.
- IDU 610-18 Riego de imprimación.
- IDU 611-18 Riego de liga.
- IDU 620-18 Mezclas asfálticas en caliente densas, semidensas, gruesas, y de alto módulo.
- IDU 800-18 Pavimento de losas de concreto hidráulico.
- IDU 700-18 Fresado de pavimentos asfálticos.
- IDU 625-18 Mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado con caucho por vía húmeda.
- IDU 626-18 Mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado con caucho por vía seca.
- IDU 710-18 Parcheo y bacheo
- INV ART. 201-13 Demolición y remoción

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC