

## TABLA DE CONTENIDO

2.2.25.1 ET25 - ESTACIONES Y EDIFICIOS- GEOTECNIA	4
2.2.25.1.1 NORMATIVIDAD APLICABLE	4
2.2.25.1.1.1 Normatividad nacional	4
2.2.25.1.1.2 Normatividad internacional	4
2.2.25.1.2. REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA L2MB	4
2.2.25.1.3. ASPECTOS RELEVANTES DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ	17
2.2.25.1.3.1 Línea 1 elevada (en construcción). PLMB	17
2.2.25.1.3.2 Línea 1 subterránea (estudio inicial)	23
2.2.25.1.4. BENCHMARK (experiencias internacionales)	26
2.2.25.1.5. CONCLUSIONES	29

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Localización de estaciones según diseño de prefactibilidad. Fuente: Egis-Steer, 2021

Tabla 2. Características de las estaciones de la L2MB, según diseños de prefactibilidad

Tabla 3. Factores de seguridad para resistencia última y para capacidad portante. Fuente: Metro de Bogotá, 2015

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las estaciones de la L2MB, según diseño de prefactibilidad. Fuente: Egis-Steer, 2021

Figura 2. Tipologías de módulos de acceso a las estaciones. Fuente: Egis-Steer, 2021

Figura 3. Túneles peatonales subterráneos, para conectividad con PLMB-T1, localizados entre las carreras 11 Y 12 y en la carrera 13. Estaciones de 165 m de longitud. Fuente: Egis-Steer, 2021

Figura 4. Tipología estación 1. (Calle 72, con carrera 11).

Figura 5. Tipología estaciones 2 a 8. Fuente: Egis-Steer, 2021

Figura 6. Tipología estaciones 9 y 10. Fuente: Egis-Steer, 2021

Figura 7. Estación 11, superficial. Fuente: Egis-Steer, 2021

Figura 8. Secuencia de construcción sistema Cut & Cover. Método Invertido. (Top down). Fuente: G. Perri, 2012

Figura 9. Localización general del deprimido de la calle 72 y sección transversal típica. Fuente: Metro Línea 1, 2021

Figura 10. Vista en 3D del deprimido de la calle 72. Metro Línea 1, 2021

Figura 11. Sección litológica del deprimido de la calle 72. Fuente: Metro Línea 1, 2021

Figura 12. Zonificación geotécnica para el deprimido vehicular de la Calle 72. Fuente: Metro Línea 1, 2021

Figura 13. Sección tipo para estación en túnel con tuneladora. Fuente: Metro de Bogotá, 2015

Figura 14. Proceso constructivo cut & cover, metro de Valencia, Venezuela. Fuente: G. Perri, 2012

Figura 15. Estaciones construidas por el método Cut & Cover metros de Quito, Lima y Caracas.

Figura 16. Construcción de estaciones del metro de México. Fuente: ICA, 1997

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

### 2.2.25.1 ET25 - ESTACIONES Y EDIFICIOS- GEOTECNIA

<b>Disciplina: 1</b>	<b>Estaciones y edificios - Geotecnia</b>
<b>Entregable de referencia:</b>	<b>Entregable 7 / ET25 - Estaciones y edificios y Entregable 5.1.</b>

#### 2.2.25.1.1 NORMATIVIDAD APLICABLE

##### 2.2.25.1.1.1 Normatividad nacional

- Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes Ministerio de Transporte. CCP-2014. Aplicado en estructuras viales como: puentes vehiculares y peatonales, box culvert y en estructuras de contención según lo establecido en la Resolución 108 de enero 26 de 2015.
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10. Aplicado a edificaciones verticales según lo establecido en la Ley 400 de 1997 y en el Decreto 926 de marzo 19 de 2010.
- Zonificación de la Respuesta Sísmica de Bogotá para el Diseño Sismorresistente de Edificaciones. Según lo establecido en el Decreto 523 de 2010 de la Alcaldía Mayor de Bogotá.

##### 2.2.25.1.1.2 Normatividad internacional

- Normatividad NTC- RSEE del reglamento de construcciones de la Ciudad de México y normas de la Comisión de Vialidad y Transporte urbano, Covitur de la ciudad de México.
- De aspectos no cubiertos por las normas anteriores se complementará con normativa del Eurocodes CEN, European Committee for Standardization.

#### 2.2.25.1.2. REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA L2MB

<b>Entregables de referencia:</b>	Entregable 7, Tipología e inserción de estaciones. Informes de prototipos de Arquitectura y funciones. Entregable 5.1. Geotecnia y pavimentos.
-----------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:**

A continuación se resume el entregable 7 que contiene información relacionada con la tipología e inserción de estaciones para el metro con el fin de tener un contexto de aspectos dimensionales y de implantación de las estaciones previstas en los estudios de prefactibilidad de la L2MB. Posteriormente se incluyen los aspectos geotécnicos relacionados con la construcción de las estaciones que complementan la información de la ET10, según la verificación del entregable 5.1 Geotécnica y Pavimentos.

La L2MB, presenta una infraestructura mixta mediante la incorporación de dos (2) tipologías de metro: subterráneo bi tubo de 7 m de diámetro y elevado, con una longitud de 15.8 km aproximadamente. Esta línea, comprende además una cola de maniobras en su extremo oriental, 11 estaciones y un patio taller, discurriendo por los corredores de la Calle 72, Avenida Ciudad de Cali, reserva vial ALO y la extensión de la Avenida Transversal de Suba. En la figura siguiente, se presenta la localización general del trazado y estaciones tomadas del entregable 7.

Tabla 1. Localización de estaciones según diseño de prefactibilidad. Fuente: Egis-Steer, 2021

Estación	Localización	Tipología de Línea	Tipología de Estación
E1	Calle 72 - Carrera 11	Subterránea	Andenes laterales
E2	Calle 72 - Avenida NQS	Subterránea	Andén central
E3	Calle 72 - Avenida 68	Subterránea	Andén central
E4	Calle 72 - Avenida Boyacá	Subterránea	Andén central
E5	Calle 72 - Av. Ciudad de Cali	Subterránea	Andén central
E6	Av. Ciudad de Cali - Calle 80	Subterránea	Andén central
E7	Av. Ciudad de Cali - Calle 90	Subterránea	Andén central
E8	Av. Ciudad de Cali - Carrera 93	Subterránea	Andén central
E9	ALO - Calle 130A	Bajo nivel terreno	Andenes laterales
E10	ALO - Calle 143A	Bajo nivel terreno	Andenes laterales
E11	Calle 145 (Av. Suba) - Carrera 145	Elevada	Andenes laterales

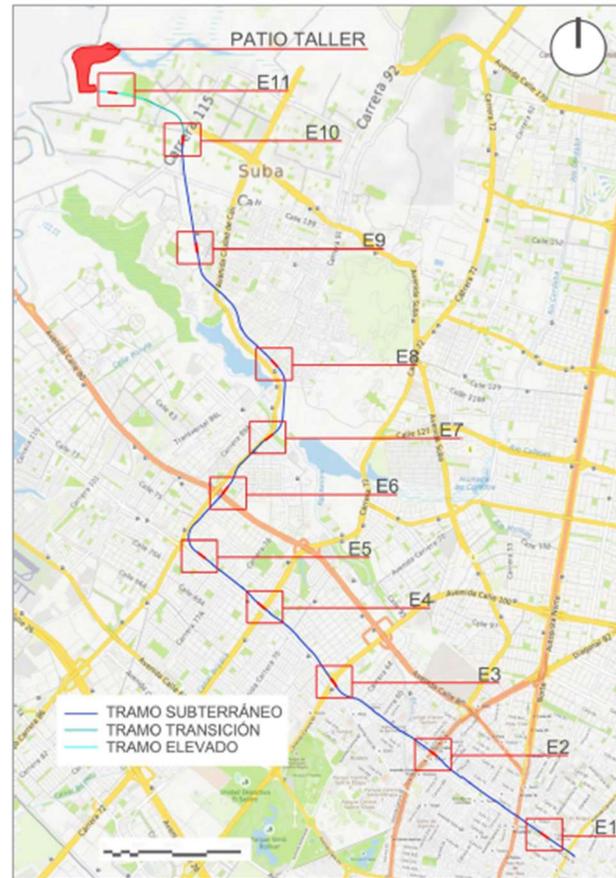


Figura 1. Localización de las estaciones de la L2MB, según diseño de prefactibilidad. Fuente: Egis-Steer, 2021

A lo largo del trazo de la L2MB, se establecieron los perfiles viales, los cuales son un insumo importante para determinar la inserción urbana de las estaciones y el patio taller. Los perfiles viales establecidos son los siguientes:

- Perfil calle 72 (Av. Chile), entre avenida Caracas y NQS. Ancho total de 27,05 m, edificaciones de 1 a 4 pisos.
- Perfil calle 72 (Av. Chile), entre NQS y Cra. 68. Ancho total de 24,00 m, edificaciones de 1 a 3 pisos.
- Perfil calle 72 (Av. Chile), entre Cra. 68 y Av. Boyacá. Ancho total de 27,85 m, edificaciones de 1 a 3 pisos.
- Perfil calle 72 (Av. Chile), entre Av. Boyacá y Av. Cali. Ancho total de 27,85 m, Predominio de edificaciones de 3 pisos.

Para estos 4 perfiles se han propuesto los siguientes perfiles viales futuros de la siguiente manera:

- Perfil calle 72 (Av. Chile), entre avenida Caracas y Av. Cali. Ancho total de 27,20 m.
- Av. Cali, entre calle 72 y calle 80. Ancho total de 64,45 m.
- Av. Cali, calle 80 y canal del río negro. Ancho total de 63,71 m.
- Av. Cali, canal del río negro y carrera 91. Ancho total de 56,70 m.
- Av. Cali, carrera 91 y carrera 104. Ancho total de 75,50 m.
- Conexión Av. Cali y ALO. Ancho total de 25,00 m.
- ALO entre calle 128 y calle 145. Variable entre 120 m y 150 m. Incluye corredor verde variable de 70 m a 110 m.
- Av. suba entre rotonda ALO y Patio taller. Ancho total de 35 m.

Con respecto a las estaciones de la L2MB, se han establecido en prefactibilidad cuatro prototipos de estación:

- Estación 1: andenes laterales, subterránea.
- Estaciones 2 a 8: andén central, subterránea.
- Estaciones 8 y 9: andenes laterales bajo nivel del terreno con accesos a nivel del terreno.
- Estación 11: andenes laterales, elevada.

Para las estaciones subterráneas, se genera una tipología fija que incluye el nivel del vestíbulo y el nivel de andenes, y una batería de soluciones para los accesos en superficie, los cuales pueden ser utilizados de acuerdo con las necesidades y a las oportunidades espaciales de cada estación. Los accesos a las estaciones subterráneas están clasificados en 3 tipos:

- Edificio de acceso: esta tipología se desarrolla a partir del acceso a la estación localizado en un edificio de nueva construcción, en el que se utiliza parte de la primera planta para los puntos fijos de circulación vertical a la estación, y se localizan otras áreas complementarias, tales como locales comerciales y posibles áreas para ciclo-parqueaderos.
- Boca de acceso tipo A: esta tipología de acceso cuenta con escalera, módulo de escalera eléctrica en ambos sentidos, y módulo de ascensor. Esta tipología de acceso a las estaciones se plantea en los casos en los que no es posible localizar directamente sobre el volumen de la estación un edificio de acceso.
- Boca de acceso tipo B: esta tipología se utiliza para las conexiones directas desde el separador con las estaciones de Transmilenio y Regiotram Norte y cuentan con un módulo de escalera y uno de ascensores que conducen al usuario directamente al nivel del vestíbulo o mezzanine de la estación, o en aquellos casos en los que se requiere localizar un acceso de tamaño menor sobre el espacio de andén existente.

Las tipologías de módulos de acceso a las estaciones se aprecian en la siguiente figura:

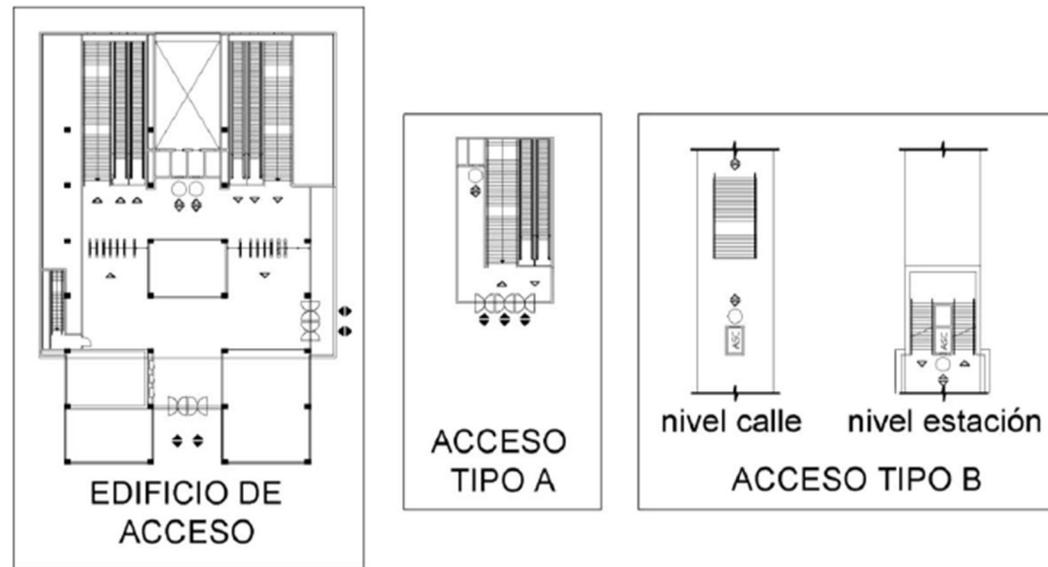


Figura 2. Tipologías de módulos de acceso a las estaciones. Fuente: Egis-Steer, 2021

En las figuras siguientes se muestran las tipologías de las estaciones de la L2MB según lo mostrado en el entregable 7 .

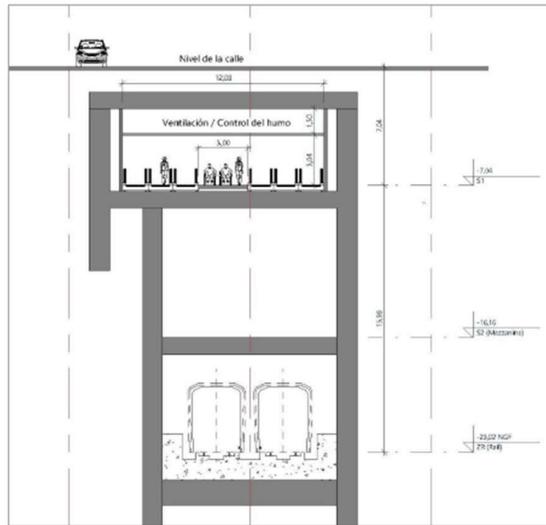


Figura 3. Túneles peatonales subterráneos, para conectividad con PLMB-T1, localizados entre las carreras 11 Y 12 y en la carrera 13. Estaciones de 165 m de longitud. Fuente: Egis-Steer, 2021

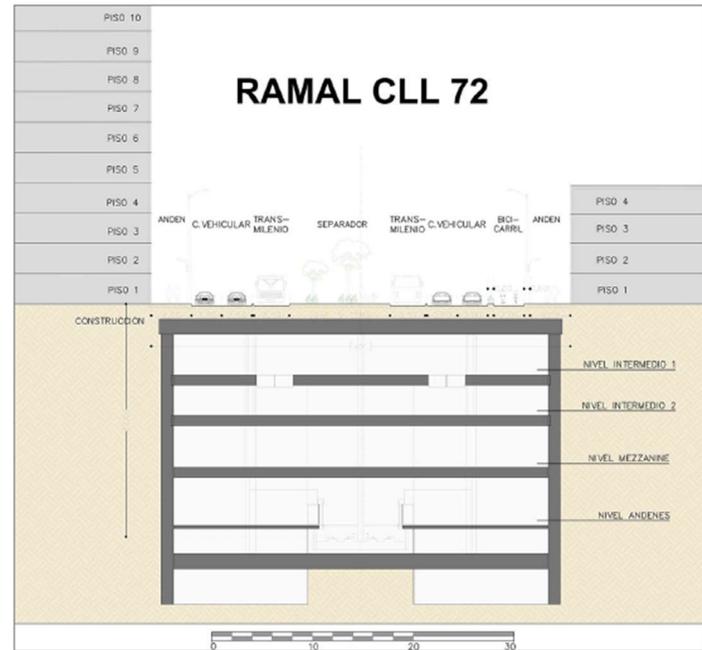


Figura 4. Tipología estación 1. (Calle 72, con carrera 11). Fuente: Egis-Steer, 2021

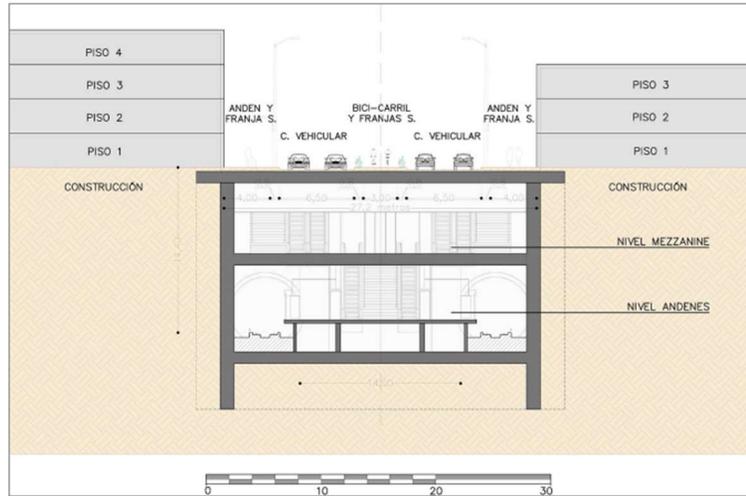


Figura 5. Tipología estaciones 2 a 8. Fuente: Egis-Steer, 2021

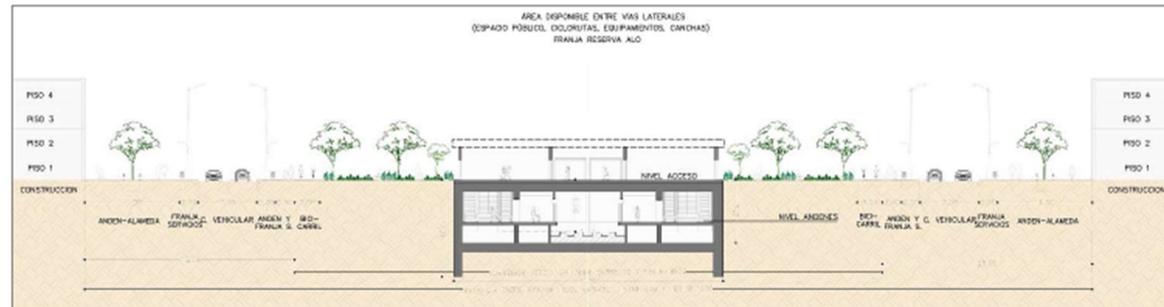


Figura 6. Tipología estaciones 9 y 10. Fuente: Egis-Steer, 2021

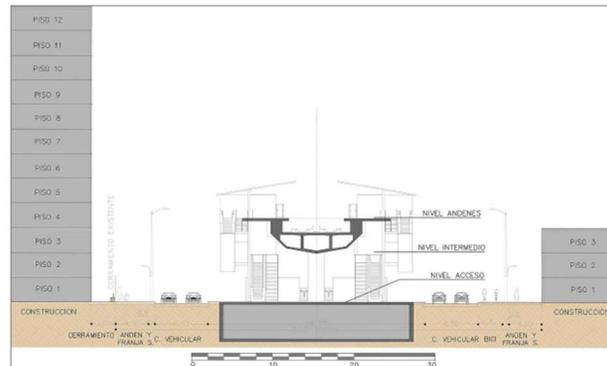


Figura 7. Estación 11, superficial. Fuente: Egis-Steer, 2021

Las principales características de las estaciones se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2. Características de las estaciones de la L2MB, según diseños de prefactibilidad

Tipología	Cota riel	Longitud útil	Ancho útil	Tipo	Método constructivo	Excavación	Demanda
1	-23,0 m	147,0 m	37,2 m	Subterránea	Cut & Cover	Cielo abierto bajo vía pública	Alta demanda en horas pico
2 a 8	-14,5 m	147,0 m	29,65 a 25,45 m	Subterránea	Cut & Cover	Cielo abierto bajo vía pública o terrenos adquiridos	Estaciones con demanda media a alta que se conectan con Transmilenio
9 y 10	-5,9 m	147,0 m	29,65 a 25,45 m	Subterránea superficial	Cut & Cover	Estación excavada a cielo abierto en la zona ALO	Estación de servicio local

11	+9,0 m	144,5 m	23,3 m	Superficial	-	-	Estación de servicio local
----	--------	---------	--------	-------------	---	---	----------------------------

Una vez verificadas las dimensiones e implantación de las diferentes estaciones previstas para la L2MB, se revisó la información del entregable 5.1 e información secundaria, para establecer las propiedades geotécnicas de los materiales en los cuales serán excavadas las obras subterráneas para la implantación de las estaciones y se identifican las amenazas de origen geotécnico que se podrían presentar durante la construcción de estas estructuras.

➤ **Contexto geotécnico**

A continuación se presenta un resumen de las características geotécnicas de los suelos a lo largo del trazado de la L2MB. Este aspecto se puede apreciar en más detalle en el documento de revisión de geotécnica y pavimentos (2.2.10.)

La estratigrafía de la Sabana de Bogotá está conformada por sedimentos de ambientes denudativo, aluvial, lacustre y fluvial. La formación sabana ocupa la mayor parte del recorrido de la línea del metro la cual está compuesta principalmente por arcillas limosas con trazas orgánicas con laminaciones de limos y turbas de origen fluvio lacustre y aluvial con espesores mayores a 200 m, de acuerdo con información cartográfica de INGEOMINAS y de la microzonificación sísmica de Bogotá.

En cercanías a los cerros de Suba se espera que el material arcilloso esté intercalado con depósitos aluviales o aluviones coluviales compuestos por arenas limosas y arcillas arenosas.

Del análisis de información geotécnica del corredor se identificaron tres zonas homogéneas las cuales se describen en detalle en el documento 2.2.10 de Debida Diligencia, Geotécnica y Pavimentos.

**Zona I: K0+000 a K0+450.(Cola de maniobras).** Compuesta en superficie por materia orgánica con suelos limo-arcillosos o por rellenos viales de 2,0 m de espesor. Debajo de este material hasta los 25 m de profundidad se encuentran depósitos coluviales en matriz areno arcillosa, esta matriz, con una humedad relativamente baja y plasticidad media a baja. En esta zona I, se destaca la presencia en los primeros 100 m de gravas arcillo arenosas compactas, en el resto del tramo predominan arenas arcillosas de compacidad variable.

**Zona II: K0+450 a K7+900.(Calle 72 desde estación 1 aprox. 300 m antes de la estación 6 en la calle 80).** Compuesta en superficie por un relleno antrópico y suelo con un contenido de materia orgánica de medio a alto de 1,2 m a 3,0 m de espesor. Debajo de este material se encuentran arcillas limosas con ocasional contenido de arena limosa, de humedad media a alta y muy plástica hasta profundidades de 32 m a 40 m. Por debajo de este estrato se encuentra una arcilla con bajo contenido de limos, humedad media y plasticidad media a alta hasta aproximadamente 80 m de profundidad.

**Zona III: K7+900 a K15+760.(aprox. 300 m antes de la estación 6 en la calle 80 hasta el patio taller).** Compuesta en superficie por un relleno antrópico y suelo con un contenido de materia orgánica de medio a alto de 0,7 m a 2,4 m de espesor, por debajo del cual hasta los 22 m de profundidad, se encuentra una arcilla con bajo contenido de limos con alta humedad y muy plástica, condición posiblemente debida a la presencia de humedales en la zona.

	<p>Con respecto a los niveles freáticos a lo largo del corredor no se tiene información específica al respecto. Según información secundaria revisada las profundidades del nivel freático están entre 2m y 4 m de profundidad.</p>
<p><b>Conclusiones del estudio de prefactibilidad:</b></p>	<p>Los suelos que se espera encontrar en las estaciones subterráneas, exceptuando la estación 1, corresponden con arcillas plásticas limosas hasta cercanías de la estación 6. Después de esta estación las arcillas se presentan con bajos contenidos de limos de alta plasticidad. Se estima que estos materiales pueden extenderse a profundidades mayores a los 100 m. En la estación 1, prevista en prefactibilidad y localizada a la altura de la carrera 11, una mezcla heterogénea de suelos arenosos arcillosos y la posible presencia de gravas.</p> <p>A continuación se presentan puntos a tomar en cuenta que deben ser mejorados en desarrollo de los estudios de factibilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Establecer con precisión el emplazamiento y las dimensiones de las estaciones; longitud, ancho y profundidad.</li> <li>● Para poder simular de la manera más aproximada a la realidad los efectos de las excavaciones de las estaciones subterráneas se requiere conocer las propiedades de los suelos de consolidación, compresibilidad y permeabilidad del material, además de las propiedades de resistencia mecánica.</li> <li>● Elaboración de modelos para evaluar el comportamiento del agua subterránea debido a las excavaciones subterráneas de las pantallas.</li> <li>● El seguimiento de las presiones piezométricas en la zona de influencia del trazado.</li> </ul> <p>Si bien en la información de prefactibilidad se presenta un predimensionamiento arquitectónico de las estaciones subterráneas, longitud, ancho y profundidad a riel y se prevé para la excavación de estas obras la utilización del sistema Cut &amp; Cover, no se tiene información relacionada con la profundidad de empotramiento de las pantallas, espesor de las pantallas, apuntalamientos, efectos en el comportamiento de los niveles freáticos y proceso constructivo entre otros aspectos.</p> <p>Como referencia, el sistema Cut &amp; Cover, método invertido, usual en la construcción de estaciones subterráneas en líneas de metro, consiste en la construcción de muros pantalla pre excavados desde la superficie hasta la profundidad establecida en el diseño. Una vez terminadas las pantallas se construye la losa superior, que se apoya en las paredes de la pantalla. Cuando la losa está terminada y ésta adquiere la resistencia suficiente, puede habilitarse la superficie mientras se continúan los trabajos en el interior, extrayendo el material de suelo hasta el siguiente nivel de losa y apuntalando adecuadamente las pantallas. Se procede de esta manera hasta llegar al nivel del fondo para ejecutar la contrabóveda en concreto. En la siguiente figura se aprecia el sistema constructivo Cut &amp; Cover, método invertido (top down).</p> <div data-bbox="877 1101 1560 1323" style="text-align: center;"> <p>El diagrama ilustra dos técnicas de construcción de estaciones subterráneas. A la izquierda, el método 'CUT AND COVER' muestra una excavación profunda con muros de pantalla y una losa superior que se construye después de la excavación. A la derecha, el 'METODO INVERTIDO' muestra la construcción de la losa superior desde la superficie, seguida de la excavación y construcción de la estructura interior, un proceso conocido como 'top down'.</p> </div>



Figura 8. Secuencia de construcción sistema Cut & Cover. Método Invertido. (Top down). Fuente: G. Perri, 2012

Se considera importante mencionar los riesgos que el sistema Cut & Cover propuesto para la excavación de las estaciones de la L2MB implica y que en el estudio de prefactibilidad se comentan tangencialmente. Este es un aspecto definitivo en el dimensionamiento y proceso constructivo de las pantallas preexcavadas que impacta en costos y cronograma de construcción. Los riesgos asociados a las excavaciones subterráneas de las estaciones se relacionan con:

- Generación de deformaciones en la superficie inducidas por efectos de abatimiento del nivel freático.
- Generación de deformaciones en la superficie causadas por los sistemas de sostenimiento de las excavaciones.
- Generación de deformaciones en la superficie por fallas de fondo, identificables por la presencia de grietas en la superficie.
- Inundaciones por desbordamiento, principalmente en la zona III, aledaña al humedal Juan Amarillo.
- Presiones artesianas principalmente en el sector del humedal Juan Amarillo.
- Licuación o ablandamiento cíclico. Por el tipo de material arcilloso no se espera que se presente este fenómeno. No obstante, se debe verificar el comportamiento de este material frente a cargas sísmicas.
- Amenaza sísmica. La cual se debe verificar de acuerdo con lo establecido en la NSR-10 para períodos de retorno de 475 años y de acuerdo con el espectro de microzonificación sísmica de Bogotá para un período de retorno de 1000 años, de acuerdo al CCP-14.

El grado de riesgo será bajo, en la medida en que se defina un proceso constructivo adecuado para cada estación en particular, que permita controlar las deformaciones a los valores máximos admisibles, mediante fases de construcción controlando la altura y con instalación de sistemas de apuntalamiento oportunos de las pantallas preexcavadas. Los diseños deben contemplar la rigidez de las pantallas, y la longitud de empotramiento para evitar fallas fondo o de pata de dichas estructuras. Además el tema de subpresión se debe analizar con el diseño de la losa de fondo y el control del descenso de nivel freático utilizando sistemas o juntas impermeables en las pantallas. Para el control de las deformaciones tanto de las pantallas como de las estructuras existentes, los diseños tendrán previsto la instalación de inclinómetros, mojones registradores de movimientos y piezómetros colocados estratégicamente en estaciones a lo largo de los deprimidos.

A continuación se listan comentarios generales en relación el diseño geotécnico de las estaciones de la L2MB:

Ítem	Aspectos relevantes	¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?
<b>Prediseño geotécnico de las pantallas preexcavadas</b>	No se tiene un pre dimensionamiento de la profundidad de empotramiento de las pantallas, espesor de las pantallas o estimativos preliminares de deformaciones en la superficie.	Para el diseño de pantallas preexcavadas se deben verificar varios aspectos como, estabilidad global, falla de fondo, asentamientos y deformaciones horizontales y verticales, efectos en los niveles freáticos los cuales determinan la longitud de empotramiento requerido, espesor de la pantalla y secuencia constructiva y apuntalamiento. Estas verificaciones se pueden realizar con métodos analíticos corroborados con métodos numéricos limitando los resultados a requerimientos normativos y asegurando la estabilidad de la obra verificando la magnitud de las deformaciones de las excavaciones con valores admisibles.
<b>Normatividad aplicada</b>	No se hace referencia a normatividad relacionada con los límites de deformaciones superficiales y deriva de las edificaciones adyacentes admisibles para el diseño del tipo de obra proyectado para las estaciones subterráneas.	La normatividad aplicada principalmente corresponde con la NSR-10 y CCP-14, complementadas con normativas europeas como UIC, CEN y EN. Se debe revisar esta normatividad para establecer dimensiones, asentamientos y derivas admisibles de las edificaciones.
<b>Hipótesis de carga</b>	Si bien en los diseños prefactibilidad se tiene un predimensionamiento de las estaciones subterráneas a nivel arquitectónico, se considera importante contar con una reseña de las hipótesis de carga a las cuales se pueden ver sometidas las estructuras de las estaciones.	Se deben establecer las diferentes hipótesis de carga a los cuales se someterá la estructura de acuerdo con las etapas de construcción. Cargas de tierra, cargas hidrostáticas, cargas vivas vehiculares, cargas muertas de edificaciones adyacentes, sismo, entre otras, considerando la normatividad correspondiente. Se debe establecer la tipología de las edificaciones cercanas a las estaciones, se estima que éstas están entre 2 y 4 pisos en el corredor de la L2MB.
<b>Método constructivo</b>	En la construcción de las estaciones subterráneas es muy importante establecer las etapas de construcción de estas obras. De ello puede depender el control de deformaciones y la estabilidad de la obra. Este aspecto no se aborda en el diseño de prefactibilidad.	En el diseño de las estaciones subterráneas, se deben revisar las alternativas de etapas de construcción con las que se obtenga un mejor desempeño estructural y un rendimiento de construcción adecuado y seguro. Esta verificación se puede hacer de forma analítica y numérica.

<p><b>Dimensionamiento de estaciones</b></p>	<p>Se tienen en prefactibilidad plantas y perfiles arquitectónicos básicos y el emplazamiento de las estaciones subterráneas así como aspectos de demanda establecida para cada estación. Se destaca el tema relacionado con la estación 1, localizada al oriente de la Av. Caracas, la cual se ve impactada por el deprimido previsto en la calle 72 el cual hace parte de la PLMB.</p>	<p>En el diseño del trazado final de línea del metro tanto en planta como en perfil, se debe optimizar la localización de las estaciones bajo diferentes consideraciones como afectaciones de tráfico, demanda de pasajeros, aspectos prediales, profundidad, aspectos arquitectónicos y urbanísticos entre otros. También la consideración de un esquema bi túnel o mono túnel afecta el dimensionamiento de las estaciones. En términos generales una estación para bitúnel puede requerir menor profundidad y mayor ancho, mientras que una estación para un mono túnel puede requerir mayor profundidad pero menores anchos.</p>
<p><b>Afectación predial.</b></p>	<p>Los anchos de las estaciones previstos en los estudios de prefactibilidad para el sistema bitubo son de 37,2 m a 25,45 m, los cuales se podrían optimizar en un sistema monotubo reduciendo la afectación predial.</p>	<p>Evaluación de las estaciones para la L2MB, optimizando espacios para reducir anchos de pantalla y en consecuencia afectación predial. Por otra parte, los predios que se puedan ver afectados por la implantación de estaciones deben quedar en reserva, con lo que se evitan reclamaciones futuras por daños severos que se podrían generar en las edificaciones. La franja o distancia de las pantallas de las estaciones a los posibles predios que se podrían ver afectados por la construcción de las obras, se podrá estimar a partir de los análisis de deformaciones de las pantallas preexcavadas.</p>
<p><b>Cambiavías</b></p>	<p>En el esquema bi túnel, no se ha observado en los diseños de prefactibilidad la implantación de obras particulares en los sectores en donde se han previsto cambiavías, los cuales enlazan las líneas del bitúnel en algunos tramos del trazado. Para implementar los cambiavías, se requiere excavar desde la superficie mediante el uso de pantallas preexcavadas. Considerando la longitud y número de cambiavías previstos, de 100 m a 200 m de longitud y de 4 a 6 de éstos, la omisión de estas obras tiene un impacto muy importante en el proyecto en términos programáticos y de costos.</p>	<p>Se deben evaluar los costos e impacto programático de las obras requeridas para implantar las cambiavías requeridos en el sistema bitubo.</p>
<p><b>Aspectos críticos por atender</b></p>	<p><b>A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería de factibilidad (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2)</b></p>	<p><b>A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de complementación del modelo geotécnico (Fase 3)</b></p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Es importante establecer las dimensiones generales de las estaciones y su emplazamiento final más probable.</li> <li>● Establecer el perfil del trazo final de la línea del metro, con el fin de determinar el perfil geotécnico en profundidad de acuerdo con los resultados de las investigaciones geotécnicas.</li> <li>● Parámetros geomecánicos de resistencia de los diferentes estratos del suelo.</li> <li>● Perfil geotécnico con la estratificación del suelo de las diferentes estaciones.</li> <li>● Parámetros de permeabilidad del suelo y medición de niveles freáticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pruebas adicionales de laboratorio para complementar información de parámetros geomecánicos de resistencia de los diferentes estratos de suelo.</li> </ul>
<b>Interfaces:</b>	Interfaces con: Arquitectura, estructuras, redes e instalaciones electromecánicas y con el diseño del túnel	
<b>CAPEX y OPEX</b>	Determinar el presupuesto de construcción y los costos de operación asociados a las estaciones subterráneas	
<b>Otros aspectos relevantes:</b>	La profundidad del deprimido de la calle 72, condiciona la localización de la estación de la Av. Caracas.	

### 2.2.25.1.3. ASPECTOS RELEVANTES DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

#### 2.2.25.1.3.1 Línea 1 elevada (en construcción). PLMB

De los diseños de la PLMB elevada, es relevante el diseño del deprimido en la intersección de la avenida Caracas con Calle 72, el cual pasará por debajo de la avenida Caracas. Por debajo de este deprimido deberá pasar el túnel de la L2MB, lo que definirá la profundidad de excavación a la que se debe ubicar la estación de la Av. Caracas. El deprimido tiene una longitud de 295 m, para el cual se plantea un sistema de pantallas preexcavadas con el empleo de apuntalamiento superior que garantiza un gálibo mínimo de 5,50 m. A la entrada y a la salida del deprimido hay zonas con una excavación abierta, lograda mediante muros pantalla en voladizo. Las pantallas se plantean de 0,60 m de espesor, longitud de empotramiento de 10 m y módulos de 5,0 m de longitud.

La localización general del deprimido de la Av. Caracas se muestra en la Figura 9, así como una sección transversal típica. En la Figura 10, se muestra la configuración de esta obra en 3D.

Para el diseño de esta obra se siguieron la NSR-10, CCP-14, la microzonificación sísmica de Bogotá y el manual de diseño de cimentaciones superficiales y profundas para carreteras del Instituto Nacional de Vías, INVIAS.

Para el diseño de la pantalla se consideraron los siguientes criterios:

- La longitud de empotramiento se consideró como mínimo, una longitud que garantice el equilibrio de la pantalla (sumatoria de empujes y momentos igual a cero).
- Para la evaluación de la estabilidad global y local, los factores de seguridad mínimos durante construcción (corto plazo) y durante servicio (largo plazo) corresponden a los dados en la Tabla H.2.4.1, de la NSR-10.
- Los desplazamientos horizontales de referencia para las pantallas, son los valores dados para desarrollar el estado activo, incluidos en la Tabla H.6.4.1, Movimientos horizontales en el muro de contención conducentes a los estados activos y pasivos de la NSR-10. Dichos valores están en función de la altura libre de la pantalla. La verificación de los efectos de los desplazamientos en las estructuras vecinas se realizó mediante modelación numérica con el fin de establecer las distorsiones angulares y la categoría del daño correspondiente en el área de la obra.
- El criterio para asentamientos admisibles de las pantallas corresponde a que estos no ocasionen daño en las estructuras del deprimido. Se consideraron los desplazamientos diferenciales entre pantallas, con el fin de controlar posibles daños.
- Para estimar los empujes en condición pasiva, se tuvo en cuenta un Factor de Seguridad de 2,0, dado que para movilizarse se requiere un desplazamiento importante de la estructura.
- Para estimar los empujes, se tuvo en cuenta un valor del ángulo de las fuerzas con las normal a la cara del muro de  $\frac{2}{3}$  el ángulo de fricción del suelo.
- Para los análisis en condiciones de sismo, se consideró la aceleración horizontal y la aceleración vertical. La aceleración vertical se adoptó como la mitad de la aceleración horizontal. La aceleración horizontal se estableció de acuerdo con la Zonificación de Respuesta Sísmica de Bogotá.

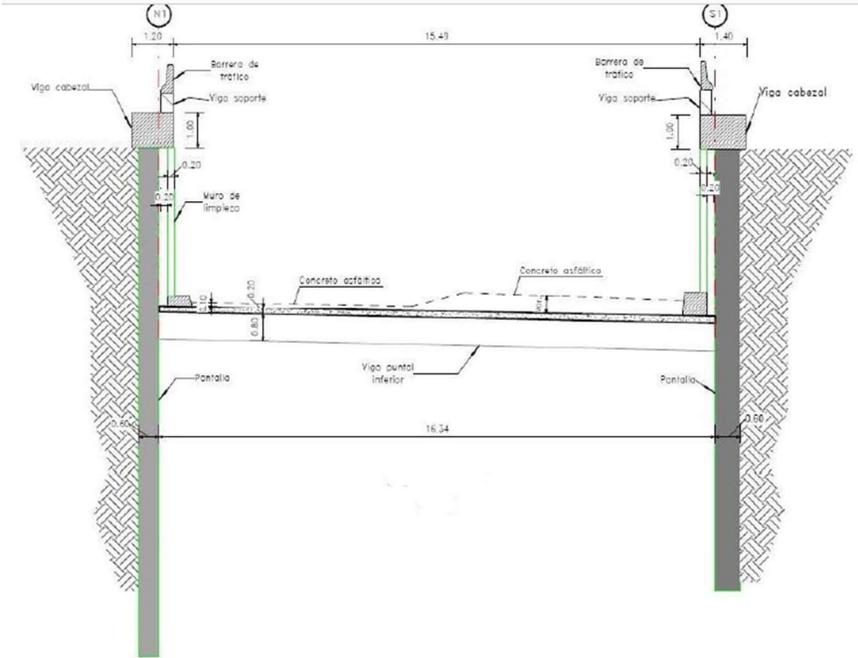
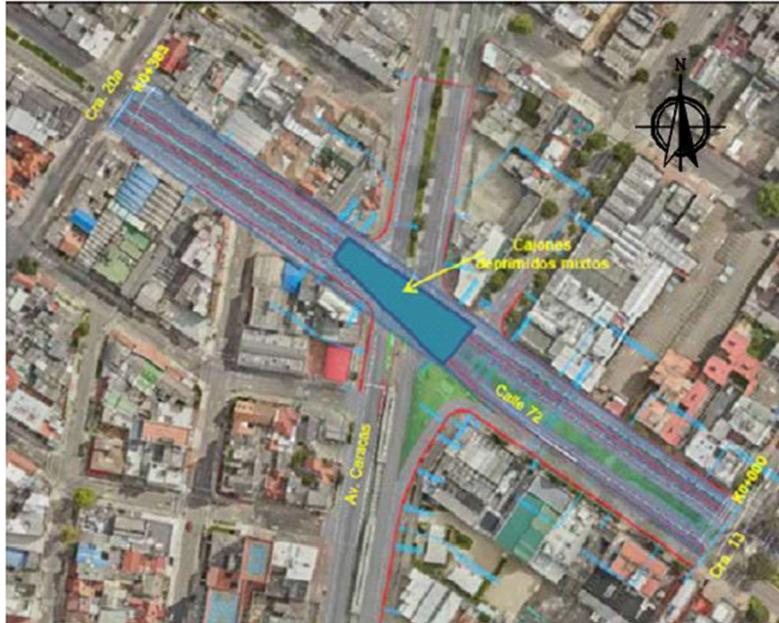


Figura 9. Localización general del deprimido de la calle 72 y sección transversal típica. Fuente: Metro Línea 1, 2021

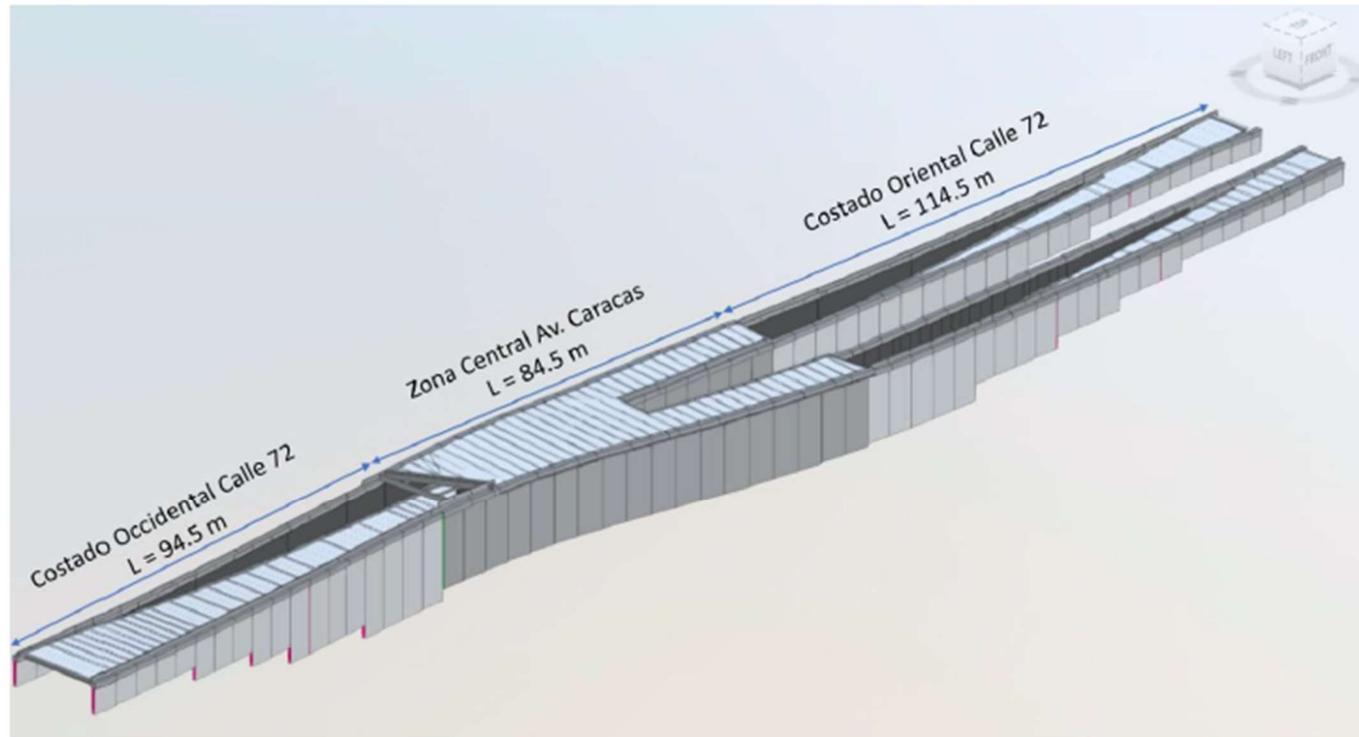


Figura 10. Vista en 3D del deprimido de la calle 72. Metro Línea 1, 2021

Con respecto a la estratigrafía en la zona del deprimido vehicular de la calle 72, en este sector se presenta una secuencia estratigráfica casi continua de sedimentos principalmente fluviales y lacustres. De acuerdo con la correlación de las perforaciones llevadas a cabo en el área, las características litológicas están definidas por arcillas con intercalación arenosa, y lentes de materia orgánica. En la Figura 11, se presenta el perfil geotécnico longitudinal, definido a partir de las descripciones litológicas de cada una de las perforaciones realizadas en el sitio. En esta figura se observa que hacia el costado oriental predominan materiales de suelo aluviales y que hacia el costado occidental se tiene arcillas de origen lacustre.

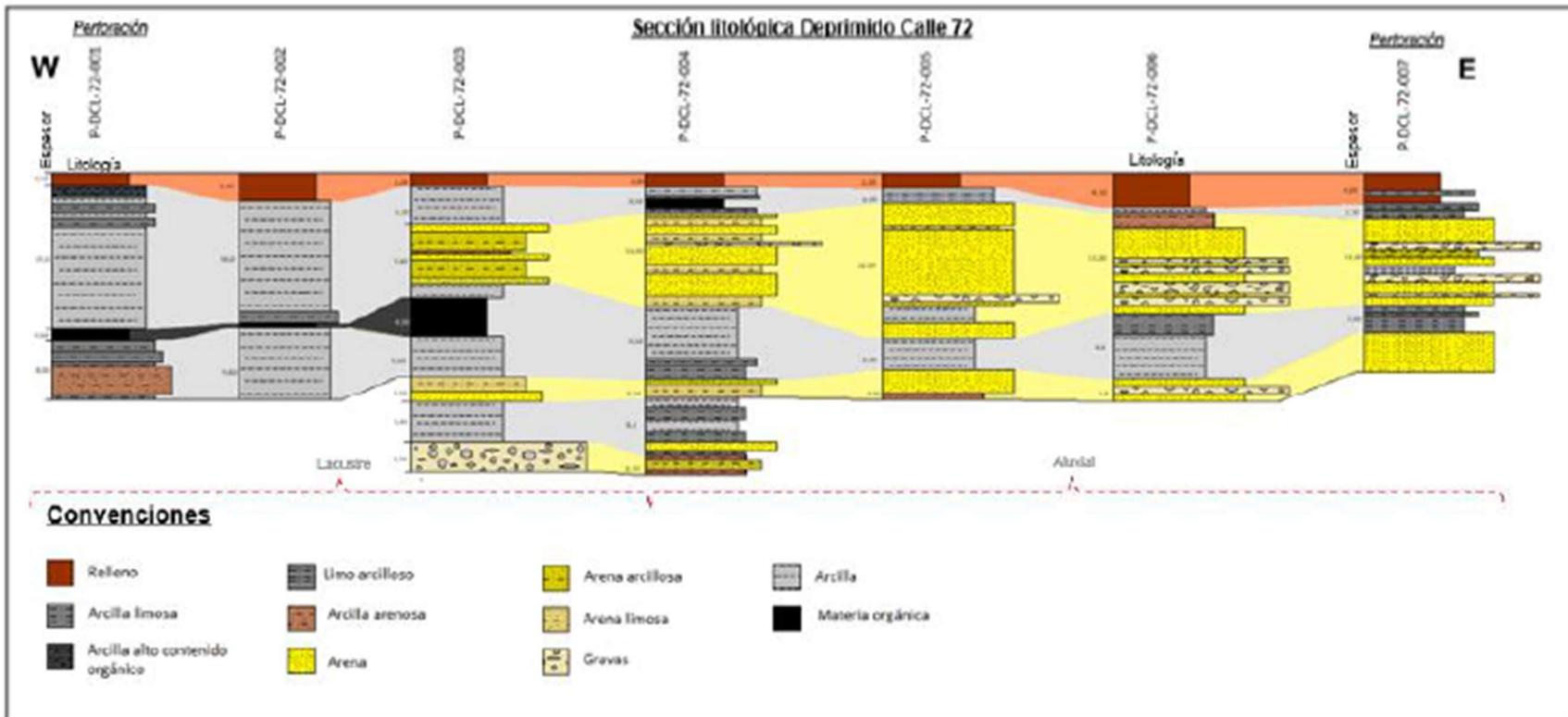


Figura 11. Sección litológica del deprimido de la calle 72. Fuente: Metro Línea 1, 2021

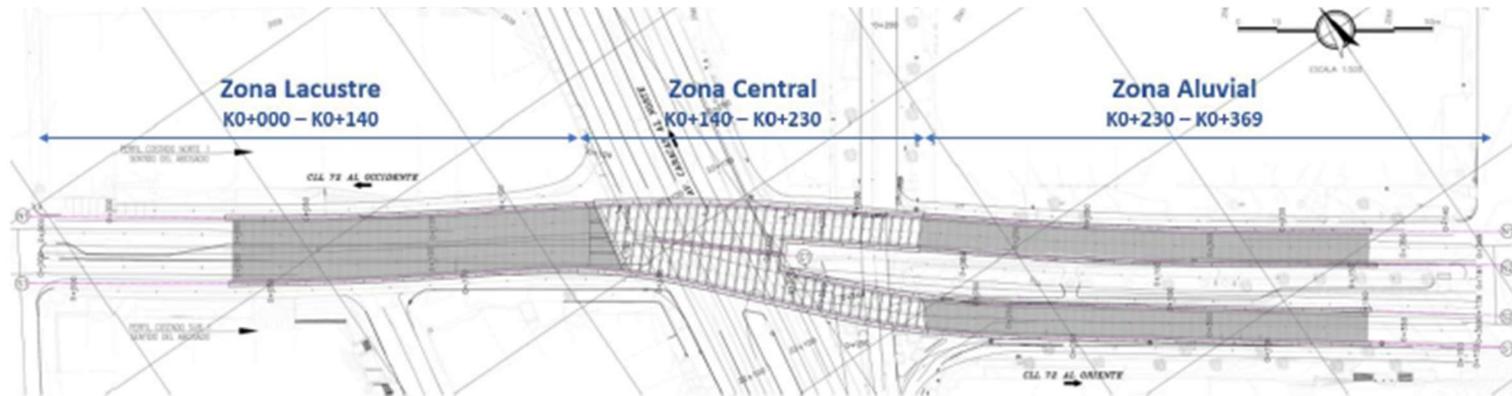


Figura 12. Zonificación geotécnica para el deprimido vehicular de la Calle 72. Fuente: Metro Línea 1, 2021

Con respecto al diseño geotécnico de las pantallas el cual se realizó siguiendo los criterios antes mencionados se destaca lo siguiente:

- Se verificó la susceptibilidad de licuación del suelo de acuerdo con los criterios señalados en el título H de la NSR-10. De este análisis se estableció que los materiales de comportamiento granular presentes en el área no son susceptibles a licuarse.
- Se evaluó el potencial de expansión de los materiales cohesivos según lo establecido en el Título H de la NSR-10. De acuerdo con este análisis se estableció que los suelos arcillosos presentan un potencial de expansión bajo a nulo.
- Se realizó un análisis numérico de flujo, con el fin de determinar la subpresión que se puede producir sobre el puntal inferior del deprimido. De este análisis se estableció que en la zona lacustre para altura libre de pantalla de 6 m y empotramiento de 10 m una subpresión de 23,2 KN/m<sup>2</sup>.
- De los análisis numéricos de desplazamientos horizontales y verticales máximos presentados sobre la pantalla y el puntal inferior, se obtuvieron desplazamientos horizontales entre 0,01 m y 0,11 m. Los desplazamientos verticales sobre la pantalla variaron entre -0,02 m y -0,06 m para las zonas aluvial y lacustre y de 0,15 m para la zona central. Los desplazamientos verticales en el puntal inferior variaron de -0,05 m a 0,10 m, valores que se encuentran dentro de un rango razonable.
- De los análisis de estabilidad también se estableció que se requiere el uso de puntales temporales para control de desplazamientos horizontales en zonas en donde la altura libre era mayor de 3 m.

- De los análisis numéricos de deformaciones se establecieron en la zona lacustre para altura libre de la pantalla de 6 m deformaciones horizontales de 0,14 m. Para reducir esta deformación se recomendó el mejoramiento del suelo mediante la inyección de cemento en la zona lacustre, correspondiente a arcillas limosas de consistencia blanda. Con este supuesto se realizaron los análisis numéricos obteniendo deformaciones máximas de 0,08 m.

### 2.2.25.1.3.2 Línea 1 subterránea (estudio inicial)

En el estudio inicial de la línea 1 subterránea se establecieron estaciones subterráneas entre pantallas, así como algunos tramos del trazado del túnel. Para los trazos del túnel las pantallas se localizaron con una separación interna de 10,40 m y muros pantalla con espesores de 1,0 a 1,20 m. Las estaciones subterráneas se previeron de 20,8 y 30,7 m de ancho, con profundidades de 24 m al nivel de la clave de la contrabóveda.

En la figura siguiente se muestran las secciones transversales típicas para las estaciones con tuneladora.

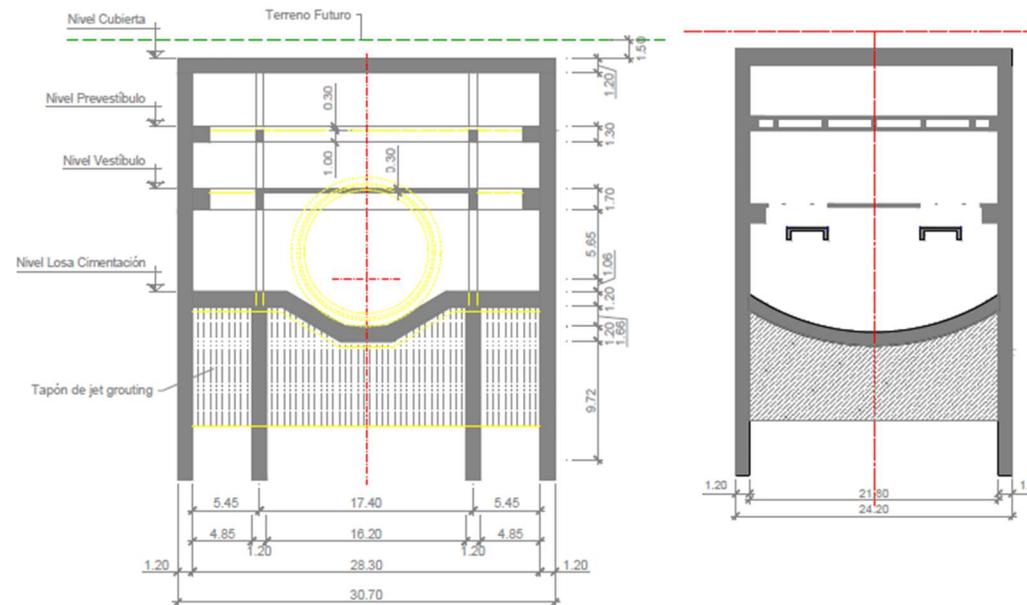


Figura 13. Sección tipo para estación en túnel con tuneladora. Fuente: Metro de Bogotá, 2015

Para el diseño de las estaciones en pantalla se siguieron las normativas de la NSR-10 y la CCP-14, así como los eurocódigos EN.

El sistema constructivo elegido para la construcción de las estaciones y algunos del trazo del túnel es el sistema cut & cover, mediante la ejecución de pantallas continuas de hormigón armado. El apuntalamiento de los muros pantalla de las estaciones se resolvió mediante losas de vestíbulos, puntales provisionales, tapones de jet grouting y contrabóveda.

Se destaca que en los análisis previos de esfuerzos y deformaciones, se detectó la necesidad de ejecutar de forma previa a la excavación un apuntalamiento inferior del pié de la pantalla mediante “jet-grouting” en forma de tapón continuo o discontinuo.

Debido a que el nivel freático se detectó por encima de la rasante a lo largo de todo el trazado de la línea 1 del metro de Bogotá, se analizaron las siguientes alternativas para lograr la excavación en seco.

- Realizar el empotramiento de las pantallas en un nivel impermeable que garantice que el flujo de agua hacia el interior del recinto sea reducido.
- Realizar el tratamiento de impermeabilización del fondo previamente a la excavación.
- Solera drenada. Se descartó debido a los efectos de depresión del nivel freático y asentamientos inducidos.

De estas alternativas finalmente se propuso la ejecución de un tratamiento en el fondo de la excavación mediante un tapón continuo de jet-grouting para garantizar el funcionamiento homogéneo como puntal provisional. Esta solución elimina la inestabilidad geotécnica por la falla del fondo. Se analizó para cada caso en particular, si el suelo a nivel de empotramiento tenía la cantidad de finos suficiente como para ser considerado impermeable o si era necesario que el tapón de jet grouting cumpliera con esa función. El tapón de jet grouting tendrá varias funciones:

- Servir como apuntalamiento horizontal a las pantallas.
- Disminuir la afectación sobre los edificios.
- Servir de lastre contra la flotación.
- Servir como losa de cimentación provisional y contribuir a reducir la longitud de las pantallas.

En el diseño de las Estaciones se consideraron dos mecanismos estructurales distintos. El primero considera que la transmisión de las cargas verticales al terreno se realiza a través de las pantallas con una longitud suficiente para trabajar como cimentaciones profundas. El segundo mecanismo consiste en la transmisión de las cargas al terreno en situación provisional mediante el tapón de jet-grouting. En este caso las pantallas transmiten las cargas al tapón y la longitud de las mismas viene condicionada por la flotación.

Para el diseño de las estaciones se realizaron las siguientes comprobaciones geotécnicas:

- Capacidad portante de las pantallas y pilar intermedias, para cargas verticales
- Comprobación de la capacidad portante del conjunto de la Estación, trabajando como una cimentación compensada con losa.
- Asentamientos propios de la estación.
- Flotación
- Comprobación estructural del tapón de jet grouting a flexión y su capacidad a esfuerzo cortante.

Por otra parte, el efecto de la posición del nivel freático se consideraron para las comprobaciones geotécnicas mencionadas, el cual se estableció a partir de curvas envolventes de máximos y mínimos realizadas en mediciones efectuadas a lo largo del trazo de la línea 1 del metro de Bogotá.

- La posible variación del nivel freático se deriva de los siguientes fenómenos:
- Efecto barrera inducido por las obras subterráneas
- El abatimiento por las excavaciones, ejecución de sótanos y reducción de la infiltración.
- El abatimiento por la extracción de agua subterránea.
- El eventual desbordamiento del río Bogotá.

Para la comprobación de la capacidad portante, se consideraron los siguientes factores de seguridad para la resistencia última según la filosofía del Eurocódigo Geotécnico y de acuerdo con la norma Colombiana:

Tabla 3. Factores de seguridad para resistencia última y para capacidad portante. Fuente: Metro de Bogotá, 2015

Condición	Parámetro	$\gamma_R$
Situación a largo plazo (parámetros efectivos)	$c'$	2.0
	$tg \delta$ ( $tg \delta = 0.5$ a $0.7 tg \phi'$ )	1.5
Situación a corto plazo (parámetros sin drenaje)	$S_u$	2.0

Condición	Coeficiente de seguridad FS	
Situación a corto plazo	$FS_{R CP}$	1.10
Situación a largo plazo	$FS_{R CP}$	1.25

También, como parte de los estudios de la línea 1 del metro de Bogotá, se revisó el estudio de subsidencias regionales, en donde se analizó el problema de los asentamientos regionales que están ocurriendo en la sabana de Bogotá. De acuerdo con el monitoreo de asentamientos que se ha venido realizando desde hace varios años por el IGAC, se ha establecido que las tasas de asentamientos de los depósitos de la sabana están en un rango de menos de 1 cm/año en zonas de suelos aluviales y de ladera y del orden de 2 a 3 cm/año en zonas de depósitos lacustres profundos y alcanza 7 cm/año en zonas de abanicos aluviales donde se hace explotación de agua subterránea.

Las causas de los asentamientos regionales son varias:

- Procesos de desecación
- Reducción de infiltración y abatimiento del nivel freático por excavaciones.
- Cambios de niveles piezométricos en profundidad por extracción de agua subterránea.

El efecto del cambio de nivel en el asentamiento de las estaciones puede ser poco significativo, debido al tamaño de las estructuras y los efectos de flotación en ellas.

#### 2.2.25.1.4. BENCHMARK (experiencias internacionales)

El sistema constructivo elegido para la construcción de las estaciones es el sistema cut & cover, mediante la ejecución de pantallas continuas de hormigón armado por el método invertido. Este sistema ha sido utilizado exitosamente en muchos proyectos de líneas de metro en todo el mundo, por ejemplo en las líneas de metro de Caracas y Valencia en Venezuela, en la línea 12 del metro de Ciudad de México, la línea 1 del metro de Panamá y más recientemente en los metros de Lima y Quito. En términos generales en éstas líneas de metro las estaciones se localizaron de 20 a 25 m de profundidad entre muros pantalla de 1,0 m de espesor. Se destaca el caso de la línea 12 del metro de Ciudad de México, en donde las estaciones se excavaron en un material arcilloso blando, plástico y de baja resistencia similar al suelo de Bogotá. Para este proyecto las pantallas de las estaciones se construyeron a 20 m de profundidad usando pilas secantes o muros que se excavaron a 5 metros por debajo del nivel de la solera. En el caso del metro de Quito excavado en depósitos fluvio lacustres conformado por intercalaciones de tobas, arenas finas y arcillas y estaciones con profundidades de 22 m a 36 m, se destaca el uso de jet-grouting de alta presión para mejorar la condición de suelos blandos de alta plasticidad. En las figuras siguientes se aprecian algunas fotografías de la construcción de estas estructuras.

Localmente, en la ciudad de Bogotá, el uso de muros pantalla es usual en la construcción de fundaciones compensadas. Se destacan los sistemas de cimentación de los edificios BD Bacatá (dos torres de 57 y 65 pisos) y la torre Atrio Norte (46 pisos). En el caso del BD Bacatá, la cimentación consistió en una red de pilotes de 1,0 m a 2,60 m de diámetro apoyados sobre un estrato rocoso de arcillolita a 60 m de profundidad y pantallas perimetrales de 60 cm de espesor y 32 m de profundidad, con losas intermedias de apuntalamiento que permitieron conformar 7 sótanos, en un área cercana a los 4400 m<sup>2</sup>. En el caso de la torre Atrio Norte, se instaló una red de pilotes de 1,0 m a 2,0 m de diámetro de 67 m de profundidad, interconectados entre sí con vigas de cimentación a un muro pantalla de 22 m de profundidad de 60 cm de diámetro para permitir la ubicación de 5 sótanos.

Por otra parte en varios sitios de la ciudad, se han construido deprimidos viales y estaciones subterráneas del sistema Transmilenio, con muros pantalla de 6 a 7 m de profundidad. Se destaca la estación de transmilenio Museo Nacional, en la carrera séptima con calle 26 con una superficie cubierta de 465 m de longitud y una profundidad de 6,5 m.

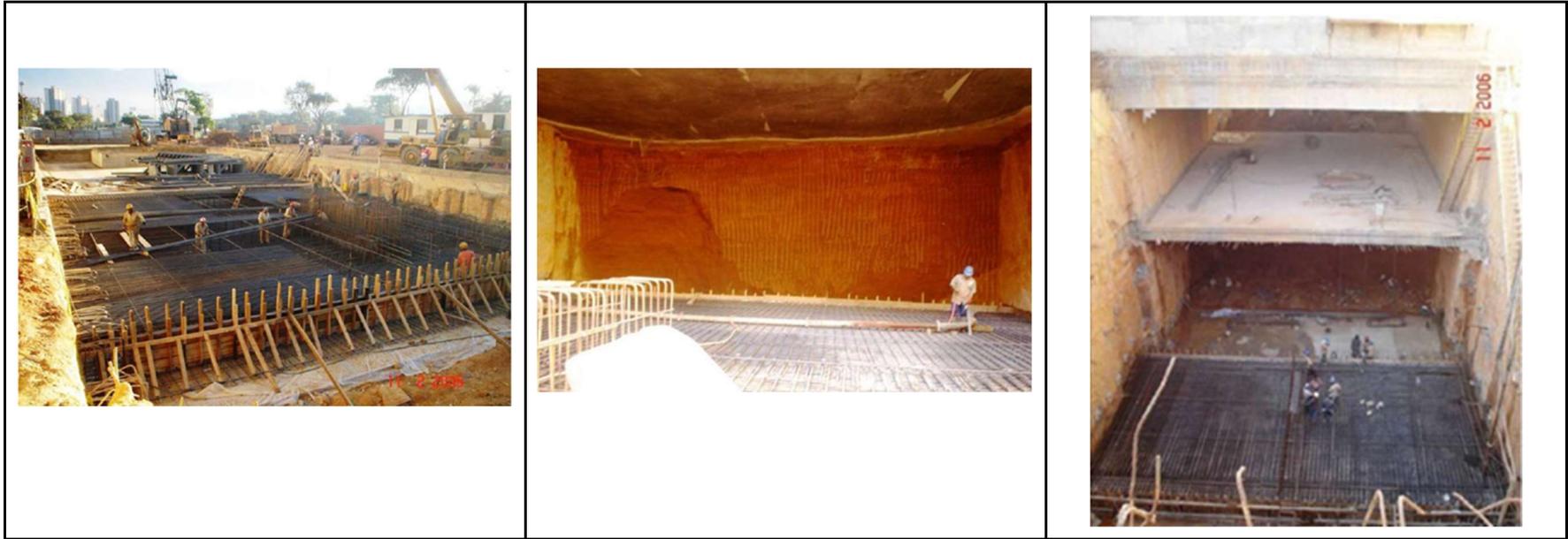


Figura 14. Proceso constructivo cut & cover, metro de Valencia, Venezuela. Fuente: G. Perri, 2012



Figura 15. Estaciones construidas por el método Cut & Cover metros de Quito, Lima y Caracas.



Figura 16. Construcción de estaciones del metro de México. Fuente: ICA, 1997

### 2.2.25.1.5. CONCLUSIONES

- De acuerdo con la información verificada de los documentos de prefactibilidad de la L2MB y de diseño de la línea 1 del metro de Bogotá subterránea (estudio inicial), relacionada con las estaciones subterráneas, se tiene que el sistema constructivo previsto para estas estructuras corresponde al denominado sistema Cut & Cover, sistema invertido, el cual consiste en la construcción de muros pantalla pre excavados desde la superficie hasta la profundidad establecida en el diseño. Una vez terminadas las pantallas se construye la losa superior, que se apoya en las paredes de la pantalla. Cuando la losa está terminada y ésta adquiere la resistencia suficiente, puede habilitarse la superficie mientras se continúan los trabajos en el interior, extrayendo el material de suelo hasta el siguiente nivel de losa y apuntalando adecuadamente las pantallas. Se procede de esta manera hasta llegar al nivel del fondo para ejecutar la contrabóveda en concreto. Este sistema para este tipo de obras subterráneas ha sido utilizado exitosamente en varios proyectos de líneas de metro en el mundo, como el metro de Valencia y Caracas en Venezuela, en el metro de la ciudad de México y más recientemente en los metros de Quito, Lima y la L2 del metro de Panamá entre otros.
- De acuerdo con la información geotécnica revisada del trazado de la L2MB, se establece que las estaciones subterráneas del metro serán excavadas en suelos arcillosos limosos, de humedad media a alta y de alta plasticidad, hasta 300 m antes de la estación 6 cerca a la calle 80. Hacia el occidente de este sector la arcilla se encuentra con bajo contenido de limos, con alta humedad y muy plástica, asociada a los cuerpos de agua cercanos.
- Según la información revisada relacionada con las pantallas preexcavadas para las estaciones subterráneas, en la excavación en materiales arcillosos con las características que se tienen en la sabana de Bogotá, es decir muy plásticas y con alta humedad, se pueden esperar el desarrollo de deformaciones importantes (mayores a 15 cm) tanto horizontales como verticales. Para su control se pueden requerir entre otras consideraciones de diseño, altas profundidades de empotramiento, apuntalamiento temporal, mejoramiento de las condiciones del suelo con inyecciones entre otras medidas, las cuales se deben verificar en diseños más detallados. También para controlar deformaciones se deben considerar etapas de construcción adecuadas y apuntalamientos oportunos. Se deben verificar en el diseño verificaciones de falla global y falla de fondo.
- Para el dimensionamiento previo de las pantallas preexcavadas para las estaciones del metro, se requiere conocer la implantación de las estaciones, el prediseño arquitectónico de los edificios y el perfil vertical del trazo. En etapas posteriores se debe precisar con los resultados de las investigaciones geotécnicas el perfil del terreno en cada estación para poder determinar la profundidad de las pantallas más conveniente, y poder hacer las verificaciones iniciales correspondientes, como falla de fondo, falla global, subpresión, entre otras.
- Si bien no se tiene una información hidrogeológica muy detallada del corredor de la L2MB, se sabe por información secundaria que los niveles freáticos se encuentran cercanos a la superficie, lo que implica una excavación entre pantallas en condiciones bajo agua. Para evitar abatimientos excesivos del nivel del agua y los consecuentes asentamientos por esta causa, se debe verificar el comportamiento del flujo de agua hacia el interior de excavación, considerando medidas como la profundización del empotramiento de las pantallas, aplicación de inyecciones de jet-grouting en el fondo de la excavación y la construcción de juntas impermeables de las pantallas de concreto. Se debe conocer en más detalle el comportamiento del nivel freático del corredor de la L2MB.

- Con respecto al deprimido de la calle 72, previsto como parte de las obras para la primera línea del metro, se tiene que esta obra está conformada por pantallas de 16 m de profundidad con altura libre de 6 a 7 m, lo cual condiciona la profundidad a la cual se debe construir la estación de la Av. Caracas, prevista en el costado oriental de la Av. Caracas. Se deberá verificar esta situación una vez se tenga el trazo vertical de la línea en este sector definida de acuerdo con los radios máximos de las curvas verticales y las pendientes máximas admisibles para la vía férrea y las consecuencias funcionales y arquitectónicas de una estación de mayor profundidad.
- La estratigrafía del terreno del sector deprimido de la Av. Caracas a lo largo de la calle 72, presenta hacia el costado oriental de la Av. Caracas el predominio de materiales de suelo aluviales conformados principalmente por arenas y hacia el costado occidental el predominio de arcillas de origen lacustre. En la zona central del deprimido correspondiente a la Av. Caracas, se presenta una transición gradual entre estos dos materiales del orden de 80 m de longitud.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>2.2.25.8. ET25 - ESTACIONES Y EDIFICIOS - MECÁNICA</b>	<b>4</b>
<b>2.2.25.8.1 NORMATIVIDAD APLICABLE</b>	<b>4</b>
2.2.25.8.1.1 Normatividad nacional	4
2.2.25.8.1.1.1 Sistema de Extinción de Incendios	4
2.2.25.8.1.1.2. Ventilación	5
2.2.25.8.1.1.3 Drenajes	5
2.2.25.8.1.2 Normatividad Internacional	5
2.2.25.8.1.2.1 Sistema de Extinción de Incendios	5
2.2.25.8.1.2.2 Ventilación	6
2.2.25.8.1.2.3 Drenajes	6
<b>2.2.25.8.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ</b>	<b>7</b>
<b>2.2.25.8.3 ASPECTOS RELEVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LINEA DEL METRO DE BOGOTÁ</b>	<b>16</b>
2.2.25.8.3.1 Línea 1 subterránea (estudio inicial)	16
2.2.25.8.3.1.1 Ventilación:	16
2.2.25.8.3.1.2 Drenajes:	18
2.2.25.8.3.1.3 Sistema de Extinción de Incendios:	19
<b>2.2.25.8.4 BENCHMARK (EXPERIENCIAS INTERNACIONALES)</b>	<b>21</b>
2.2.25.8.4.1 Metro de Hanoi	21
2.2.25.8.4.1.1 Descripción general del proyecto	21
2.2.25.8.4.1.2 Descripción del sistema de ventilación	22
2.2.25.8.4.1.3 Descripción del sistema de extinción de incendio	22
2.2.25.8.4.2 Metro de Dubái (línea roja y verde)	23
2.2.25.8.4.2 .1 Descripción general del proyecto	23
2.2.25.8.4.2 .2 Descripción del sistema de ventilación	23
2.2.25.8.4.2.3 Descripción del sistema de extinción de incendio	24

<b>2.2.25.8.4.3 Metro de Santiago - Línea 7</b>	24
<b>2.2.25.8.4.3.1 Descripción general del proyecto</b>	24
<b>2.2.25.8.4.3.2 Descripción del sistema de ventilación</b>	24
<b>2.2.25.8.4.3.3 Descripción del sistema de extinción de incendio</b>	24
<b>2.2.25.8.4.4 Metro de París – Extensión de la línea 14</b>	25
<b>2.2.25.8.4.3.1 Descripción general del proyecto</b>	25
<b>2.2.25.8.4.3.2 Descripción del sistema de ventilación del túnel</b>	25
<b>2.2.25.8.4.3.3 Descripción del sistema de extinción de incendio</b>	25
<b>2.2.25.8.5 CONCLUSIONES</b>	26

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Revisión del estudio de prefactibilidad de la L2MB

Tabla 2. Temperaturas de diseño para la PLMB

Tabla 3. Caudal de aire requerido en las estaciones

Tabla 4. Ventiladores asignados a cada local

Tabla 5. Cargas térmicas de los locales en los casos de refrigeración y calefacción

Tabla 6. Ventiladores seleccionados

Tabla 7. Unidades de aire acondicionado requeridas para las estaciones de la PLMB (subterráneas)

Tabla 8. Características de los rociadores seleccionados

Tabla 9. Requerimiento de caudal y presión para los rociadores

Tabla 10. Características de los rociadores seleccionados para el almacén

Tabla 11. Requerimiento de presión y caudal para la zona más desfavorable de riesgo ordinario

Tabla 12. Caudal de extracción de humos requerido

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Parámetros para el cálculo de la tubería de los drenajes

Figura 2. Parámetros para el cálculo de la tubería de las aguas pluviales

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

## 2.2.25.8. ET25 - ESTACIONES Y EDIFICIOS - MECÁNICA

Disciplina 8:	Estaciones y edificios - Mecánica
Entregable de referencia:	Entregable 10 / ET25 - Estaciones y edificios

### 2.2.25.8.1 NORMATIVIDAD APLICABLE

#### 2.2.25.8.1.1 Normatividad nacional

##### 2.2.25.8.1.1.1 Sistema de Extinción de Incendios

- Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 (v.2019), correspondiente a la tercera actualización, expedida por medio del Decreto 926 del 19 de marzo de 2010. Reglamento de Construcciones Sismo-Resistentes o la norma vigente en caso de actualización.
- NS-128 (v. 2009) Lineamientos Generales para Diseño y Construcción de Instalaciones Hidrosanitarias Internas y Sistemas Contra - Incendio.
- NTC 2885 (v.2009) Extintores portátiles contra incendios.
- NTC 1669 (v.2009) Norma para la instalación de conexiones de mangueras contraincendios.
- NTC 2301 (v.2011) Norma para la instalación de sistemas de rociadores.
- NTC 2702 (v.1997) Hidrantes de cuerpo seco contra incendios.
- RAS Título B Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – Título B.
- NTC 2050 (v.1998) Código Eléctrico Colombiano.
- RETIE (v.2013) Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.
- Normativa urbanística de aplicación de los municipios que atraviesa el sistema férreo a diseñar, incluyendo sus Planes de Ordenamiento Territorial vigentes al momento de realizar los diseños.
- Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP
- Normas Técnicas Colombianas (NTC), entre las cuales se destacan, sin limitarse a estas:
- NTC 6047 – Accesibilidad al Medio Físico.
- NTC 414 – Accesibilidad a Edificios y Espacios Urbanos.
- NTC 5183 – Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

- NTC 4139 – Por el cual se reglamenta la accesibilidad a los modos de transporte a la población en general y en especial de las personas con discapacidad.
- Normas y Especificaciones vigentes de Diseño y Construcción de EAAB, ETB, ENEL
- Ley 361 de 1997 – Por la cual se establecen mecanismos de integración social de las personas en situación de discapacidad y se dictan otras disposiciones.

#### 2.2.25.8.1.1.2. Ventilación

- NTC 5183 *Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores*

#### 2.2.25.8.1.1.3 Drenajes

- NTC 1500: Código Colombiano de Fontanería.
- Normas y Especificaciones vigentes de Diseño y Construcción de EAAB, ETB, ENEL

#### 2.2.25.8.1.2 Normatividad Internacional

##### 2.2.25.8.1.2.1 Sistema de Extinción de Incendios

- NFPA 130 (v. 2020): Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems. National Fire Protection Association.
- NFPA 110 (v. 2021): Life Safety Code
- NFPA 70 (v.2020) National Electric Code (NEC).
- NFPA 10 (v.2022) Portable Fire Extinguishers.
- NFPA 12 (v.2022) Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems
- NFPA 13 (v.2022) Standard for the Installation of Sprinkler Systems.
- NFPA 14 (v.2019) Standpipe and Hose Systems.
- NFPA 15 (v.2022) Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection.
- NFPA 20 (v.2022) Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection.
- NFPA 22 (v.2018) Standard for Water Tanks for Private Fire Protection.
- NFPA 24 (v.2022) Standard for the Installation of Private Fire Service Mains and their Appurtenances.
- NFPA 25 (v. 2020) Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems
- NFPA 30 (v.2021) Flammable and Combustible Liquids Code.
- NFPA 30A (v. 2021) Code for Motor Fuel Dispensing Facilities and Repair Garages

- NFPA 72 (v.2022) National Fire and Signaling Code.
- NFPA 80 (v.2022) Standard for Fire Doors and Other Opening Protectives.
- NFPA 170 (v.2021) Standard for Fire Safety and Emergency Symbols.
- NFPA 221 (v.2021) Standard for High Challenge Fire Walls, Fire Walls, and Fire Barrier Walls.
- NFPA 2001 (V.2022) Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems.
- UL Underwriter Laboratories" Fire Protection Equipment Directory.
- FM Factory Mutual.
- Normas UIC - International Union of Railways.
- Eurocodes. CEN. European Committee for Standarization.
- Normas EN

#### 2.2.25.8.1.2.2 Ventilación

- ASHRAE 62.1 (v.2019) Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
- ASHRAE 55 (v.2017) Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- ASHRAE (v.2017) Handbook—Fundamentals

#### 2.2.25.8.1.2.3 Drenajes

- American Society of Mechanical Engineers – ASME.
  - Selección de válvulas: ASME B16.34.
  - Selección de bombas: ASME B73.1
  - Tuberías: ASME B31
- American National Standards Institute – ANSI.
  - Codos: ASME/ANSI B16.28.
  - Bidas: ASME/ANSI B16.5/47.
  - Empaques: ANSI/ASME B16.20-1998
  - Diseño de Bombas: ANSI/HI 1.3-2009.
- American Society for Testing Materials – ASTM.
  - Recubrimiento de tuberías: ASTM G55-07.
  - Ensayos de ultrasonido para soldadura en tubería de acero: ASTM E273-10.
  - Ensayos de rayos X para soldadura en tubería de acero: ASTM E1032.
  - Tubería en acero inoxidable: ASTM A 511, A 269 o A 312

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

- National Association of Corrosion Engineers – NACE.
  - Corrosión interna de tubería de acero: SP106-2006.
  - Corrosión externa de tubería de acero enterrada o sumergida: SP169-2007.
  - American Welding Society – AWS.
  - Simbología utilizada para soldaduras y ensayos no destructivos: AWS A.2.4-98.
- American Water Works Association – AWWA.
  - Diseño de tubería de acero: AWWA M-11
  - Diseño de tubería de polietileno: AWWA M-55
  - Tubería de PVC: AWWA C-900
  - Tubería de polietileno: AWWA C-906
- Society for Protective Coatings – SSPC.
  - Aplicación de recubrimientos: conjunto de normas SSPCPA.
  - Preparación de superficies: de normas SSPCSP.

#### 2.2.25.8.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ

Tabla 1. Revisión del estudio de prefactibilidad de la L2MB

<b>Entregables de referencia:</b>	Producto 6 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias / Entregable 10 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias   Informe de Sistemas y Operación.
<b>Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:</b>	A continuación se revisan los entregables que contienen información relacionada con sistemas de extinción de incendios, ventilación, drenajes.

<p><b>Conclusiones del estudio de prefactibilidad:</b></p>	<p>A continuación se presentan puntos a tomar en cuenta que deben ser mejorados en desarrollo de los estudios de factibilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encuentran cálculos para el dimensionamiento de los equipos de ventilación como ventiladores, ductos y silenciadores, por lo cual el área transversal presentada para los pozos de compensación debe ser revisada al momento de dimensionar el sistema de ventilación.</li> <li>• Se presenta una alternativa para el suministro de aire fresco a las estaciones y la extracción de aire mediante un pozo de ventilación ubicado en el medio de las dos estaciones. Esta propuesta debe ser evaluada en detalle y se elegirá la configuración más adecuada para el proyecto.</li> <li>• Se observa que el proyecto en cuestión no contiene ningún dimensionamiento preliminar de los equipos de extinción de incendios. como extintores portátiles, gabinetes, rociadores automáticos, boquillas abiertas, sistemas de agente limpio, etc.</li> <li>• Se observa que el proyecto en cuestión no contiene ningún dimensionamiento preliminar de los equipos de drenaje como bombes, etc.</li> </ul> <p>A continuación se listan comentarios generales en relación al Entregable 10:</p>	
Ítem	Aspectos relevantes	¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?
<p><b>Equipamiento sistemas mecánicos (p.87)</b></p>	<p><i>Sistema de Extinción de Incendios:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En los locales técnicos del interior de las obras de ventilación de los túneles de línea, deben preverse para cada local técnico que contenga equipos eléctricos, un extintor portátil de CO2 de 5 kg que respete lo que establecen los reglamentos locales contra incendios.</li> <li>• El sistema de extinción de incendios con hidrantes en los túneles de la línea tiene origen en la central contraincendios de la estación, mediante una central de control.</li> <li>• El sistema debe ser alimentado hidráulicamente por una fuente capaz de suministrar de forma autónoma las condiciones de presión/caudal requeridas por los sistemas contraincendios de la estación.</li> </ul>	<p><i>Sistema de Extinción de Incendios:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los extintores portátiles solicitados para las obras de construcción se instalarán de acuerdo con la NFPA 25, NTC 2885 y NFPA 10.</li> <li>• Los hidrantes en los túneles tendrán suministro desde la estación y estarán dispuestos de acuerdo con la NFPA 130, NTC 1669 y NFPA 14.</li> <li>• El sistema de bombeo estará diseñado con base en la NFPA 24 y NFPA 20, a partir de la mayor demanda de caudal y presión. El tanque de reserva contra incendio se establecerá a partir de la mayor demanda de agua y tiempo, con base en la NFPA 22.</li> <li>• Las especificaciones de los gabinetes y tomas de manguera seguirán las directrices de la NFPA 130, NTC 1669 y NFPA 14.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La tubería alimentará los grupos de tomas hidrantes, compuestos de dos grifos esféricos con unión UNI 45. Adyacente al grupo se fijará a la pared una caja de acero galvanizado esp. 8/10 pintada RAL 3000 de dimensiones aproximadas de 600x500x200 mm con manguera y lanza.</li> <li>• Los grupos de tomas hidrantes del túnel deben estar colocados cerca de los interruptores de emergencia eléctrica, para poder cortar la tensión a la línea de contacto.</li> <li>• La distancia de los puntos de instalación de las tomas hidrantes en el túnel debe ser de 60 m. El primer punto de detección de incendios estará a una distancia de la cabeza de estación de 30m.</li> <li>• En caso de avería o incendio de un tren en el túnel, el objetivo es conducir a los usuarios hasta la estación; por lo que hay que proteger las estructuras de la vía de circulación de los trenes en correspondencia de la estación. Ésta debe estar protegida con el equipo de extinción de incendios automático con rociadores (“Sprinkler”).</li> <li>• El sistema “Sprinkler” para la protección de la vía de circulación de los trenes para todos los tipos de estación, tiene origen desde la central contraincendios de la estación, mediante una especial central de control, hasta a la superficie de los andenes en correspondencia con las puertas del andén.</li> <li>• El sistema debe estar alimentado hidráulicamente por una fuente capaz de suministrar de forma autónoma las condiciones de presión/caudal requeridas por los sistemas de detección de incendios de la estación.</li> </ul> <p><i>Ventilación</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para cada tramo de túnel distribuido entre dos estaciones profundas se prevé un pozo de ventilación situado en posición lo más posible baricéntrica, compatiblemente con la infraestructura existente a nivel de superficie (vialidad, edificaciones, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se instalarán interruptores de emergencia eléctrica cerca a los gabinetes y tomas de manguera del túnel para poder cortar la tensión a la línea de contacto.</li> <li>• La distancia de los puntos de instalación de las tomas de manguera en el túnel será de 60 m. El primer punto de detección de incendios estará a una distancia de la cabeza de estación de 30 m.</li> <li>• Las salidas de emergencia de los túneles serán protegidas de acuerdo con la NFPA 130.</li> <li>• Las salidas de emergencia de las estaciones serán protegidas de acuerdo con la NFPA 130.</li> <li>• Todos los sistemas de protección contra incendio serán diseñados a partir de la normativa NFPA y NTC correspondientes.</li> </ul> <p><i>Ventilación</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se verificará que la disposición propuesta sea capaz de mantener las temperaturas de diseño y que sea capaz de extraer eficientemente los humos en caso de incendio. En caso de que no se óptima, se planteará otra configuración que cumpla con los requerimientos</li> </ul> <p><i>Drenajes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se instalarán 3 bombas eléctricas por tanque de drenaje, que se activarán mediante un detector de nivel.</li> <li>• El funcionamiento se hará mediante dos bombas, y la tercera es de reserva en caso de avería de otra.</li> <li>• Se alternará el uso de las 3 bombas.</li> </ul>
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- En los dos extremos de las estaciones adyacentes se prevén dos tomas de aire (pozos de compensación) que ponen directamente en comunicación el túnel con el ambiente exterior. La sección útil de dichas tomas de aire es de unos 15m<sup>2</sup> cada una.
- Los pozos de ventilación son estructuras asociadas a la línea que se encuentran en todos los tramos de la sección subterránea profunda. Dichas estructuras son concebidas para dar respuesta a varias exigencias funcionales y de seguridad.
- Un pozo puede tener una o varias funciones, como por ejemplo las salidas de emergencia, la ventilación, el bombeo de aguas, etc.
- Todos los pozos cuentan con por lo menos:
  - Una cámara de ventilación compuesta por ventiladores, silenciadores e instalaciones eléctricas.
  - Dos cuartos técnicos (por redundancia) que contienen las cabinas MT/BT.
  - Salida de emergencia.
- En todas las salidas de emergencia, existe la posibilidad de entrar desde ambos pasillos de emergencia/servicio del túnel.

*Drenajes:*

- Cada tanque de bombeo está equipado con 3 electrobombas que se activan mediante un detector del nivel del agua del tanque. El dimensionamiento de las bombas se efectúa con el fin de asegurar el caudal de proyecto con dos bombas. La tercera es de reserva en caso de avería de las otras. En cualquier caso, el empleo de las tres bombas se realiza de forma alternada para mantener un nivel de desgaste homogéneo.

<p><b>Normatividad aplicada</b></p>	<p>En el estudio de prefactibilidad no se menciona la normatividad aplicada para ninguno de los sistemas mecánicos.</p>	<p>En la Sección 1 de la Disciplina 8 se menciona la normativa correspondiente a los diseños de todos los sistemas mecánicos considerados.</p>
<p><b>Hipótesis de diseño</b></p>	<p><i>Sistema de Extinción de Incendios:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No existen hipótesis previas.</li> </ul> <p><i>Ventilación:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En caso de incendio, la configuración propuesta es capaz de dirigir los humos hacia el exterior mediante el pozo de extracción.</li> </ul> <p><i>Drenajes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No existen hipótesis previas.</li> </ul>	<p><i>Sistema de Extinción de Incendios:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No existen riesgos extraordinarios fuera del uso tradicional de estaciones y túneles de metro, como almacenamiento o acumulación de líquidos inflamables, centros médicos, reclusión, presencia de gases explosivos, etc.</li> <li>• Se asume libertad de configuración de los diseños de los sistemas de extinción de incendios, para las características no definidas, teniendo en cuenta el análisis de riesgo y la economía de los sistemas.</li> <li>• Los diseños del Sistema de Extinción de Incendios se harán con los diseños arquitectónicos y estructurales vigentes al momento de iniciar los diseños.</li> </ul> <p><i>Ventilación:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se estudiarán diferentes soluciones según el diseño estructural y arquitectónico de las estaciones y los edificios y se presentará una solución adecuada.</li> <li>• Se debe calcular la ganancia de calor en las estaciones debido a los trenes, afluencia de personas y otras fuentes; y el sistema de ventilación debe ser capaz de extraer el calor generado para mantener una temperatura óptima dentro de las estaciones y edificios.</li> </ul> <p><i>Drenajes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los pozos deben tener el volumen suficiente de almacenamiento para no sobrepasar el encendido máximo de bombas por hora.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Las bombas son de ubicación fija.</li> <li>● Las bombas deben ser capaces de bombear el caudal requerido, según el estudio realizado por la Disciplina 2 - Redes Hidráulicas y Sanitarias.</li> </ul>
<b>Plan de los sistemas mecánicos</b>	En el estudio de prefactibilidad no se menciona el plan para ninguno de los sistemas mecánicos.	Los diseños de los sistemas mecánicos se harán con los diseños arquitectónicos y estructurales vigentes al momento de iniciar los diseños.
<b>Dimensionamiento de los sistemas mecánicos</b>	En el estudio de prefactibilidad no se menciona el dimensionamiento para ninguno de los sistemas mecánicos.	<p><i>Sistema de Extinción de Incendios:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Los requerimientos de protección se definen por la NFPA 130 y la NSR-10, Título J, a partir de la clasificación del riesgo de cada área dada por la NSR-10, Título K, y las NFPA correspondientes.</li> <li>● La reserva del tanque de almacenamiento del sistema contra incendio es dimensionada a partir de la mayor demanda de caudal vs. tiempo de la NFPA 13, NFPA 14 y NFPA 15.</li> <li>● La estación de bombeo del sistema contra incendio se diseña con base en la NFPA 20, a partir de los resultados de demanda de caudal y presión de la NFPA 13, NFPA 14 y NFPA 15, y las pérdidas en tubería.</li> <li>● La red húmeda se diseña a partir de la NFPA 24 y RAS Título B.</li> <li>● La red de gabinetes e hidrantes se establecen a partir de la NSR-10, NFPA 14, RAS Título B y NTC 2702.</li> <li>● La red de rociadores y soportes de tubería se diseñan a partir de la NFPA 13 y la NTC 2301.</li> <li>● Los extintores portátiles son diseñados de acuerdo con las normas NTC 2885 y NFPA 10.</li> <li>● La protección con agente limpio se diseña a partir de la NFPA 2001.</li> <li>● La red de señalización se diseña a partir de la NFPA 170, NFPA 72 y la norma para cada equipo.</li> </ul>

		<p><i>Ventilación:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema de ventilación será configurado de tal forma que extraiga eficientemente el calor generado dentro de las estaciones y los edificios.</li> <li>• Se determinarán las cargas térmicas dentro de las estaciones y los edificios para dimensionar los ventiladores, los ductos y las rejillas.</li> </ul> <p><i>Drenajes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El tamaño y configuración de las bombas se dimensionarán de acuerdo con las características del bombeo, los requerimientos arquitectónicos, de operación y de mantenimiento.</li> <li>• El tamaño y configuración de la tubería se dimensionarán de acuerdo con las características del bombeo, los requerimientos arquitectónicos, de operación y de mantenimiento.</li> </ul>
<p><b>Características de los sistemas mecánicos</b></p>	<p>En el estudio de prefactibilidad no se menciona el dimensionamiento para ninguno de los sistemas mecánicos.</p>	<p><i>Sistema de Extinción de Incendios:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las características del Sistema de Extinción de Incendios se establecerán de acuerdo con los requerimientos normativos, arquitectónicos, de operación y de mantenimiento.</li> </ul> <p><i>Ventilación:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las características del Sistema Ventilación se establecerán de acuerdo con los requerimientos normativos, arquitectónicos, de operación y de mantenimiento.</li> </ul> <p><i>Drenajes:</i></p>

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

		<ul style="list-style-type: none"> <li>Las características de las bombas se establecerán de acuerdo con los requerimientos arquitectónicos, de operación y de mantenimiento.</li> <li>Las características de la tubería se establecerán de acuerdo con los requerimientos arquitectónicos, de operación y de mantenimiento.</li> </ul>
<b>Planos de los sistemas mecánicos</b>	En el estudio de prefactibilidad no se presentan planos para ninguno de los sistemas mecánicos.	Se realizarán los diseños de los sistemas mecánicos para las características no definidas, bajo los parámetros de sencillez, efectividad y economía de los sistemas.
<b>Aspectos críticos por atender</b>	<b>A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2)</b>	<b>A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3)</b>
	<p><i>Sistema de Extinción de Incendios:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los diseños del Sistema de Extinción de Incendios requieren definiciones arquitectónicas para iniciar los diseños.</li> </ul> <p><i>Ventilación:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Definición de la potencia de fuego para el dimensionamiento del sistema de ventilación de las estaciones y edificios.</li> <li>La configuración general del sistema de ventilación se hace con base en el diseño estructural y arquitectónico.</li> <li>Definir las funcionalidades de los pozos de ventilación.</li> </ul>	<p><i>Sistema de Extinción de Incendios:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dimensionamiento de los sistemas de extinción de incendio y de las cámaras de bombeo y tuberías de la red.</li> <li>Posicionamiento de extintores</li> </ul> <p><i>Ventilación:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dimensionamiento de los equipos del sistema de ventilación (Ventiladores, rejillas, dämpers, ductos) y se valida que pueda extraer el calor y que además sea capaz de evacuar los humos procedentes de un incendio.</li> </ul>

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

	<p><i>Drenajes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Los diseños del Sistema de Drenajes requieren la ubicación de los pozos, arquitectura definida y lugares de descarga para iniciar los diseños.</li></ul>	<p><i>Drenajes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Se dimensionan las bombas con el caudal, la longitud de la tubería y la altura estática. Además, se posicionan los accesorios a lo largo de la red de tubería.</li></ul>
<b>Interfaces:</b>	Interfaces con: Diseños arquitectónicos, Diseño estructural, Redes hidráulicas y Sanitarias, Comunicación y Control	
<b>CAPEX y OPEX</b>	No se encontraron estimaciones específicas de sistema de extinción de incendios, Ventilación o Drenajes para estaciones y edificios	
<b>Otros aspectos relevantes:</b>	<p><i>Sistema de Extinción de Incendios:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• No se tiene certeza de la especificación “grifos esféricos con unión UNI 45”. de acuerdo con NFPA 14 se requieren tomas de manguera de válvula angular cónica con rosca NPT.</li></ul> <p><i>Ventilación:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Para el estudio de prefactibilidad no se consideraron normas técnicas nacionales ni internacionales.</li></ul> <p><i>Drenajes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• No se tienen comentarios al respecto.</li></ul>	

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

### **2.2.25.8.3 ASPECTOS RELEVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ**

#### **2.2.25.8.3.1 Línea 1 subterránea (estudio inicial)**

##### **2.2.25.8.3.1.1 Ventilación:**

El dimensionamiento del sistema de ventilación parte de la definición de la temperatura de diseño en los diferentes recintos de la estación.

Tabla 2. Temperaturas de diseño para la PLMB

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

<b>Nivel Andén</b>			
<b>Local</b>		<b>Temperatura interior</b>	
<b>Zona</b>	<b>Número</b>	<b>Verano</b>	<b>Invierno</b>
<b>Nombre</b>	<b>Nº</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>
Sala de comunicaciones auxiliar 1	52	24	24
Sala de enclavamientos 1	54	24	24
Sala de comunicaciones auxiliar 2	53	24	24
Sala de enclavamientos 2	55	24	24
Sala de seccionadores de catenaria	56	24	24
Sala de Telecom. Telefonía Móvil	57	24	24

<b>Nivel Vestíbulo</b>			
<b>Local</b>		<b>Temperatura interior</b>	
<b>Zona</b>	<b>Número</b>	<b>Verano</b>	<b>Invierno</b>
<b>Nombre</b>	<b>Nº</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>
Taquilla 1	21	24	22
Cuarto de jefe de estación	23	24	22
Cuarto de personal 1	28	24	22
Sala de primeros auxilios 1	32	24	22
Cuarto de seguridad	34	24	22
Cuarto de control de policía	35	24	22
Sala de comunicaciones principal	51	24	24
Taquilla 2	22	24	22
Cuarto de jefe de zona	24	24	22
Cuarto de personal 2	29	24	22
Sala de primeros auxilios 2	33	24	22
Sala de BT 1	43.1	24	24
Sala de UPS 1	44.1	24	24
Sala de cabinas de MT	41	24	24
Sala de CT	42	24	24
Sala de BT 2	43.2	24	24
Sala de UPS 2	44.2	24	24

Luego, se definió el caudal de aire exterior requerido en cada recinto según las normas NTC 5183: “Ventilación para una calidad de aire aceptable en espacios interiores” y ASHRAE 62.1. Se plantearon las siguientes alternativas para la ventilación de los recintos:

- Impulsión y extracción forzada: La impulsión y la extracción de aire de las salas se realiza mediante un sistema mecánico de impulsión y extracción, es decir, mediante ventiladores. La impulsión y la extracción se realizan mediante rejillas de impulsión y extracción respectivamente.
- Admisión y escape de aire de manera natural: Se usa una rejilla de paso para la admisión de aire en la parte baja del tabique de la sala y otra rejilla de paso para la salida de aire en la parte alta del mismo tabique. Con esta entrada y salida de aire se produce una ventilación natural de la estancia. Cuando los tabiques sean resistentes al fuego se coloca una rejilla intumescente que se cerrará mecánicamente en caso de incendio.
- Admisión de aire y extracción forzada: Se coloca una rejilla de paso en la parte baja del tabique o puerta de la sala para garantizar la admisión de aire mientras que la extracción se realiza mediante un medio mecánico, es decir, un ventilador o caja de ventilación.
- Impulsión forzada y escape natural: La impulsión de aire se realiza mediante un ventilador y el escape mediante una rejilla de paso situada en la parte alta del tabique de la sala.

Seguido a esto, se asignaron los distintos recintos y se le asigna a cada grupo un tipo de ventilador según el requerimiento de caudal de cada recinto. Luego, es necesario calcular el caudal requerido para vencer las cargas térmicas con el fin de verificar que el caudal mediante el criterio de ocupación o renovaciones de aire de los recintos era suficiente.

Para calcular las pérdidas en los ductos se usó el método de recuperación estática para los conductos de impulsión y el método de pérdida de carga constante para los conductos de extracción y retorno. Toda la red de conductos se diseñó en chapa de acero galvanizado de distintos espesores en función de las dimensiones del conducto, siendo la dimensión determinante la mayor. Según como exige la normativa contra incendios, se deben instalar compuertas cortafuegos que impidan que los conductos se conviertan en una vía de propagación para el fuego en caso de incendio. Adicionalmente, los conductos tienen registros de limpieza que están ubicados cada 10 m en los tramos rectos, junto a los codos, derivaciones y piezas especiales. Los conductos de ventilación se dimensionaron con una geometría 3:1 de relación longitud y altura de sección transversal, siguiendo las indicaciones de la ASHRAE. Las velocidades deben ser de máximo 7,5 m/s en los conductos. Para los locales privados con o sin ocupación permanente se planteó el uso de unidades de aire acondicionado según el cálculo de las cargas térmica

#### **2.2.25.8.3.1.2 Drenajes:**

El bombeo se dimensionó para dos bombas de evacuación de aguas residuales cada una de ellas del 100% del caudal obtenido. La acumulación de aguas residuales se dimensionó para un máximo de 12 arranques por hora de las bombas o, lo que es lo mismo, para una capacidad máxima de 5 minutos como establece la norma NTC 1500.

Se consideraron tres bombas de evacuación de aguas residuales cada una de ellas del 50% del caudal obtenido. Normalmente dos de las bombas están en funcionamiento y la tercera permanece en stand-by.

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

#### 2.2.25.8.3.1.3 Sistema de Extinción de Incendios:

En primer lugar, se calcularon las pérdidas para el gabinete más desfavorable y los dos próximos a este. Seguido a esto, se realizaron los cálculos hidráulicos para los rociadores de las áreas de riesgo leve y de riesgo ordinario con los siguientes datos:

Tabla 3. Características de los rociadores seleccionados para la zona de riesgo leve

Área de riesgo	Zona de público
Clasificación del riesgo	Riesgo Leve
Altura Rociador más elevado (m)	9.9
Tipo de sistema de rociadores	Tubería húmeda
Tipo de sistema	Malla
Material de la tubería	Acero negro
Valor de la constante "C"	120
Tipo de rociador	Oculto
Factor k (métrico)	80
Posición	Colgante
Diámetro nominal	1/2"
Temperatura (°C)	68
Presión mínima rociador (bar)	0.5
Tipo de respuesta	Rápida
Área de operación (m <sup>2</sup> )	279
Densidad de diseño mínima (l/min/m <sup>2</sup> )	2.85
Distancia entre rociadores (m)	3.5
Distancia entre ramales (m)	3.65
Cobertura por rociador (m <sup>2</sup> )	12.8
Rociadores simultáneos (Ud)	22
Caudal mínimo por rociador (l/min)	56.57

Tabla 4. Características de los rociadores seleccionados para la zona de riesgo ordinario

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

Área de riesgo	Almacén - andén
Clasificación del riesgo	Riesgo Ordinario
Altura Rociador más elevado (m)	5
Tipo de sistema de rociadores	Tubería húmeda
Tipo de sistema	Ramificado
Material de la tubería	Acero negro
Valor de la constante "C"	120
Tipo de rociador	Convencional
Factor k (métrico)	80
Posición	Montante
Diámetro nominal	1/2"
Temperatura (°C)	68
Presión mínima rociador (bar)	0.5
Tipo de respuesta	Rápida
Área de operación (m <sup>2</sup> )	61
Densidad de diseño (l/min/m <sup>2</sup> )	8.1
Distancia entre rociadores (m)	3
Distancia entre ramales (m)	3.25
Cobertura por rociador (m <sup>2</sup> )	9.75
Rociadores simultáneos (Ud)	6
Caudal mínimo por rociador (l/min)	78.97

El sistema se dimensionó para el grupo de presión más desfavorable. Seguido a esto, se dimensionó el tanque de combustible mediante la norma NFPA 20 y se calculó la cantidad de agua requerida por el sistema, basándose en la demanda de caudal y el tiempo de funcionamiento (30 min). Se consideró una velocidad máxima de 1,5 m/sen la tubería.

Para los caudales de extracción de humos se asumió un incendio proveniente de una papelera de 100 L, con una potencia de incendio de 1MW. Se usó la norma NFPA 92 para el cálculo del caudal requerido basado en la potencia del incendio.

#### **2.2.25.8.4 BENCHMARK (EXPERIENCIAS INTERNACIONALES)**

SYSTRA tiene una amplia experiencia en sistemas de ventilación para túneles metropolitanos realizados en todo el mundo. Dentro de su experiencia, Systra trabajó en los proyectos que se mencionan a continuación:

- Metro de Hanoi
- Metro de Dubái - Líneas roja y verde
- Metro de Santiago - Línea 7
- Metro de París – Extensión de la línea 14

Para el diseño y correcto funcionamiento del sistema de ventilación deben tenerse en cuenta las interfaces con las siguientes disciplinas:

1. Interfaz con Estructuras:
  - Los volúmenes de las cámaras de ventilación deben optimizarse para reducir el costo de la obra civil.
  - Para el circuito de ventilación debe buscarse reducir el número de curvas y cambios de secciones para reducir la pérdida de presión y por consiguiente el ventilador seleccionado.
2. Interfaz con Arquitectura / Urbanismo:
  - Para la ventilación se requiere el uso de grandes pozos ubicados al nivel del suelo y en algunos casos hasta 6 m sobre el nivel de la calle. Además, se deben ubicar las rejillas de superficie para el escape de humo.
3. Interfaz con la disciplina Eléctrica:
  - Se debe tener en cuenta la potencia demandada por los ventiladores para el diseño eléctrico de las estaciones.
4. Interfaz con la Defensa Civil:
  - Se debe validar el sistema de protección contra incendios.

##### **2.2.25.8.4.1 Metro de Hanoi**

###### **2.2.25.8.4.1.1 Descripción general del proyecto**

La línea de metro ligero de Hanoi, sección Nhon - Estación de Hanoi, es un proyecto importante de la ciudad de Hanoi. Según el Plan Maestro de Transporte de Hanoi, la longitud total de la Línea 3 de Hanoi es de 21.5 km desde Nhon a Hoang Mai.

La primera fase de esta línea va de Nhon a la estación de Hanoi, con un tramo elevado de 8.5 km y un tramo subterráneo de 4.0 km.

Esta línea tiene doce (12) estaciones, ocho (8) estaciones elevadas y cuatro (4) estaciones subterráneas.

La sección subterránea es un túnel bi-tubo con una distancia promedio entre las estaciones de máximo 700 m (dependiendo de la interestación), entonces no está requerido proporcionar pozos de ventilación intermedios entre estaciones.

Las estaciones del metro no están equipadas con puertas de andenes.

#### **2.2.25.8.4.1.2 Descripción del sistema de ventilación**

El sistema de ventilación tiene tres modos de funcionamiento:

- **Modo normal:** Mantiene una temperatura óptima dentro del túnel para garantizar el confort de los pasajeros. La ventilación natural se produce por medio del efecto pistón de los trenes a través de los pozos de compensación ubicados en cada pozo de ventilación. Cuando la ventilación natural no es suficiente, se activa la ventilación forzada.
- **Operaciones congestionadas:** Mantiene una condición aceptable para el sistema de aire acondicionado del tren, y a lo largo de la pasarela en caso de evacuación. El sistema de ventilación forzada se activa en la dirección del movimiento del tren para crear una corriente de aire sobre el sistema de aire acondicionado a bordo del tren.
- **Modo de emergencia:** Alcanza una velocidad crítica y mantiene una condición saludable para los pasajeros. El sistema de ventilación forzada se activa en el modo "push-pull". La dirección preferida del aire es la dirección del movimiento del tren para aprovechar el efecto pistón.

Para este proyecto, la cámara de ventilación del túnel se encuentra en cada extremo de las estaciones subterráneas y cada cámara está compuesta de dos ventiladores de aproximadamente 80 m<sup>3</sup>/s cada uno. Por otra parte, en este proyecto no se requiere de pozos de ventilación intermedios a lo largo del túnel. En caso de incendio, la potencia de fuego propuesta es de 10 MW. El tipo de crecimiento del fuego es aproximado con el modelo  $\alpha t^2$ , donde  $\alpha$  es la constante que gobierna la velocidad de crecimiento en acuerdo con el estándar NFPA 92B.

#### **2.2.25.8.4.1.3 Descripción del sistema de extinción de incendio**

Para el túnel y las zonas públicas de la estación se usan hidrantes de tipo húmedo.

Para las zonas técnicas de las estaciones se usa un sistema de supresión de gas.

Para la sala de basura se usan rociadores.

Se usa un tanque de agua para el suministro de agua de los hidrantes.

#### **2.2.25.8.4.2 Metro de Dubái (línea roja y verde)**

##### **2.2.25.8.4.2.1 Descripción general del proyecto**

El proyecto del Metro de Dubái consta de dos líneas: la línea roja y la línea verde. La línea roja recorre más de 51 km desde el puerto de Jebel Ali en el sur hasta Rashidiya en el norte. A lo largo de la línea roja, hay veintiocho (28) estaciones: veinticuatro (24) estaciones elevadas y cuatro (4) estaciones subterráneas. La línea verde recorre casi 16 km. A lo largo de la línea verde, hay veintiún (21) estaciones: trece (13) estaciones elevadas y seis (6) estaciones subterráneas.

La sección subterránea es principalmente un túnel monotubo con una interdistancia promedio de la estación de alrededor 1000 m – 2000 m (dependiendo de la interestación). Se proporciona un pozo de ventilación intermedio en cada interestación de la línea roja.

##### **2.2.25.8.4.2.2 Descripción del sistema de ventilación**

El objetivo principal del sistema de ventilación de túnel es manejar el funcionamiento en modo normal, en modo de congestión y en modo de emergencia.

- Modo normal: Mantiene una temperatura óptima dentro del túnel para garantizar el confort de los pasajeros. Para esto, la ventilación forzada es generalmente requerida. Cuando la ventilación forzada no es suficiente, se activa una unidad de tratamiento de aire dedicada para suministrar aire refrigerado en el túnel.
- Operaciones congestionadas: Mantiene una condición aceptable para el sistema de aire acondicionado del tren, y a lo largo de la pasarela en caso de evacuación. Para esto, la ventilación forzada es generalmente requerida. Cuando la ventilación forzada no es suficiente, se activará una unidad de tratamiento de aire dedicada para suministrar aire refrigerado en el túnel.
- Modo de emergencia: Alcanza una velocidad crítica y mantiene una condición saludable para los pasajeros. El sistema de ventilación forzada se activa en el modo “push-pull”. Para alcanzar la velocidad crítica, puede ser requerido activar los ventiladores en más de dos pozos.

Para este proyecto, la cámara de ventilación del túnel se encuentra en cada extremo de las estaciones subterráneas y cada cámara está compuesta de dos ventiladores de entre 80 m<sup>3</sup>/s y 110 m<sup>3</sup>/s. En la línea roja se plantea un pozo de ventilación intermedio. En caso de incendio, la potencia de fuego propuesta es de 10 MW. El tipo de crecimiento del fuego es aproximado con el modelo  $\alpha t^2$ , donde  $\alpha$  es la constante que gobierna la velocidad de crecimiento en acuerdo con el estándar NFPA 92B.

#### **2.2.25.8.4.2.3 Descripción del sistema de extinción de incendio**

Para el túnel y las zonas públicas de la estación se usan hidrantes de tipo húmedo. Para las zonas técnicas de la estación se usa un sistema de supresión de gas. Para este sistema se usa un tanque de agua dedicado para el suministro de agua de los hidrantes.

#### **2.2.25.8.4.3 Metro de Santiago - Línea 7**

##### **2.2.25.8.4.3.1 Descripción general del proyecto**

La construcción de la Línea 7 considera diecinueve (19) estaciones en una longitud de 26 kilómetros. La sección subterránea es un túnel monotubo y dependiendo de la longitud, se implementarán uno o dos pozos de ventilación intermedios. No hay ningún pozo de ventilación en los extremos de las estaciones.

##### **2.2.25.8.4.3.2 Descripción del sistema de ventilación**

El sistema de ventilación tiene dos modos de funcionamiento:

- Modo normal: Mantiene una temperatura óptima dentro del túnel para garantizar el confort de los pasajeros. Para esto, la ventilación natural se produce por medio del efecto pistón de los trenes a través de un pozo de compensación ubicado en cada pozo de ventilación y también del acceso a las estaciones. Cuando la ventilación natural no es suficiente, se activa la ventilación forzada.
- Modo de emergencia: Alcanza una velocidad crítica y mantiene una condición saludable para los pasajeros. el sistema de ventilación forzada se activa en el modo “push-pull”. La dirección preferida del aire es la dirección del movimiento del tren para aprovechar del efecto pistón.

En este caso, el sistema de ventilación funciona en un solo sentido, pues el humo se extrae hacia el primer pozo de ventilación. Las cámaras de ventilación se encuentran en los pozos intermedios, y cada una consta de un solo ventilador con una capacidad de 150 m<sup>3</sup>/s. La potencia de fuego propuesta es de 10 MW. En caso de incendio, la potencia de fuego propuesta es de 10 MW. El tipo de crecimiento del fuego es aproximado con el modelo  $\alpha^2$ , donde  $\alpha$  es la constante que gobierna la velocidad de crecimiento en acuerdo con el estándar NFPA 92B.

##### **2.2.25.8.4.3.3 Descripción del sistema de extinción de incendio**

No se plantea ningún sistema de extinción de incendios para los túneles ni la estación.

#### **2.2.25.8.4.4 Metro de París – Extensión de la línea 14**

##### **2.2.25.8.4.3.1 Descripción general del proyecto**

- La extensión de la línea 14 en París incluye cuatro (4) estaciones subterráneas y un túnel de aproximadamente 5.8 km de longitud.
- La sección subterránea es un túnel monotubo con una distancia entre estaciones de 600 y 1800 m).
- Dependiendo de la longitud de la interestación, se implementan uno o dos pozos de ventilación intermedios. Para algunas estaciones, la planta de ventilación se proporciona sólo en un extremo de la estación. En cada extremo de las estaciones, se ubica un pozo de compensación para limitar la velocidad del aire dentro de la estación.
- Las estaciones del metro están equipadas con puertas de andenes de media altura.

##### **2.2.25.8.4.3.2 Descripción del sistema de ventilación del túnel**

El sistema de ventilación tiene dos modos de funcionamiento:

Modo normal: Se debe mantener una temperatura aceptable dentro del túnel para que se garantice un correcto funcionamiento de los equipos y un confort de los pasajeros. La ventilación natural se produce por medio del efecto pistón de los trenes a través de los pozos de compensación ubicados en los extremos de cada estación. Cuando la ventilación natural no es suficiente, se activa la ventilación forzada.

Modo de emergencia: Se alcanza una velocidad mínima de 1.5m/s en las proximidades del fuego con una velocidad adyacente de 0.5 m/s. El sistema de ventilación forzada se activa en el modo “push-pull”. Para alcanzar la velocidad deseada en las proximidades del fuego, ventiladores adicionales pueden ser activados en modo de suministro o extracción. El objetivo principal es limitar la propagación del humo dentro de los 800 m.

La cámara de ventilación del túnel se encuentra en los pozos intermedios, cada cámara tiene dos ventiladores, y cada pozo tiene 3 ventiladores. La capacidad de los ventiladores es de 100 m<sup>3</sup>/s cada uno. En caso de incendio, la potencia de fuego propuesta es de 4.7 MW. El tipo de crecimiento del fuego es aproximado con el modelo  $\alpha t^2$ , donde  $\alpha$  es la constante que gobierna la velocidad de crecimiento en acuerdo con el estándar NFPA 92B.

##### **2.2.25.8.4.3.3 Descripción del sistema de extinción de incendio**

Se usa un sistema de extinción de incendios con hidrantes de tipo seco. Los hidrantes están conectados directamente a la red de la ciudad.

## 2.2.25.8.5 CONCLUSIONES

- En el estudio de prefactibilidad no se encontró información referente al diseño de los sistemas de extinción de incendios, ventilación, drenajes.
- Para el estudio de factibilidad es necesario dimensionar cada uno de los sistemas (sistema de extinción de incendios, ventilación y drenajes) bajo la normativa aplicable. Para este dimensionamiento, es posible tomar como referencia los estudios de la primera línea subterránea. Es necesario validar que la configuración propuesta para el sistema de ventilación en la etapa de prefactibilidad sea capaz de extraer eficientemente los humos provenientes de incendios.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>2.2.25 ET25 - ESTACIONES Y EDIFICIOS</b>	2
<b>2.2.25.6.1 NORMATIVIDAD APLICABLE</b>	2
2.2.25.6.1.1 Normatividad nacional	2
2.2.25.6.1.2 Normatividad internacional	2
2.2.25.6.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA L2MB	3
<b>2.2.25.6.3 ASPECTOS RELEVANTES DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA PLMB</b>	9
<b>2.2.25.6.4 BENCHMARK (experiencias internacionales)</b>	10
<b>2.2.25.6.5 CONCLUSIONES</b>	10

## 2.2.25 ET25 - ESTACIONES Y EDIFICIOS

<b>Disciplina 6:</b>	<b>Estaciones y edificios - Energía eléctrica</b>
<b>Entregable de referencia:</b>	<b>Entregable 10 / ET25 - Estaciones y edificios</b>

### 2.2.25.6.1 NORMATIVIDAD APLICABLE

#### 2.2.25.6.1.1 Normatividad nacional

A continuación, se relaciona la normatividad y especificaciones que se deben tener en cuenta para el desarrollo de los estudios:

- RETIE: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. Se tendrá en cuenta en los diseños de instalaciones eléctricas en los aspectos de selección de equipos, distancias de seguridad, puesta a tierra y seguridad de las instalaciones para proteger la vida humana, animal y vegetal.
- RETILAP: Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. Se tendrá en cuenta para los diseños de iluminación de áreas exteriores e interiores,
- NTC 2050: Código Eléctrico Colombiano. Se tendrá en cuenta en los diseños de las redes e instalaciones eléctricas.
- NTC 4552: Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (Rayos). Se tendrá en cuenta en los estudios de apantallamiento y protección contra rayos.
- Normatividad operador de red Enel - Codensa SA ESP. Se tendrá en cuenta en los diseños de redes de distribución de alta, media y baja tensión y alumbrado público.

#### 2.2.25.6.1.2 Normatividad internacional

En cuanto a normatividad internacional, para el desarrollo de este estudio se han considerado las siguientes:

- NFPA 502-2014 “Standard for road tunnels, bridges, and other limited access highways”. Se tendrá en cuenta en los diseños de las instalaciones de los sistemas eléctricos para túneles.
- NFPA 110 “Norma para Sistemas de Energía de Reserva y de Emergencia”. Se tendrá en cuenta en los diseños de sistemas de respaldo en los casos de falta del sistema normal de energía.
- NFPA 130 “Norma para sistemas de tránsito sobre rieles fijos y sistemas de transporte ferroviario de pasajeros”. Versión 2020. Se tendrá en cuenta para los diseños de sistemas de alimentación de energía para operación de los trenes.
- NFPA 101 “Código de seguridad humana - Life Safety Code”. Versión 2021. Se tendrá en cuenta para los diseños y especificación de los materiales y equipos según el tipo de clasificación en cada una de las áreas de las edificaciones (alta concentración de personas)
- EN/UNE Normas de la comunidad europea - CENELEC. Se tendrán en cuenta para los diseños de redes e instalaciones eléctricas( exteriores e interiores) y la selección y especificación de equipos.
- IEC: International electrotechnical Commissioning. Se tendrán en cuenta para los diseños de redes e instalaciones eléctricas( exteriores e interiores) y la selección y especificación de equipos.

- NFPA 70 National Electrical Code edición 2020. Se tendrán en cuenta para los diseños de redes e instalaciones eléctricas( exteriores e interiores) y la selección y especificación de equipos.
- IES “Illuminating Engineering Society” Standards documents. Se tendrá en cuenta para los diseños de iluminación de áreas exteriores e interiores.

### 2.2.25.6.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA L2MB

Se revisaron los entregables que contienen información relacionada con las redes eléctricas de las estaciones.

<b>Entregables de referencia:</b>	Producto 6 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias / Entregable 10 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias   Informe de Sistemas y Operación.
<b>Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:</b>	<p>Descripción y dimensionamiento del sistema de alimentación eléctrica para las estaciones de la SLMB.</p> <p>1. Descripción general del sistema de alimentación</p> <p>El sistema de distribución de energía conforma el conjunto de equipos e instalaciones presentes en las estaciones así como en el área externa a la infraestructura ferroviaria que permite el suministro de energía necesaria y segura para el movimiento de los trenes y pasajeros.</p> <p>El sistema de energía comprende los siguientes niveles:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nivel de suministro: infraestructura de conexión de alta tensión desde los puntos de suministro pertenecientes a Enel - Codensa.             <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Suministro de alta tensión a 115 kV y conversión de alta tensión a media tensión 34,5 kV en cada subestación.</li> <li>→ La interfaz con la red pública y su operador de red se hace a dentro de una subestación receptora.</li> </ul> </li> <li>- Nivel de distribución: infraestructura dedicada a la transformación y suministro de red de media tensión 34,5 kV.             <ul style="list-style-type: none"> <li>→ La distribución de red de media tensión se hace a través de anillos conectados a las subestaciones.</li> <li>→ Se debe contar con equipos de respaldo de energía complementaria a cada subestación.</li> <li>→ Se debe garantizar alimentación de energía a las subestaciones de tracción y a las cabinas eléctricas de baja tensión.</li> </ul> </li> <li>- Nivel de utilización: comprende la infraestructura dedicada a la transformación al nivel de utilización, tanto para los trenes como para los usuarios. Este nivel debe cumplir las siguientes necesidades:</li> </ul>

- Red de tracción: potencia requerida para la operación de todo el material rodante sobre la línea (Tensión 750 V). El sistema de tracción incluye las subestaciones y todos los equipos asociados necesarios para la alimentación de la red de tracción de la línea y del patio taller. La transformación de 34,5 kV a la potencia de tracción se hace dentro de las subestaciones de tracción. Las subestaciones de tracción deben contar con energía de emergencia.
- Red de baja tensión: comprende las instalaciones del sistema operativo de la línea principal, los servicios auxiliares como iluminación, sistemas electromecánicos, ventilación, aire acondicionado y extinción de incendios. Las cabinas eléctricas de baja tensión deberán ser alimentadas en 34,5 kV por medio de los anillos de media tensión y deberán transformar a la tensión de utilización por medio de transformadores.

2. Dimensionamiento del sistema de alimentación para las estaciones

Se propone la implementación de dos subestaciones (115/34,5 kV) en las siguiente ubicación:

- **Subestación 1:** se proyecta en la Estación No. 03 Carrera 68, ubicada al punto kilométrico 4+618 m. La subestación propiedad de Enel - Codensa más cercana a este punto de conexión es la Subestación Salitre.
- **Subestación 2:** se proyecta en el patio taller. La Subestación propiedad de Enel - Codensa más cercana a este punto es la subestación Tibabuyes.

Se contemplan 11 estaciones sobre el corredor, 10 estaciones subterráneas y 1 estación elevada.

ID	ESTACIÓN	TIPOLOGÍA		PK INICIO	PK FIN	LOCALIZACIÓN
1	Av. Cl 72	Sub	Lateral	00+466	00+616	Av. Cl 72 con Av. Caracas
2	Av. NQS	Sub	Central	02+465	02+615	Av. Cl 72 con Av. NQS
3	Av. 68	Sub	Central	04+265	04+415	Av. Cl 72 con Av. 68
4	Av. Boyacá	Sub	Central	05+805	05+955	Av. Cl 72 con Av. Boyacá
5	Av. Ciudad de Cali	Sub	Central	06+945	07+095	Av. Cl 72 con Av. Ciudad de Cali
6	Av. Cl 80	Sub	Central	08+165	08+315	Av. Ciudad de Cali con Av. Cl 80
7	Carrera 91	Sub	Central	09+185	09+335	Av. Ciudad de Cali con Carrera 91
8	Humedal	Sub	Central	10+390	10+540	Av. Ciudad de Cali con Carrera 92
9	ALO Sur	Sub	Lateral	12+485	12+635	Reserva ALO con Cl 130
10	ALO norte	Sub	Lateral	14+070	14+220	Reserva ALO con Cl 143
11	Fontanar	Ele	Lateral	15+455	15+605	Av. Suba con Carrera 145

Para la estimación de cargas se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Las estaciones enterradas consumen una potencia media de 1500 kVA (con climatización y ventilación).
- La estación elevada (Fontanar) consume una potencia media de 500 kVA.
- Se ha considerado un pozo de ventilación entre todas las estaciones enterradas con un consumo de 250 kVA.
- Se ha considerado una sobrecarga de 50% en las estaciones enterradas y los pozos de ventilación para la extracción de humo.

Los resultados de la potencia media requerida para cada una de las estaciones se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 14.20 Potencia media requerida Línea 2

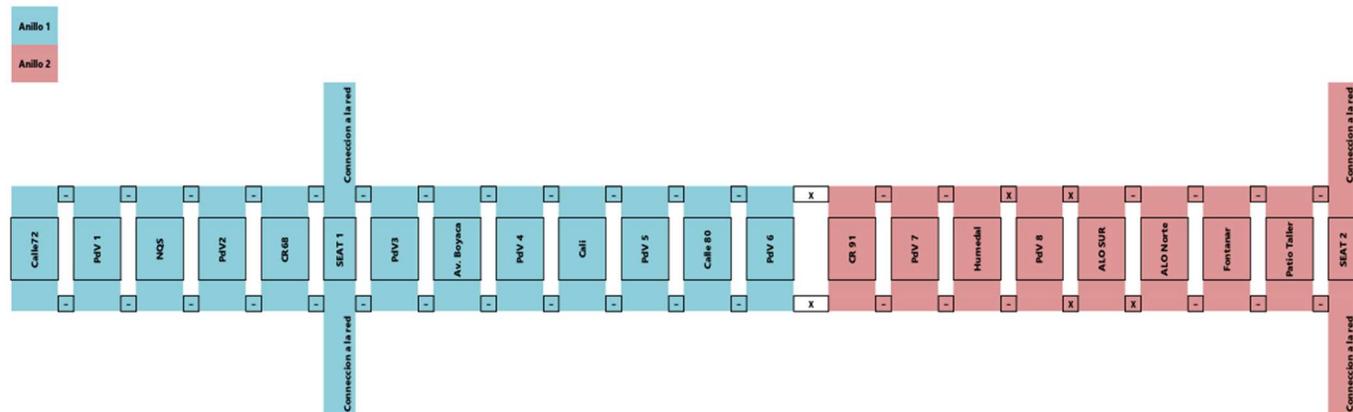
Estaciones	Tipo de Infraestructura	Punto Kilom.	SET	Potencia media en Baja Tensión requerida	Potencia media de Tracción requerida (RMS)	Potencia total media
Calle72	Enterrada	844,2	Si	1500 kVA	4912 kVA	6412 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
NQS	Enterrada	2818,8		1500 kVA		1500 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
	SEAT 1	4618,4		250 kVA		250 kVA
CR 68	Enterrada	4618,4	Si	1500 kVA	5267 kVA	6767 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
Av. Boyaca	Enterrada	6138,4		1500 kVA		1500 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
Cali	Enterrada	7303,3	Si	1500 kVA	4880 kVA	6380 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
CI 80	Enterrada	8522,3		1500 kVA		1500 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
Cr 91	Enterrada	9539,7	Si	1500 kVA	5267 kVA	6767 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
Humedal	Enterrada	10742		1500 kVA		1500 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
ALO SUR	Enterrada	12837,7	Si	1500 kVA	5257 kVA	6757 kVA
	Enterrada			0 kVA		0 kVA
ALO Norte	Enterrada	14424		1500 kVA		1500 kVA
	Enterrada			0 kVA		0 kVA
Fontanar	Elevada	15807,5	Si	500 kVA	4440 kVA	4940 kVA
	SEAT 2	16000		250 kVA		250 kVA

\*SET: Subestación de Tracción

De acuerdo con la tabla anterior, el consumo medio de potencia de toda la línea es de 51 643 kVA, que deben ser distribuidos entre las dos subestaciones proyectadas 115/34,5 kV.

En la siguiente figura se presenta el esquema de alimentación de cada una de las estaciones.

Figura 14.18 Consumo medio de potencia Línea 2



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**Conclusiones del estudio de prefactibilidad:**

A continuación se presentan puntos a tomar en cuenta los cuales deben ser mejorados en desarrollo de los estudios de factibilidad:

- Se deberá validar estos criterios durante la etapa de factibilidad y de diseño detallado: Todas las instalaciones conformadas por sistemas, equipamientos y componentes deben cumplir con las exigencias RAMS para el diseño, construcción y mantenimiento, recomendadas por las normas y reglamentos correspondientes.
- Dependiendo de la características de la red de suministro de energía pública y de los objetivos de disponibilidad de la línea 2, el tipo de conexión a la red pública deberá ser validada en los próximos estudios.

- Las estimaciones de carga para cada una de las estaciones deben ser validadas en las siguientes etapas del proyecto.

A continuación se listan los comentarios generales en relación al Entregable 10 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias | Informe de Sistemas y Operación:

- Se identifica estimación de carga para cada una de las 11 estaciones.
- Se identifica propuesta de conexión para cada una de las 11 estaciones.
- No se identifica normatividad aplicada.
- No se identifican las características técnicas de los equipos eléctricos internos de las estaciones.
- No se presentan planos con la localización de los elementos eléctricos.

Ítem	Aspectos relevantes	¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?
<b>Normatividad aplicada</b>	En el estudio de prefactibilidad no se menciona la normatividad aplicada para la alimentación eléctrica de las estaciones.	En la etapa de factibilidad se aplicará la normatividad RETIE, RETILAP, NTC 2050, NTC 4552, Normatividad operador de red Enel - Codensa SA ESP vigente para el diseño de las instalaciones internas y externas asociadas a cada una de las estaciones.
<b>Hipótesis de carga (p53)</b>	<p>La estimación de los requisitos de baja tensión toma en cuenta las siguientes hipótesis:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las estaciones enterradas consumen una potencia media de 1500 kVA (con climatización y ventilación).</li> <li>2. La estación elevada (Fontanar) consume una potencia media de 500 kVA.</li> <li>3. Se ha considerado un pozo de ventilación entre todas las estaciones enterradas, con un consumo de 250 kVA.</li> <li>4. Se ha considerado una sobrecarga del 50% en las estaciones enterradas y los pozos de ventilación para la extracción de humo.</li> </ol>	<p>Con los diseños de factibilidad se dará un estimativo de carga de potencia media para cada una de las estaciones.</p> <p>Se planteará la definición y el análisis de las diferentes áreas de la estación, de tal manera que permita la definición de los elementos, equipos y características del sistema eléctrico de las estaciones.</p>

Aspectos críticos por atender	A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2)	A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definición de requerimientos y parámetros operativos para la definición de las características técnicas de redes eléctricas de cada una de las estaciones.</li> <li>• Planteamiento, definición de equipos y dimensionamiento de las redes eléctricas de cada estación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definición del punto de conexión a cada una de las estaciones y diseño detallado de redes eléctricas en zonas específicas de cada estación.</li> </ul>
<b>Interfaces:</b>	Interfaces con: Arquitectura, localización y diseño de estaciones, proyección de otras redes de servicios públicos.	
<b>CAPEX y OPEX</b>	N/A	
<b>Otros aspectos relevantes:</b>	-	

### 2.2.25.6.3 ASPECTOS RELEVANTES DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA PLMB

En la PLMB se proyectan 16 estaciones alimentadas por tres subestaciones (115/34,5 kV). El sistema eléctrico incluye tres subestaciones receptoras conectadas a la red 115 kV propiedad de Enel - Codensa para alimentar la línea del proyecto a través de dos anillos de distribución de media tensión en 34,5 kV. Los anillos de distribución alimentan las subestaciones de tracción y los centros de transformación para el suministro de la energía auxiliar de las estaciones, del CCO y del patio taller.

Enel - Codensa, al ser el propietario de las subestaciones de alta tensión y el operador de red, será el encargado de la ampliación que se requiere realizar. Ésta última debe ser solicitada, acordada y coordinada junto con la Empresa Metro de Bogotá sujeto también a la aprobación del operador de red.

#### 2.2.25.6.4 BENCHMARK (experiencias internacionales)

En los diseños de factibilidad se tendrán en cuenta y se tomarán como referencia los aspectos considerados en los siguientes proyectos internacionales:

- Metro de Dubai (Línea roja y verde).
- Metro de Santiago de Chile (Línea 7).
- Metro de París (Extensión de la línea 14).
- Metro de Bilbao, líneas L1, L2 y L3 (España).
- Línea U3 Munich (Alemania).
- Línea 1 del Metro de Quito.
- Línea 2 del Metro de Lima.
- Línea 9 del Metro de Barcelona.
- Línea 4 del Metro de Río de Janeiro.
- Línea 1 del Metro de Panamá.

#### 2.2.25.6.5 CONCLUSIONES

- La información contenida en el estudio de pre-factibilidad será considerada como punto de partida para el desarrollo de la etapa de factibilidad del proyecto.
- En los diseños de factibilidad se dará un estimativo de carga de potencia media para cada una de las estaciones.
- Dentro del documento de pre-factibilidad no se identificó información acerca del diseño de iluminación.
- En las futuras etapas del estudio se deberá presentar el estudio de iluminación teniendo en cuenta las guías IES “Illuminating engineering society” para la seguridad del manejo de los vehículos y para el bienestar de las personas. De igual forma, se recomienda tener en cuenta aspectos técnicos del diseño que brinden bienestar a las personas, pasajeros y trabajadores, como lo pueden ser la elección de la temperatura del color, la iluminación cenital, el factor de deslumbramiento, entre otros.
- Se tendrá en cuenta la normatividad descrita en el numeral 1 “Normatividad aplicable” para el diseño a nivel de factibilidad de las estaciones.
- Se presentarán definiciones, memorias y planos a nivel de factibilidad de las redes eléctricas para las estaciones. Para cada espacio se debe definir los requerimientos de funcionamiento como: tipo de conexiones eléctricas, tipos de aislamiento, necesidades de iluminación y ventilación, cuadro de cargas, entre otros. Así mismo, se deben indicar las condiciones técnicas requeridas para las áreas destinadas a los servicios conexos a los pasajeros.
- Se tendrá en cuenta las condiciones RAMS en los diseños de factibilidad.
- En las etapas de estudio posteriores se deberá tener en cuenta las facilidades para carga de vehículos eléctricos.
- En caso de requerirse trámites adicionales no descritos en el presente capítulo, estos serán adelantados por el Asesor en alcance de las especificaciones técnicas o, en caso contrario, informados a la FDN para que éste tome las acciones que considere pertinentes. Así mismo, en caso de identificarse trámites adicionales que deban realizarse en

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

fase de obra, los mismos serán actualizados y descritos en los documentos del proyecto. (no incluye aprobación de proyectos serie ante el operador de red Enel - Codensa, ni diseños detallados de líneas de alta tensión, ni aprobación de estudios fotométricos por parte de la UAESP, en general no se incluyen trámites para productos que estén incluidos que estén incluidos dentro de los estudios y diseños fase III).

## TABLA DE CONTENIDO

<b>2.2.25.2.1 NORMATIVIDAD APLICABLE</b>	2
2.2.25.2.1.1 Normatividad nacional	2
2.2.25.2.1.2 Normatividad internacional	3
<b>2.2.25.2.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ</b>	5
<b>2.2.25.2.3 ASPECTOS RELEVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ</b>	7
2.2.25.2.3.1 Línea 1 elevada (en construcción)	7
2.2.25.2.3.2 Línea 1 subterránea (estudio inicial)	8
<b>2.2.25.2.4 CONCLUSIONES</b>	9

## LISTA DE TABLAS

*Tabla 1. Características grupos de bombeo de aguas residuales*

## LISTA DE FIGURAS

*Figura 1. Dimensiones estación Tipo L2MB*

**2.2.25.2 ET25 - ESTACIONES Y EDIFICIOS - REDES HIDRÁULICAS Y SANITARIAS**

<b>Disciplina 2:</b>	<b>Estaciones y edificios - Redes hidráulicas y sanitarias</b>
<b>Entregable de referencia:</b>	<b>Entregable 10 / ET25 - Estaciones y edificios</b>

**2.2.25.2.1 NORMATIVIDAD APLICABLE****2.2.25.2.1.1 Normatividad nacional**

Tomando en consideración la localización de la L2MB los documentos de referencia para el caso de las redes hidráulicas y sanitarias de Estaciones y Edificios corresponden a las normas contenidas en el Sistema de Información de Normalización Técnica (SISTEC) de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP.

- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP. (2020). Norma técnica de servicio NS-068: "Conexiones domiciliarias de alcantarillado". Bogotá.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP. (2017). Norma técnica de servicio NS-057: "Cunetas y canaletas de drenaje superficial". Bogotá.
- Empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP. (2020). Norma Técnica de Servicio NS-085: "Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado". Bogotá.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP. (2020). Norma Técnica de Servicio NS-030: "Lineamientos para trabajos topográficos". Bogotá.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP. (2020). Norma técnica de servicio NS-054: "Presentación de diseños de sistemas de alcantarillado". Bogotá.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP. (2020). Norma Técnica de Servicio NS-028 Presentación de diseños de acueducto. Bogotá.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP. (2005). Norma Técnica de Servicio NS-033 Criterios para diseño de Red Matriz. Bogotá.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP. (2019). Norma Técnica de Servicio NS-036 Criterios para diseño de red de acueducto secundaria y menor distribución. Bogotá
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP. (2006). Norma Técnica de Servicio NS-060 Criterios de diseño de anclajes en redes de acueducto y alcantarillado. Bogotá.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP. (2019). Norma Técnica de Servicio NS-077 Cajas para accesorios de acueducto. Bogotá.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP. (2008). Norma Técnica de Servicio NP-011 Accesorios para acueducto. Bogotá.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP. (2006). Norma Técnica de Servicio NS-097 Criterios de diseño de estaciones de bombeo de alcantarillado. Bogotá.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP. (2002). Norma Técnica de Servicio NS-083 Criterios de diseño de estaciones de bombeo para acueductos. Bogotá.

- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP. (2009). Norma Técnica de Servicio NS-128 Lineamientos Generales para Diseño y Construcción de Instalaciones Hidrosanitarias Internas y Sistemas Contra - Incendio. Bogotá.

Además de las normas anteriormente referidas, a nivel nacional se tienen los siguientes documentos de referencia que reglamentan y brindan directrices respecto a redes internas hidrosanitarias

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2017). Resolución 330 de 2017 “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009” - RAS 2017-
- Instituto Colombiano De Normas Técnicas Y Certificación (2017), Norma NTC 1500 Código Colombiano de Fontanería, Bogotá

Por último, estas son las normas nacionales aplicables al Sistema Contra Incendios del proyecto:

- Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 (v.2019), correspondiente a la tercera actualización, expedida por medio del Decreto 926 del 19 de marzo de 2010. Reglamento de Construcciones Sismo-Resistentes o la norma vigente en caso de actualización.
- RAS Título B Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – Título B.
- NTC 2885 (v.2009) Extintores portátiles contra incendios.
- NTC 1669 (v.2009) Norma para la instalación de conexiones de mangueras contra incendio.
- NTC 2301 (v.2011) Norma para la instalación de sistemas de rociadores.
- NTC 2702 (v.1997) Hidrantes de cuerpo seco contra incendios.
- NTC 2050 (v.1998) Código Eléctrico Colombiano.
- RETIE (v.2013) Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.
- Normativa urbanística de aplicación de los municipios que atraviesa el sistema férreo a diseñar, incluyendo sus Planes de Ordenamiento Territorial vigentes al momento de realizar los diseños.
- Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP.
- NTC 6047 – Accesibilidad al Medio Físico.
- NTC 414 – Accesibilidad a Edificios y Espacios Urbanos.
- NTC 5183 – Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores
- NTC 4139 – Por el cual se reglamenta la accesibilidad a los modos de transporte a la población en general y en especial de las personas con discapacidad.
- Normas y Especificaciones vigentes de Diseño y Construcción de EAAB, ETB, ENEL
- Ley 361 de 1997 – Por la cual se establecen mecanismos de integración social de las personas en situación de discapacidad y se dictan otras disposiciones.

#### 2.2.25.2.1.2 Normatividad internacional

- Institute of Electrical and electronics engineers. IEEE (2017) Guide for safety in AC substation grounding. New York

- Institute of Electrical and electronics engineers. IEEE (2010) Protection against lightning. Part 3, Physical damage to structures and life hazard. Ginebra
- Institute of Electrical and electronics engineers. IEEE (2019) Recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems. New York
- Institute of Electrical and electronics engineers. IEEE (2019) Recommended practice for powering and grounding electronic equipment. New York
- International Association of Plumbing and Mechanical Officials (2021) National Standard Plumbing Code. Ontario, USA

Además se presentan las normas internacionales aplicables al Sistema Contra Incendios del proyecto:

- NFPA 130 (v. 2020): Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems. National Fire Protection Association.
- NFPA 1 (v.2021): Fire Code.
- NFPA 101 (v.2021): Life Safety Code.
- NFPA 70 (v.2020) National Electric Code (NEC).
- NFPA 10 (v.2022) Portable Fire Extinguishers.
- NFPA 12 (v.2022) Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems
- NFPA 13 (v.2022) Standard for the Installation of Sprinkler Systems.
- NFPA 14 (v.2019) Standpipe and Hose Systems.
- NFPA 15 (v.2022) Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection.
- NFPA 20 (v.2022) Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection.
- NFPA 22 (v.2018) Standard for Water Tanks for Private Fire Protection.
- NFPA 24 (v.2022) Standard for the Installation of Private Fire Service Mains and their Appurtenances.
- NFPA 25 (v. 2020) Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems
- NFPA 30 (v.2021) Flammable and Combustible Liquids Code.
- NFPA 30A (v. 2021) Code for Motor Fuel Dispensing Facilities and Repair Garages
- NFPA 72 (v.2022) National Fire and Signaling Code.
- NFPA 80 (v.2022) Standard for Fire Doors and Other Opening Protectives.
- NFPA 170 (v.2021) Standard for Fire Safety and Emergency Symbols.
- NFPA 221 (v.2021) Standard for High Challenge Fire Walls, Fire Walls, and Fire Barrier Walls.
- NFPA 2001 (V.2022) Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems.
- UL Underwriter Laboratories" Fire Protection Equipment Directory.
- FM Factory Mutual.
- Normas UIC - International Union of Railways.
- Eurocodes. CEN. European Committee for Standarization.
- Normas EN.

### 2.2.25.2.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ

<p><b>Entregables de referencia:</b></p>	<p>Producto 4- entregable 5.2 Revisión de red redes humedas</p>
<p><b>Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:</b></p>	<p>Dentro del producto 4 Entregable 5.2, el estudio de prefactibilidad realiza una descripción breve de de los sistemas de drenaje a implementar según el tipo de estación del sistema L2MB:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estaciones subterráneas: Para el caso de las estaciones subterráneas, se prevé la instalación de rejillas o sumideros que permitan captar cualquier agua proveniente de infiltración. El agua captada será conducida mediante tuberías en PVC a estructuras de almacenamiento para, posteriormente, pasar a un sistema de tratamiento primario y ser bombeada al sistema de alcantarillado.</li> </ul> <p>Para el caso de los edificios de estaciones subterráneas, el drenaje de aguas de escorrentía se realizará mediante sistemas convencionales tipo tragante, sumidero que posteriormente se conectarán por gravedad al sistema de alcantarillado.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estaciones Elevadas: Para el caso de las estaciones elevadas, el drenaje de aguas de escorrentía se realizará mediante sistemas convencionales tipo tragante, sumideros que posteriormente se conectarán por gravedad al sistema de alcantarillado.</li> </ul> <div data-bbox="947 951 1629 1328" style="text-align: center;"> </div>

Figura 1. Dimensiones estación Tipo L2MB

El documento no contiene información respecto a redes hidrosanitarias en estaciones y edificios toda vez que el estudio de prefactibilidad no establece áreas de servicio definidas para localización baños, zonas de lavado, zonas de servicio, etc.

**Conclusiones del estudio de prefactibilidad:**

A continuación se listan comentarios generales en relación al Entregable 5.2 Revisión de redes húmedas:

- La entrega de prefactibilidad no presenta un documento específico que defina áreas, requerimientos o localizaciones de baños, zonas de lavado, zonas de servicio, etc y por lo tanto no se tiene certeza de planteamientos de redes internas hidrosanitarias. Para el estudio de factibilidad se hará necesario definir algunos requerimientos que permitan la estimación de este tipo de redes
- El documento de revisión de redes húmedas únicamente presenta un planteamiento y descripción breve de los sistemas de drenaje a implementar en zonas de estación y edificios. La descripción no contiene información técnica del número de elementos a instalar, los diámetros de colectores ni la capacidad de los equipos de almacenamiento y bombeo.
- Ligado a la falta de planteamientos de redes internas hidrosanitarias y a la descripción breve que se tiene de los sistemas de drenaje de estaciones y edificios, el producto 4 Entregable 5.2 no presenta cantidades ni costos estimados de redes hidráulicas.

Ítem	Aspectos relevantes	¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?
<b>Definición de requerimientos operacionales de Estaciones y edificios</b>	Tal como se mencionó previamente, dentro de los documentos de la prefactibilidad asociados a estaciones y edificios, no se presenta una definición de parámetros operativos que permita realizar una estimación de requerimientos dotacionales y de infraestructura.	Dentro del marco de la asesoría técnica, se buscará definir de manera interdisciplinaria áreas y parámetros operativos de estaciones y edificios que permitan definir las características técnicas requeridas para los sistemas hidrosanitarios y posteriormente unas cantidades y costos asociados.
<b>Definición de elementos de drenaje de estaciones y edificios</b>	Al igual que para el caso de los sistemas hidrosanitarios, para el caso de los elementos de drenaje, si bien se tiene una descripción de los sistemas, se desconoce características técnicas (diámetros, longitudes, capacidades, etc) de los elementos a implementar.	Tal como se menciona en la ficha de Arquitectura de estaciones, dentro de la asesoría técnica se plantea la definición y análisis de áreas de la estación de manera tal que se permita la definición de elementos y de características técnicas de los sistemas para el adecuado drenaje de estaciones y edificios.

Aspectos críticos por atender	A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2)	A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Definición de requerimientos y parámetros operativos para el para la definición de las características técnicas de redes hidrosanitarias de estaciones y edificios.</li> <li>● Definición de áreas, elementos y tipo de sistemas para el drenaje de aguas provenientes de infiltración de estaciones.</li> <li>● Planteamiento, definición de equipos y dimensionamientos de redes hidrosanitarias para edificios y estaciones.</li> <li>● Planteamiento, definición de equipos y dimensionamientos de sistema de drenaje de estaciones y edificios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Definición de requerimientos y parámetros operativos para el para la definición de las características técnicas de redes hidrosanitarias de estaciones y edificios.</li> <li>● Diseño detallado de redes hidrosanitarias para zonas de servicio, baños y áreas de lavado.</li> <li>● Definición de áreas, elementos y tipo de sistemas para el drenaje de aguas provenientes de infiltración de estaciones.</li> <li>● Diseño detallado de redes de drenaje y definición de características técnicas, mecánicas y eléctricas de sistemas de bombeo y tratamiento primario.</li> <li>● Definición de puntos de conexión y empalme para solicitud de viabilidad de servicio para estaciones y edificios L2MB.</li> </ul>
<b>Interfaces:</b>	Interfaces con: Diseños Arquitectónicos, diseños estructurales, diseños electromecánicos y redes de servicios públicos.	
<b>CAPEX y OPEX</b>	No se encontraron estimaciones específicas de redes hidrosanitarias para estaciones y edificios.	
<b>Otros aspectos relevantes:</b>	-	

### 2.2.25.2.3 ASPECTOS RELEVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

#### 2.2.25.2.3.1 Línea 1 elevada (en construcción)

Para el caso de la PLMB elevada, el Producto 6 “Estaciones y edificios-” presenta el dimensionamiento de redes hidrosanitarias diseñadas siguiendo lo estipulado en las Normas Técnicas Colombianas -NTC- y las normas técnicas SISTEC de la EAAB-ESP. En general, las redes hidrosanitarias buscan dotar todos aquellos aparatos hidrosanitarios dispuestos en cada una de las 16 estaciones del sistema de la PLMB.

Las redes hidrosanitarias de cada una de las estaciones alimentan las siguientes áreas de las estaciones.

- Baños públicos hombres
- Baños públicos mujeres
- Baños empleados hombres
- Baños empleados mujeres
- Cuarto de limpieza
- Cuarto de basuras
- Calabozo
- Local primeros auxilios

Para el abastecimiento del conjunto de áreas, las redes hidrosanitarias de las estaciones de la PLMB presentan en general los siguientes componentes y características.

- Diámetro Acometida: 3” PVC
- Diámetro medidor: 2 1/2”
- Sistema de almacenamiento Agua Potable: Un tanque de 10 m<sup>3</sup>
- Sistema de Abastecimiento: Sistemas con tanque hidroacumulado de V=1,77 m<sup>3</sup>) y dos bombas (principal y de respaldo) con Q=5,2 l/s y rango de presión de funcionamiento de 50 - 70 psi.
- Sistema internos de distribución y de evacuación de aguas residuales: Los sistema de distribución y de evacuación de aguas residuales (redes internas) abastecen y reciben las aguas residuales cualquier aparato como sanitarios, orinales, duchas, sifones de piso, lavamanos, lavaplatos y pocetas localizados en las áreas listadas anteriormente. Para las redes se utilizó tuberías en PVC y CPVC para los sistemas de distribución y PVC-S para los sistemas de evacuación de agua residual.
- Evacuación aguas pluviales: Respecto al sistema de evacuación de aguas pluviales para las estaciones se proyectaron bajantes y colectores que descargan a cajas de inspección y entregan a la red externa de alcantarillado. El material de los colectores y bajantes corresponde a PVC.

#### **2.2.25.2.3.2 Línea 1 subterránea (estudio inicial)**

Para el caso de la PLMB subterránea, el Producto 8 “Estaciones -” presenta el dimensionamiento de redes hidrosanitarias diseñadas siguiendo lo estipulado en las Normas Técnicas Colombianas -NTC- y las normas técnicas SISTEC de la EAAB-ESP. En general, las redes hidrosanitarias buscan dotar todos aquellos aparatos hidrosanitarios dispuestos en cada una de las 27 estaciones del sistema de la PLMB.

De manera general, el sistema de redes hidrosanitarias del PCO presenta los siguientes componentes:

- Acometida: Diámetro 1”
- Sistema de acumulación: Tres tanques de 6,00 m<sup>3</sup> en PRFV de 1,70 m de diámetro y 2,20 m de altura.
- Sistema de Abastecimiento: Grupo de presión con funcionamiento de 28 m<sup>3</sup>/h @ 45 mca
- Sistema internos de distribución y evacuación de aguas residuales: Los sistema de distribución y de evacuación de aguas residuales (redes internas) abastecen y reciben las aguas residuales cualquier aparato como sanitarios, orinales, duchas, sifones de piso, lavamanos, lavaplatos y pocetas. Para las redes se utilizó tuberías en PVC y CPVC para los sistemas de distribución y PVC-S para los sistemas de evacuación de agua residual.
- Sistema de bombeo de aguas residuales: Los sistemas de evacuación de aguas residuales descargan a un sistema de acumulación que, posteriormente mediante un sistema de bombeo, entrega el agua a la red de alcantarillado principal. Las características de los sistemas de bombeo de aguas residuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características grupos de bombeo de aguas residuales

Grupo	Características
Bombeo 1 Pozo Almacenamiento 1	5,00 l/s @ 20,00 mca 1,60 m <sup>3</sup>
Bombeo 2 Pozo Almacenamiento 2	6,40 l/s @ 20,0 mca 1,90 m <sup>3</sup>

- Evacuación aguas pluviales: Dentro de los estudios presentados en el Producto 8, se dimensionan colectores y bajantes de aguas lluvias (en material PVC-P) para el edificio. El sistema recoge las aguas lluvias de las cubiertas de las estaciones y las conduce a un pozo de bombeo.
- Sistema de Bombeo de aguas pluviales y de drenaje: Tal como se mencionó previamente, los sistemas de evacuación de aguas pluviales descargan el agua a un pozo de bombeo que entregan a la red de alcantarillado de la EAAB-ESP. La bomba funciona a 95,5 l/s @ 20 mca; el pozo de bombeo cuenta con una capacidad de 15 m<sup>3</sup>.

Dentro de los documentos encontrados no se evidenciaron sistemas de reuso o recirculación de agua.

#### 2.2.25.2.4 CONCLUSIONES

- La entrega de prefactibilidad no presenta un documento específico que defina áreas, requerimientos o localizaciones de baños, zonas de lavado, zonas de servicio, etc y por lo tanto no se tiene certeza de planteamientos de redes internas hidrosanitarias. Para el estudio de factibilidad se hará necesario definir algunos requerimientos que permitan la estimación de este tipo de redes.

- El documento de revisión de redes húmedas únicamente presenta un planteamiento y descripción breve de los sistemas de drenaje a implementar en zonas de estación y edificios. La descripción no contiene información técnica de número de elementos a instalar, diámetros de colectores ni capacidad de equipos de almacenamiento y bombeo.
- Ligado a la falta de planteamientos de redes internas hidrosanitarias y a la descripción breve que se tiene de los sistemas de drenaje de estaciones y edificios, el producto 4 Entregable 5.2 no presenta cantidades ni costos estimados de redes hidráulicas.

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

## **TABLA DE CONTENIDO**

### **2.2.25.6 ESTACIONES Y EDIFICIOS**

#### **2.2.25.6.1. NORMATIVIDAD APLICABLE**

##### **2.2.25.6.1.1 Normatividad nacional**

##### **2.2.25.6.1.2 Normatividad internacional**

#### **2.2.25.6.2. REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA L2MB**

#### **2.2.25.6.3. ASPECTOS RELEVANTES DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA PLMB**

#### **2.2.25.6.4. CONCLUSIONES**

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

### 2.2.25.6 ESTACIONES Y EDIFICIOS

Disciplina 6:	Estaciones y edificios - Sistemas de telecomunicaciones
Entregable de referencia:	Entregable 10 / ET25 - Estaciones y edificios

#### 2.2.25.6.1. NORMATIVIDAD APLICABLE

##### 2.2.25.6.1.1 Normatividad nacional

A continuación, se relaciona la normatividad y especificaciones que se deben tener en cuenta para el desarrollo de los estudios:

- NTC 2050, "Código eléctrico Colombiano"
- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)
- NSR 10 capítulo J: Requisitos de protección contra incendios en edificaciones

##### 2.2.25.6.1.2 Normatividad internacional

En cuanto a normatividad internacional, para el desarrollo de este estudio se han considerado las siguientes:

- EIA/TIA-569C.0, "Commercial Building Standard for Telecommunications Pathways and Spaces"
- EIA/TIA-568C.1, "Commercial Building Telecommunications Wiring Standard"
- EIA/TIA-568C.2, "Balanced Twisted-Pair Telecommunications Cabling And Components Standard"
- EIA/TIA-568C.3 "Optical Fiber Cabling Components Standard"
- EIA/TIA 606, "The administration Standard of the Telecommunications Infrastructure of Commercial Building"
- EIA/TIA 607, "Commercial Building and Bonding Requirements for Telecommunications"
- TIA 942, "Telecommunications infrastructure Standard for Data Centers"
- ANSI/TIA/EIA-785-2001. 100 Mb/s Physical Layer Medium Dependent Sublayer and 10 Mb/s Auto-Negotiation on 850 nm Fiber Optics, especificaciones para Subcapa Dependiente de Medio de Capa Física de 100 Mb/s y auto negociación 10 Mb/s sobre Equipo de Fibra Óptica de 850 nm).
- TIA/EIA TSB125-2001. Guidelines for Maintaining Optical Fiber Polarity Through Reverse-Pair Positioning, guías para Mantener la Polaridad de la Fibra Óptica Por Medio del Posicionamiento de Par Invertido.
- TIA/EIA TSB130-2003 Generic Guidelines for Connectorized Polarization Maintaining Fiber and Polarizing Fiber Cable Assemblies for Use in Telecommunications Applications, Guías Genéricas para el Mantenimiento de la Polarización de Fibra Conectorizada y Polarización de Ensamblajes de Cable de Fibra para Uso en Aplicaciones de Telecomunicaciones.
- ANSI/TIA/EIA-598-B-2001 Optical Fiber Cable Color Coding, Colorimetría para Cable de Fibra Óptica.
- IEEE 802.3 Ethernet.
- NEMA VE-1 "Cable Tray Systems"
- ITU-T G.651.1 Characteristics of a 50/125 µm multimode graded index optical fibre cable for the optical access network
- GR-1435-CORE: Generic Requirements for Multifiber Optical Connectors



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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

- EN 50392 Norma genérica para demostrar el cumplimiento de los aparatos eléctricos y electrónicos con las restricciones básicas relativas a la exposición humana a los campos electromagnéticos (0 Hz - 300 GHz)
- UNE-EN 50500 Procedimientos de medida de los niveles de campos magnéticos generados por aparatos eléctricos y electrónicos en el entorno ferroviario en relación a la exposición humana.
- UNE-EN 50121 Aplicaciones ferroviarias, compatibilidad electromagnética.
- EN 61000 Compatibilidad electromagnética (CEM IEC 61000 series).
- ICNIRP- Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos ( hasta 300 GHz)

Específicamente para los sistemas de detección y alarma contra incendio se han considerado las siguientes:

- NFPA 72: National Fire Alarm and Signaling Code.
- NFPA 101: Life Safety Code
- NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems
- NFPA 11: Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam
- NEC: National Electrical Code
- UL: Underwriters laboratories
- FM: Factory mutual
- NRS10 - Títulos J y K
- NFPA 70 National Electrical Code edición 2020.

#### 2.2.25.6.2. REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA L2MB



Se revisaron los entregables que contienen información relacionada con los sistemas de telecomunicaciones y detección y alarma contra incendio de las estaciones y edificaciones.

<b>Entregables de referencia:</b>	Producto 6 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias / Entregable 10 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias   Informe de Sistemas y Operación.
Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:	Descripción de los sistemas de telecomunicaciones, recaudo y detección de incendios para las estaciones de la SLMB. Como antecedente, se resumen las estaciones así: Se contemplan 11 estaciones sobre el corredor, se consideran 10 estaciones subterráneas y 1 estación elevada.

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

ID	ESTACIÓN	TIPOLOGÍA		PK INICIO	PK FIN	LOCALIZACIÓN
1	Av. Cl 72	Sub	Lateral	00+466	00+616	Av. Cl 72 con Av. Caracas
2	Av. NQS	Sub	Central	02+465	02+615	Av. Cl 72 con Av. NQS
3	Av. 68	Sub	Central	04+265	04+415	Av. Cl 72 con Av. 68
4	Av. Boyacá	Sub	Central	05+805	05+955	Av. Cl 72 con Av. Boyacá
5	Av. Ciudad de Cali	Sub	Central	06+945	07+095	Av. Cl 72 con Av. Ciudad de Cali
6	Av. Cl 80	Sub	Central	08+165	08+315	Av. Ciudad de Cali con Av. Cl 80
7	Carrera 91	Sub	Central	09+185	09+335	Av. Ciudad de Cali con Carrera 91
8	Humedal	Sub	Central	10+390	10+540	Av. Ciudad de Cali con Carrera 92
9	ALO Sur	Sub	Lateral	12+485	12+635	Reserva ALO con Cl 130
10	ALO norte	Sub	Lateral	14+070	14+220	Reserva ALO con Cl 143
11	Fontanar	Ele	Lateral	15+455	15+605	Av. Suba con Carrera 145

1. Descripción y requisitos de los sistemas de telecomunicaciones, CCTV, megafonía e interfonía

La red de Gigabit Ethernet tendrá las redundancias necesarias para evitar puntos de fallo único y conseguir un cierto reparto de la carga del tráfico. Toda la red estará dotada de seguridad y firewalling con el fin de protegerla de accesos y actuaciones no deseadas tanto desde el exterior como desde el interior.

Como parte del estudio de prefactibilidad se describen los siguientes subsistemas:

Subsistema de telefonía automática

- El sistema se basa en el empleo de uno o varios servidores centrales, o Centralita IP redundante, que proporcionan las facilidades de conmutación de llamadas y servicios avanzados.

Subsistema de telefonía de emergencia

- El subsistema de telefonía de emergencia permitirá a los pasajeros y al personal, en caso de emergencia (accidentes, vandalismo, delitos, etc.), comunicarse a través de una serie de dispositivos, instalados en las estaciones y en los patios y talleres, con los centros de atención al viajero, habilitados a tal efecto en el Puesto de Control de la Estación, en los Patios y en el Centro de Control Operacional

Subsistema de radiotelefonía **tetra**

- Se propone una arquitectura hardware redundante en estaciones con una estación base en cada una de las estaciones y, en principio, dos portadoras por estación base. Esta configuración garantizará poder mantener hasta siete conversaciones simultáneas en cada estación.
- Se propone una interfaz con la telefonía fija IP para complementar el sistema y se tendrá comunicación fija y móvil.

Sistema de megafonía (o difusión sonora)

- El subsistema de Difusión Sonora o Megafonía permitirá la sonorización de la estación en aquellas zonas donde puedan localizarse los usuarios de Metro y el personal, pudiendo seleccionar una, varias o todas las **zonas**.

Subsistema de circuito cerrado de **televisión**

- El sistema de circuito cerrado de televisión (CCTV) permitirá la vigilancia centralizada dentro de los trenes y en las infraestructuras del metro (todos los andenes, escaleras mecánicas, ascensores, vestíbulos, pasillos de las estaciones, pozos, áreas de venta de billetes, accesos de las estaciones, y, eventualmente, extremidad de línea, los talleres, recintos y cocheras propios de la operación)..

Subsistema de **interfonía**

- Se utilizará para la implementación de este sistema la tecnología VoIP, que permite la instalación de una sola red (para datos y voz) dentro del ámbito de las estaciones, lo que supone una ventaja importante ya que evita la instalación de una red específica para la voz.

**Comentado [1]:** Contar con una interfaz con la telefonía automática para mayor aprovechamiento de los sistemas de comunicaciones

**Comentado [2]:** Para el aprovechamiento de los equipos de comunicación contar con una interfaz con la telefonía para generar voceos en la zona de Talleres desde un teléfono fijo.

**Comentado [3]:** Contar con una interfaz con la detección perimetral en la zona de Talleres, en caso de detectar una violación al perímetro, una cámara deberá dirigirse a la zona activada.

**Comentado [4]:** Los interfonos de emergencia cuenten con una interfaz con el CCTV, en donde al activarse se dirija en automático una cámara para visualizar el incidente o la emergencia en proceso.

2. Requisitos para la integración con la PLMB T1

De acuerdo con el estudio de sinergias de operación, la supervisión y los sistemas de las dos líneas deben estar independientes en el CCO.

Además, el ciclo de vida de estos sistemas es únicamente de 10 a 15 años (menos que la duración de la concesión de la línea 1).

Recomendación para el subsistema de megafonía: prever una interfaz con la línea 1 en la estación Calle 72. En caso de servicio degradado sobre una línea es importante informar los pasajeros en conexión entre las dos líneas.

3. Control de pasajeros y recaudo

El sistema de control de pasajeros se resumen en:

Subsistema de Control de Accesos y Peaje

- Comprende el conjunto de elementos de control que forman la barrera de puertas automáticas.
- Está formada por Barrera de Control de Acceso (BCA) automáticas de vidrio que deberán permitir además de la validación de los billetes, el suministro de la información de la actividad de transporte de viajeros a través de estos elementos y proporcionar información técnica de los cambios de estado y de alarmas de los propios equipos.

Subsistema de recaudo

- El subsistema de recaudo comprende el conjunto de máquinas de venta automática y recarga de los mismos desplegadas en los vestíbulos de las estaciones.
- Estas máquinas permiten la activación de carga y consulta de saldo de títulos de transporte en las condiciones definidas por el Sistema Interoperable de Recaudo - ASIR.
- Además, estos sistemas están en interfaz con el sistema central de recaudo que garantice el recaudo y el movimiento de valores provenientes de la venta y recarga de títulos de transporte, y el manejo y el movimiento de valores y títulos de transporte que garanticen el proceso de venta y recarga en todas las Estaciones

4. Sistema de detección de incendios

**Comentado [5]:** En interfaz con CCTV para la detección pronta de incendios con la ayuda de los analíticos

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

	Como parte del estudio de prefactibilidad no se plantearon los sistemas de detección de incendios al interior de las estaciones.
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Conclusiones del estudio de prefactibilidad:</b>	<p>A continuación se presentan puntos a tomar en cuenta que deben ser mejorados en desarrollo de los estudios de factibilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá validar los criterios durante el diseño detallado: Todas las instalaciones conformadas por sistemas, equipamientos y componentes deben cumplir con las exigencias y recomendaciones de las normas y reglamentos correspondientes.</li> </ul> <p>A continuación se listan comentarios generales en relación al Entregable 10 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias   Informe de Sistemas y Operación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se identifican los sistemas correspondientes a telecomunicaciones para las estaciones, vigilancia electrónica y control de acceso para cada una de ellas.</li> <li>- Se identifica el sistema y arquitectura de recaudo, así como la integración con los sistemas de la primera línea del Metro de Bogotá.</li> <li>- Se identifica el sistema de detección y alarma contra incendios para estaciones</li> <li>- No se identifica normatividad aplicada.</li> <li>- No se identifican las características técnicas de los equipos de control de acceso y detección de incendios internos de las estaciones.</li> <li>- No se presentan planos con la localización de los elementos de telecomunicaciones, control de acceso o detección de incendios.</li> <li>- No se identifican estudios de compatibilidad electromagnética, ni normas o lineamientos para la medición de los niveles de campo magnéticos generados por aparatos eléctricos en ambientes ferroviarios con relación a la exposición humana.</li> </ul>
-----------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ítem	Aspectos relevantes	¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?
<b>Normatividad aplicada</b>	En el estudio de prefactibilidad no se menciona la normatividad aplicada para los sistemas de telecomunicaciones, ni para los aspectos de detección de incendios, ni tampoco lineamientos para limitar la exposición de campos magnéticos y electromagnéticos variables en estaciones.	En la etapa de factibilidad se aplicará la normatividad correspondiente para el diseño de las instalaciones internas y externas asociadas a cada una de las estaciones. Se indicarán los lineamientos para limitar

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

		la exposición de campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables hasta 300GHz.	
<b>Aspectos críticos por atender</b>	<b>A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2)</b>	<b>A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definición de cantidad y ubicación de los equipos a ser contemplados para las estaciones en cuanto a telecomunicaciones, CCTV, control de accesos y detección de incendios de cada una de las estaciones.</li> <li>Estimación de costos de los equipos propuestos en estaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseño detallado de los sistemas de telecomunicaciones, control de acceso y detección de incendios. Definición de arquitecturas, ubicación, cantidades, presupuestos y características técnicas de los equipos</li> </ul>	
<b>Interfaces:</b>	Interfaces con: Arquitectura, localización y diseño de estaciones y sistemas de control, comunicaciones y detección y alarmas de incendio de los sistemas férreos.		
<b>CAPEX y OPEX</b>	El estudio de prefactibilidad no incluye costos ni presupuestos para los sistemas identificados		
<b>Otros aspectos relevantes:</b>	-		

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

#### 2.2.25.6.3. ASPECTOS RELEVANTES DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA PLMB

Dentro de los aspectos relevantes, como parte de los diseños de la PLMB se contó con los sistemas de voz y datos para las estaciones de la PLMB se diseñaron de forma tal que cada edificio de estación fuera una unidad independiente y la información se intercambie entre estos para ser centralizada en el PCC.

Se contó además con el diseño del sistema de megafonía para la difusión de mensajes de audio en tiempo real o pregrabado a diferentes espacios de la Primera Línea del Metro de Bogotá como las estaciones, talleres y patios. El diseño contempló que el sistema de megafonía permitiera emitir alertas de emergencia y/o evacuación de las instalaciones en coordinación con el sistema de detección y alarma de incendio.

Respecto a los sistemas de detección y alarma contraincendios, en la PLMB el sistema se basó en la protección de las vidas humanas y la preservación de las instalaciones físicas, notificando en sus etapas más tempranas, un conato de incendio. El sistema de detección y alarma se diseñó de tipo inteligente, lo cual incluyó como parte del diseño, dispositivos de iniciación como estaciones manuales de alarma, detectores automáticos de humo, de temperatura y otros dispositivos de tipo direccionables. El diseño del sistema de detección y alarma de incendio se realizó conforme a la norma NSR-10 numerales J y K y la norma NFPA 72.

#### 2.2.25.6.4. CONCLUSIONES

- La información contenida en el estudio de prefactibilidad será considerada como punto de partida para el desarrollo de la etapa de factibilidad del proyecto.
- En los diseños de prefactibilidad no se contó con información de cantidades o presupuestos de los sistemas indicados.
- Los diseños de prefactibilidad no incluyen estudios de compatibilidad electromagnética, ni lineamientos para limitar la exposición de campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables.
- Para los diseños de factibilidad se realizará el estimativo de costos asociados a cada uno de los sistemas de telecomunicaciones, vigilancia electrónica CCTV y sistemas de detección y alarma contra incendio, según la normatividad aplicable.
- En los análisis de factibilidad se evaluarán las previsiones requeridas por normas internacionales para los sistemas de detección y alarma contraincendios en estaciones y edificaciones.

## TABLA DE CONTENIDO

2.2.25.1 NORMATIVIDAD APLICABLE	2
2.2.25.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ	2
2.2.25.3 ASPECTOS RELEVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LINEA DEL METRO DE BOGOTÁ	16
2.2.25.4 REVISIÓN DE EXPERIENCIAS INTERNACIONALES Y APLICACIÓN AL CASO DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ	16
2.2.25.5 CONCLUSIONES	18

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

## 2.2.25 ET25 - ESTACIONES Y EDIFICIOS

<b>Disciplina:</b>	<b>Estaciones y edificios</b>
<b>Entregable de referencia:</b>	<b>Entregable 10 / ET25-Estaciones y edificios</b>

### 2.2.25.1 NORMATIVIDAD APLICABLE

La normativa aplicable al componente Estaciones y Edificios está definida en los componentes asociados con el diseño geométrico del sistema metro (ET20), con los edificios del proyecto (ET25) y con la NFPA, entre las cuales se destacan:

- NFPA-130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems. Edición 2017 (EEUU)
- NFPA-101: Life Safety Code. Capítulos 7 y 12. Edición 2015 (EEUU)
- Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCRP). Tercera Edición
- Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 (2010)
- Normas Técnicas Colombianas (NTC)

### 2.2.25.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ

Se revisan los entregables que contienen información relacionada con Estaciones y Edificios en cuanto a selección de Ubicación,

<b>Entregable de referencia:</b>	Producto 3 – Análisis de Nodo de Terminación y Definición del Proyecto con Base en Restricción Presupuestal/ Entregable 4
<b>Actividades desarrolladas en el marco del estudio de factibilidad:</b>	El proceso de análisis multicriterio sigue estándares internacionales. En esta fase de proyecto, todavía, no se estudió la Arquitectura de las estaciones, así que no se consideró ningún indicador asociado a sus características. (tiempos de recorrido vertical y horizontal, entre andenes y accesos o de andenes a andenes en caso de las transferencias, entre otros), aspecto que resulta de la metodología del estudio. ( <i>“Es importante resaltar que el ejercicio realizado y presentado en los anexos en mención,</i>

	<p><i>corresponde a una localización parcial y diseño conceptual, y que no cuenta con estudios ni diseños técnicos de ingeniería ni arquitectónicos constructivos". – pg 127).</i> Siguiendo el mismo principio, no se presentan distintas alternativas para la conexión de estaciones E1 y estación L1 en cruce de Calle 72 y Av. Caracas, sirviendo el mismo esquema general para las 4 alternativas de trazado. En este mismo punto, se observa que no se consideró en este estudio el deprimido que se presentará en Entregable 7. En términos generales, se entiende que la cobertura de indicadores considerados fue capaz de orientar una decisión correcta y que las cuestiones ligadas a las estaciones podrán ser desarrolladas y solucionadas en las etapas siguientes del proyecto.</p>
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Entregable de referencia:</b>	Producto 4 – Estudios y diseños de prefactibilidad / Entregable 7 – Tipología e Inserción de Estaciones  Informe de Prototipos Arquitectura y funciones/servicios	
<b>Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:</b>	El estudio caracteriza la L2MB y sus antecedentes, define los perfiles viales de recorrido de la línea, define 4 tipologías arquitectónicas para las 11 estaciones (1 elevada y 3 subterráneas), bien como estudia su inserción urbana, con especial atención a la transferencia de la estación E1 de L2MB para estación de L1MB, en cruce de Calle 72 y Av. Caracas. Se presentan los planos arquitectónicos para las tipologías y su cálculo de flujo de pasajeros.	
<b>Conclusiones del estudio de prefactibilidad:</b>	El estudio define las tipologías para las estaciones, con su respectiva inserción simplificada en cada local. No hay conclusiones formales.	
<b>Ítem</b>	<b>Aspectos relevantes</b>	<b>¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?</b>
<b>4. Inserción Urbana Estaciones (p30)</b>		
Figura 4.17 (Pg32)	Edificio de acceso: circulaciones de ingreso y salida a estación con geometría rígida, muchos ángulos que no facilitan el flujo de usuarios.	Recomendado diseño más fluido para las circulaciones.

Figura 4.17 (Pg32)	Tipología de accesos: boca de acceso Tipo A. Layout de las escaleras mecánicas y fijas (fija + mecánica. subida + mecánica. descenso) provoca cruce de flujos.	Recomendada posición con escalera fija entre dos mecánicas (mecánica subida + fija + mecánica descenso) en todas las situaciones donde el conjunto es el único responsable por la circulación vertical.
Figura 4.17 (Pg32)	Tipología de accesos: boca de acceso Tipo B solamente con escalera fija.	Averiguar la posibilidad de usar al menos una escalera mecánica para subir, donde el flujo se justifique.
<b>Estación 1 – Calle 72 con Av. Caracas (p34)</b>	Método para construcción de vía y estación en trinchera provocará afectaciones importantes en este tramo urbano, de alta centralidad, densidad y valor inmobiliario.	Evaluar alternativas de mejoramiento y reducción de impacto.
	Túnel de transferencia entre E1 y estación L1MB/ Transmilenio: excesiva longitud, derivada de la posición de la estación E1. La exagerada longitud (más de 350 m.), conlleva alto costo, impacto urbano en la construcción, pérdida de eficiencia e incomodidades a los usuarios. Los diversos puntos de atención serán listados abajo.	Estudiar cambio de posición de la estación E1, en proyecto integrado con el deprimido bajo la Calle 72, estación Transmilenio y accesos a la estación L1MB. El sistema metro, dada su condición estructural en movilidad urbana, su prominencia social y su alto costo debería condicionar otras infraestructuras urbanas. Una implantación de metro tiene larga vida útil y eventuales incomodidades serán perpetuadas por generaciones, generando miles de horas desperdiciadas inútilmente por el más frágil usuario, que es el peatón.
	Túnel de transferencia entre E1 y estación L1MB/ Transmilenio: la construcción está prevista sobre el túnel de vía, lo que puede agregar dificultades estructurales y de aprovechamiento de espacio.	Evaluar interfaces estructurales de la excavación de túnel sobre trazado de la vía. Se proyecta excavación en trinchera para la vía en este tramo, así habrá superposición de los túneles de vía y de peatones: si están integrados, habrá espacios residuales dado sus diferentes profundidades. Si están separados, habrá que evaluar sus interfaces estructurales.
	Túnel de transferencia entre E1 y estación L1MB/ Transmilenio: el túnel será superficial, lo que dificultará implantación de vegetación de porte sobre su huella, bien como obligará expropiaciones/ demoliciones en su tramo 2.	Considerar las necesidades de espacio para vegetación de porte sobre cualquier infraestructura soterrada.

	<p>Túnel de transferencia entre E1 y estación L1MB/ Transmilenio: su tramo 3 no parece ser necesario, pues el trayecto podría ser hecho al nivel de la calle con más confort al usuario. Los recorridos por túnel deben ser evitados al máximo, pues, mismo con todas las condiciones de habitabilidad son un espacio ajeno a la naturaleza del hombre y de la ciudad. Largas extensiones suelen ser monótonas y claustrofóbicas, así deberían restringirse al mínimo necesario.</p>	<p>Averiguar la posibilidad de excluir o reducir el tramo 3, privilegiar el trayecto por nivel de calle, en las aceras. En una ciudad de buen clima como Bogotá, sin calor o frío excesivo, es mejor para la ciudad, pues se estimula movimiento en las aceras y permite plantío de árboles en la medianera, además de ser bastante menos costoso.</p>
	<p>Túnel de transferencia entre E1 y estación L1MB/ Transmilenio: aunque se hagan las correctas simulaciones y cálculo de flujos, la demanda y el comportamiento de los usuarios pueden cambiar a lo largo de la vida útil del sistema de transferencias. La excesiva dependencia de un túnel de larga extensión y ancho limitado puede comprometer la operación del sistema integrado. Diversas experiencias en otras ciudades (São Paulo, Panamá, por ejemplo) enseñan que los túneles de transferencia suelen ser imprevisibles y son cruciales para el desempeño del sistema de transferencia.</p>	<p>Averiguar la posibilidad de obtener espacios adyacentes, ampliados a lo largo de túnel incluso con adición de patios abiertos con iluminación y ventilación natural, división de flujos en niveles, identificar en proyecto posibilidades de ampliación futura del ancho del túnel.</p>
	<p>Túnel de transferencia entre E1 y estación L1MB/ Transmilenio: la implementación masiva de pasillos móviles ni siempre es la mejor solución para garantizar confort y seguridad en largas distancias en transferencia. Primero porque su tasa de flujo exige espacios igualmente dimensionados en sus términos, para que se permita continuidad de flujo de usuarios. Si la operamos con alta tasa, necesitamos grandes espacios en secuencia. Si, por otro lado bajamos su tasa para adecuarla a la secuencia de espacios, pierde atractividad, por su baja velocidad. Se entiende como un adicional de confort, pero no se puede</p>	<p>Confirmar dimensionamiento general de pasillos móviles y eventualmente retirar un equipamiento de cada lado del túnel, para ampliar el espacio central - hoy con 3 m. de ancho, insuficiente. Dada la gran extensión horizontal del túnel, es importante hacer la simulación de flujo considerando los muchos segmentos necesarios, limitados por la capacidad de extensión de los equipamientos, y las interrupciones entre ellos.</p>

	actuar con negligencia en el espacio/ ancho para los caminantes, pues mucha gente prefiere el trayecto a pie.	
	Imposibilidad de travesía libre bajo avenidas través del vestíbulo de la estación: en avenidas de grande flujo de tráfico de automóviles, agravado por el efecto barrera de Transmilenio, la posibilidad de travesía libre entre los dos lados de la Calle 72 (y todas las otras avenidas donde hay estaciones) es de grande valor para los peatones, además de fomentar puntos comerciales posicionados en el vestíbulo de la estación. Esta travesía nos es posible en el vestíbulo occidente, pues los accesos tienen una línea de bloqueos en secuencia. También nos es posible en el vestíbulo oriente, pues solo hay acceso para uno de los lados de la avenida.	Estudiar concepto que permita un único vestíbulo para la estación, en área no paga, que pueda servir como travesía urbana, que contenga puntos comerciales y accesos a la calle en posición clara para los usuarios, igualmente en los dos lados de la Calle 72.
<b>Estación 1 – Calle 72 con Av. Caracas (p44) figura 4.28</b>	El túnel de transferencia no está directamente conectado al edificio de la estación Calle 72 de la L1MB. Es decir que, mismo después de un túnel de 350 m la transferencia entre las dos líneas se hace en parte por la calle. Del punto de vista de la seguridad, así como confort de los pasajeros esa solución no es recomendable.	Averiguar la posibilidad de extender el túnel hasta algún punto al interior de la estación Calle 72 de la L1MB.
<b>Estación 2 a 7 – (p44 - p57)</b>	Se definió un modo de inserción recurrente para el conjunto de estaciones de 2 a 8 (con excepción de E5 y E7): posicionarlas en la intersección de grandes avenidas. Aunque haya ventajas en esta posición – minimizar expropiaciones y optimizar las transferencias, hay que ponderar el impacto producido por la interrupción de tráfico y los necesarios desvíos para que el área siga funcional durante las obras. Incluso afectaciones en estaciones Transmilenio (diversas estaciones) o vías férreas (E2). Considerar la simultaneidad de obras que afectarán	Se debe buscar de nueva posición de algunas estaciones, para reducir afectaciones viarias, para que se tenga un balance entre inserciones con necesidad de desvío de tráfico y otras que ocupen manzanas con ocupación de menor densidad construida.  Averiguar la posibilidad de posicionar la E8 sobre la manzana adyacente, que tiene baja ocupación y que ya será expropiada para plaza de acceso.

	<p>grandes avenidas y su impacto general sobre la ciudad. La E8 está posicionada bajo la Av. Ciudad de Cali y demandará interrupción temporal y desvío de tráfico.</p> <p>En términos de afectaciones en el tráfico general durante la ejecución de las estaciones, es decir que en la ciudad no circularía en su principales ejes de transporte, lo que parece inviable.</p>	
	<p>Imposibilidad de travesía libre bajo avenidas través del vestíbulo de la estación: en avenidas de grande flujo de tráfico de automóviles, agravado por el efecto barrera de Transmilenio, la posibilidad de travesía libre entre los dos lados de avenidas de alto tráfico es de grande valor para los peatones, además de fomentar puntos comerciales posicionados en el vestíbulo de la estación.</p>	<p>Estudiar concepto que permita un único vestíbulo para la estación, en área no paga, que pueda servir como travesía urbana, que contenga puntos comerciales y accesos a calle en posición clara para los usuarios y atendimento</p>
<b>Estación 9 y 10 – (p62 – p65)</b>	<p>Aplicable a las estaciones 9 y 10: losa de cubierta expuesta crea grande espacio impermeabilizado en la superficie y puede fragilizar protección térmica y de estanqueidad de la estación. Solución con recubrimiento, aunque reducido, puede garantizar mejor sello y condición térmica.</p>	<p>Estudiar espacio urbano en la superficie juntamente con la estación y buscar solución de recubrimiento económica y sencilla, que garantice estanqueidad y durabilidad a la losa de cubierta de la estación.</p>
<b>Estación 11 – Av. Suba (calle 145) con Carrera 145 (67)</b>	<p>Solución con vestíbulo al nivel de la mediana causa inmensa barrera urbana. En este caso todas las fachadas laterales serán cerradas, lo que genera un espacio urbano de difícil uso, mantenimiento y seguridad.</p>	<p>Averiguar la posibilidad de trazado permitir solución con mezanino elevado/ en entresuelo. Caso no sea posible, estudiar optimización del espacio ocupado por vestíbulo en la superficie y su relación con el entorno.</p>
<b>9. Características de las diferentes tipologías de las estaciones (p96)</b>		

<p><b>Tipo 1: Estación terminal N° 1 (p96)</b></p>	<p>Segregación de vestíbulos occidente y oriente: la segregación de áreas públicas resulta en potencial desorientación para el usuario. Como ejemplo, uno que ingrese por sector occidente no encontrará boletería, otro que ingrese por sector oriente no podrá embarcar en estación de L1MB. Es importante que haya igualdad de condiciones para los usuarios en los accesos, lo que garantiza claridad y confiabilidad al sistema. En sentido inverso, el pasajero que desembarca tendrá que tomar la decisión respecto a su dirección en nivel intermedio, pues a partir de este nivel, no tendrá más posibilidad de alcanzar determinados accesos y caso cometa un error, tendrá que bajar otra vez y tomar la dirección correcta.</p>	<p>Averiguar la posibilidad de cambiar el concepto de áreas pagas y no pagas en la transferencia, incluso en ámbito vertical, para que se pueda tener un vestíbulo único y accesos en igualdad de condiciones. Una vez que el usuario baja al sistema, debe tener acceso a todas las posibilidades de desplazamiento, ingreso y transferencia.</p>
	<p>Volumen excavación excesivo debido a segregación de escaleras en andenes: para segregar las escaleras en andenes se obliga ampliar el ancho del cajón excavado a 37,20 m.</p>	<p>Averiguar la hipótesis de posicionar las escaleras a lo largo de los andenes, en ambiente integrado, lo que puede reducir significativamente el ancho del cajón. Averiguar exigencias locales de protección a incendio, pero NFPA no exige este tipo de segregación.</p>
	<p>Volumen excavación excesivo debido a preferencia a escaleras fijas en detrimento de escaleras mecánicas: en estaciones con grande profundidad la solución con escaleras fijas no debería ser preferencial, pues resulta incómodo al usuario y queda sin uso, mientras ocupa grandes espacios.</p>	<p>Dar preferencia a conjuntos de escaleras mecánicas para subir y bajar, y reducir las fijas al mínimo necesario para atendimento de normativa. Con eso, se gana en eficiencia y confort, además se logra reducción de espacio, muy valeroso en la condición soterrada.</p>
	<p>Área excesiva de cuartos técnicos: debido a ampliación del ancho de la estación por diversos motivos, queda mucha área disponible. Como parámetro, se puede estimar una media de 800 m<sup>2</sup> destinados a cuartos técnicos por estación, valor bastante ampliado en este proyecto.</p>	<p>Hacer todos los esfuerzos de proyecto para reducir el cajón excavado, para eliminar cualquiera área sin función destinada, pues la excavación resulta en un costo monumental, además de interferencias y afectaciones diversas en la superficie.</p>

	<p>Multiplicidad de accesos a la estación. Aunque sea punto positivo multiplicar los accesos a la calle para mejor captación de usuarios, hay que considerar riesgos y costos de seguridad en accesos sin vigilancia humana permanente. Muchas veces hay usuarios que demandan atención o soporte en su ingreso a la estación, en especial en sistemas recién implantados. La solución por cámara es posible, pero por veces demandará el desplazamiento de equipo de metro para su debida atención. Muchos accesos lejos uno de la otra demandan más personal para la operación. También se necesitarán más líneas de control (bloqueos) si están descentralizados.</p>	<p>Optimizar accesos en puntos estratégicos, si es posible reducirlos para que la operación sea simplificada, sin perder el confort del usuario.</p>
<p><b>Tipo 2: Prototipo de las estaciones N° 2 a 8 (p97)</b></p>	<p>El volumen de excavación está determinado por la solución bitubo y concepto de segregación de andenes. La segregación, en que pese potenciales ventajas de seguridad, operacionaliza en demasiado el espacio interno de la estación, confina el usuario en espacios segmentados y cerrados, perdiendo-se la grandiosidad y belleza de los espacios compartidos de las estaciones, su altura o posible ingreso de luz natural por la superficie. También se multiplican los elementos estanques de cerramiento: puertas, cielorrasos, puertas de andén, siempre costosos y de difícil reposición, mantenimiento y limpieza.</p>	<p>Establecer comparación entre solución bitubo y monotubo respecto a dimensiones de las estaciones. Averiguar la hipótesis de cambio de tuneladora. Verificar ventajas y desventajas de segregación de andenes, en especial en estaciones poco profundas, donde se puede obtener condiciones de evacuación bastante simplificadas.</p>
	<p>Puntos de conflicto en vestíbulo, respecto al flujo de usuarios que embarcan y desembarcan, además que ingresan de Transmilenio. Se entiende que se supuso mano inglesa en determinadas situaciones, pero así mismo si mantienen conflictos importantes.</p>	<p>Recomendado hacer estudios profundizados de flujo de usuarios en todas las áreas de circulación, debe ser mandatorio para el proyecto no haya conflictos.</p>

<p><b>Tipo 3: Prototipo de las estaciones N° 9 y 10 en la zona de la ALO (p99)</b></p>	<p>Vestíbulo con área exagerada y doble línea de bloqueos sin necesidad. Si es posible es siempre preferible una sola línea de bloqueos, en especial para estaciones de baja demanda y servicio local solamente. Doble línea de bloqueos demanda más personal de seguridad, duplicación de actividades y espacios. Solo se justifican en situaciones urbanas especiales asociadas (donde hay barreras urbanas en la superficie) y a estaciones de alta demanda.</p>	<p>Averiguar posibilidad de reducción del espacio de vestíbulo y su huella en la superficie, evaluar posibilidad de una sola línea de bloqueos.</p>
	<p>Área exagerada de cuartos técnicos (1.340 m<sup>2</sup>), especialmente en estaciones sencillas y poco profundas. También el formato de cuartos técnicos dificulta su partición en salas distintas, debido a su ancho restringido.</p>	<p>Estudiar optimización de este modelo de estación, con balance de áreas y layout completo de equipamientos técnicos.</p>
<p><b>Tipo 4 : Estación elevada 11 (p100)</b></p>	<p>Si es posible es siempre preferible una sola línea de bloqueos, en especial para estaciones de baja demanda y servicio local solamente. Doble línea de bloqueos demanda más personal de seguridad, duplicación de actividades y espacios. Solo se justifican en situaciones urbanas especiales asociadas a estaciones de alta demanda.</p>	<p>Averiguar posibilidad de reducción del espacio de vestíbulo y su huella en la superficie, evaluar posibilidad de una sola línea de bloqueos.</p>
	<p>Área exagerada de cuartos técnicos (2.633 m<sup>2</sup>), en gran parte subterráneos en local pasible de inundación.</p>	<p>Estudiar optimización de este modelo de estación, con balance de áreas y layout completo de equipamientos técnicos.</p>
	<p>Áreas de entresuelo/ patamares de escaleras.</p>	<p>Estudiar optimización de este modelo de estación, con posibilidad de eliminación de entresuelo con escaleras directas entre vestíbulo y andenes.</p>
	<p>Sanitarios públicos en los extremos de los andenes: dificultad para control y seguridad, bien como muy distantes para mantenimiento, obligando al personal a desplazarse entre los dos lados de la vía. Mejor concentrarlos en</p>	<p>Estudiar optimización de este modelo de estación, con balance de áreas y layout completo de equipamientos técnicos.</p>

	vestíbulo, con instalaciones hidráulicas comunes, dimensionamiento optimizado y bajo control único.	
<b>10 Descripción de la organización funcional de las estaciones (p101)</b>		
<b>Tipo 1: Estación terminal N° 1 (p101)</b>		
10.11	El Vestíbulo occidental está en zona controlada.	Ver comentarios en el ítem inserción urbana.
10.17	Corredor peatonal y pasillos móviles.	Ver comentarios en el ítem inserción urbana.
10.18	Cuartos técnicos – zonas residuales	Estudiar optimización de este modelo de estación, con balance de áreas y layout completo de equipamientos técnicos pues hay muchas zonas residuales destinadas a cuartos técnicos, pero con acceso limitado y poca anchura para viabilizar pasillo mínimo e instalación de equipamientos.
10.24	Ventilación	La concepción del sistema de ventilación puede impactar significativamente en los espacios de la estación, por lo tanto, es recomendado desarrollar estudios con los especialistas de todas las áreas técnicas conjuntamente, desde el principio de las definiciones de proyecto.
<b>Tipo 2: Prototipo de estaciones N° 2 a 8 (p106)</b>		
10.31	Puntos de conflicto en vestíbulo, respecto al flujo de usuarios que embarcan y desembarcan, además que ingresan de Transmilenio. Se entiende que se supuso mano	Recomendado hacer estudios profundizados de flujo de usuarios en todas las áreas de circulación, debe ser mandatorio para el proyecto que no haya conflictos.

	inglesa en determinadas situaciones, pero así mismo si mantienen conflictos importantes.	
10.36	Edificio de acceso en la superficie: circulaciones de ingreso y salida a estación con geometría rígida, muchos ángulos que no facilitan el flujo de usuarios. Espacio de 6,26 m. La distancia entre línea de control y escaleras puede ser insuficiente en estaciones con mayor demanda. Estimar de 7 a 9 m.	Recomendado diseño más fluido para las circulaciones y más espacio entre líneas de control y escaleras.
10.37	Ventilación	La concepción del sistema de ventilación puede impactar significativamente en los espacios de la estación, por lo tanto, es recomendado desarrollar estudios con los especialistas de todas las áreas técnicas conjuntamente, desde el principio de las definiciones de proyecto.
10.39	Espacios comerciales dimensionados conforme ubicación de la estación.	Recomendado estudio de mercado para definición de cantidades de áreas comerciales viables en cada ubicación antes de la próxima fase de proyecto.
10.41	Revestimiento de superficies internas de la estación.	Estudiar alternativas donde se expone parcialmente el concreto secundario de la caja de la estación en techos y superficies horizontales, procedimiento asociado a instalación de paneles sobrepuestos para pasaje de infraestructuras, comunicación visual y ambientación de la estación. Suele ser una solución más económica y de gran impacto arquitectónico, al reforzar el carácter subterráneo.
<b>Tipo 3: Prototipo de las estaciones N° 9 y 10 en la reserva de la ALO (p111)</b>		

10.47	Vestíbulo con área exagerada y doble línea de control sin necesidad. Si es posible es siempre preferible una sola línea de control, en especial para estaciones de baja demanda y servicio local solamente. Doble línea de control demanda más personal de seguridad, duplicación de actividades y espacios. Solo se justifican en situaciones urbanas especiales asociadas (donde hay barreras urbanas en la superficie) y a estaciones de alta demanda.	Averiguar posibilidad de reducción del espacio de vestíbulo y su huella en la superficie, evaluar posibilidad de una sola línea de control.
10.49	Cuartos técnicos.	Estudiar optimización de este modelo de estación, con balance de áreas y layout completo de equipamientos técnicos. Hay una limitación de anchura en las zonas destinadas a cuartos técnicos en los andenes.
10.49	Ventilación.	La concepción del sistema de ventilación puede impactar significativamente en los espacios de la estación, por lo tanto, es recomendado desarrollar estudios con los especialistas de todas las áreas técnicas conjuntamente, desde el principio de las definiciones de proyecto.
<b>Tipo 4: Estación elevada N° 11 (p114)</b>		
10.51	Estación preparada para futura expansión de la línea.	Averiguar las condiciones de expansión versus acceso al patio de mantenimiento.
10.54	La instalación de escaleras mecánicas con 10 m. de desnivel es bastante común, no presentan ninguna dificultad especial de mantenimiento y pueden eliminar todo el nivel de entresuelo, resultando más comfortable para los usuarios y más económico para implantación.	Estudiar optimización de este modelo de estación, con posibilidad de eliminación de entresuelo con escaleras directas entre vestíbulo y andenes.

10.59	La barrera urbana que se crea con vestíbulo al nivel de la calle, que ocupa toda la huella de la estación, no puede ser solucionada con estrategias arquitectónicas superficiales como transparencias, Es necesario que se haga un proyecto de todo el espacio público del entorno asociado al proyecto de la carretera y de la estación.	Estudiar optimización de este modelo de estación, con reducción máxima de la ocupación en superficie y proyecto integrado de arquitectura y diseño urbano.
<b>Consideraciones generales del flujo de pasajeros en estaciones de Metro – tipos 1, 2, 3 y 4 (p118)</b>		
	Todos los parámetros de capacidad caudal, velocidad y tiempo indicados en el Anexo 5 del Entregable 6 están de acuerdo con la NFPA 130-2020. La capacidad caudal en evacuación para los controles de acceso y peaje considerada es de 50 personas/min, conforme ítem 5.3.8.5 de NFPA 130-2020.	Confirmar las especificaciones técnicas de los controles de acceso y peaje con los fabricantes para garantizar este flujo considerado en los cálculos.
<b>Aspectos críticos por atender:</b>	<b>A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2):</b>	<b>A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3):</b>
	Cómo el estudio de demanda es la base para predimensionar los espacios de las estaciones y sus equipos, debe tener: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Validación del PPHPD máximo.</li> </ul>	Cómo el estudio de demanda es la base para predimensionar los espacios de las estaciones y sus equipos, debe tener: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Validación del PPHPD máximo a través del Estudio de Demanda (Entregable 5 – ET01-Demanda).</li> </ul>

<b>Interfaces:</b>	
<b>CAPEX y OPEX</b>	CAPEX basado en precios unitarios de experiencias internacionales sobre m <sup>2</sup> . Esta es una primera estimación, que no tiene en cuenta las especificidades del proyecto de la L2MB. Siendo así, para los próximos pasos, deberá desarrollarse en detalle. Con respecto a los metrajes, en el análisis de los diseños de estaciones de prefactibilidad, se menciona la posibilidad de optimización de algunas estaciones, lo que podría cambiar el costo. Para eso, es necesario estudiar el diseño de las estaciones en más detalle.
<b>Otros aspectos relevantes:</b>	

### Síntesis

La Línea 2 del Metro de Bogotá – L2MB presenta 4 tipologías de estaciones, dónde la primera es subterránea, con andenes laterales y servirá de integración con la Primera Línea de Metro de Bogotá – L1MB y con TransMilenio. Las estaciones 2 hasta 8 son subterráneas, con andén central y siguen por el eje de la Calle 72, Avenida Carrera 86 y Calle 127. Las estaciones 9 y 10 están sobre la Reserva ALO y son semi enterradas, con andenes laterales y la última estación, elevada, con andenes laterales.

La inserción urbana de las estaciones de la Línea 2 del Metro de Bogotá – L2MB toma en cuenta el trazado de la línea, los equipamientos importantes existentes alrededor de las estaciones y la conectividad con los otros medios de transporte masivo de la ciudad.

El estudio de prefactibilidad presenta numerosas oportunidades de mejoras, sean de naturaleza global, como la adopción de distintas metodologías constructivas para las estaciones y reducción de volumen de excavaciones o afectaciones, bien como puntuales, como cambio en layout de circulaciones, optimización operativa y funcional.

El tema de las condiciones de transferencia entre las estaciones E1 (L2MB) E16 (L1MB) es crucial para el desempeño del proyecto. La solución planteada en el estudio de prefactibilidad conlleva numerosas problemáticas para la gestión de los flujos de pasajeros. Además, esta solución conlleva otras dificultades asociadas al gran volumen de excavación requerido y al impacto urbano que genera.

Las demás tipologías subterráneas pueden tener la excavación minimizada, a partir de una optimización funcional, aunque, en desarrollo del proyecto, algunas necesitan ser profundizadas por requerimiento de trazado o condición geológica. La inserción urbana bajo cruces de grandes avenidas puede resultar en grandes afectaciones en superficie, con necesidad de desvíos provisionales de tráfico e impacto sobre el acceso a comercios y residencias durante las obras.

La estación E11, elevada, produce una barrera urbana importante, que puede ser minimizada a través de una optimización funcional y con un tratamiento urbanístico adecuado.

### **2.2.25.3 ASPECTOS RELEVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LINEA DEL METRO DE BOGOTÁ**

El Proyecto de arquitectura de la L1MB está desarrollado en los Informes:

- Metodología de dimensionamiento
- Criterios de diseño funcional y programa
- Guía de Diseño Arquitectónico
- Memoria de Arquitectura Funcional
- Planos de Diseño de cada una de las estaciones

Todos los Informes hacen referencia a los guías y metodologías internacionales consagrada basadas en los documentos:

- NFPA-130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems. Edición 2017 (EEUU)
- NFPA-101: Life Safety Code. Capítulos 7 y 12. Edición 2015 (EEUU)
- Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCRP). Tercera Edición

Los parámetros presentados en los informes mencionados tienen impactos en las características arquitectónicas y funcionales de las estaciones.

### **2.2.25.4 REVISIÓN DE EXPERIENCIAS INTERNACIONALES Y APLICACIÓN AL CASO DE LA LINEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ**

El presente capítulo tiene como objetivo de reunir y analizar proyectos de Estaciones “similares” al Proyecto de Línea 2 del Metro de Bogotá.

Las líneas y/o proyectos estudiados son:

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

Línea	País	Estación
Línea 2	Panamá	El Bosque
Línea 2	Panamá	Condado del Rey
Línea 5	São Paulo	Adolfo Pinheiro
Línea 2	São Paulo	Penha

	El Bosque	Condado del Rey	Adolfo Pinheiro	Penha
Método constructivo	Elevada	Cut and Cover	Cut and Cover	Cut and Cover
Tipo de andén	Central	Central	Central	Central
Cantidad de pisos	2	3	3	4
Ancho (m)	30	26	30	32
Longitud (m)	120	154	136	136
Funcionalidades de la Estación	Accesibilidad: 3 edículos, 4 escaleras fijas, 4 escaleras mecánicas y 2 ascensores. Cuartos técnicos: SEP, telecom, señalización, BT y	Accesibilidad: 4 edículos, 6 escaleras fijas, 8 escaleras mecánicas y 2 ascensores. Cuartos técnicos: SEP, telecom, señalización, BT y UPS, aire acondicionado, aire	Accesibilidad: 2 edículos, 4 escaleras fijas, 8 escaleras mecánicas y 4 ascensores. Cuartos técnicos: SEP, telecom, señalización, BT y	Accesibilidad: 1 edículo, 9 escaleras fijas, 27 escaleras mecánicas y 5 ascensores. Cuartos técnicos: SEP, telecom, señalización, BT y

	UPS, aire acondicionado, mantenimiento Cuartos operativos: cocina, aseo, CCL, primeros auxilios, sanitarios	acondicionado UMA, mantenimiento, PCI, eléctrica/comunicaciones, ventilación Cuartos operativos: cocina, aseo, CCL, primeros auxilios, sanitarios, ticket	UPS, aire acondicionado, mantenimiento Cuartos operativos: cocina, aseo, CCL, primeros auxilios, sanitarios	UPS, aire acondicionado, mantenimiento, TVS Cuartos operativos: cocina, aseo, CCL, primeros auxilios, sanitarios
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### Recomendaciones en base al benchmarking internacional

En proyectos de estaciones que incluyen sistemas de aire acondicionado y salas de ventilación de túnel al interior de la estación (y no en pozos intermediarios), se debe prever áreas importantes para su realización. Por tanto, puede ser necesario disponer de un piso intermedio entre el nivel del vestíbulo y del andén, para acomodar estas funciones. En este sentido, la estación acaba haciéndose más profunda

Las estaciones elevadas con vestíbulo elevado liberan la planta baja para otras funciones, además de minimizar la barrera urbana que una estación en la planta baja puede proporcionar para su entorno.

### 2.2.25.5 CONCLUSIONES

La Línea 2 del Metro de Bogotá – L2MB presenta 4 tipologías de estaciones, dónde la primera es subterránea, con andenes laterales y servirá de integración con la Primera Línea de Metro de Bogotá – L1MB y con TransMilenio. Las estaciones 2 hasta 8 son subterráneas, con andén central y siguen los ejes de la Calle 72, Avenida Carrera 86 y Calle 127. Las estaciones 9 y 10 están sobre la Reserva ALO y son semi enterradas, con andenes laterales y la última estación, elevada, con andenes laterales.

La inserción urbana de las estaciones de la Línea 2 del Metro de Bogotá – L2MB toma en cuenta el trazado de la línea, los equipamientos importantes existentes alrededor de las estaciones y la conectividad con los otros medios de transporte masivo de la ciudad.

Uno de los puntos a evaluar son los impactos en la superficie y metodología constructiva. Para la estación 1 se recomienda volver a estudiar su posición y la posibilidad de utilizar un método constructivo no destructivo, con tuneladora para la vía y una excavación en pozo y NATM para la estación.

Para las estaciones 2 hasta 8, se recomienda averiguar la posibilidad de una nueva ubicación de algunas estaciones, para reducir las afectaciones viarias y ocupación de manzanas con menor impacto. Se recomienda estudiar la posibilidad de excavación en NATM en estaciones en cruce de vías importantes (BRT).

Ya en las estaciones 9 y 10, se recomienda buscar una solución de cerramiento de la trinchera que garantice estanqueidad y durabilidad a la losa de cubierta de la estación, además de promover un espacio de calidad ya que están dentro de la Reserva ALO.

En el ámbito de seguridad, los criterios de dimensionamiento siguen los parámetros de la NFPA 130-2020 y mejoras en el posicionamiento de escaleras fijas y mecánicas podrán ser estudiadas para flujos más eficientes.

La configuración de doble vestíbulo debe ser averiguada, a fin de optimizar las zonas operativas, líneas de control y peaje, zonas comerciales y ubicación de accesos.

Las áreas destinadas a los cuartos técnicos deben ser averiguadas con un equipo multidisciplinar, considerando que las definiciones técnicas pueden impactar de forma importante los espacios de la estación, principalmente en lo que se refiere al sistema de ventilación.

La Línea 1 y la Línea 2 tienen características distintas: mientras que en el primer caso todas las estaciones son elevadas, en el segundo la mayoría son subterráneas (solo una es elevada).

Por lo tanto, el diseño de las estaciones Carrera 96, Carrera 50 y Av Boyacá (L1MB) tienen tipologías comparables al proyecto de la estación Calle 145 de la Línea 2.

Sin embargo, cabe destacar que las guías y metodologías aplicadas en la L1MB pueden ser consideradas en el proyecto de las estaciones de la Línea 2.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>2.2.25.5. ET25 - ESTACIONES Y EDIFICIOS - ARQUITECTURA</b>	8
<b>2.2.25.5.1. NORMATIVIDAD APLICABLE</b>	8
2.2.25.5.1.1. Normatividad nacional	8
2.2.25.5.1.2. Normatividad internacional	9
<b>2.2.25.5.2. REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ</b>	9
<b>2.2.25.5.3. PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ</b>	17
<b>2.2.25.5.3.1. Línea 1 elevada (en construcción)</b>	17
2.2.25.5.3.1.1. Nivel de desarrollo de estudios y diseños	17
.	18
2.2.25.5.3.1.2. Localización y descripción	18
2.2.25.5.3.1.3. Tipología y funcionalidad	20
2.2.25.5.3.1.4. Acabados	23
2.2.25.5.3.1.5. Estación de conexión con la segunda línea del metro Calle 72	25
2.2.25.5.3.1.5.1. Estación Calle 72 - Interconexión Axial	25
2.2.25.5.3.1.6. Deficiencias	29
2.2.25.5.3.1.7. Soluciones	29
<b>2.2.25.5.3.2. Línea 1 subterránea (estudio inicial)</b>	30
2.2.25.5.3.2.1. Nivel de desarrollo de estudios y diseños	30
2.2.25.5.3.2.2. Localización y descripción	30
2.2.25.5.3.2.3. Tipología y funcionalidad	31
2.2.25.5.3.2.4. Acabados	31
2.2.25.5.3.2.5. Deficiencias	32
2.2.25.5.3.2.6. Soluciones	32

<b>2.2.25.5.4. BENCHMARK (Experiencias internacionales)</b>	33
<b>2.2.25.5.5. BENCHMARK (Experiencia en latinoamérica)</b>	40
<b>2.2.25.5.5.1. Aspectos relevantes de la PLMB del diseño funcional y arquitectónico de las estaciones (En construcción)</b>	40
<b>2.2.25.5.5.2. Metro de Medellín</b>	49
<b>2.2.25.5.5.3. Metro de México</b>	52
<b>2.2.25.5.5.4. Metro de Santiago de Chile</b>	57
<b>2.2.25.5.6 CARTILLAS Y ESPECIFICACIONES BRT POR TRANSMILENIO S.A</b>	66
<b>2.2.25.5.7. CONCLUSIONES</b>	83
<b>2.2.25.5.8. ANEXOS</b>	84

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Trazado de la PLMB
- Figura 2. 3D- Estación Descentralizada
- Figura 3. 3D-Estación Especial
- Figura 4. 3D-Estación con Mezzanine
- Figura 5. Vista mostrando una parte del cerramiento en el andén
- Figura 6. Perspectiva de un puente de andén
- Figura 7. Nivel sótano - Estación Calle 72
- Figura 8. Nivel planta baja - Estación Calle 72
- Figura 9. Nivel mezanine – Estación Calle 72
- Figura 10. Nivel andén – Estación Calle 72
- Figura 11. Visual Metro Elevado y Espacio Público
- Figura 12. Localización de trazado y estaciones de la PLMBS subterránea - Ficha ES -02
- Figura 13. Estación monotubo (Gare Magenta, París)
- Figura 14. Sección monotubo
- Figura 15. Planta estación monotubo con andenes laterales
- Figura 16. Sección estación monotubo con andenes laterales
- Figura 17. Estación Pont Cardinet París de andén lateral línea 14

Figura 18. Estación Jean-Jaurès Métro de Toulouse

Figura 19. Planta estación bitubo con andén central Metro de Copenhague

Figura 20. Planta estación bitubo con andén central

Figura 21. Sección estación bitubo con andén central

Figura 22. Sección estación bitubo con andén central

Figura 23. Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)

Figura 24. Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)

Figura 25. Nivel Uno Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)

Figura 26. Nivel Dos Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)

Figura 27. Nivel Andén Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)

Figura 28. Sección Longitudinal Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)

Figura 29. Programa Arquitectónico Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)

Figura 30. Programa Arquitectónico Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)

Figura 31. Programa Arquitectónico Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)

Figura 32. Localización de cicloparqueaderos en edificios de accesos

Figura 33. Vista aérea estación elevada con edificios de acceso a ambos costados

Figura 34. Fachada Estación Universidad Metro de Medellín

Figura 35. Acceso a zona paga estación Metro de Medellín

Figura 36. Nivel de acceso a trenes Metro de Medellín

Figura 37. Fachada Estación Poblado Metro de Medellín

Figura 38. Fachada Estación La Aguacatala Metro de Medellín

Figura 39. 12 líneas Metro de México

Figura 40. Estación elevada Metro de México

Figura 41. Estación con un andén central y dos laterales Metro de México

Figura 42. Estación con andén central Metro de México

Figura 43. Estación Subterránea Metro de México

Figura 44. Estación a nivel de vía Metro de México

Figura 45. Boca de Acceso Metro Santiago de Chile

Figura 46. Acceso a zona paga Metro Santiago de Chile

Figura 47. Acceso, escaleras y cajeros Metro Santiago de Chile

Figura 48. Zona de locales comerciales Metro Santiago de Chile

Figura 49. Mural interior estación Metro Santiago de Chile

Figura 50. Diseño de muros interiores Metro Santiago de Chile

Figura 51. Sección Estación Subterránea Metro Santiago de Chile

Figura 52. Sección Estación Subterránea Metro Santiago de Chile

Figura 53. Estación Subterránea Metro Santiago de Chile

Figura 54. Estación World Trade Center NY

Figura 55. Estación World Trade Center NY

Figura 56. Sección típica Transmilenio frente a estaciones

Figura 57. Sección típica Transmilenio supuesta con PLMB

Figura 58. Distancia recomendada entre ejes de columnas para estaciones con integración a la PLMB

Figura 59. Galería de pasarela para estaciones con integración de la PLMB

Figura 60. Detalle ubicación puntos fijos en pasarela para estaciones con integración a la PLMB

Figura 61. Estación T2M (Con integración con la PLMB)

Figura 62. Estación T3M (Con integración con la PLMB)

Figura 63. Estación T3M-H (Con integración con la PLMB)

Figura 64. Vagón tipo W1

Figura 65. Vagón tipo W2

Figura 66. Vagón tipo W3

Figura 67. Vagón tipo W4

Figura 68. Estación patrón 1 (2 accesos)

Figura 69. Estación patrón 2(2 accesos)

Figura 70. Estación patrón 2 (1 acceso)

Figura 71. Estación patrón 3 (2 acceso)

Figura 72. Estación patrón 3 (1 acceso)

Figura 73. Estación patrón 4 (1 acceso)

Figura 74. Estación Regiotram Funza 1 sin intermodalidad metro (fuera de Bogotá)

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

Figura 75. Estación Regiotram Funza 1 sin intermodalidad metro (fuera de Bogotá)

## LISTA DE ANEXOS

 Anexo 1. ET. 25 Arquitectura - Estaciones- RD

Anexo 5. ET. 25 Arquitectura - Estaciones - Capex- RA

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

## 2.2.25.5. ET25 - ESTACIONES Y EDIFICIOS - ARQUITECTURA

Disciplina 5:	Estaciones y edificios - Arquitectura
Entregable de referencia:	Entregable 10 / ET 25 - Estaciones y edificios

### 2.2.25.5.1. NORMATIVIDAD APLICABLE

#### 2.2.25.5.1.1. Normatividad nacional

Las normas nacionales que serán utilizadas en los diseños de factibilidad de las estaciones son las siguientes:

- Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR -10 (2010) enfocada a la seguridad humana Título J y K.
- Normativa urbanística de aplicación de los municipios que atraviesa el sistema férreo a diseñar, incluyendo sus Planes de Ordenamiento Territorial vigentes al momento de realizar los diseños.
- Normas Técnicas Colombianas (NTC), entre las cuales se destacan, sin limitarse a estas (Estas normas son de estricto cumplimiento):
  - NTC 6047 - Accesibilidad al medio físico.

- NTC 4140 Accesibilidad a edificios a edificios y espacios urbanos.
- NTC 5183 Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores.
- NTC 4139 Por el cual se reglamenta la accesibilidad a modos de transporte a la población en general y en especial a las personas con discapacidad.
  
- Ley 361 de 1997 Por la cual se establecen mecanismos de integración social de las personas en situaciones de discapacidad y se dictan otras disposiciones.
- Decreto Ley 019 de 2012, Artículo 192. RÉGIMEN ESPECIAL EN MATERIA DE LICENCIAS URBANÍSTICAS
- Normas y especificaciones vigentes de Diseño y Construcción de EAAB,ETB, ENEL.
- El consultor a partir de análisis técnicos y jurídicos en la etapa de factibilidad indicará si la construcción de las estaciones, en las que se incluyan servicios conexos la infraestructura deberá contar con el trámite de licencia de construcción. También se verificará los servicios conexos al interior de las estaciones, que permitan realizar la explotación no tarifaria de la de L2MB.
- Cartillas BRT, Transmilenio y Regiotram.

#### 2.2.25.5.1.2. Normatividad internacional

Las normas internacionales que serán utilizadas en los diseños de factibilidad de las estaciones son las siguientes:

- NFPA-130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems. National Fire Protection Association.
- NFPA 101: National Fire Protection Association 101, Life Safety Code.
- Normas UIC. International Unión Railways.
- Eurocodes. CEN. European Committee for Standardization.
- Normas EN.

#### 2.2.25.5.2. REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ

<b>Entregables de referencia:</b>	Producto 4- Estudios y diseños de prefactibilidad - Entregable 7- Tipología e inserción de estación / Informe de prototipos Arquitectura y funciones / Servicios.
-----------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:**

Producto 4- Estudios y diseños de prefactibilidad - Entregable 7- Tipología e inserción de estación / Informe de prototipos Arquitectura y funciones / Servicios

- Descripción de la L2MB.

La segunda línea del Metro de Bogotá, es una infraestructura mixta con tipología de metro elevado y metro subterráneo con una longitud de 15,8 km conformada por una cola de maniobras, 11 estaciones, un CCO y un patio taller. Su recorrido abarca principalmente la calle 72, Av. Ciudad de Cali, Reserva vial ALO (Avenida Longitudinal de Occidente) y la extensión de la Av. Transversal de Suba. Véase Anexo 1. ET. 25. Arquitectura - Estaciones Ficha ES-11.

- Inserción urbana de las estaciones.

De acuerdo al Entregable 7 de la prefactibilidad se establece que en la inserción urbana de las estaciones se consideró el entorno existente alrededor de los sitios seleccionados para su localización y la tipología de estación. A continuación se indican las tipologías planteadas:

- Estación 1: Andenes laterales y subterránea.
- Estación 2 a 8: Andén central y subterráneo.
- Estación 9 y 10: Andenes laterales bajo nivel del terreno con accesos a nivel del terreno.
- Estación 11: Andenes laterales y elevada.

Estas tipologías pueden condicionar las implantaciones de los accesos los cuales se deben determinar por los flujos y morfología urbana.

La tipología de las estaciones de los estudios y diseños de prefactibilidad, principalmente en las estaciones subterráneas, mantienen una única tipología, lo cual resulta limitante ante la propuesta arquitectónica y urbana en cuanto a los accesos peatonales, morfología urbana, sistema vial entre otros, condiciones y características que deberán ser tenidas en cuenta en la implantación de estas estaciones.

Las estaciones se plantean con tres tipos de accesos:

- Edificios de acceso, el cual comparte área con un futuro edificio privado.
- Bocas de acceso tipo A, el cual plantea un acceso de mayor tamaño considerando una escalera fija, escalera mecánica y ascensor.
- Bocas de acceso tipo B, es de menor tamaño por el área disponible en el entorno de salida, considera una escalera fija y un ascensor.

Para ver los tipos de boca de acceso y estaciones. Véase Anexo 1. ET. 25. Arquitectura - Estaciones Ficha ES - 11- ES - 22.

Ítem	Aspectos relevantes	¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?
<p><b>Equipamiento y mobiliarios de las estaciones</b></p>	<p>Las estaciones contarán con los siguientes equipamientos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Escaleras eléctricas.</li> <li>● Ascensores.</li> <li>● Bancas.</li> <li>● Asientos.</li> <li>● Canecas de basura.</li> <li>● Cicloparqueaderos.</li> <li>● Torniquetes.</li> <li>● Señalización.</li> <li>● Puertas automáticas.</li> </ul> <p>Las escaleras mecánicas o eléctricas se encuentran en los accesos y comunican las estaciones hasta llegar a la zona de andén, al lado de estas escaleras se encuentran las fijas y los ascensores.</p> <p>Las bancas se encuentran principalmente en la zona de andén empotradas entre columnas,</p> <p>Las canecas de basura se encuentran desde las bocas de acceso y en cada una de las plantas de la estación.</p> <p>Los cicloparqueaderos se localizarán en las bocas de acceso o en un nivel sótano dependiendo de la inserción urbana de cada estación,</p> <p>Los torniquetes se encontraran en las estaciones dividiendo la zona no paga de los accesos.</p> <p>La señalización se encuentra en toda la estación desde el acceso hasta el nivel de andén donde se realiza el embarque y desembarque a los trenes y donde se encontrarán las puertas automáticas de vidrio.</p>	<p>Dentro de la asesoría técnica se buscará que los equipamientos y mobiliarios urbanos sean de un material resistente al vandalismo, con características estéticas que reflejan limpieza y poca permanencia.</p> <p>También se buscará que la localización del equipamiento y mobiliario de las estaciones sea en sitios que no obstaculicen y facilitan la circulación de los pasajeros.</p> <p>Se realizará en cada estación un planteamiento arquitectónico que permita la continuidad, estética y funcionalidad del sistema.</p> <p>Se buscará que la localización del equipamiento y el mobiliario no obstaculicen la circulación de los peatones buscando que estas sean libres de obstáculos.</p> <p>Se buscará que las bancas, asientos, canecas de basura, torniquetes y cicloparqueaderos sean de acero inoxidable, un material duradero y estéticamente agradable.</p> <p>Las puertas automáticas serán de vidrio transparente de manera que permitan la visibilidad a los trenes y estas contarán con la respectiva señalización.</p>

<p><b>Normatividad aplicada para las estaciones</b></p>	<p>Véase punto 1 de la ET 25 Estaciones - Arquitectura del presente informe.</p>	<p>Se aplicarán las normativas referenciadas en este documento en lo relacionado al diseño de las estaciones focalizando todas aquellas normas de accesibilidad del medio físico y seguridad humana como rutas de evacuación, tamaño de los andenes, número de salidas, normas de accesibilidad para personas de movilidad reducida y demás.</p>
<p><b>Dimensionamiento de las estaciones</b></p>	<p>La longitud aproximada es de 147 m, los anchos son variables según el perfil de la vía por el cual cruza el trazado, no se incluyen los túneles de acceso. A continuación las dimensiones proyectadas en la prefactibilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Estación Tipología 1:150,00 m x 39,60 m.</li> <li>● Estación Tipología 2: 149.40 m x 32,05 m.</li> <li>● Estación Tipología 3: 157,22 m x 31,95 m.</li> <li>● Estación Tipología 4:145,00 x 23,60 m.</li> <li>● Bocas de acceso Edificio:46,72 m x 32,05 m.</li> <li>● Bocas de acceso tipo A: 10,55 m x 14.00 m.</li> <li>● Bocas de acceso tipo b: 4,72 m x 8,67 m.</li> </ul> <p>Véase Anexo 1. ET.25 Arquitectura Fichas ES -11 - ES - 20.</p>	<p>A nivel arquitectónico se mantendrá en lo posible los diseños de prefactibilidad para las estaciones, y se revisará en las tipologías uno, dos, tres y cuatro, en lo referente con los anchos mínimos exigidos para la evacuación de usuarios según el título K de la NSR 2010. Así mismo, se analizarán las soluciones adecuadas con la inserción urbana para las bocas de acceso.</p> <p>Véase Anexo 1. ET.25. Arquitectura - Estaciones Fichas ES - 23 - ES - 38.</p>
<p><b>Características de las estaciones</b></p>	<p>Hay tres tipos de estaciones y tienen las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Estación subterránea: con vestíbulo subterráneo con múltiples accesos en superficie y pasillo de conexión, de la estación dos a la número ocho, contará con vestíbulo de billetes en la planta baja del edificio.</li> <li>● Estación soterrada: Vestíbulo sobre el suelo en un pabellón.</li> <li>● Estación elevada: Vestíbulo a nivel de la mediana, cruce de la calle a nivel por paso de peatones.</li> </ul> <p>Para ver las características de los diferentes tipos de estaciones Véase Anexo 1. ET. 25. Arquitectura - Estaciones Ficha ES - 39- ES - 42.</p>	<p>Se mantendrán los tres tipos de estaciones, revisando la inserción urbana de cada estación y sus respectivas bocas de acceso de manera que sus implantaciones generen menores afectaciones al momento de la intervención de espacio público, edificaciones y vías existentes.</p> <p>En los accesos a las estaciones, se plantean soluciones seguras para la localización de los cicloparqueaderos.</p> <p>Se definirá un listado de acabados para cada tipo de estación y su configuración.</p>

<p><b>Plano de localización y planos de prefactibilidad L2MB:</b></p> <p>RAQB014-PRO04-ENT6-TEP-PS-01 AL 17.</p>	<p>El trazado de la segunda línea del metro elevado de Bogotá, está conformada por dos tipologías de metro subterránea y elevada, tiene 11 estaciones, un patio taller, un CCO dentro de una longitud de 15,8 km conformada por una cola de maniobras en su extremo oriental, discurriendo por los corredores de la calle 72, avenida ciudad de Cali, reserva vial ALO y la extensión de la avenida transversal de Suba. Véase Anexo 1. ET. 25. Arquitectura - Estaciones Ficha ES - 11.</p> <p>En cuanto a los planos de la prefactibilidad se analizó lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se observa el diseño de las bocas de acceso de cada estación, los cicloparqueaderos y los túneles de acceso del peatón desde el acceso hasta la Zona Paga.</li> <li>• No se identifican con claridad los vacíos dentro de los esquemas de las plantas.</li> <li>• No se identifican los acabados o materiales a utilizar en plantas y secciones.</li> <li>• No se identifican los diferentes equipos para los cuartos técnicos de manera que se verifique su correcto dimensionamiento de las áreas requeridas.</li> <li>• No se observan fachadas interiores de las estaciones y fachadas exteriores de las bocas de acceso.</li> <li>• Algunos espacios no se encuentran identificados con nombre y área en m<sup>2</sup>.</li> </ul>	<p>Dentro de los planos de factibilidad se incluirá lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se mantendrá en lo posible la localización de las estaciones, siempre y cuando la inserción urbana de las mismas lo permita procurando generar accesos en intersecciones a los dos costados de las vías principales.</li> <li>• Acabados procurando generar un lenguaje arquitectónico propio que pueda compartir criterios con la PLMB.</li> <li>• Plantas arquitectónicas con de localización a menor escala y cuadros de áreas por piso.</li> <li>• Los diseños de los túneles de acceso, las bocas de acceso y cicloparqueaderos por estación.</li> <li>• Una mayor expresión a nivel de dibujo de los planos, niveles, cotas, vacíos, materiales, cortes, convenciones, áreas, notas importantes.</li> <li>• Desarrollo de fachadas interiores y exteriores de cada estación.</li> <li>• Definición de los equipos de los cuartos técnicos con el fin de establecer áreas, acceso y la altura de dicho espacio.</li> <li>• Cuadros de puertas, ventanas y rejillas por tipo y un cuadro de detalles de resumen de las mismas.</li> </ul> <p>Se realizarán planos con mayor detalle que permitan establecer el correcto funcionamiento de las estaciones y unos costos aproximados por estación.</p>
<p><b>Aspectos críticos por atender</b></p>	<p><b>A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2)</b></p>	<p><b>A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3)</b></p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definición de la inserción urbana más óptima para cada una de las estaciones.</li> <li>Identificación de las características técnicas para las bocas de acceso con edificio.</li> <li>Validación con EMB y FDN la experiencia de la PLMB en cuanto a los criterios de seguridad humana como rutas de evacuación, número de salidas y espacios para personas con movilidad reducida en caso de requerirse evacuación.</li> <li>Definición de los acabados a utilizar en cada tipología de las estaciones.</li> <li>Definición de los diseños de los cicloparqueaderos en los accesos de las estaciones.</li> <li>Definición de los diseños de las bocas de acceso para las estaciones subterráneas.</li> <li>Realizar los programas arquitectónicos iniciales considerando espacios para las necesidades de los usuarios, equipos electromecánicos, espacios para actividades comerciales y operadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar en conjunto con EMB, FDN e Interventoría los trámites o permisos necesarios para la construcción de las estaciones teniendo en cuenta el Decreto 1469 de 2010 Art. 11 Régimen especial en materia de licencias urbanísticas, numeral 2.</li> <li>Realizar especificaciones técnicas para construcción.</li> <li>Establecer el listado de materiales definitivo.</li> <li>Establecer los diseños definitivos para construcción.</li> <li>Establecer el programa arquitectónico definitivo.</li> <li>Adecuaciones y obras necesarias para la mitigación de impactos con población inmediata.</li> </ul>
<p><b>CAPEX y OPEX</b></p>	<p>El capex de la prefactibilidad para las estaciones y módulos de ingreso adopta como fuente de información datos basados en los estudios conceptuales para proyectos similares ejecutados en Europa y Asia estructurados por los especialistas de Egis Rail en Francia, específicamente para las diferentes tipologías de estaciones (Elevada, subterránea en los tramos bitubo, subterránea trinchera tramo ALO y la estación especial de la calle 72 con 11). Sin embargo no es clara la forma como los estudios de prefactibilidad le asignan valores de referencia a cada tipología y se cuentan con las siguientes inquietudes:</p> <p>Véase Anexo 5 ET. 25 Arquitectura - Estaciones - Capex</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>No se especifica si los valores de referencia definidos por los especialistas cuentan con la indexación de valores y los precios se encuentren con valor presente.</li> <li>No es claro cuáles son los aspectos incluidos en los valores de referencia por tipología de estación. ¿Incluyen equipos?, ¿Incluyen los aspectos estructurales como las pantallas estructurales para las estaciones subterráneas tramos bitubo y trinchera? ¿Incluyen la infraestructura para las redes secas y húmedas?.</li> <li>La tabla del Anexo A - L2MB Estructura básica CAPEX Fase 3. indica que los valores de referencia por tipología incluyen los túneles de ingreso desde el nivel superficie hasta el nivel vestíbulo, excepto para la estación tipología 4 - calle 72, en donde por su misma naturaleza y condición especial se</li> </ul>	

	<p>independizaron en los ítems 7,04 INTEGRACIÓN SUBTERRÁNEA (TRAMOS 1 Y 2) y 7,05 (INTEGRACIÓN SUBTERRÁNEA (TRAMO 3). La anterior premisa debería incidir en la disminución del precio unitario de los valores de referencia para la tipología 4 - calle 72.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El costo \$/M2 del Capex de las estaciones de los estudios de ingeniería avanzada del metro subterráneo consorcio L1 representa poco menos de la mitad del costo \$/M2 de la tipología de las estaciones en los tramos bitubo de los estudios de prefactibilidad de la SLMB, véase Anexo 5 ET.25 Arquitectura - Estaciones Capex.</li> </ul> <p>El opex de todos los componentes de la L2MB, incluyendo el entregable de las estaciones y módulo de ingreso, contienen los costos de mano de obra, materiales, energía, seguros y gastos generales relacionados con la operación y el mantenimiento, incluidos los costos de renovación y reemplazo, sin embargo no se incluyen costos asociados a la política fiscal de Colombia como lo son impuestos sobre ingresos/ beneficios o el impuesto sobre el valor agregado IVA, lo cual contribuye a una mayor incertidumbre sobre los costos reales del opex, independientemente del porcentaje asignado para efectos de los riesgos e imprevistos.</p>
<p><b>Otros aspectos relevantes:</b></p>	<p>Se deberá revisar el diseño de la estación de la calle 72 con respecto a los diseños existentes relacionados al urbanismo y diseño de la segunda línea del metro.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En los diseños de la prefactibilidad no se encontraron diseños para la ubicación de los cicloparqueaderos, diseño que se deberá tener en cuenta en los diseños de factibilidad, procurando que su localización sea en sitios seguros que no se presten para el vandalismo. Véase Anexo 1. ET. 25. Arquitectura - Estaciones Ficha ES -21.</li> <li>• En los planos de prefactibilidad no se observan los materiales referenciados ni en las plantas ni en los alzados, en los diseños de factibilidad se deberán indicar los acabados establecidos para cada una de las estaciones.</li> <li>• Se deberá analizar que la inserción de cada una de las estaciones genere menores adversidades en cuanto a la intervención del espacio público y vías circundantes.</li> <li>• Para la tipología de estación tipo 1 se cumple con el índice de ocupación, la distancia de recorrido desde el tren hasta la salida, número de salidas de acuerdo a la carga de ocupación y el ancho mínimo para las puertas de salidas del nivel de andén según el título K de la NSR 2010 versión 2012 .</li> <li>• Para la tipología de estación tipo 2 se cumple con el índice de ocupación, la distancia de recorrido desde el tren hasta la salida, número de salidas de acuerdo a la carga de ocupación y el ancho mínimo para las puertas de salidas del nivel de andén según el título K de la NSR 2010 versión 2012.</li> <li>• Para la tipología de estación tipo 3 se cumple con el índice de ocupación, la distancia de recorrido desde el tren hasta la salida, número de salidas de acuerdo a la carga de ocupación y el ancho mínimo para las puertas de salidas del nivel de andén según el título K de la NSR 2010 versión 2012.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para la tipología de estación tipo 4, no se cumple con el índice de ocupación, si se cumple con la distancia de recorrido desde el tren hasta la salida, número de salidas de acuerdo a la carga de ocupación y el ancho mínimo para las puertas de salidas del nivel de andén según el título K de la NSR 2010 versión 2012.</li> <li>• No se presenta en la prefactibilidad un análisis riguroso la inserción urbana de las bocas de acceso en los casos que aplica la tipología B, la cual presentan intermodalidad con estaciones BRT y Regiotram del Norte, considerando soluciones adaptadas al lugar que permitan la continuidad de las circulaciones peatonales seguras. Se estudiarán en la etapa de factibilidad los anchos de los separadores en la estación donde se presente intermodalidad con los demás sistemas de transporte público de la ciudad, ya que estos podrán condicionar la disposición de las escaleras y ascensores.</li> </ul>
<p><b>Conclusiones del estudio de prefactibilidad:</b></p>	<p>A continuación se listan comentarios generales en relación al Entregable 7- Tipología e inserción de estación / Informe de prototipos Arquitectura y funciones / Servicios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las tipologías presentadas cuentan con programas arquitectónicos en el que establecen las áreas iniciales para considerar en la etapa de factibilidad las cuales se verifican a partir de experiencias anteriores como la PLMB elevada en proceso de construcción y la PLMB inicialmente proyectada de forma subterránea.</li> <li>• Las zonificaciones de los diseños funcionales de la prefactibilidad, presentan claridad en la distribución, lo cual permitirá que el diseño de factibilidad cuente con la facilidad para proyectar las circulaciones de manera adecuada para el usuario en el interior de la estación.</li> <li>• Se definen áreas generales para la disposición de locales técnicos y salas técnicas, no obstante, no se presenta un programa arquitectónico que permita identificar las áreas requeridas en la operación así como el personal que allí participará para definir espacios complementarios como baños y áreas comunes de operadores.</li> <li>• No se presenta en el planteamiento la ubicación de las áreas de taquilla con su espacio de acumulación.</li> <li>• No se presenta en la prefactibilidad un análisis riguroso la inserción urbana de las bocas de acceso en los casos que aplica la tipología B, la cual presentan intermodalidad con estaciones BRT y Regiotram del Norte, considerando soluciones adaptadas al lugar que permitan la continuidad de las circulaciones peatonales seguras. Se estudiarán en la etapa de factibilidad los anchos de los separadores en la estación donde se presente intermodalidad con los demás sistemas de transporte público de la ciudad, ya que estos podrán condicionar la disposición de las escaleras y ascensores.</li> <li>• Se plantean tres soluciones para los cicloparqueaderos para las estaciones, la propuesta del parqueadero subterráneo se presenta como última alternativa en caso de no contar con el espacio suficiente a nivel de superficie.</li> <li>• Se presentan recomendaciones en la prefactibilidad para utilizar materiales que sean de tipo antivandálicos, de fácil montaje, fáciles de limpiar y que sean para un tráfico pesado, sin indicar especificaciones particulares, hecho que podrá afectar el valor final en los estudios de factibilidad que se realizarán.</li> <li>• Se plantea en la prefactibilidad para la estación de la Calle 11 la conexión con la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB) y el eje ambiental de la cra séptima pero no se muestra cómo se realizarán los empalmes en la planimetría suministrada. Así mismo, a nivel de confort para el usuario se identifican distancias mayores a 300 metros entre estaciones de metro con intermodalidad, lo cual podrá desestimular que esta relación se dé.</li> <li>• Se deberá analizar en la etapa de factibilidad para las estaciones, la posibilidad de pasos subterráneos que además de comunicar con las estaciones permitan el cruce peatonal de una acera a otra en vías principales.</li> <li>• La reglamentación NFPA 130 así como la NSR-10 son de estricto cumplimiento. En los casos en los que los dos estándares dicten especificaciones distintas, la más restrictiva debe ser la aplicada.</li> </ul>

- Se deberá plantear en etapa de factibilidad el programa arquitectónico con las actividades que deberán considerarse en los cuartos técnicos, las dimensiones de los equipos a requerir para así, implantarlos de forma funcional y práctica.
- Para la etapa de factibilidad se deberá considerar como criterio la utilización de colores claros en los revestimientos de las estaciones, para que la percepción del espacio y la iluminación de las mismas sean favorables.
- No hay claridad en la prefactibilidad en cuanto al número de pisos y actividades que se deben considerar en los edificios de acceso, generando la necesidad de concertación con EMB Y FDN a fin de delimitar las previsiones necesarias a nivel estructural, arquitectónico y de redes. A nivel de cantidades se presentan en m2 a nivel de superficie y no se indica un número de pisos.

## 2.2.25.5.3. PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

### 2.2.25.5.3.1.Línea 1 elevada (en construcción)

#### 2.2.25.5.3.1.1. Nivel de desarrollo de estudios y diseños

El nivel de los estudios y diseños de la Primera Línea del Metro Elevado de Bogotá (PLMB), es de factibilidad donde se buscó establecer unas soluciones arquitectónicas iniciales, buscando cumplir con los requerimientos para un transporte masivo efectivo y rápido como es el sistema de metro, en este caso de tipo elevado.

Dentro de los diseños de factibilidad de la Primera Línea del Metro Elevado de Bogotá (PLMB), se puede observar los planteamiento arquitectónicos y funcionales para cada una de las estaciones dentro de una inserción urbana, estableciendo unos diseños en planta, alzados, y de volumetría de fachadas; definiendo los acabados más

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

relevantes para utilizar en este tipo de edificaciones, pero no se detallan planos a nivel de construcción solamente a un nivel que permita la estimación en costos y análisis de la funcionalidad del proyecto.

#### **2.2.25.5.3.1.2. Localización y descripción**

En los diseños de factibilidad de la primera línea del metro de Bogotá, se desarrollaron 16 estaciones, para un tramo con una longitud de 23,86 kilómetros del tipo “Metro Elevado”.

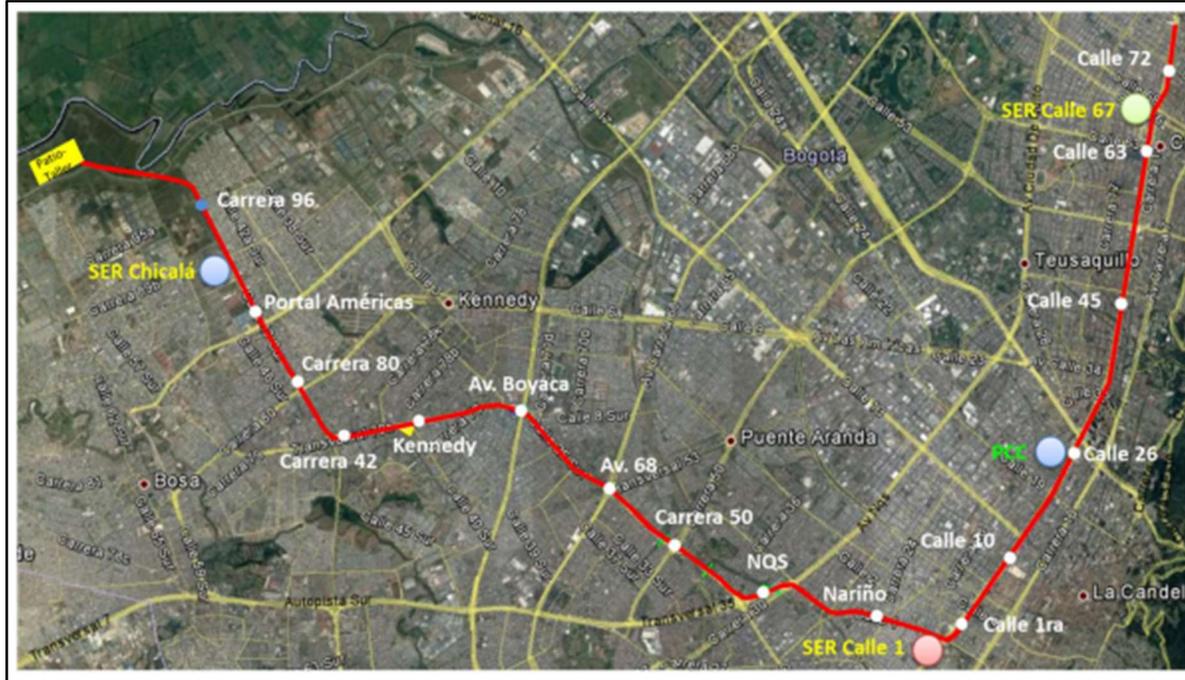


Figura 1. Trazado de la PLMB  
Fuente: Empresa Metro de Bogotá S.A. Anexo 1.(2018).

El tramo uno de la primera Línea del Metro de Bogotá, tendrá una longitud de 23,86 Kilómetros, será del tipo elevado. Este metro iniciará en el occidente de la Ciudad en el sector de El Corzo, en la localidad de Bosa, sitio donde se ubicará el patio taller, donde sale un ramal que conectará con la línea de operación en la estación de la intersección de la futura Avenida Villavicencio con la futura Avenida Longitudinal de Occidente (ALO). Luego de esta ubicación, el metro continúa la línea hasta el Portal de las Américas, donde se toma la Avenida Villavicencio en sentido oriental hasta la intersección con la Avenida Primera de Mayo, por esta vía se continuará en dirección al oriente teniendo intersecciones con la Avenida Boyacá, Avenida 68 y la Carrera 50 hasta llegar a la Avenida NQS. en la NQS se realizará un giro a la izquierda para hacer la transición sobre la Avenida NQS y luego un giro a la derecha para continuar sobre la calle 8 Sur hasta la Intersección con la Calle 1, la línea del metro continuará por el eje separador central de la Calle 1 hasta la intersección con la Avenida Caracas (Avenida Carrera 14), para tomar la Avenida hasta la calle 72.

### 2.2.25.5.3.1.3. Tipología y funcionalidad

El tipo de metro que se planteó para la primera línea es el Metro Elevado, con estaciones que cruzaran por un área predominante urbana, con accesos a las estaciones a través de edificios ubicados a ambos lados de la línea. En este estudio se plantearon tres tipo de estaciones:

- Estaciones Descentralizada
- Estaciones Mezzanine
- Estaciones Especial



Figura 2. 3D- Estación Descentralizada  
Fuente: Empresa Metro de Bogotá S.A. Anexo 1(2018).

Las estaciones Descentralizadas con integración a BRT serán la 9, 11, 12, 14, 15 y 16 y sin integración las 3, 4, 5, 10, 13 son estaciones que serán constituidas por un cuerpo central de estación, situado por encima de la calzada vehicular por medio de la cual se accede en un nivel tres a los vagones del metro. También se conectan pasarelas superiores e intermedias a los edificios o módulos laterales ubicados en predios adyacentes a la estación. En el nivel dos o intermedio se encontrará una

pasarela que conectará con los módulos laterales, con el fin que se pueda cambiar de andén y finalmente en el nivel del andén (Nivel tres), se encontrarán los locales técnicos y pasarelas que conectarán con los accesos a ambos costados de los trenes.

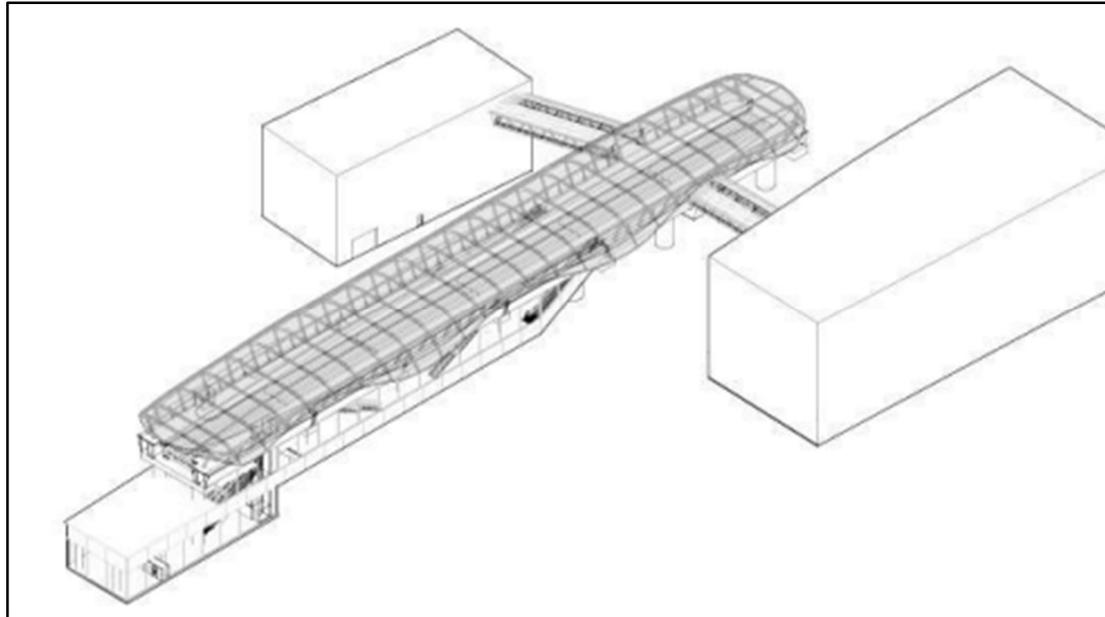


Figura 3. 3D-Estación Especial  
Fuente: Empresa Metro de Bogotá S.A. Anexo 1(2018).

Esta tipología se utilizará en la estación #7 de la Av. 68, los accesos se darán a través de edificios de acceso que se conectarán con la nave central mediante pasarelas ubicadas en su extremo oriental

Al costado occidental se construirá un mezzanine que conectará con la rotonda de la Cra. 68 permitiendo así la conexión con la troncal de Transmilenio de la Av. 68.



Figura 4. 3D-Estación con Mezzanine  
Fuente: Empresa Metro de Bogotá S.A. Anexo 1(2018).

Las estaciones con Mezzanine estarán compuestas por un solo cuerpo de estación que incluye todas las funcionalidades de la estación en un mismo edificio. Estas se encontrarán ubicadas sobre espacio público en terrenos que no cuentan con vías vehiculares adyacentes o cercanas a la estación del metro; por lo anterior el acceso de las estaciones es por la planta baja. Este nivel se integrará en el desarrollo urbano de la zona, con recorridos peatonales hasta llegar a la estación y realizar conexiones con otros medios de transporte. En el nivel dos, se encuentran los servicios al cliente, línea de control, escaleras de acceso a los andenes, los locales operacionales y locales técnicos. En estas estaciones se puede acceder a ambos andenes desde cualquiera de sus accesos. En el nivel andén se encuentran los andenes y sus escaleras que permiten el acceso a los vagones del tren.

Las estaciones que contarán con esta tipología serán las 1, 2, 6 y 8.

Para ver los planos de este tipo de estación véase Anexo 1. ET. 25 Arquitectura Ficha ES -08- 09.

#### 2.2.25.5.3.1.4. Acabados

Las fachadas de las estaciones se plantearon con unos cerramientos verticales de vidrios laminados al exterior de los andenes, en estos cerramientos en la parte baja se dejó una distancia entre el suelo y el borde inferior del vidrio, de manera que se permita el paso del aire, con el fin de complementar la ventilación natural propia de las estaciones elevadas.

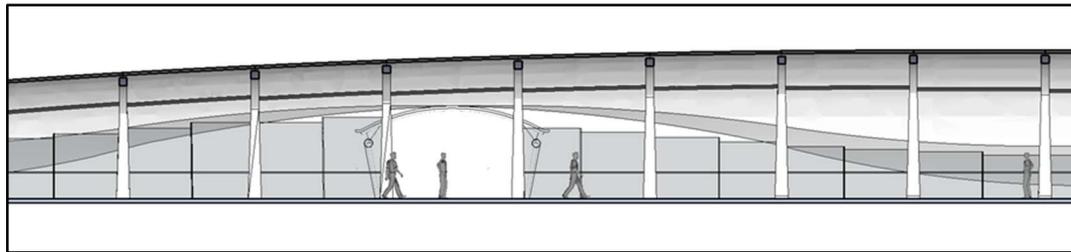


Figura 5. Vista mostrando una parte del cerramiento en el andén

Fuente: SYSTRA - INGETEC. ETPLMB-ET07-L00-IFU-E-0002-R0. Guía del Diseño Arquitectónico. (2018).

Las fachadas de las estaciones especiales, cuentan con un mezzanine debajo de los andenes, con cerramientos sólidos en vidrio y una mayor volumetría con un revestimiento de fachadas desde el mezzanine hasta el andén.

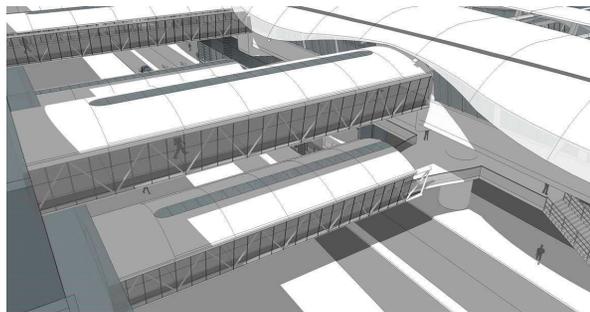


Figura 6. Perspectiva de un puente de andén

Fuente: SYSTRA - INGETEC. ETPLMB-ET07-L00-IFU-E-0002-R0. Guía del Diseño Arquitectónico.(2018).

El diseño de las pasarelas en la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB), las cubiertas y cerramientos verticales son similares a el diseño presentado en las estaciones, el piso de las pasarelas permitirá la conexión entre las plataformas y las instalaciones técnicas de las estaciones.

Los materiales más representativos de los diseños de las estaciones de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB) son los siguientes:

- Revestimiento común de concreto reforzado con fibra de vidrio.
- Revestimiento mural con paneles opacos de vidrio templado.
- Gres porcelánico de color gris claro, de acabado semi pulido, que tiene la apariencia de piedra natural.
- Bandas podotáctiles.
- Falsos techos de láminas compuestas de aluminio y de chapa de madera.
- Las escaleras son estructuras de mampostería cubiertas con revestimientos de pisos idénticos a los utilizados en los espacios de circulación horizontal a los que están unidos.
- Ascensores con fachadas acristaladas.
- Barandillas acristaladas hechas de paneles de vidrio templado laminado.
- Pasamanos de acero inoxidable y cilíndrico.
- Los tonos utilizados en las estaciones en general son tonos claros monocromáticos de tonos blancos neutros y muy claros.
- Muebles de acero inoxidable. (Asientos, canecas, bancos, biciparqueaderos).
- En general se utilizarán materiales duraderos, con superficies de fácil acceso y antigraffiti.

Los locales operativos contarán con los siguientes acabados:

- Piso de gres cerámico.
- Paredes de pintura gris claro.
- Habitaciones con piso cerámico y paredes con cerámica a una altura de 2,20 m, luego pintura hasta el techo.
- Las oficinas y las salas de estar del personal están equipadas con un falso techo acústico de aluminio perforado.
- En los baños y vestuarios se utilizará un falso techo de escayola.
- Las puertas estarán cubiertas con el mismo revestimiento que el de los muros. Cuando la aplicación del recubrimiento no es posible, estas puertas serán de acero inoxidable pintado.



- Nivel Planta Baja: El módulo occidental integrará un paso peatonal en este nivel generando una permeabilidad urbana con el contexto existente. El módulo oriental dispondrá de dos accesos mientras que los módulos occidentales tienen un acceso cada uno. El acceso hacia el bici-parqueadero se generará mediante la rampa escalonada que se encuentra sobre la fachada posterior del módulo principal: módulo oriental.

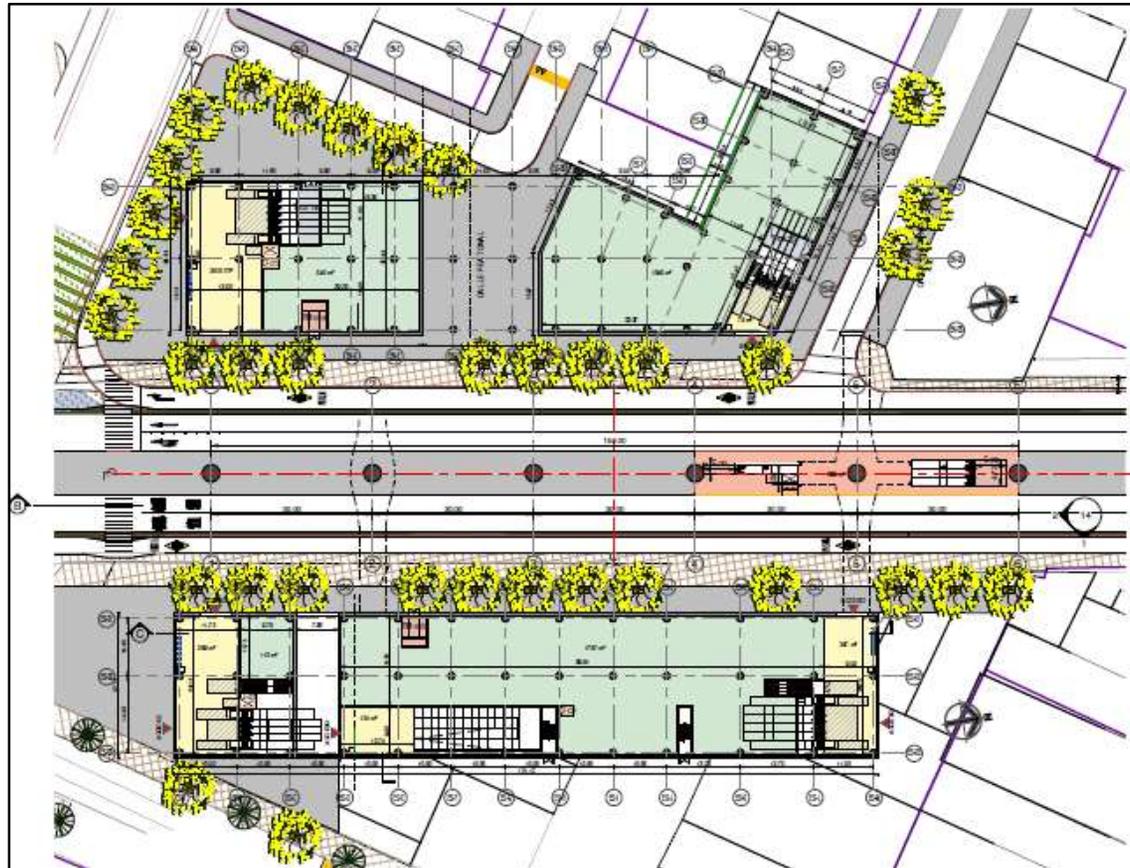


Figura 8. Nivel planta baja - Estación Calle 72

Fuente: SYSTRA - INGETEC. ETPLMB-ET07-L00-E-001-R0. Arquitectura de estaciones.(2018).

- Nivel Mezzanine: Las pasarelas de transbordo e interconexión estarán directamente conectadas con ambos módulos de acceso en este nivel. Ambos módulos contendrán superficies reservadas para los baños públicos.

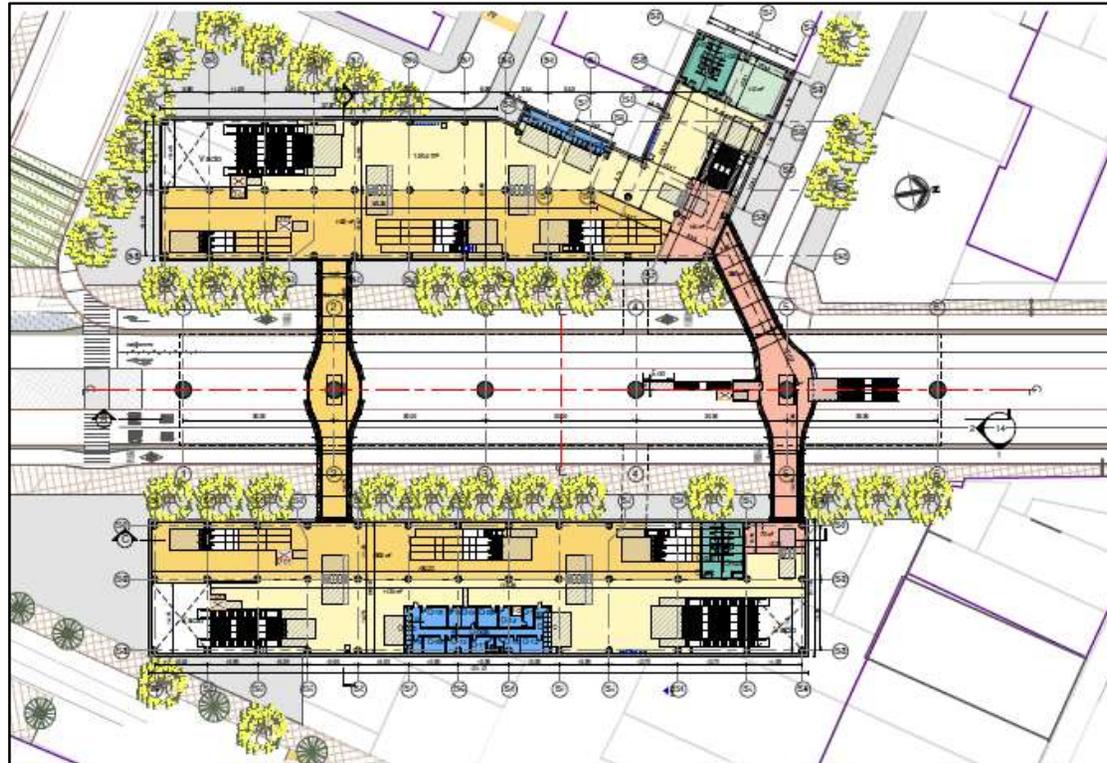


Figura 9. Nivel mezanine – Estación Calle 72

Fuente: SYSTRA - INGETEC. ETPLMB-ET07-L00-E-001-R0. Arquitectura de estaciones (2018).

- Nivel Andén: El acceso a los andenes se realizará mediante seis pasarelas, tres en cada andén. Seis bloques de escaleras alineadas contra las fachadas frontales de los módulos de acceso y dos ascensores conectan el nivel de andén con el mezanine. Esta estación albergará uno de los grupos de tracción de la línea por lo que la reserva de superficie de locales técnicos es mayor para este tipo de estaciones. Los accesos de material a los locales técnicos se realizan mediante una grúa sobre la fachada lateral del módulo oriental.

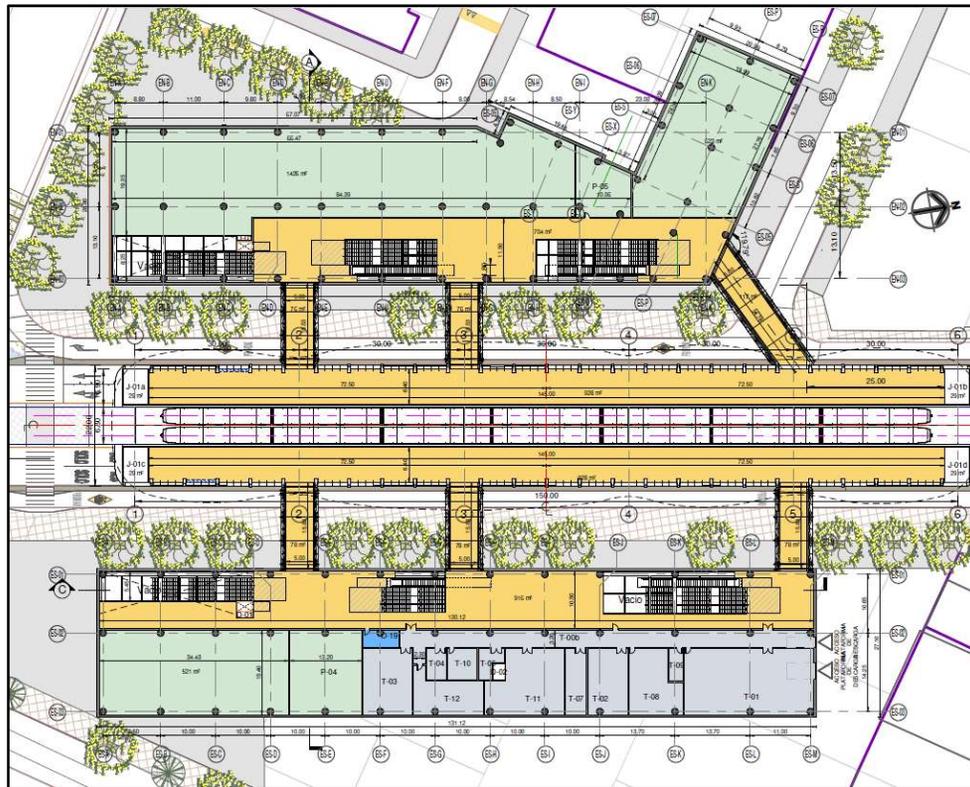


Figura 10. Nivel andén – Estación Calle 72  
Fuente: SYSTRA - INGETEC. ETPLMB-ET07-L00-E-001-R0. Arquitectura de estaciones (2018).

#### 2.2.25.5.3.1.6. Deficiencias

Al situarse el trazado sobre una troncal de transmilenio existente, los pilares estructurales generan afectación en las circulaciones de las estaciones BRT, haciendo que la capacidad de aglomeración de las mismas se viera reducida.

En cuanto a los edificios de acceso para la PLMBE se requiere la adquisición predial de manzanas completas para reemplazarlas por estructuras que igualmente ocuparan espacios y no generan mayor índice de espacio público.

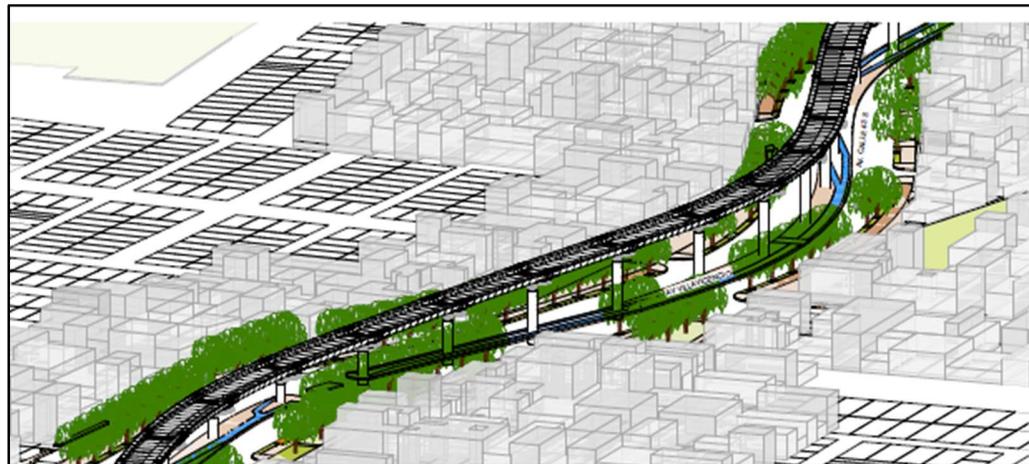


Figura 11. Visual Metro Elevado y Espació Público  
Fuente: SYSTRA - INGETEC..ETPLMB-ET18-L02-PLA-S-0014-R0.Primer línea metro de Bogotá.(2018).

#### 2.2.25.5.3.1.7. Soluciones

Analizar las afectaciones posibles sobre la infraestructura existente y evitar tener que hacer obras adicionales para la correlación de los dos proyectos simultáneamente

Pensar un desarrollo inmobiliario en altura que permita más área de espacio público, teniendo en cuenta que el interior de la ciudad es un área muy consolidada y suele carecer de m<sup>2</sup> de espacio público para el disfrute de las personas.

### 2.2.25.5.3.2. Línea 1 subterránea (estudio inicial)

#### 2.2.25.5.3.2.1. Nivel de desarrollo de estudios y diseños

El nivel de estudios es de detalle, en el que se plantearon las diferentes tipologías de estaciones, la información cuenta con un buen nivel de desarrollo en donde se especifican las cotas, materialidades e instalaciones de las mismas.

#### 2.2.25.5.3.2.2. Localización y descripción

Este proyecto se planteó como una solución de movilidad para la ciudad de Bogotá, plantea conectar al sur de la ciudad desde el portal de las Américas con el norte, pasando por el centro de la ciudad. Se proyectaron 27 estaciones de las cuales tres tenían conexión intermodal como lo eran la Av. 68, La Rebeca y la calle 127 donde finaliza el trayecto.

Este iba a ser un trazado subterráneo, el cual contaba con 3 tipologías de estaciones dependiendo el perfil vial por donde pasaba el trazado, adicionalmente 2 de estas tipologías tendrán dos métodos constructivos según la geotecnia del sector, estos eran o por pantallas o por tuneladora.

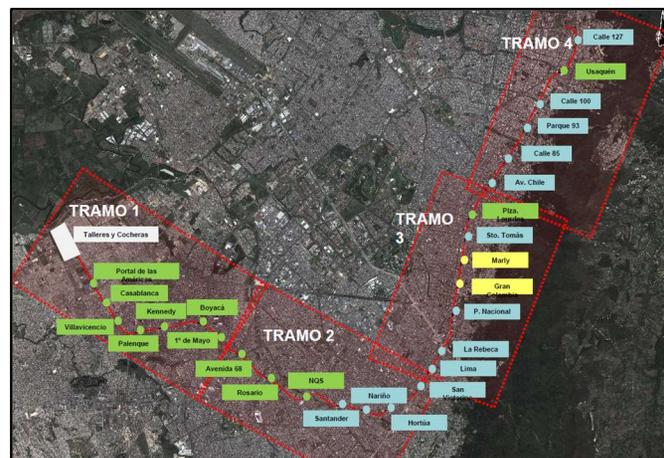


Figura 12. Localización de trazado y estaciones de la PLMBS subterránea - Ficha ES -02  
 Fuente: CONSORCIO L1..202006-PDF-PRO 813-ANX 15-PRES-VF.Producto 13 Estaciones.(2006).

#### **2.2.25.5.3.2.3. Tipología y funcionalidad**

Se establecieron 3 tipologías dependiendo el perfil de la vía por donde se ubicará el trazado.

La primera tipología era para vías de un ancho mayor a 36 m, esta tipología era la más ancha y disponía una zonificación horizontal la cual se organizaba por las circulaciones verticales y horizontales, andenes de abordaje y finalmente el alineamiento férreo de una forma simétrica, esta tipología se podía construir de dos formas dependiendo la geotecnia de la zona, una mediante tuneladora, la cual es más profunda al tener una cota de riel de -19.20 que hacia disponer de un pre vestíbulo para poder acceder finalmente al nivel de andén o mediante pantallas la cual tenía una cota de riel de -15.70, en la cual se accedía directamente del espacio público al vestíbulo.

la segunda tipología se aplicaría para perfiles de un ancho mayor a 30 m en la cual las circulaciones se localizaban a los laterales y compartían de cierta manera un mismo flujo con la circulación horizontal y los andenes de abordaje, esta tipología también tenía las mismas dos posibilidades de construcción con las que cuenta la tipología uno.

la tercera tipología es la más angosta está para un perfil de vía superior a 26 m en la cual los puntos fijos se ubican a los laterales de la estación, dejando como una isla los andenes de abordaje y en la cual los rieles férreos se ubicaban a los laterales de los andenes.

Las tres tipologías se adaptan espaciales y funcionalmente a las características del lugar, brindando la posibilidad de ejecutar los procesos internos de la estación en cuanto a los flujos peatonales, y las áreas asociadas a servicios y operación técnica. Véase Anexo 1. ET. 25. Arquitectura - Estaciones Ficha ES - 03- ES -04.

#### **2.2.25.5.3.2.4. Acabados**

Revestimientos: en este apartado destacan 4 materiales los cuales se pueden utilizar en diferentes formatos, colores y texturas, uno es el panel de acero vitrificado, el cual toma más importancia por su característica reflectante, el enchape, el acero y el drywall. La pintura plástica lavable toma importancia para el aseo y el mantenimiento en caso de vandalismo, el acero y el aluminio se destacan en acabados microperforados para destacar planos con color en las estaciones.

Pisos: los pisos para zonas de circulación y aglomeración son cerámicas de grandes formatos, para las escaleras deben contar con una textura antideslizante y para los cuartos técnicos un mortero de nivelación y resinas epóxicas.

Cielos Rasos: Destacan 3 materiales, uno es el panel de acero vitrificado, el cual toma más importancia por su característica reflectante, el drywall y las láminas de acero inoxidable microperforado se destacan para resaltar alturas y zonas.

La principal característica de los materiales es la resistencia, el fácil montaje en caso de que se requiera cambiar, y en el caso del acero vitrificado es la propiedad reflectante que tiene para brindar mayor iluminación en la estación. Véase Anexo 1. ET. 25. Arquitectura - Estaciones Ficha ES - 07.

#### **2.2.25.5.3.2.5. Deficiencias**

No se indican las diferentes tipologías de boca de acceso y servicios adicionales como los ciclo-parqueaderos los cuales se deben integrar para beneficio de los usuarios.

El diagrama de flujos de las estaciones indica un costado de acceso y da a entender que el otro sería el de salida, si bien puede que el funcionamiento interno pueda ser mejor, obliga a los usuarios a solo poder acceder por un costado de la estación teniendo la posibilidad de hacerlo por cualquiera de las bocas de acceso, lo que sería importante en especial para las horas de alta demanda, adicionalmente genera más recorridos en la superficie para poder acceder a esta. Véase Anexo 1.ET.25. Arquitectura - Estaciones Ficha ES-05 - ES - 06.

#### **2.2.25.5.3.2.6. Soluciones**

Realizar una memoria descriptiva en la que se explique el porqué de las implantaciones y geometrías de las bocas de acceso y cómo se plantea la intermodalidad con los bici-usuarios

Habilitar todos los accesos como puntos de acceso y salida.

#### 2.2.25.5.4. BENCHMARK (Experiencias internacionales)

Algunos de los proyectos internacionales y similares tomados como referencia son la estación monotubo Gare Magenta, la Estación Pont Cardinet en París, la estación bitubo Jean-Jaurès del Metro de Toulouse y el Metro de Copenhague.



Figura 13. Estación monotubo (Gare Magenta, París)  
Fuente: AECON-SYSTR.A.03-AECSYS-RAP-00038-01-AMC. Monotube Bitubo.Anexo 1.(2021)



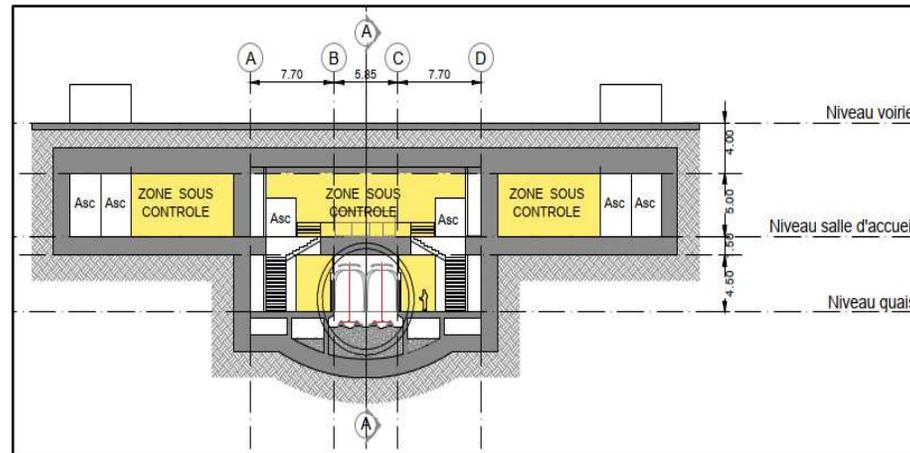


Figura 16. Sección estación monotubo con andenes laterales

Fuente: AECON-SYSTR.A.03-AECSYS-RAP-00038-01-AMC. Monotube Bitubo.Anexo 1.(2021)

La estación (Gare MAgenta, París) es del tipo subterránea monotubo, en donde se aprecia un nivel de andén con una cubierta circular con acabados de madera y con estructuras de concreto a la vista, un riel central con andenes a ambos lados y una visual libre de obstáculos.

Se puede observar que presenta pisos cerámicos del mismo tono de los muros, también se presentan bancas adosadas a las paredes, accesos que comunican con las escaleras y con los baños.

En cuanto el diseño arquitectónico plantea una tipología que ya se distingue cuando de monotubos se trata, con una composición que se distribuye en tres zonas:

1 férrea (circulación de trenes).

2 andenes ( espacio de aglomeración y circulación de usuarios).

3 circulaciones verticales ( escaleras y ascensores) estos distribuidos en forma vertical donde 1 es el centro y 3 los extremos, replicado de forma simétrica.

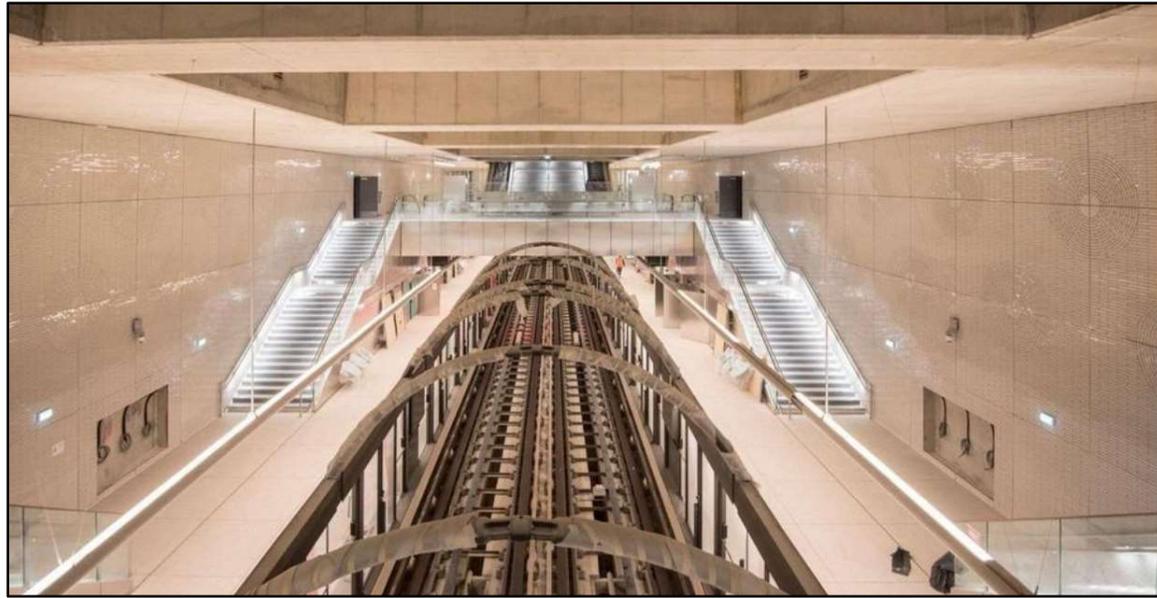


Figura 17. Estación Pont Cardinet París de andén lateral línea 14  
Fuente: AECON-SYSTRAS.03-AECSYS-RAP-00038-01-AMC. Monotube Bitubo.Anexo 1.(2021)

Como se observa en la figura 17, se presenta una estación monotubo con andén lateral, con la diferencia que este nivel la cubierta de estructura de concreto a la vista es plana y mucho más alta, con paredes altas enchapadas, pisos cerámicos y cerramientos de vidrio para el embarque a los trenes a ambos costados. En el fondo se observan unas escaleras que comunican con un mezzanine.

Otros de los referentes son las estaciones con andén central con línea de trenes a ambos lados y son las siguientes:



Figura 18. Estación Jean-Jaurès Métro de Toulouse

Fuente: AECON-SYSTR.A.03-AECSYS-RAP-00038-01-AMC. Monotube Bitubo Anexo 1.(2021)



Figura 19. Planta estación bitubo con andén central Metro de Copenhague

Fuente: AECON-SYSTR.A.03-AECSYS-RAP-00038-01-AMC. Monotube Bitubo. Anexo 1.(2021)



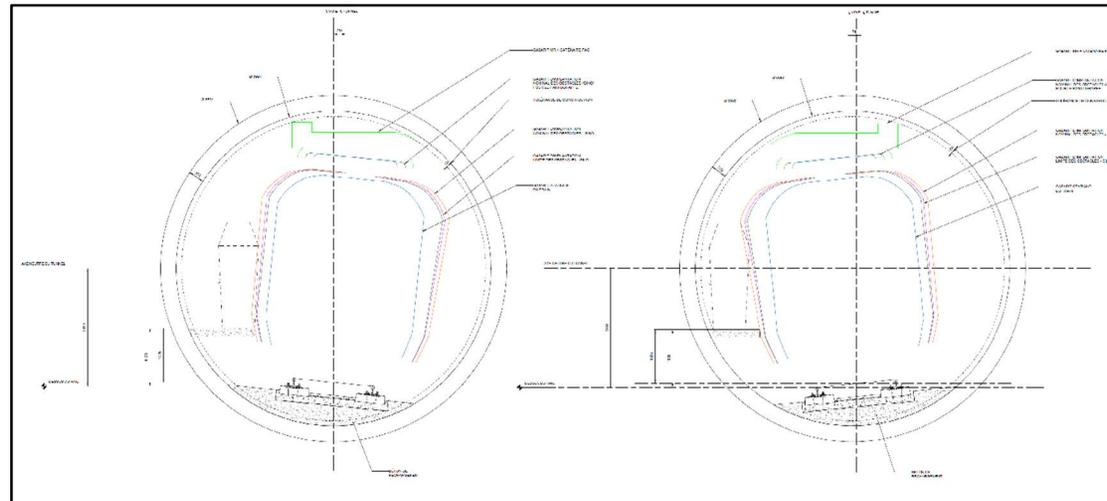


Figura 22. Sección estación bitubo con andén central

Fuente: AECON-SYSTR.A.03-AECSYS-RAP-00038-01-AMC. Monotube Bitubo.Anexo 1.(2021)

Tanto en la estación Jean-Jaurès del Metro de Toulouse y como en el Metro de Copenhague, son del tipo bitubo donde se aprecia un andén central con rieles a ambos costados, también en los diseños de ambas estaciones, se observa un nivel de andén con el nivel de cubierta a doble altura y un mezzanine con balcón hacia los sitios de embarque.

Los materiales que más se utilizan en este tipo de estaciones subterráneas son: cerramientos de vidrio, pisos cerámicos, paredes enchapadas, cielos rasos de madera o de plafón metálico.

En cuanto a la distribución arquitectónica se hace una alteración en las zonas 1 (férrea) y 3 (circulaciones verticales) en la cual el 3 pasa al centro de la composición y la zona 1 a los extremos

### 2.2.25.5.5. BENCHMARK (Experiencia en latinoamérica)

Algunos de los proyectos latinoamericanos más destacados en relación a líneas de metros son los siguientes:

#### 2.2.25.5.5.1. Aspectos relevantes de la PLMB del diseño funcional y arquitectónico de las estaciones (En construcción)

El Metro de Bogotá que actualmente se encuentra en construcción contará con estaciones superficiales, de tres tipos: Especial, descentralizada y tipo mezzanine, en donde la de tipo mezzanine es la más similar para tomar como referencia para los diseños de la L2MB, ya que todos los servicios se encuentran en una sola edificación con tres niveles en un edificio de un solo volumen al igual que en las estaciones subterráneas de la L2MB.



Figura 23. Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)

Fuente: Anexo 1 ET.25 Arquitectura- Estaciones-VD



Figura 24. Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)

Fuente: Fuente: Systra/ingetec.ET PLOMB-ET 19-L16.3-ITE-I-001\_R0.Descripción del proyecto.(2018)

Las estaciones con mezzanine estarán ubicadas sobre espacio público en terrenos que no cuentan con vías vehiculares adyacentes o cercanas a la estación de un metro, por este motivo el acceso a estas estaciones se realizará por la planta baja. En este nivel se integra al desarrollo urbano general de la zona, con recorridos peatonales hasta llegar a la estación.

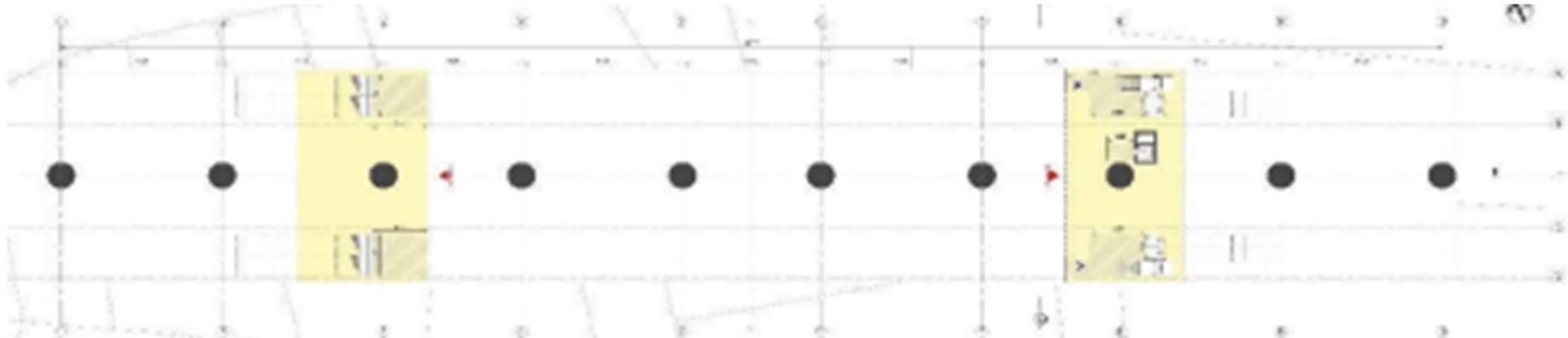


Figura 25. Nivel Uno Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)  
Fuente: Systra/ingetec.ET PLOMB-ET 19-L16.3-ITE-I-001\_R0.Descripción del proyecto.(2018)



Figura 26. Nivel Dos Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)  
Fuente: Systra/ingetec.ET PLOMB-ET 19-L16.3-ITE-I-001\_R0.Descripción del proyecto.(2018)

En el nivel dos se pueden encontrar los siguientes espacios:

- Servicio al cliente.
- La línea de control (Talanqueras + taquillas)
- Escaleras de acceso a los andenes.
- Locales operacionales.
- Locales técnicos.

En el nivel tres se pueden encontrar los siguientes espacios:

- Andenes laterales de embarque de desembarque de pasajeros
- Escaleras de acceso a los vagones del tren.

Por último está el nivel de andén que es por donde se accede a los trenes con dos andenes laterales, en este nivel se dispone 4 puntos de evacuación mediante escaleras fijas y mecánicas y un solo punto para ascensor por cada costado.

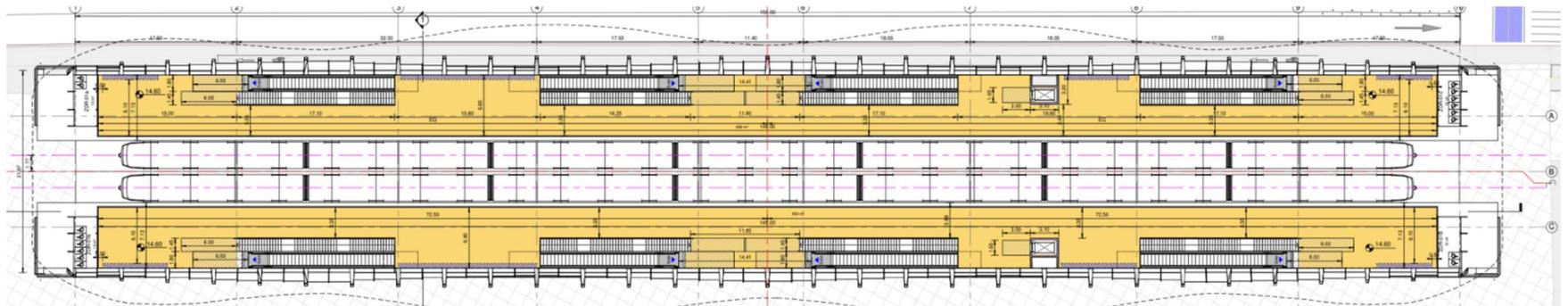


Figura 27. Nivel Andén Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)  
Fuente: Anexo 1 ET.25 Arquitectura- Estaciones-VD

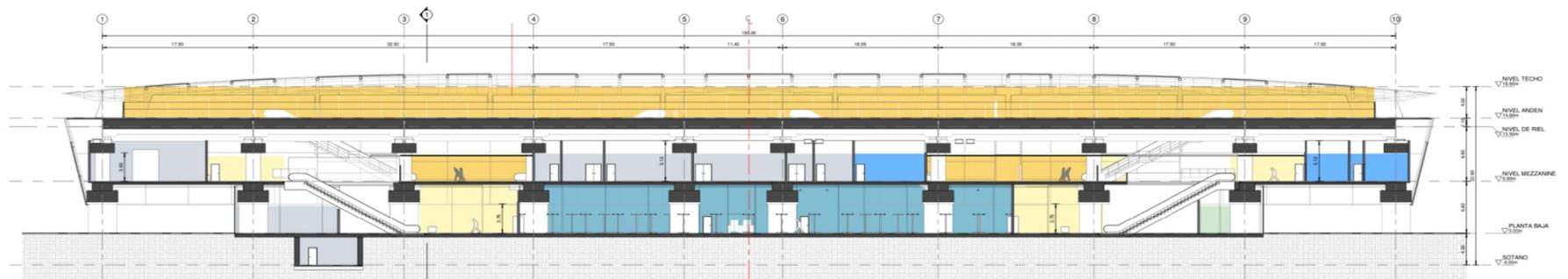


Figura 28. Sección Longitudinal Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)

Fuente: Anexo 1 ET.25 Arquitectura- Estaciones-VD

La diferencia con una estación subterránea de la L2MB, consiste en que en este tipo de estación de mezzanine el nivel de andén o plataforma de embarque se encuentra en el último nivel en el cuarto piso y en una estación subterránea la plataforma de embarque se encuentra en el primer nivel bajo suelo. Las estaciones de mezzanine contarán con andenes laterales al igual que las estaciones proyectadas para la L2MB.

En cuanto a los acabados y tonalidades de las fachadas se utilizarán tonos sobrios, en escala de blancos y grises manejando el mismo lenguaje de acabados en toda la PLMB.

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

Tipos de acabados por habitaciones				
Número de local	Local	Area	Perimetro	Tipos
<b>ESTACIONAMIENTO DE BICICLETAS</b>				
P-01	Biciparqueaderos	653 m <sup>2</sup>	136.00	PUS
P-02	Local operador Cicloparqueaderos	9 m <sup>2</sup>	13.80	OP2
P-03	Taller bicis	20 m <sup>2</sup>	18.20	PUS
<b>LOCAL LIBRE</b>				
		33 m <sup>2</sup>	23.40	LD1
<b>LOCALES OPERACIONALES</b>				
O-00a	Corredor Operacional	39 m <sup>2</sup>	54.60	OP2
O-01a	Venta Automática de Boletos	12 m <sup>2</sup>	17.60	TECH2
O-01b	Venta Automática de Boletos	10 m <sup>2</sup>	17.70	TECH2
O-01c	Venta Automática de Boletos	5 m <sup>2</sup>	9.20	TECH2
O-01d	Venta Automática de Boletos	9 m <sup>2</sup>	12.80	TECH2
O-04	Area Disponible para Venta Boletos e Información	10 m <sup>2</sup>	13.40	OP2
O-05	Supervisor de la Estación	15 m <sup>2</sup>	16.00	OP2
O-07	Cuarto de Limpieza	8 m <sup>2</sup>	12.00	OP4
O-08	Almacenamiento de Basura Metro	10 m <sup>2</sup>	16.84	OP4
O-09	Sala de Empleados	26 m <sup>2</sup>	20.40	OP2
O-10	Baños Empleados Hombres	9 m <sup>2</sup>	12.90	OP1
O-11	Baños Empleados Mujeres	9 m <sup>2</sup>	12.90	OP1
O-12	Vestidores Empleados Hombres	15 m <sup>2</sup>	18.04	OP1
O-13	Vestidores Empleados Mujeres	15 m <sup>2</sup>	18.04	OP1
O-14	Local Para Policía	10 m <sup>2</sup>	12.60	OP2
O-15	Local de Primeros Auxilios	13 m <sup>2</sup>	15.00	OP2
O-16	Calabozo	6 m <sup>2</sup>	10.20	OP2
O-18	Sala de Reunión y Oficina de Mantenimiento	32 m <sup>2</sup>	23.40	OP2
O-19	Operadores Telecom Exteriores	24 m <sup>2</sup>	24.61	TECH3
<b>LOCALES TÉCNICOS</b>				
T-00a	Corredor Tecnico	8 m <sup>2</sup>	12.20	TECH2
T-00b	Corredor Tecnico	134 m <sup>2</sup>	137.60	TECH2
T-00c	Corredor Tecnico	72 m <sup>2</sup>	39.80	TECH2
T-02	Local Conducción Automática	127 m <sup>2</sup>	51.63	TECH1
T-03	Telecomunicación estación /corriente débil	112 m <sup>2</sup>	49.95	TECH1
T-04	Equipamiento Boletería	27 m <sup>2</sup>	23.80	TECH2
T-05	Almacén para mantenimiento	24 m <sup>2</sup>	24.61	TECH2
T-07	Sala de Tableros	45 m <sup>2</sup>	27.40	TECH1

Figura 29. Programa Arquitectónico Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)  
Fuente: Systra/ingetec.ETP MB-ET07-LO1-PLA-E-0203\_R0.Estación tipo mezzanine carpinterías y materiales de acabados.(2018)

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

Tipos de acabados por habitaciones				
Número de local	Local	Area	Perimetro	Tipos
T-08	Centro de Transformación	107 m <sup>2</sup>	48.75	TECH3
T-09	Almacén Equipo Eléctrico	15 m <sup>2</sup>	15.80	TECH2
T-10	Local Equipo Electromecánico	33 m <sup>2</sup>	28.20	TECH2
T-11	Ventilación	140 m <sup>2</sup>	49.60	TECH2
T-12	Planta de Refrigeración para la Climatización	84 m <sup>2</sup>	42.95	TECH2
T-13	Suministro de Agua	10 m <sup>2</sup>	13.20	TECH2
T-14	Tanque del Sistema de Extinción de Incendios	57 m <sup>2</sup>	30.20	TECH2
T-15	Local de bombas para los rociadores	68 m <sup>2</sup>	38.65	TECH2
<b>SERVICIOS PÚBLICOS</b>				
O-02	Baños Públicos Hombres	28 m <sup>2</sup>	35.00	OP1
O-03	Baños Públicos Mujeres	27 m <sup>2</sup>	35.09	OP1
<b>ZONA DE REFUGIO</b>				
ZDR-01a	Zona de refugio	17 m <sup>2</sup>	18.98	PU2
ZDR-01b	Zona de refugio	16 m <sup>2</sup>	18.12	PU2
ZDR-01c	Zona de refugio	16 m <sup>2</sup>	18.12	PU2
ZDR-01d	Zona de refugio	16 m <sup>2</sup>	18.13	PU2

Figura 30. Programa Arquitectónico Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)  
Fuente: Systra/ingetec.ETP MB-ET07-LO1-PLA-E-0203\_R0.Estación tipo mezzanine carpinterías y materiales de acabados.(2018)

Tipos de acabados por habitaciones				
Número de local	Local	Area	Perimetro	Tipos
<b>ZONA NO PAGA</b>				
		568 m <sup>2</sup>	114.30	PU3
		960 m <sup>2</sup>		PU4
<b>ZONA PAGA</b>				
		1211 m <sup>2</sup>		PU3
	Andén dirección Norte	797 m <sup>2</sup>	351.31	PU2
	Andén dirección Sur	801 m <sup>2</sup>	353.10	PU2

Figura 31. Programa Arquitectónico Estación tipo mezzanine PLMB (en construcción)  
Fuente: Systra/ingetec.ETP MB-ET07-LO1-PLA-E-0203\_R0.Estación tipo mezzanine carpinterías y materiales de acabados.(2018)



Otros de los aspectos relevantes de la primera línea del metro de bogotá, consiste en que las estaciones contarán en los edificios de acceso espacios para la disponibilidad de los cicloparqueaderos, cuya capacidad será de 10 mil cupos en todo el sistema y se complementarán con cicloparqueaderos localizados en el espacio público, por tal motivo se construirán 19 kilómetros de ciclo infraestructura a lo largo del trazado.

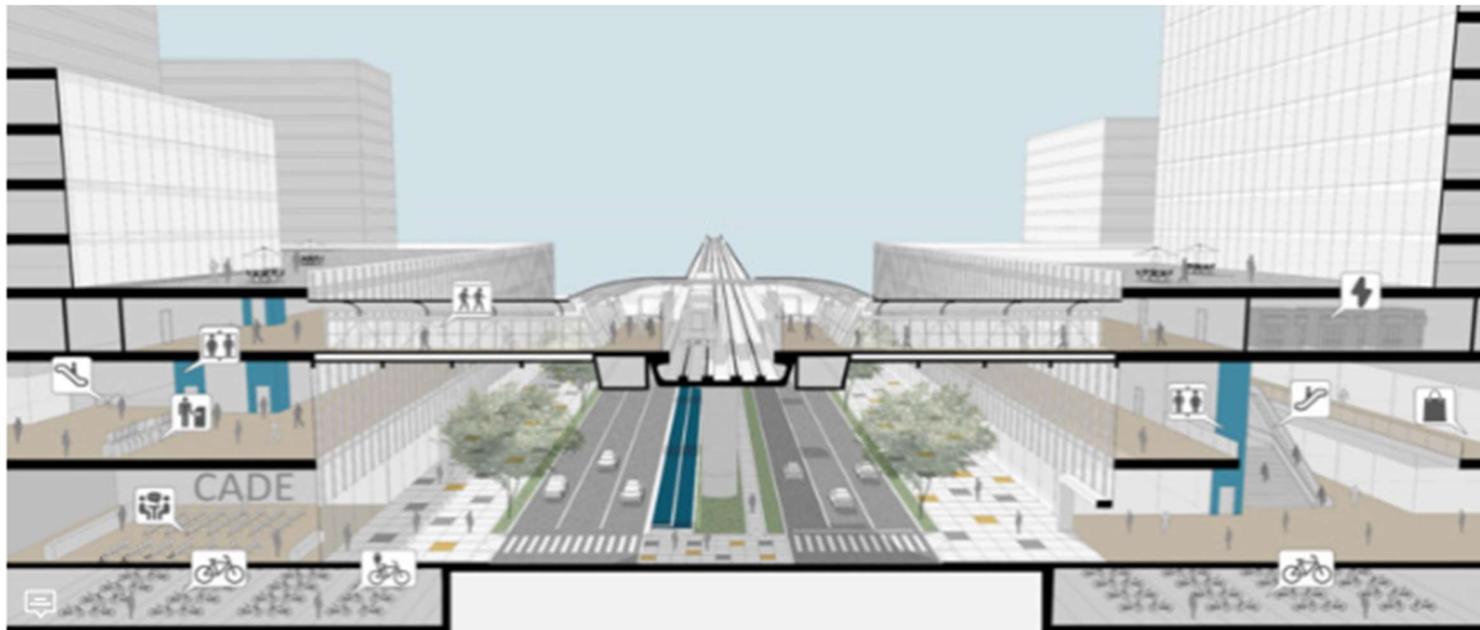


Figura 32. Localización de cicloparqueaderos en edificios de accesos

Fuente: Tomado de: <https://www.archdaily.mx/mx/929359/como-sera-la-primera-linea-del-metro-de-bogota> (2022)

En los edificios de acceso al metro elevado, se localizarán locales complementarios de uso comercial en donde el pasajero podrá contar con servicios al estilo de un centro comercial con almacenes de todo tipo de venta de artículos.



Figura 33. Vista aérea estación elevada con edificios de acceso a ambos costados  
Fuente: Tomada de <https://bogota.gov.co/asi-vamos/primer-linea-del-metro-en-bogota-es-una-realidad> (2022)

### 2.2.25.5.5.2. Metro de Medellín

En el metro de Medellín se puede observar que el diseño inicial de las estaciones era de concreto a la vista, con grandes ventanales de vidrio y espacios semiabiertos en las zonas de embarque a los trenes. También se observa que las estaciones son elevadas y que cada estación del Metro de Medellín tiene un diseño arquitectónico diferente.

Con el paso del tiempo algunas de las estaciones se han ido modernizando de manera independiente, como se puede apreciar en la estación del Poblado y de la Aguacatala lo que ocasiona que las estaciones del metro de Medellín no manejen el mismo lenguaje arquitectónico ni la misma materialidad en los acabados de las fachadas.



Figura 34. Fachada Estación Universidad Metro de Medellín  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)

En cuanto a la accesibilidad a las estaciones se observan escalones para el acceso, condición que no beneficia a las personas de movilidad reducida, debido a que la única forma de ingresar sería a través de ascensores, sería recomendable la presencia de rampas de acceso.



Figura 35. Acceso a zona paga estación Metro de Medellín  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)



Figura 36. Nivel de acceso a trenes Metro de Medellín  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)

Tal como se observa en la Figura 24, el ingreso a la zona paga cuenta con amplios corredores de los cuales se distribuyen los pasajeros para cada uno de los andenes laterales del nivel de andén de acceso a los trenes. También se observa en la Figura 25 que el nivel de acceso de los trenes es abierto con amplia ventilación natural teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la ciudad de Medellín.



Figura 37. Fachada Estación Poblado Metro de Medellín  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)



Figura 38. Fachada Estación La Aguacatala Metro de Medellín  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)

Inicialmente las estaciones del Metro de Medellín, contaban con fachadas de concreto a la vista, grandes ventanales de vidrio y ladrillo a la vista, con el paso del tiempo algunas de las estaciones elevadas se han modernizado manejando su propio lenguaje arquitectónico con una volumetría moderna, utilizando fachadas de vidrio flotante y enchapes con materiales de tipo metálico.

Una de las deficiencias del Metro de la ciudad de Medellín, es que este cuenta con una sola vía ascendente (Sur- Norte) y una vía descendente (Norte - Sur) sólo permite que circule un tren y en caso de un represamiento los trenes los que vienen atrás no tienen forma de proseguir, por eso es muy importante que las estaciones cuenten con un aparato de desvío que permita a los trenes cambiar de una vía a otra, ya que en el caso del metro de Medellín no todas las estaciones cuentan con dicho aparato.

#### **2.2.25.5.3. Metro de México**

El metro de la ciudad de México cuenta con 12 líneas, dentro de su recorrido se puede observar líneas de metro superficial, elevada, subterránea en cajón y subterránea en túnel. En cuanto a las estaciones se presentan de tipo monotubo, con andenes laterales, bitubo con andenes a ambos lados y las elevadas que cuentan con ventilación natural. De las 12 líneas sólo las líneas A y B son férreas con vagones que tienen una especie de antenas en su parte superior que está conectada a unos cables instalados sobre las vías y poseen trenes con llantas metálicas; el resto de las líneas del metro de México son trenes con llantas neumáticas.





Figura 40. Estación elevada Metro de México  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021).

En las estaciones elevadas (Figura 28) se puede observar cubiertas semi curvas con estructura metálica ventilación natural con ventanales a los costados y un piso cerámico.



Figura 41. Estación con un andén central y dos laterales Metro de México  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)



Figura 42. Estación con andén central Metro de México  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)

También se observa un tipo de estaciones con un andén central y andenes laterales(Figura 29 y 30) en una sola estación, donde se cuenta con dos trenes y tren andenes, de esta manera es mucho mayor el ingreso y salida de los pasajeros por ambos costados de cada tren. Por lo anterior estas estaciones requieren de un ancho mayor.



Figura 43. Estación Subterránea Metro de México  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)



Figura 44. Estación a nivel de vía Metro de México  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)

En las estaciones subterráneas (Figura 31) monotubo con dos trenes se observa una cubierta curva de concreto a la vista, muros pintados y pisos cerámicos, en las estaciones a nivel de vía (Figura 32), se puede observar un cielo raso con ductos de aire acondicionado, columnas circulares metálicas, pisos cerámicos, muros de mampostería pañetados y pintados.

Es importante tener en cuenta para los diseños de la L2MB, que el proceso de licitación se realice con un planteamiento de tiempo y recursos adecuado para la construcción y operación para evitar derrumbes como lo ocurrido en la línea 12 del metro de México donde se trató de cumplir con objetivos a corto plazo con reducciones de presupuesto y tiempo que afectaron el desarrollo exitoso del proyecto. También es importante que se tenga como lección aprendida que el diseño de un metro cuente con estudios previos previamente aprobados y que durante el desarrollo de los estudios y diseños no se modifique lo planteado.

#### 2.2.25.5.5.4. Metro de Santiago de Chile

El Metro de Santiago de Chile es el metro más moderno de Latinoamérica ya que cuenta con estaciones con un diseño interior en su mayoría con concreto blanco a la vista, ventanales de vidrio en las bocas de acceso, amplios corredores interiores con locales comerciales tipo aeropuerto.



Figura 45. Boca de Acceso Metro Santiago de Chile  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)



Figura 46. Acceso a zona paga Metro Santiago de Chile  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)

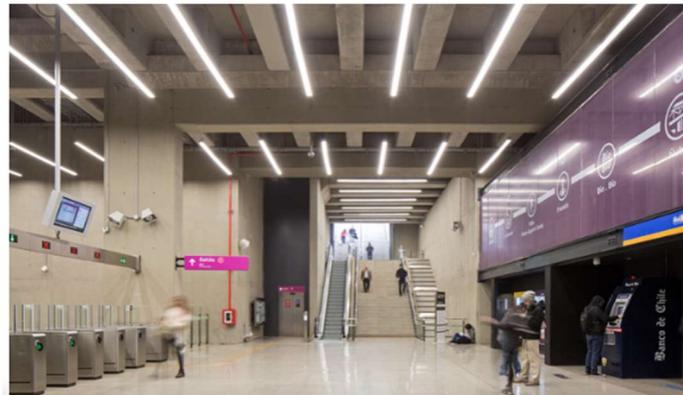


Figura 47. Acceso, escaleras y cajeros Metro Santiago de Chile  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)



Figura 48. Zona de locales comerciales Metro Santiago de Chile  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)

Como se observa en la Figura 35 y Figura 36 los diseños interiores de las estaciones del Metro de Santiago de Chile cuentan con grandes columnas y vigas de concreto a la vista, pisos cerámicos y amplios corredores con locales comerciales.



Figura 49. Mural interior estación Metro Santiago de Chile  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)



Figura 50. Diseño de muros interiores Metro Santiago de Chile  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)

En la (Figura 37) se puede apreciar uno de los murales que representa en diseño interior de la mayoría de las estaciones del Metro de Santiago de Chile dando un gran colorido al espacio de las escaleras. En la (Figura 38) se puede observar un diseño de muro color aguamarina dando un poco de vida al interior de los recorridos hasta llegar a la zona de embarque de los trenes.

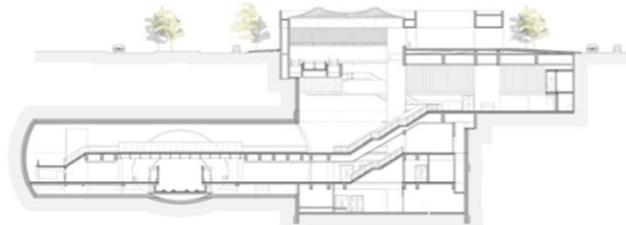


Figura 51. Sección Estación Subterránea Metro Santiago de Chile  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com> y adaptada por UT MOVIUS (2021)

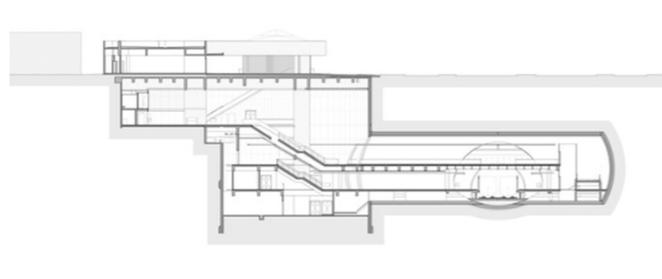


Figura 52. Sección Estación Subterránea Metro Santiago de Chile  
Fuente: recuperada de <https://www.google.com/maps/> y adaptada por UT MOVIUS (2021)

Como se puede observar en la (Figura 39 y 40) los diseños de las estaciones subterráneas del Metro de Santiago de Chile cuenta con 4 niveles antes de llegar al nivel de andén para el embarque de los trenes, utilizando en las estaciones un sistema monotubo con dos trenes y andenes laterales.

Analizando cada uno de los metros más importantes de Latinoamérica, se puede observar que es importante utilizar la capacidad de los trenes con la utilización de los dos lados de los trenes para el embarque y desembarque de los pasajeros, sería importante analizar la posibilidad de un andén central y dos laterales para la L2MB. En cuanto a los acabados se recomienda utilizar el concreto a la vista con grandes murales que den unos espacios más armónicos al interior de las estaciones subterráneas. Aprovechar en su mayoría los espacios interiores de las estaciones para la colocación de locales comerciales que suplan las necesidades básicas de los pasajeros sin necesidad de tener que salir de las estaciones. Los muros de colores también ayudan a generar espacios más agradables durante el recorrido desde el vestíbulo hasta los trenes.

El Metro de Santiago de Chile ha sufrido de omisiones en su protocolos de mantenimiento durante su operación, lo que provocó que se cayeran en una ocasión las líneas 1, 2 y 5 del metro; ocasionando de esta forma que 500 mil personas no llegaran a tiempo a sus trabajos, debido a la falta de mantenimiento al interior de las vías, causadas por la nula supervisión de los contratistas a la red y por el despido sin organización de personal capacitado para la realización de tecnología única en el país.

Entre las estaciones de metro que cuentan con un nivel de plataforma de andenes laterales, se encuentra el metro de Medellín, metro de México y el metro de Chile, En cuanto al metro de Medellín todas las estaciones son elevadas y su ingreso es por el nivel de calle, el nivel de plataforma de embarque queda en el último piso y con niveles intermedios donde se encuentran las líneas de control con torniquetes y locales comerciales, técnicos y operativos. En cuanto al Metro de México este cuenta con varias líneas donde se encuentran tanto estaciones elevadas como subterráneas, en donde se observan algunas estaciones subterráneas con andenes laterales en donde el nivel de embarque o nivel de plataformas queda en el primer nivel enterrado al igual que en la estaciones de la L2MB, pero de todos los metros internacionales aquí referenciados el que más se aproxima a los diseños es el metro de Chile donde su ingreso es por medio de bocas de acceso de tipo superficial con túneles que comunican con unas estaciones subterráneas, que cuentan con mezzanines donde se ubican los locales comerciales, técnicos, operativos, puntos fijos y llegan a un

primer nivel de andén subterránea con andenes laterales para el embarque y desembarque de los trenes al igual que la L2MB, este metro se destaca por sus muros de colores fuertes con grandes murales lo que le da un toque muy colorido al diseño de estaciones, siendo el metro más moderno de latinoamérica con trenes sin operadores tecnología de punta y con grandes obras artísticas en sus murales.



Figura 53. Estación Subterránea Metro Santiago de Chile

Fuente: recuperada de <https://www.eltiempo.com/bogota/curiosidades-del-metro-de-santiago-de-chile-el-mas-moderno-de-america-latina-409342> (2021)

△ Como se observa en la foto anterior de la estación de Santiago de Chile, el nivel de plataforma cuenta con andenes laterales con circulaciones limpias y libres de obstáculos, donde se observa carteles de información sobrepuestos en los muros y mobiliario de bancas muy separadas y empotradas en los muros. En la parte superior se observan grandes murales a ambos costados de la estación sin utilización de cielo raso dejando la estructura a la vista pero toda la estación con obras de arte a la vista.



Figura 54. Estación World Trade Center NY

Fuente: tomada de <https://www.businessoffashion.com/articles/retail/world-trade-center-mall-has-a-plan-to-get-you-to-stick-around/>  
(2022)

En la estación del metro del World trade center en la ciudad de new york, se puede observar el concepto de una estación del metro tipo centro comercial con servicios conexos en los espacios laterales de la estación





Figura 55. Estación World Trade Center NY

Fuente: tomada de <https://www.businessoffashion.com/articles/retail/world-trade-center-mall-has-a-plan-to-get-you-to-stick-around/> (2022)

Como se observa en la foto anterior, algunos de los servicios conexos de la estación del World Trade Center, son locales de comida, artículos de todo tipo al estilo de un centro comercial que a su vez también es estación de metro.

## 2.2.25.5.6 CARTILLAS Y ESPECIFICACIONES BRT POR TRANSMILENIO S.A

### 2.2.25.5.6.1 Análisis Parámetros Técnicos

Los parámetros de ubicación de las estaciones, se deberán dejar calzadas para Transmilenio de 3,50 metros libres de ancho de carril.

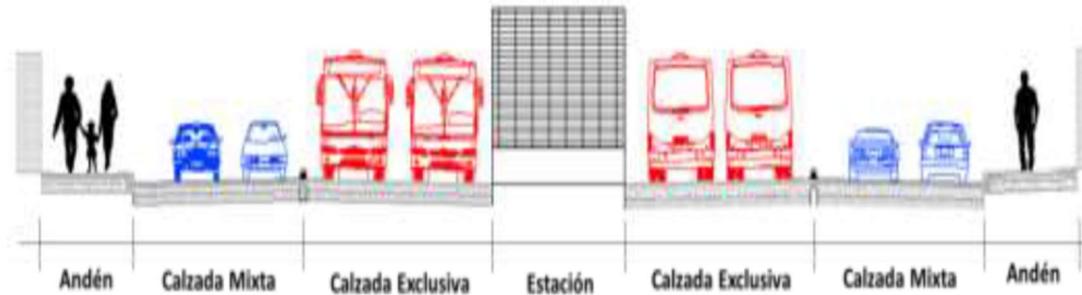


Figura 56. Sección típica Transmilenio frente a estaciones  
Fuente: Transmilenio. Parámetros Técnicos operacionales Av. Cali.(2017)

Las estaciones de transmilenio deberán ser ubicadas en tramos rectos. También se deberá contemplar la construcción de cicloparqueaderos frente algunas estaciones sencillas que permitan la integración modal con el sistema cuya capacidad deberá ser determinada a partir de un estudio de tránsito respectivo.

A continuación se muestran las estaciones de la PLMB que permiten la intermodalidad entre el metro y el sistema BRT.

Figura 4. Sección supuesta con PLMB

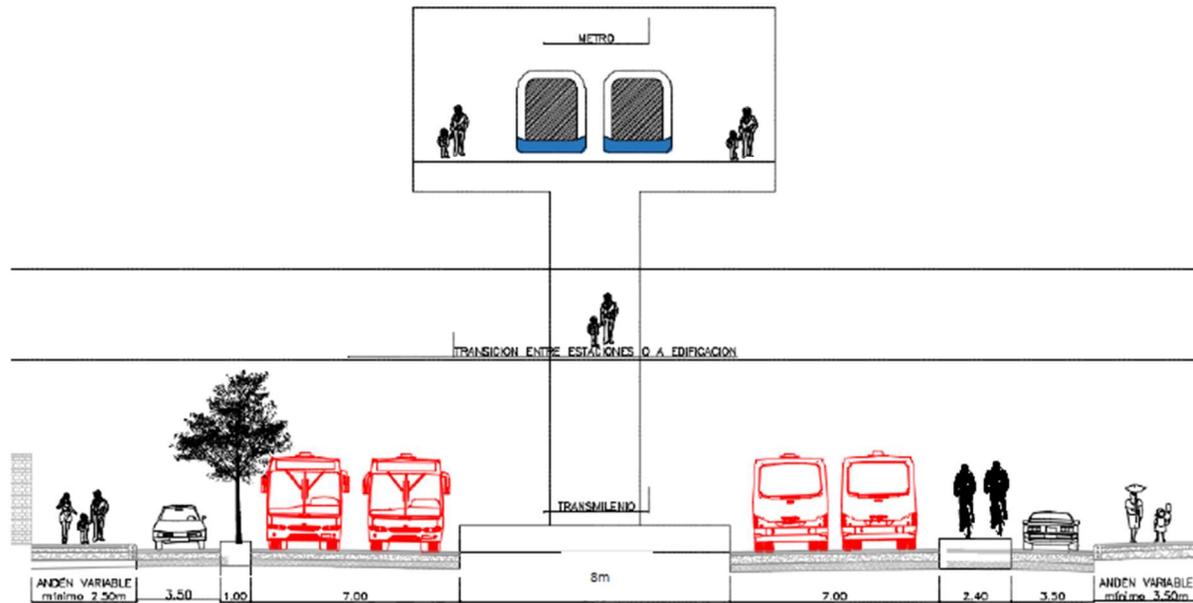


Figura 57. Sección típica Transmilenio supuesta con PLMB

Fuente: Transmilenio. Anexo 11. Parámetros Técnicos operacionales interacción con PLMB.(2017)

El ancho separador central de calzadas: en el escenario de eje vial compartido con el metro se deberán considerar 8 metros mínimo según sección de estaciones donde éstas se localizan, un metro mínimo entre estaciones y se deberán considerar los anchos mínimos para la ubicación de los semáforos en las intersecciones semaforizadas.

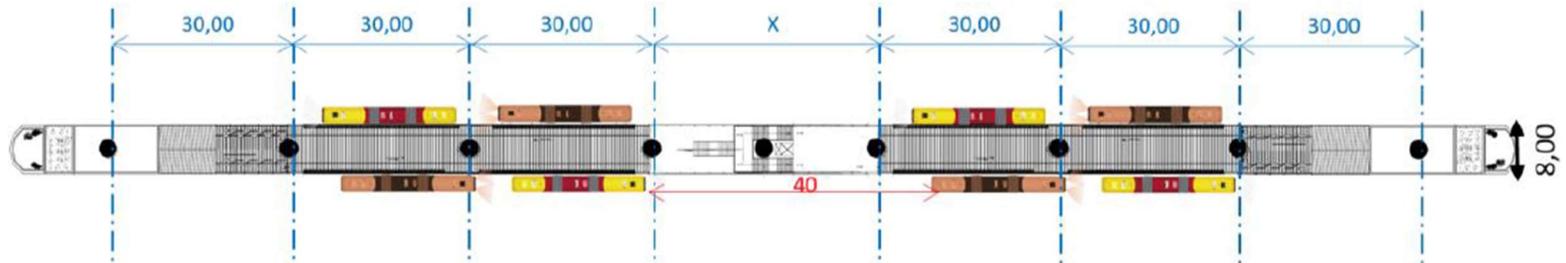


Figura 58. Distancia recomendada entre ejes de columnas para estaciones con integración a la PLMB  
Fuente: Transmilenio. Anexo 11. Parámetros Técnicos operacionales interacción con PLMB.(2017)

Estaciones de Transmilenio con integración directa a la PLMB: En este escenario se recomienda una ubicación de columnas a una equidistancia de 30 m en toda la longitud de paradas de la estación, lo que permite que no se presente interferencia de las columnas con los ascensos y descensos de usuarios frente a los puntos de embarque y desembarque de usuarios, de la misma forma se indica que las pasarelas de transición entre paradas de articulados deberán permitir una distancia entre estos de mínimo 40 m Estas dimensiones no podrán ser modificadas sin previa revisión de Transmilenio.S.A.

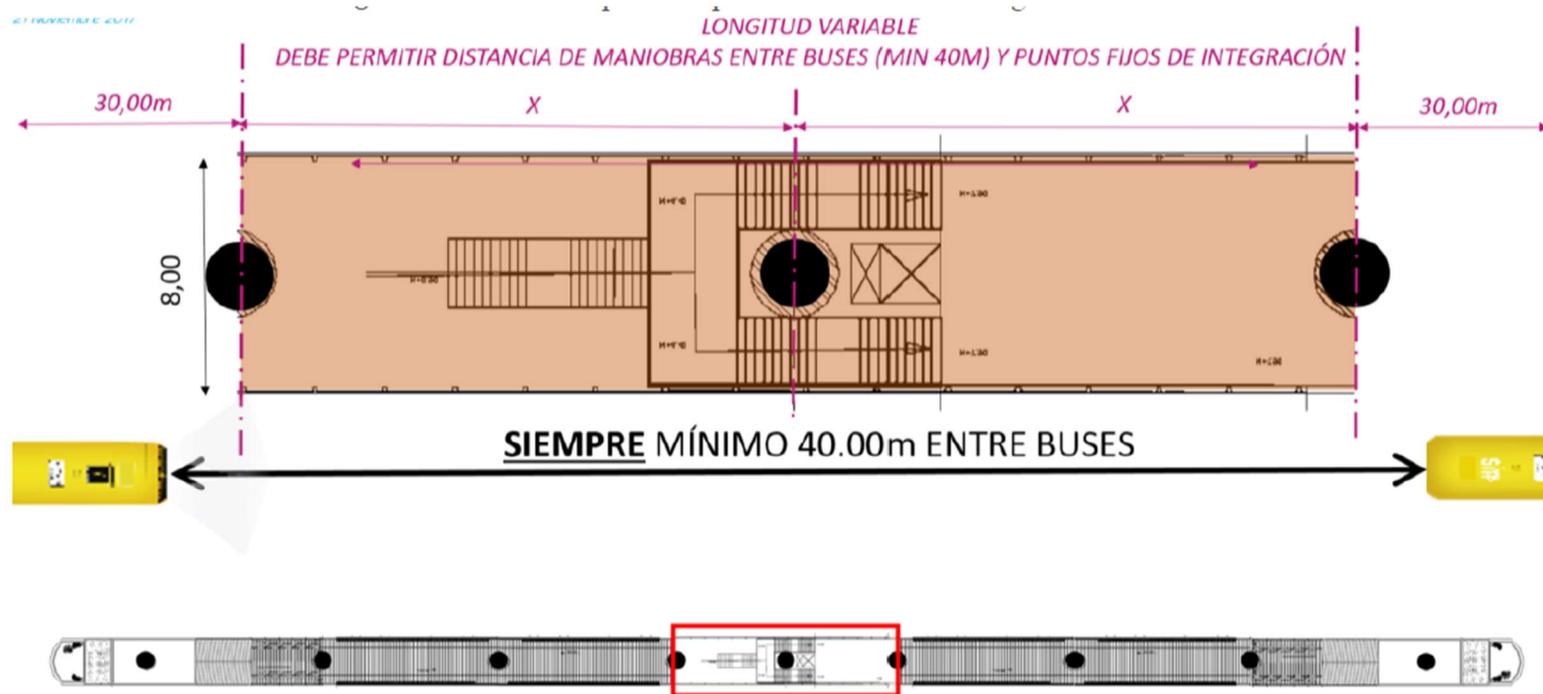


Figura 59. Galería de pasarela para estaciones con integración de la PLMB  
Fuente: Transmilenio. Anexo 11. Parámetros Técnicos operacionales interacción con PLMB.(2017)

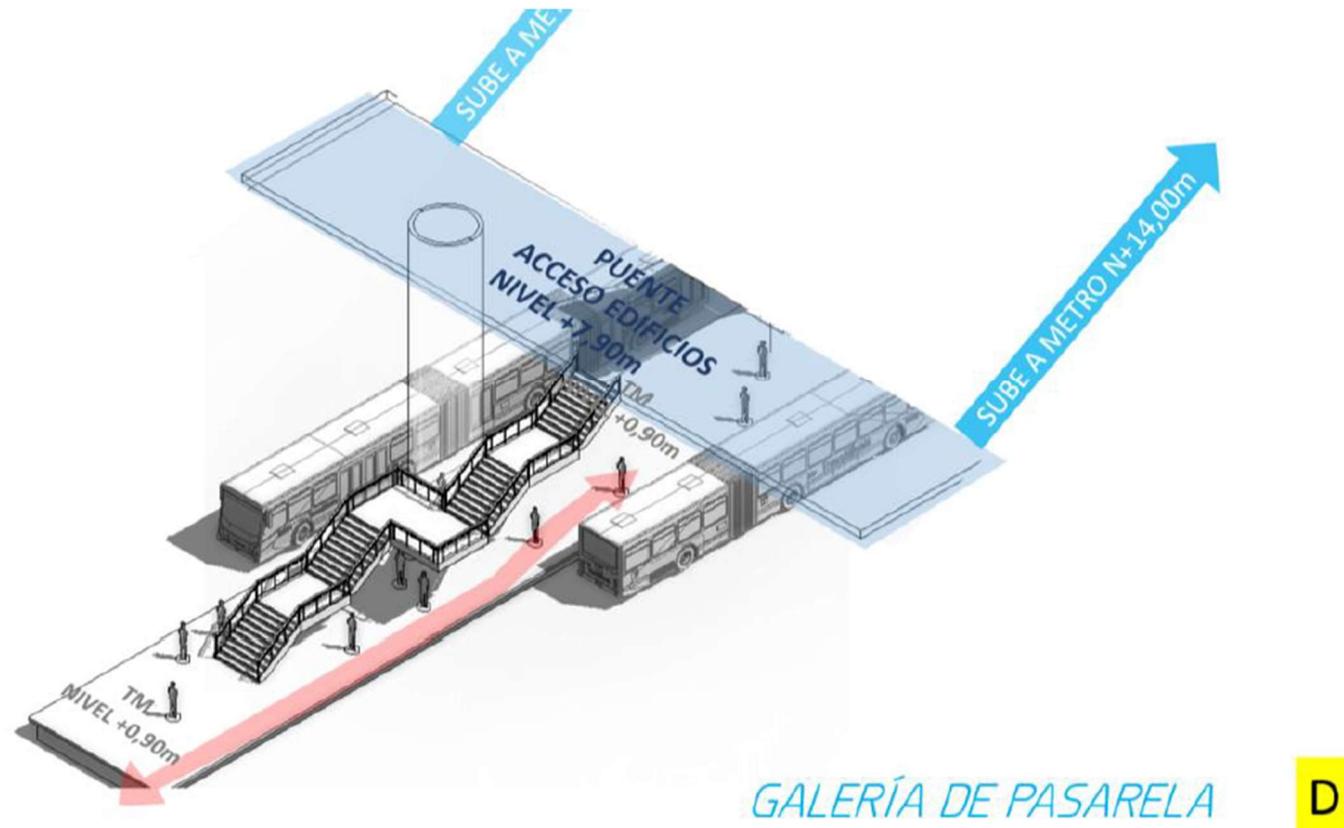


Figura 60. Detalle ubicación puntos fijos en pasarela para estaciones con integración a la PLMB  
Fuente: Transmilenio. Anexo 11. Parámetros Técnicos operacionales interacción con PLMB. (2017)

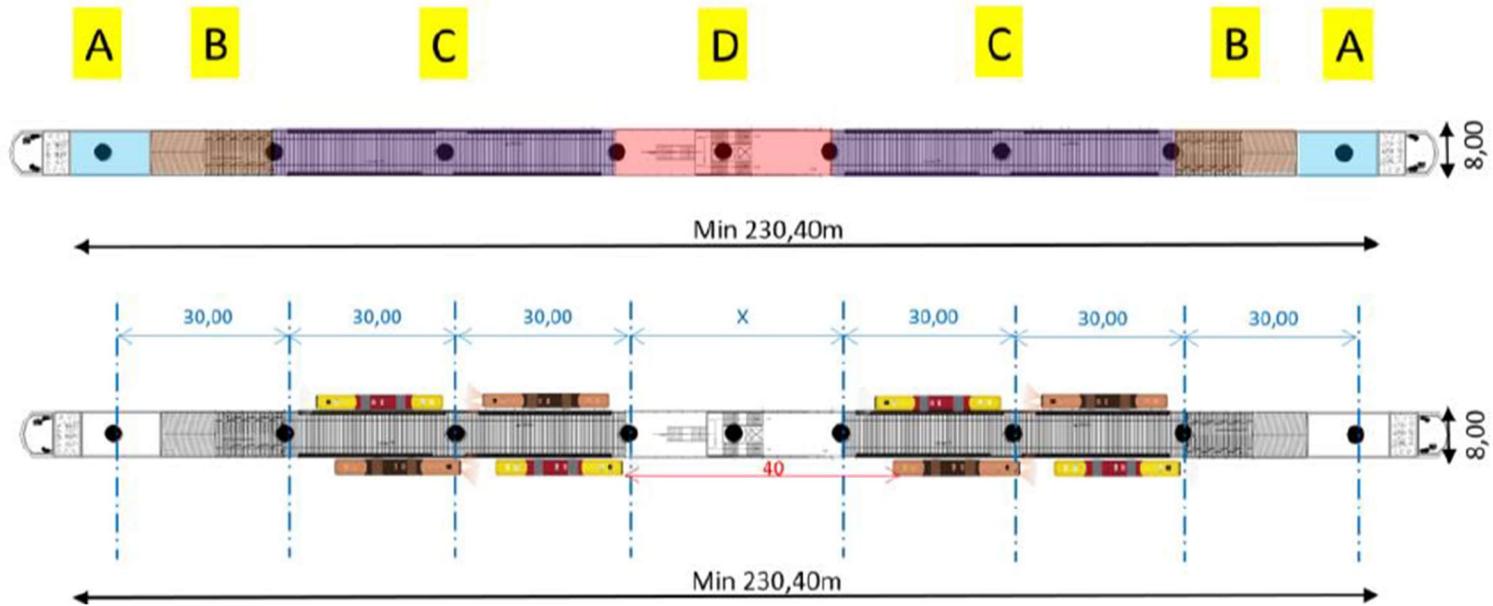


Figura 61. Estación T2M (Con integración con la PLMB)

Fuente: Transmilenio. Anexo 11. Parámetros Técnicos operacionales interacción con PLMB.(2017)

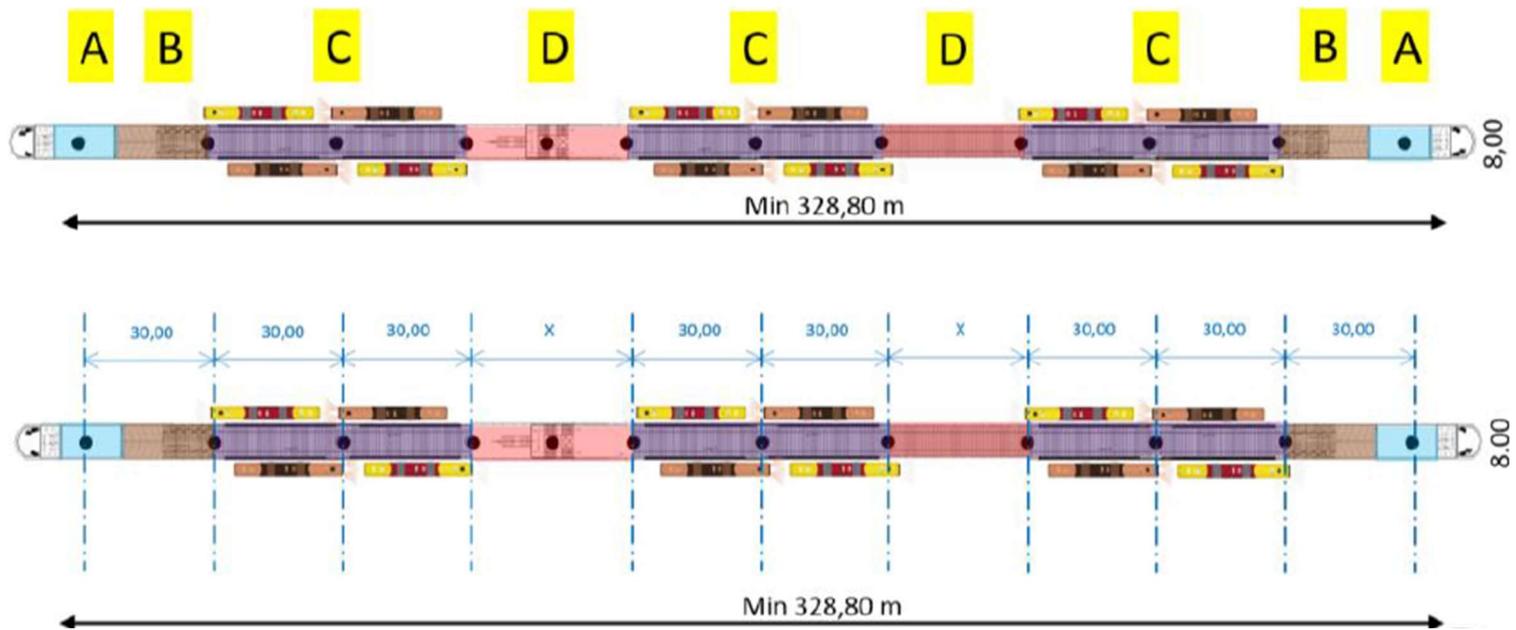


Figura 62. Estación T3M (Con integración con la PLMB)

Fuente: Transmilenio. Anexo 11. Parámetros Técnicos operacionales interacción con PLMB.(2017)

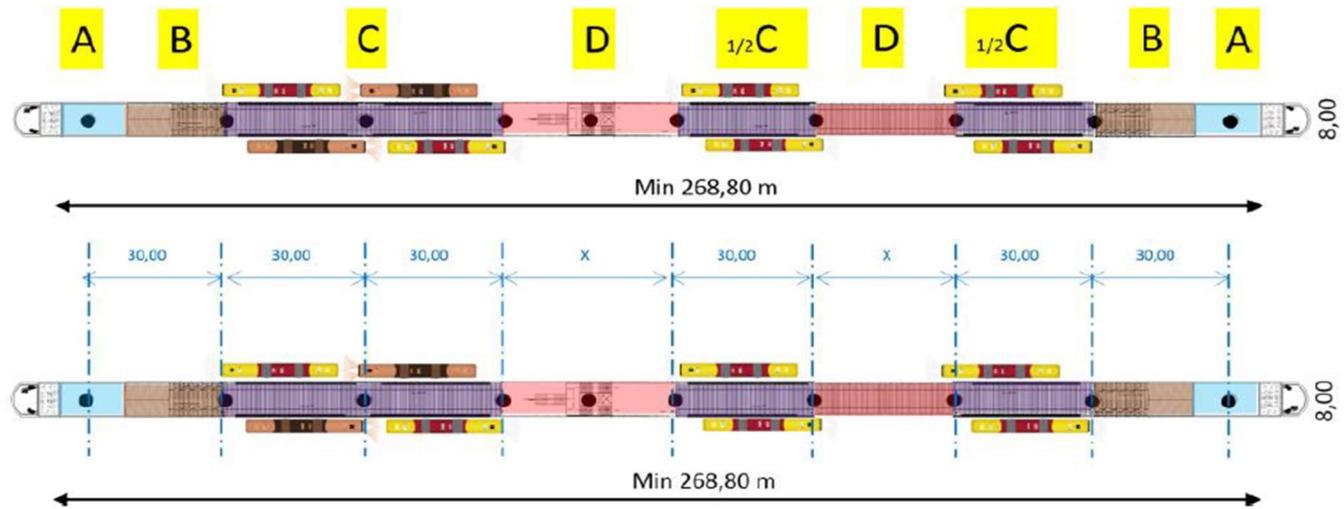


Figura 63. Estación T3M-H (Con integración con la PLMB)  
Fuente: Transmilenio. Anexo 11. Parámetros Técnicos operacionales interacción con PLMB.(2017)

Para esta tipología de estación, al igual que la anterior, se configuró con una separación de columnas equidistantes cada 30 m en toda la longitud de la misma.

- Estaciones sencillas de Transmilenio:

El número de accesos de la estación están en función de su longitud, disponibilidad física para zonas de ingreso , demanda, entradas y salidas entre otros. Para determinar el número de torniquetes por acceso se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Entradas y salidas.
- Capacidad por torniquete de 720 entradas/salidas.

El número mínimo de torniquetes (BCA) en un acceso es de tres (3): uno de entrada, uno de salida y uno para las personas de movilidad reducida. El área de acceso en las estaciones incluye el espacio destinado para las taquillas, la cual puede trasladarse al espacio público a los lados de la estación para facilitar el acceso de pasajeros con mejores especificaciones (más torniquetes) en los casos donde las entradas y salidas son muy altas.

La sección transversal típica para las estaciones troncales es de 5 a 7 metros. La cantidad de buses que pueda recibir una estación en un tiempo determinado define la capacidad de la estación.

Dentro de las estaciones se establecen cuatro tipos de vagones cuya combinación conforma la mayoría de las estaciones sencillas del sistema y son las siguientes:

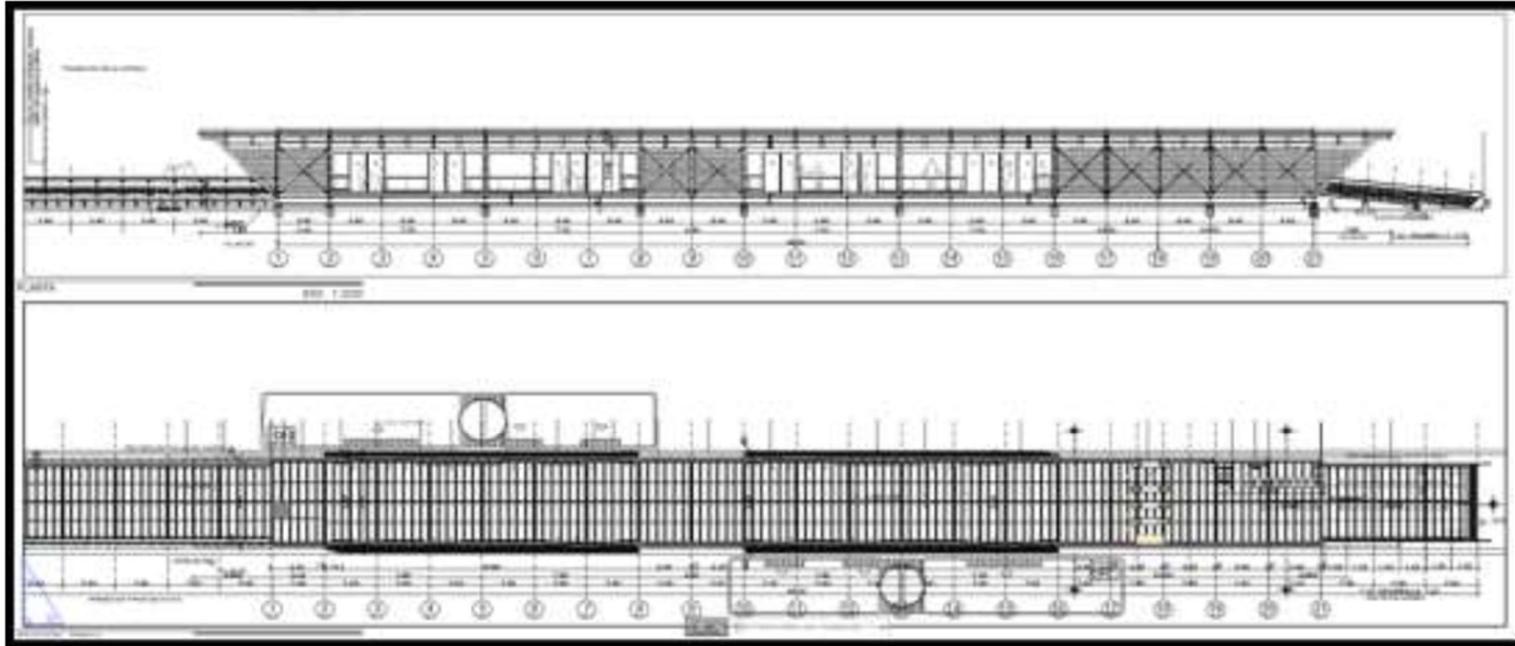


Figura 64. Vagón tipo W1

Fuente: Transmilenio. Parámetros Técnicos operacionales Av. Cali.(2017)

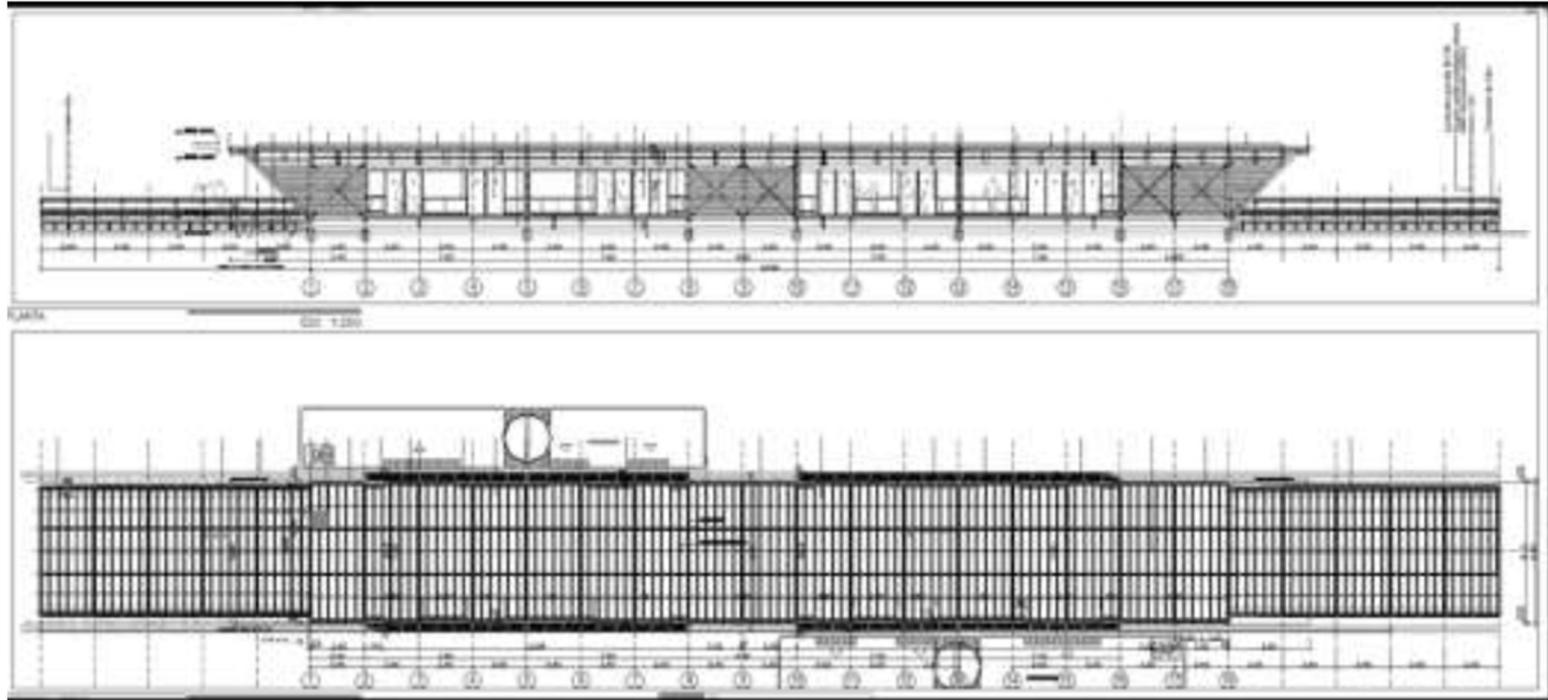


Figura 65. Vagón tipo W2  
Fuente: Transmilenio. Parámetros Técnicos operacionales Av. Cali.(2017)

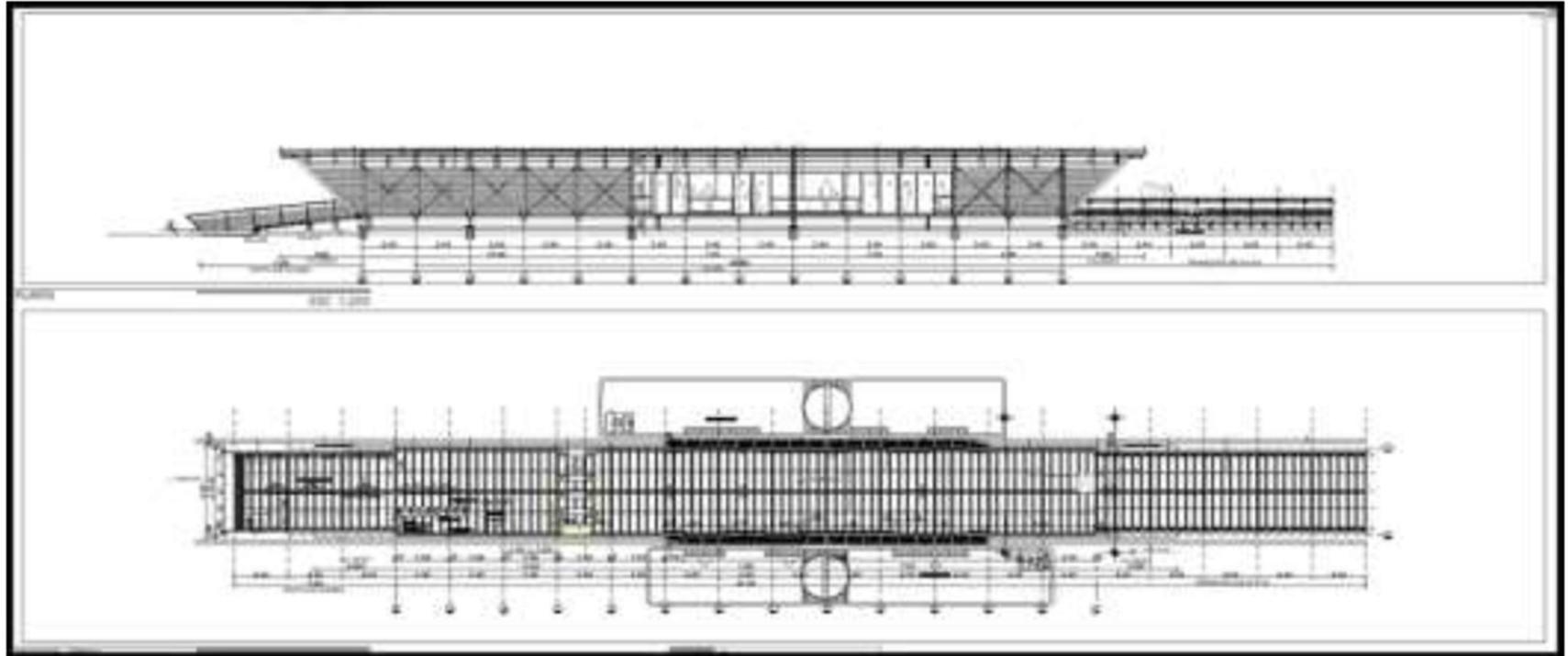


Figura 66. Vagón tipo W3  
Fuente: Transmilenio. Parámetros Técnicos operacionales Av. Cali.(2017)

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

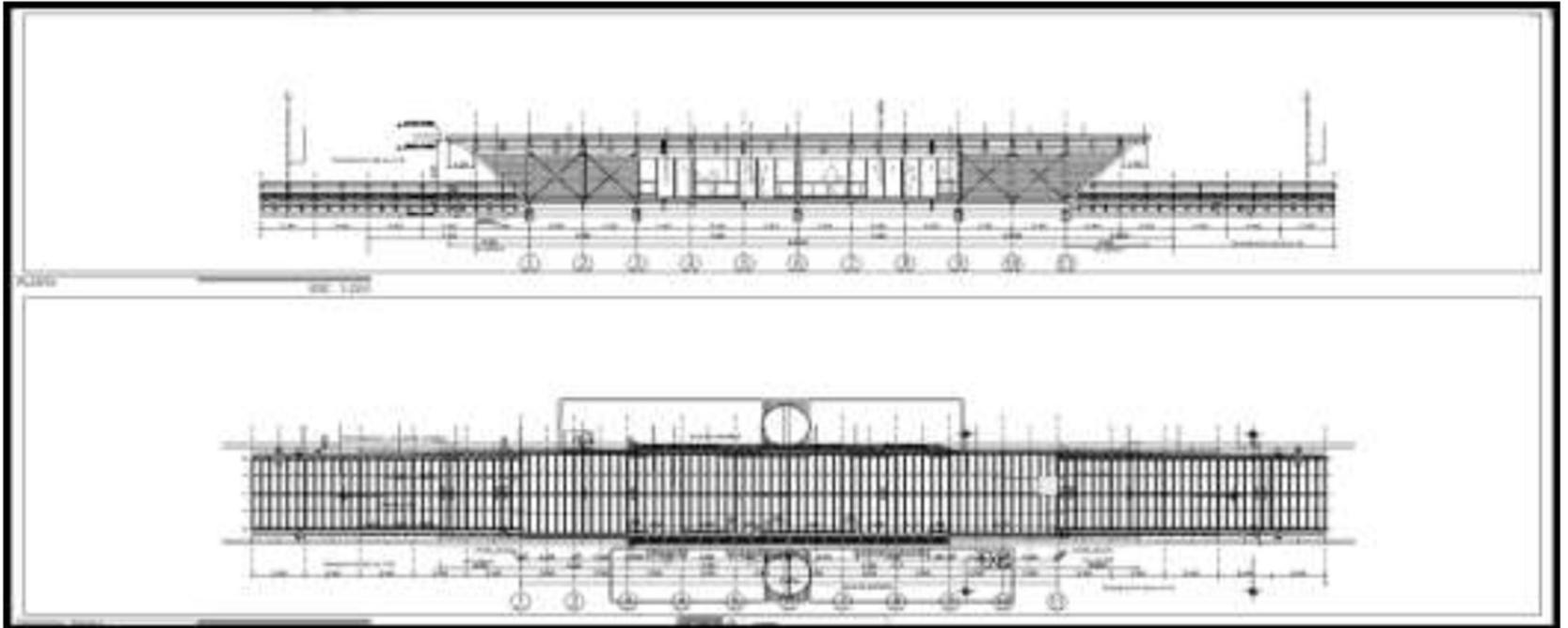


Figura 67. Vagón tipo W4

Fuente: Transmilenio. Parámetros Técnicos operacionales Av. Cali.(2017)

Con bases es estas tipologías de vagones se definieron alternativas de combinación de estaciones para las fases I, III de transmilenio y son las siguientes:

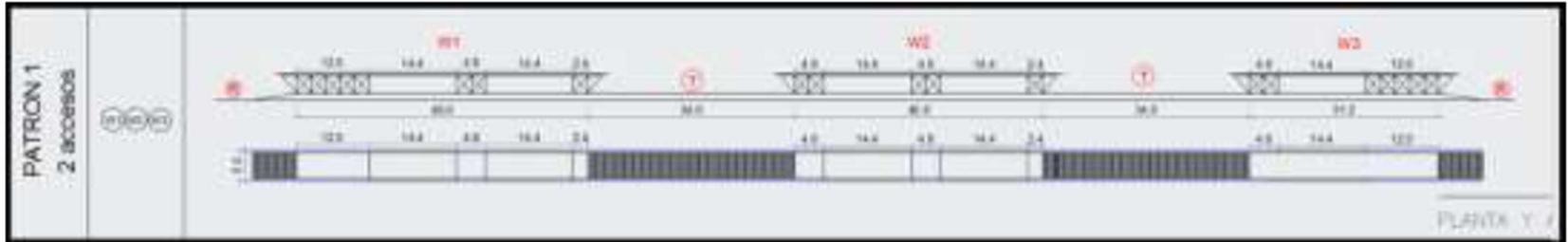


Figura 68. Estación patrón 1 (2 accesos)  
Fuente: Transmilenio. Parámetros Técnicos operacionales Av. Cali.(2017)

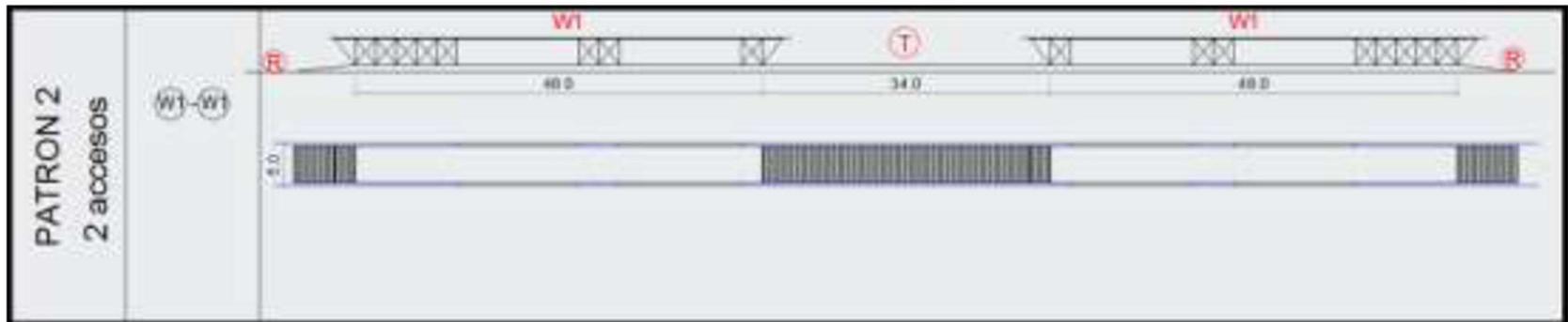


Figura 69. Estación patrón 2(2 accesos)  
Fuente: Transmilenio. Parámetros Técnicos operacionales Av. Cali.(2017)



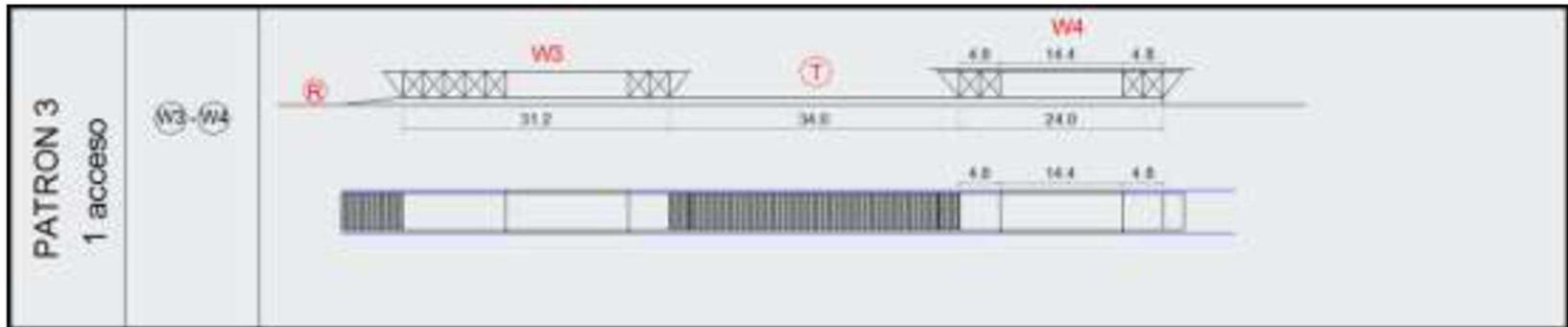


Figura 72. Estación patrón 3 (1 acceso)  
Fuente: Transmilenio. Parámetros Técnicos operacionales Av. Cali.(2017)

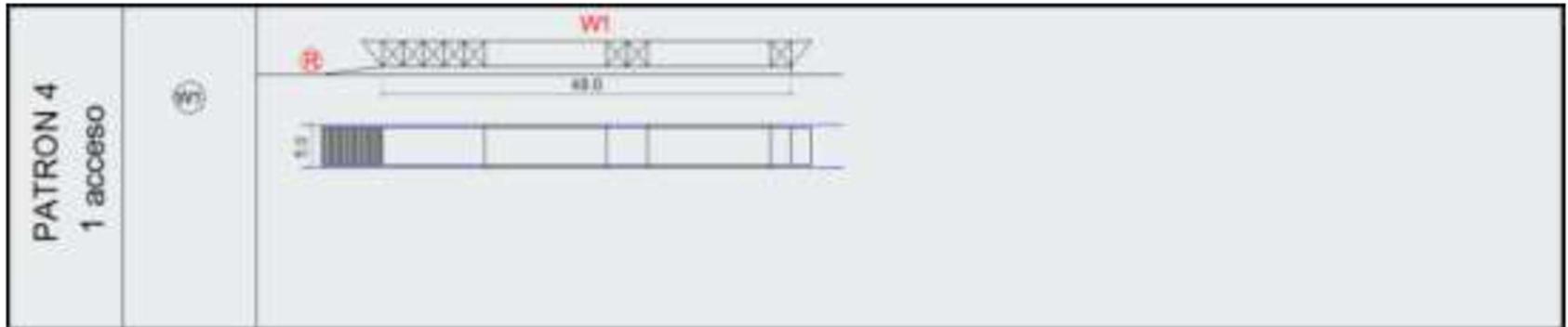


Figura 73. Estación patrón 4 (1 acceso)  
Fuente: Transmilenio. Parámetros Técnicos operacionales Av. Cali.(2017)

 A continuación se indican las estaciones típicas del sistema de transporte REGIOTRAM



Figura 74. Estación Regiotram Funza 1 sin intermodalidad metro (fuera de Bogotá)  
Fuente: Elaboración propia



Figura 75. Estación Regiotram Funza 1 sin intermodalidad metro (fuera de Bogotá)  
Fuente: Elaboración propia

### 2.2.25.5.7. CONCLUSIONES

- En lo referente a los diseños de prefactibilidad de la segunda línea del metro de Bogotá (L2MB) falta definir una inserción urbana para cada una de las estaciones con sus bocas de acceso, de manera que se genere una menor afectación en el entorno de las mismas en cuanto al espacio público, vías existentes y proyectos proyectados en la zona de intervención, buscando siempre la solución más funcional y económica. Para poder establecer un CAPEX aproximado se deberá definir en los diseños de factibilidad los túneles, bocas de acceso a las estaciones y la localización de los cicloparqueaderos de manera que sean funcionales y seguros para los peatones. Por otra parte, la reglamentación NFPA 130 así como la NSR-10 son de estricto cumplimiento. En los casos en los que los dos estándares dicten especificaciones distintas, la más restrictiva debe ser la aplicada.
- Después de realizar los análisis de aplicabilidad de la NSR-10 sobre las tipologías planteadas para la L2MB se concluye que en algunas tipologías se deberán ajustar los anchos de las escaleras y los índices de ocupación para así dar cumplimiento a la normativa más restrictiva aplicable.
-  En los diseños de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB) se identifican acabados ya definidos para las estaciones que se pueden tomar como referencia para aplicar a la línea dos del metro de Bogotá (L2MB), buscando de esta forma mantener un lenguaje arquitectónico similar y compatible. De la PLMB, se toma como referencia el funcional proyectado para las estaciones de tipo mezzanine (Estación ALO, Portal Américas, Av. Boyacá, parcialmente Cr. 68 y Cr.50).
- Para los diseños de Factibilidad la implantación de las bocas de acceso deberán responder a las demandas, esto conlleva a que se puedan presentar diferentes medidas para cada una de las tipologías, también se deberá indicar en el programa arquitectónico el uso de los cuartos técnicos, las maquinarias y equipos que se requieren para así, dimensionarlos de forma funcional y práctica.
- Es primordial que los colores que se escojan para los revestimientos de las estaciones sean claros, para que la percepción y la iluminación de las mismas sean favorables.
- En caso de que se cambie el método constructivo del tren de bitubo a monotubo, se deberá cambiar la tipología de estación dos, puesto que se requerirán accesos laterales a los trenes.
- En los diseños de factibilidad se revisará la localización definida por la alcaldía para la estación E1, donde se buscará implantarla más cerca de la zona oriental de la calle 72 (Entre carreras 7 y 13). También se revisará la conexión de la estación E1 con otros sistemas de transporte.
- En los diseños de factibilidad también se tendrá en cuenta la solicitud de la alcaldía de un túnel peatonal para tener la circulación de pasajeros en conexión entre las líneas 1 y 2 del metro, así como pasajeros en un área paga dentro del sistema.
- En los diseños de factibilidad se establecerán los criterios de diseños para las bocas de acceso, estaciones y la definición de programas arquitectónicos donde se incluyan los servicios complementarios, baños públicos y locales. También se definirá en los diseños las zonas pagas y no pagas en las estaciones, teniendo en cuenta los diseños de prefactibilidad de la L2MB. Por otro lado se establecerá el método de cálculo para la definición del número de cicloparqueaderos teniendo en cuenta el flujo de pasajeros de cada estación.

-  Para la etapa de factibilidad se recomienda localizar las estaciones 9 y 10 de forma subterránea de manera que permita la armonización con el proyecto de secretaria de hábitat “Ciudadela del cuidado”, ubicado sobre la reserva ALO; procurando no limitar las posibilidades de intervención sobre esta área salvo los sitios donde se localizan las estaciones.
-  De las guías y metodologías aplicadas para la PLMB se utilizarán las siguientes para la L2MB:
  - Arquitectura de estaciones - Guía de Diseño Arquitectónico ETPLMB-ET07-L00-IFU-E-0002\_R0.(27-07-2018).
  - NFPA-130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems. Edición 2017 (EEUU).
  - Características Específicas de cada Estación: ETPLMB-ET07-L00-IFU-W-0001
  - El conjunto de planos de las estaciones. Documentos ETPLMB-ET07-L01-PLA-E-001 al 203
  - Memoria de Arquitectura Funcional: ETPLMB-ET07-L00-IFU-E-0001.
  - NFPA-101: Life Safety Code. Capítulos 7 y 12. Edición 2015 (EEUU)
  - Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCRP). Tercera Edición.
  - Propuesta de Manual de Diseño de Estaciones – Ejercicio EMB – Versión de Febrero 28 de 2018.
  - Decreto 606 de 2001. Capítulo V. Predios colindantes con Inmuebles de Interés Cultural. Artículos 19 al 25.

 Una de las grandes potencialidades de la primera línea es el aprovechamiento de los edificios de acceso con actividades económicas, en las zonas no pagas donde cualquier persona puede tener acceso a estos servicios comerciales, esto sin ocasionar que las personas tengan que acceder de manera obligatoria al sistema de metro ya que estas zonas son de uso público sin ningún tipo de restricción. El uso de locales comerciales en las zonas de estaciones se tomará como referencia para aplicar en los diseños de la L2MB, en los niveles principalmente de superficie, zonas no pagas y en los espacios residuales de la implantación urbana de los módulos de acceso.

## 2.2.25.5.8. ANEXOS

 Anexo 2. ET. 25 Arquitectura - Estaciones- RD

Anexo 3. ET.25 Arquitectura -Estaciones - Capex-RA

## TABLA DE CONTENID

<b>2.2.25.4 ET25 - ESTACIONES Y EDIFICIOS - ESTRUCTURAS</b>	4
<b>2.2.25.4.1 NORMATIVIDAD APLICABLE</b>	4
2.2.25.4.1.1 Normatividad nacional	4
2.2.25.4.1.2 Normatividad internacional	4
<b>2.2.25.4.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ</b>	5
<b>2.2.25.4.3 ASPECTOS RELEVANTES DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA PLMB</b>	9
2.2.25.4.3.1 Línea 1 elevada (en construcción)	9
2.2.25.4.3.2 Línea 1 subterránea (estudio inicial)	22
2.2.25.4.3.2.6 Cuantías de acero	28
2.2.25.4.3.2.7 Proceso constructivo	29
<b>2.2.25.4.4 BENCHMARK (experiencias internacionales)</b>	29
2.2.25.4.4.1 Línea 1 Metro de Panamá	29
2.2.25.4.4.2 Línea 2A Metro de Panamá	30
2.2.25.4.4.3 Primera Línea Metro de Quito	35
2.2.25.4.4.4 Línea 12 metro de Ciudad de México	36
<b>2.2.25.4.5 CONCLUSIONES</b>	36

## LISTA DE TABLAS

*Tabla 1. Normativa estaciones PLMB elevada*

*Tabla 2. Calidad de materiales PLMB elevada*

*Tabla 3. Acero refuerzo PLMB elevada*

*Tabla 4. Acero de preesforzado PLMB elevada*

*Tabla 5. Cuantías de acero estaciones PLMB subterráneas*

## LISTA DE FIGURAS

*Figura 1. Estación simple tipo 1*

*Figura 2. Estación simple tipo 2*

*Figura 3. Estación intermodal tipo 1*

*Figura 4. Estación intermodal tipo 2*

*Figura 5. Estación especial tipo 1*

*Figura 6. Estación especial tipo 2*

*Figura 7. Sección gran U zona de estación*

*Figura 8. Estación tipo T1t*

*Figura 9. Estación tipo T2*

*Figura 10. Estación tipo T1p*

*Figura 11. Estación tipo T2p*

*Figura 12. Estación tipo T3*

*Figura 13. Sección transversal Estación Condado del Rey*

*Figura 14. Planta general Estación Condado del Rey*

*Figura 15. Sección transversal Estación Paitilla*

*Figura 16. Planta general Estación Paitilla*

*Figura 17. Sección transversal Estación Iglesia del Carmen*

*Figura 18. Planta general Estación Iglesia del Carmen*

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

#### 2.2.25.4 ET25 - ESTACIONES Y EDIFICIOS - ESTRUCTURAS

<b>Disciplina 4:</b>	<b>Estaciones y edificios - Estructuras</b>
<b>Entregable de referencia:</b>	<b>Entregable 10 / ET25 - Estaciones y edificios</b>

##### 2.2.25.4.1 NORMATIVIDAD APLICABLE

###### 2.2.25.4.1.1 Normatividad nacional

Las normas nacionales que serán utilizadas en los diseños de factibilidad de las estaciones son las siguientes:

- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.
- Decretos modificatorios del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10: Decreto 2525 del 13 de julio de 2010, el Decreto 0092 del 17 de enero de 2011, el Decreto 0340 del 13 de febrero de 2012 y el Decreto 0945 del 05 de junio de 2017.
- Norma Colombiana de Diseño de Puentes. LRFD. CCP-14, INVIAS - Resolución 108 del 26 de enero de 2015 .
- Decreto 279 del 09 de septiembre de 2003 “Por la cual se reglamentan los puentes peatonales en el Distrito Capital”
- Cartilla para el puente peatonal prototipo para Bogotá, adoptada mediante resolución de la Dirección General del IDU No. 4892 del 25 de noviembre de 2009.
- Cartilla de Estaciones Sencillas.
- Decreto Distrital 523 de diciembre 16 de 2010, Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D. C.
- Recomendaciones para requisitos sísmicos de estructuras diferentes de edificaciones AIS 180-13.
- Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y de espacio público para Bogotá D.C. - ET-IC-01.
- Normas SISTEC de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado, Agua y Aseo de Bogotá.
- Especificaciones técnicas de Construcción INVIAS – 2014.

###### 2.2.25.4.1.2 Normatividad internacional

Las normas internacionales que serán utilizadas como referencia en los diseños de factibilidad de las estaciones son las siguientes:

- Reglamento de concreto estructural ACI 318S-14.
- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2012. American Association of State Highway Bridges.
- LRFD Guide Specifications for the Design of Pedestrian Bridges de la AASHTO.
- Specification for Structural Steel Buildings AISC 360-16

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

- NFPA-130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems. National Fire Protection.
- NFPA 101: National Fire Protection Association 101, Life Safety Code.
- Normas UIC. International Unión Railways.
- Eurocodes. CEN. European Committee for Standardization.
- Normas EN.
- AWS D1.1 Structural Welding Code - Steel. 2015.
- AWS D1.5 Bridge Welding Code - Steel. 2010.

#### 2.2.25.4.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ

<b>Entregables de referencia:</b>	Producto 4- Estudios y diseños de prefactibilidad - Entregable 7- Tipología e inserción de estación / Informe de prototipos Arquitectura y funciones / Servicios
<b>Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:</b>	<p>Dentro del Producto 4- Estudios y diseños de prefactibilidad - Entregable 7 se encuentran datos básicos del dimensionamiento de algunos elementos estructurales:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● Se presenta una descripción de la L2MB donde se expone el trazado de la misma.</li><li>● Se desarrollaron cuatro prototipos de estaciones:<ul style="list-style-type: none"><li>○ Estación 1: Andenes laterales y subterránea</li><li>○ Estación 2 a 8: Andén central y subterráneo.</li><li>○ Estación 9 y 10: Andenes laterales bajo nivel del terreno con accesos a nivel del terreno.</li><li>○ Estación 11: Andenes laterale y elevada</li></ul></li><li>● Se estableció un predimensionamiento por tipo de estación de acuerdo a proyectos de referencia:<ul style="list-style-type: none"><li>○ Tipo 1:<ul style="list-style-type: none"><li>■ Losa superior h 1,50 m</li><li>■ Losas intermedias h 1,00 m</li><li>■ Losa inferior h 1,50 m</li><li>■ Columnas 1,00 x 1,00 m</li><li>■ Modulación ejes c/ 10 m</li></ul></li></ul></li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tipo 2:             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Losa superior h 1,50 m</li> <li>■ Losas intermedias h 1,00 m</li> <li>■ Losa inferior h 1,50 m</li> <li>■ Columnas 1,00 x 1,00 m</li> </ul> </li> <li>○ Tipo 3:             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Losa superior h 1,00 m</li> <li>■ Losas andenes h 0,30 m</li> <li>■ Losa inferior h 1,00 m</li> <li>■ Columnas 1,00 x 0,50 m</li> <li>■ Modulación ejes c/10 m</li> </ul> </li> <li>○ Tipo 4:             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Losas andenes h 0,30 m</li> <li>■ Losa intermedia h 0,30 m</li> <li>■ Losa inferior h 0,50 m</li> <li>■ Columnas 0,25 x 0,50 m</li> <li>■ Modulación ejes c/10 m</li> </ul> </li> <li>● Se proponen tres tipos de acceso a las estaciones subterráneas:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Edificio de acceso</li> <li>○ Boca de acceso tipo A</li> <li>○ Boca de acceso tipo B</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Conclusiones del estudio de prefactibilidad:</b></p>	<p>A continuación se listan comentarios generales en relación al Producto 4- Estudios y diseños de prefactibilidad - Entregable 7- Tipología e inserción de estación / Informe de prototipos Arquitectura y funciones / Servicios</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● No se presenta predimensionamiento de cicloparqueaderos</li> <li>● No se presenta predimensionamiento de edificios de acceso.</li> <li>● No se precisa tipología estructural para las estaciones y edificios. No se tiene claridad si las estructuras se desarrollarán en concreto o acero.</li> <li>● No se especifica tipología de cimentación para las estaciones y edificios.</li> </ul>

- No se presenta predimensionamiento de todos los elementos estructurales de las estaciones. Los predimensionamientos de los elementos fueron realizados de acuerdo a experiencia de otros proyectos, falta verificación de la normatividad vigente.
- No se indica la calidad de los materiales, como mínimo el  $f_c$  para el concreto y el  $f_y$  para el acero.
- No se presenta una estimación de cantidad de acero por elemento estructural.
- No se indica el Grupo de Uso de acuerdo con lo indicado en la Norma NSR-10
- No se presentan las cargas ni combinaciones de carga para el prediseño de los elementos estructurales.
- No se presentan memorias de cálculo de los elementos estructurales.
- No se encuentran planos estructurales de las estaciones y edificios.
- En los informes de prefactibilidad no se encuentra un análisis de las afectaciones del Proyecto L2MB con la infraestructura en construcción y proyectada por entidades como el IDU, por ejemplo, los proyectos Avenida Longitudinal de Occidente, Transmilenio Avenida Ciudad de Cali, Transmilenio Carrera 68 y Corredor Avenida Carrera 7, entre otros proyectos.

Ítem	Aspectos relevantes	¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?
<b>Normatividad aplicada para el diseño estructural</b>	No se lista la normativa aplicable.	Se tendrá en cuenta la normatividad descrita en el presente numeral para el diseño a nivel de factibilidad de Estaciones y edificios.
<b>Memorias de Cálculo estructural</b>	No se presentan Memorias de Cálculo para el prediseño estructural de las estaciones y edificios dentro de la prefactibilidad de la L2MB.	Se presentarán Memorias de Cálculo de prediseño estructural a nivel de factibilidad para las estaciones y edificios.

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

<b>Planos</b>	No se presentan planos con la localización de los elementos estructurales de las estaciones y edificios dentro de la prefactibilidad de la L2MB	Se presentarán Planos de prediseño estructural a nivel de factibilidad para las estaciones y edificios.
<b>Cantidades</b>	Se estima el área de intervención de las Obras a realizar. No se presentan cantidades de cada uno de los materiales a emplear.	Se presentará una estimación de las cantidades de los materiales a nivel de factibilidad para las estaciones y edificios.
<b>Aspectos críticos por atender</b>	<p><b>A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar las áreas de construcción.</li> <li>• Determinar las densidades de kilos de acero por metro cúbico de concreto (kg/m<sup>3</sup>) a fin de determinar las cantidades de acero de cada elemento estructural.</li> <li>• Determinar el listado de cantidades preliminar.</li> </ul>	<p><b>A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar el listado de cantidades de materiales a nivel de factibilidad.</li> <li>• Realizar memorias de cálculo de prediseño estructural a nivel de factibilidad.</li> <li>• Realizar planos de prediseño estructural a nivel de factibilidad.</li> </ul>
<b>Interfaces:</b>	Interfaces con las áreas de: Arquitectura, Geotecnia, Redes hidrosanitarias y eléctricas, Mecánica y Vías.	
<b>CAPEX y OPEX</b>	En el CAPEX se calcula el valor de las estaciones de acuerdo a proyectos de referencia en Europa y Asia, con una conversión monetaria a Diciembre del 2020. No se tuvo en cuenta el valor por m <sup>2</sup> que pueden costar la construcción de la estructura en Colombia.	

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

<b>Otros aspectos relevantes:</b>	-
-----------------------------------	---

#### 2.2.25.4.3 ASPECTOS RELEVANTES DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA PLMB

##### 2.2.25.4.3.1 Línea 1 elevada (en construcción)

En la factibilidad de la primera Línea del metro elevada se encontró la siguiente información relevante:

###### 2.2.25.4.3.1.1 Normativa

Se encuentra que la normativa de diseño con la que se desarrolló el estudio de estaciones es la siguiente:

Tabla 1. Normativa estaciones PLMB elevada

Objeto	Documento normativo
Bases de diseño generales para el viaducto y estaciones: cargas, combinaciones de acciones, criterios de diseño estructural	Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD CCP-14, INVIAS – Resolución 108 del 26 de enero de 2015
	AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) LRFD Bridge Design Specifications 7 <sup>th</sup> Edition 2014
	ACI343.1R-12 Guide for the Analysis and Design of Reinforced and Prestressed Concrete Guideway Structures
	ASCE/SEI 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
Evaluación de pérdidas diferidas del preesforzado	Código Modelo CEB FIP 1990
Tren de fatiga para tableros metálicos o mixtos	EN 1993-2: Steel Bridges
Acción de descarrilamiento de vehículos ferroviarios	EN 1991-2: Cargas de tráfico en puentes
Definición de los espectros de diseño a sismo	Decreto 193 de junio 08 de 2006, por el cual se complementa y modifica el Código de Construcción de Bogotá D.C., se adoptan los espectros de diseño y las determinantes del estudio de Microzonificación Sísmica
	Decreto 523 de diciembre 16 de 2010, “Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D. C.”
Diseño de componentes estructurales de concreto reforzado y preesforzado	Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD CCP-14, INVIAS – Resolución 108 del 26 de enero de 2015
	ACI 318S-14
	ACI 343.1R12 Guide for the Analysis and Design of Reinforced and Prestressed Concrete Guideway Structures
Criterios de diseño a sismo del viaducto elevado	AASHTO LRFD – Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design. 2011 2nd Edition
	IN 4470 (Conception et calcul des ouvrages d'art du Réseau Ferré National aux Eurocodes).
	Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

Criterios de verificación a fatiga para tableros metálicos o mixtos	EN 1993-1-9 Cálculo de estructuras de acero - Art. 8
Diseño de dispositivos de aislamiento sísmico	Guide Specification for Seismic Isolation Design, 4th Edition, 2014
Evaluación de efectos dinámicos en viaducto	EN 1991-2 6.4 / 6.5.4
Criterios de deformación de viaducto de metro	UIC Code 776-3R
Criterios a verificar por la vía en placa	UIC - Recommendations for Design & Calculation of Ballastless track
Interacción vía-estructura	UIC Code 774-3 2nd Edition 2001
Requerimientos de diseño de viaductos ferroviarios basados en la interacción vehículo-vía-estructura	UIC Code 776-2R 2 <sup>nd</sup> Edition 2009
Diseño de aparatos de apoyo elastoméricos	AASHTO M 251
Criterios de seguridad y evacuación	NFPA 130-2017
Diseño de pasarelas peatonales	Guide Specifications for the Design of Pedestrian Bridges de la AASHTO Decreto 279 del 09 de septiembre de 2003 "Por la cual se reglamentan los puentes peatonales en el Distrito Capital"
Accesibilidad de personas	NTC 4143 (Tercera actualización) Accesibilidad de las personas al medio físico. Edificios, rampas fijas. Normas NTC 4279 Accesibilidad de las personas al medio físico. Edificios. Espacios urbanos y rurales. Vías de circulación peatonales horizontales. Normas NTC 4774 Accesibilidad de las personas al medio físico. Espacios urbanos y rurales. Cruces peatonales a nivel, elevados o puentes peatonales y pasos subterráneos.
Especificaciones técnicas de construcción	Especificaciones técnicas generales de materiales de construcción para proyectos de infraestructura y de espacio público para Bogotá D. C. IDU-ET-2011

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

	Especificaciones técnicas de Construcción INVIAS – 1997
Diseño de sistema de drenaje	Normas SISTEC de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado, Agua y Aseo de Bogotá
	Especificaciones INVIAS

#### 2.2.25.4.3.1.2 Materiales

Las calidades de los materiales empleados son:

- Concreto

Tabla 2. Calidad de materiales PLMB elevada

Elemento estructural	$f'_c$ (MPa)
Tableros preesforzados	50 MPa
Capiteles preesforzados	50 MPa
Plintos soportes de vía	40 MPa
Capiteles en concreto reforzado	35 MPa
Pilas	35 MPa
Estribos	35 MPa
Dados de fundación	30 MPa
Pilotes / barrettes	30 MPa
Falsa zapata y solados	10 MPa

Cualquier otro tipo de concreto colado in-situ	28 MPa
------------------------------------------------	--------

- Acero de refuerzo

Tabla 3. Acero refuerzo PLMB elevada

Propiedad	Nomenclatura	Valor
Resistencia última	$f_u$	621 MPa
Resistencia de fluencia	$f_y$	420 MPa
Módulo de elasticidad	$E_s$	200 000 MPa

- Acero de presfuerzo

Tabla 4. Acero de presfuerzo PLMB elevada

Propiedad	Nomenclatura	Valor	Comentario
Diámetro nominal	$\phi$	15,24 mm	Standard T15
Área nominal	$A_s$	140 mm <sup>2</sup>	
Resistencia característica	$f_{pu}$	1 860 MPa	Grado 270
Resistencia de fluencia	$f_s$	1 581 MPa	= 0,85* $f_{pu}$
Esfuerzo de tesado para pretensión	$f_{p0}$	1 186 MPa	= 0,75* $f_{py}$
Esfuerzo de tesado para postensión	$f_{p0}$	1 376 MPa	= 0,74* $f_{pu}$
Módulo de elasticidad	$E_p$	197 000 MPa	
Coefficiente de expansión térmica	$\alpha_s$	1.20*10 <sup>-5</sup> °C <sup>-1</sup>	ASTM A416-96a

Coefficiente de relajación a 1000 horas	$P_{1000}$	2,5%	ASTM A416-96a
-----------------------------------------	------------	------	---------------

- Pérdidas por fricción

Se consideraron los siguientes parámetros:

Tabla 6. Parámetros para cálculo de pérdidas por fricción

Tipo de acero	Tipo de ducto	K (mm <sup>-1</sup> )	$\mu$
Alambre o torón	Ducto rígido y semirrígido de metal galvanizado	$6.67 \times 10^{-7}$	0.15-0.25
	Polietileno	$6.67 \times 10^{-7}$	0.23

- Pérdidas por asentamiento de cuña

La magnitud del asentamiento de los anclajes “p” utilizada para el cálculo de la pérdida es de 6 mm para torones.

- Acero estructural A-572

#### 2.2.25.4.3.1.3 Cargas de diseño

Las cargas encontradas que fueron aplicadas son:

- Carga muerta
- Sobrecarga muerta
- Cargas vivas material rodante
- Carga de frenado
- Carga viva peatonal
- Descarrilamiento
- Carga de viento

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

- Temperatura
- Asentamiento diferencial
- Carga sísmica
- Fuerzas de colisión

#### **2.2.25.4.3.1.4 Combinaciones de carga**

Las combinaciones para el diseño de la estructura tomaron en cuenta el artículo 3.4 de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD CCP-14 y el artículo 5.4 de la ACI 343.1R-12 “Guide for the Analysis and Design of Reinforced and Prestressed Concrete Guideway Structures”.

#### **2.2.25.4.3.1.5 Tipo de estaciones**

Se definieron 3 tipos de estaciones:

- Estaciones simples: Estas poseen una configuración estrechamente ligada a una revalorización urbana de los edificios en los que se instalarán sus accesos. Su acceso se genera a través de pasarelas que se encuentran en los edificios laterales. La pila y capitel soportan las vigas gran U así como vigas metálicas de tipo cajón que soportan la losa del andén y la cubierta metálica. Las plataformas están sobre apoyos en neoprenos, que son bloqueados en la dirección longitudinal y en la dirección transversal.

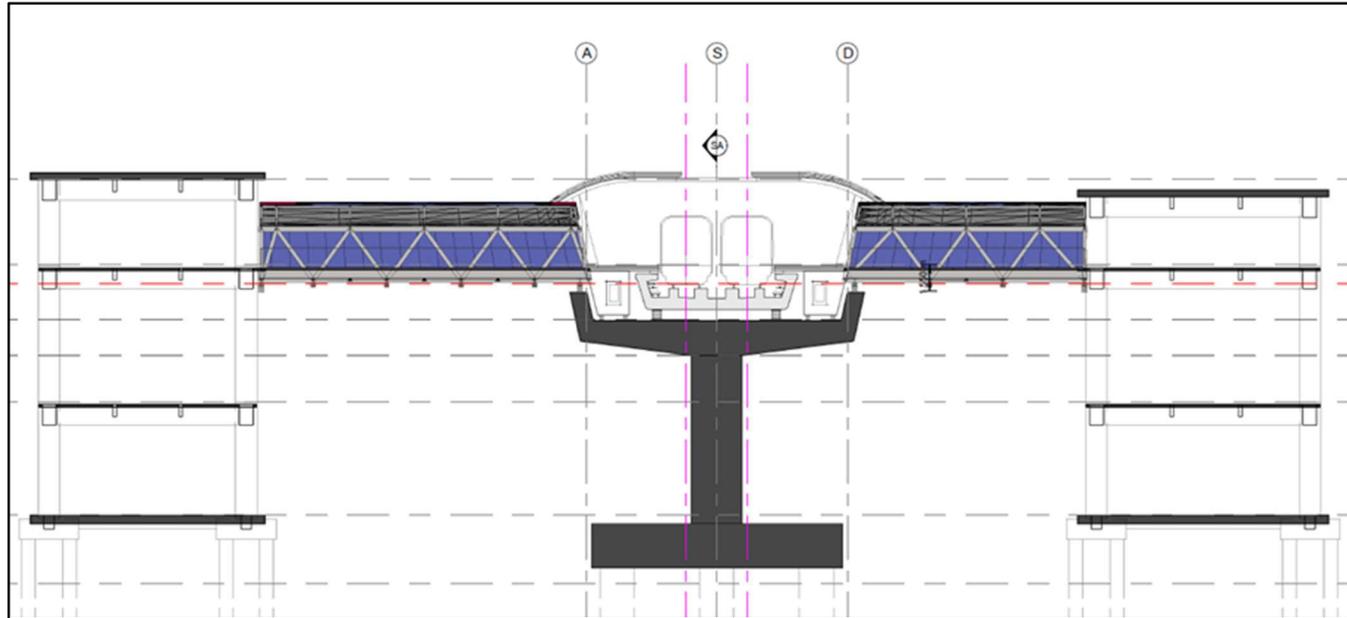


Figura 1. Estación simple tipo 1

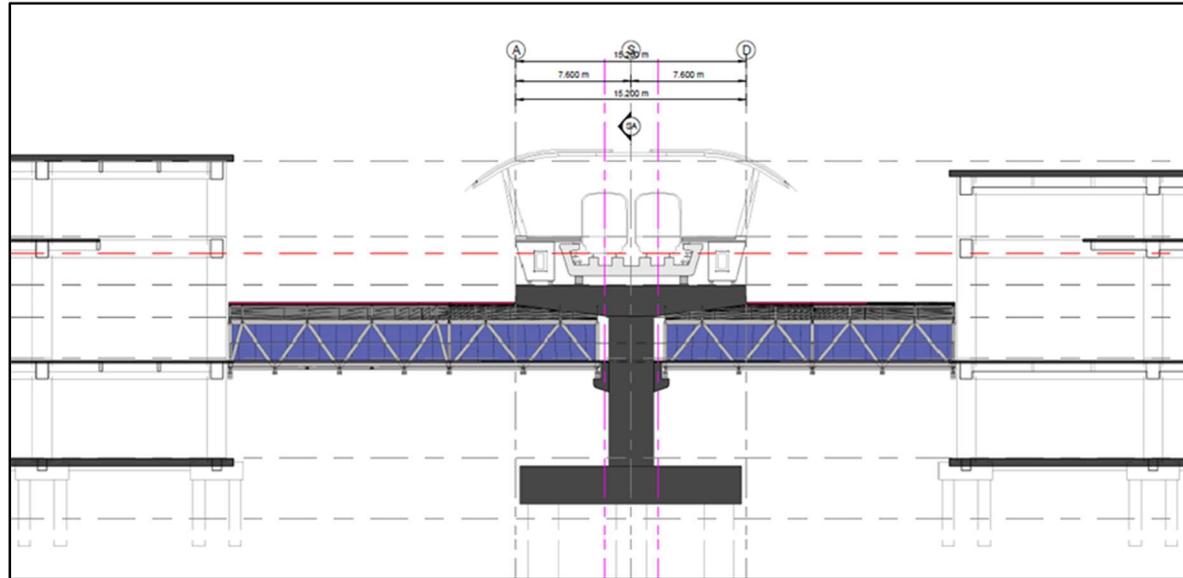


Figura 2. Estación simple tipo 2

- Estaciones intermodales: Está dirigido al intercambio modal Transmilenio-Metro. Su acceso se genera a través de pasarelas que se encuentran en los edificios laterales. La pila y capitel soportan las vigas gran U así como vigas metálicas de tipo cajón que soportan la losa del andén y la cubierta metálica. El vano tipo de la estación es de 30 m con una longitud total de 150 m (5 vanos).

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

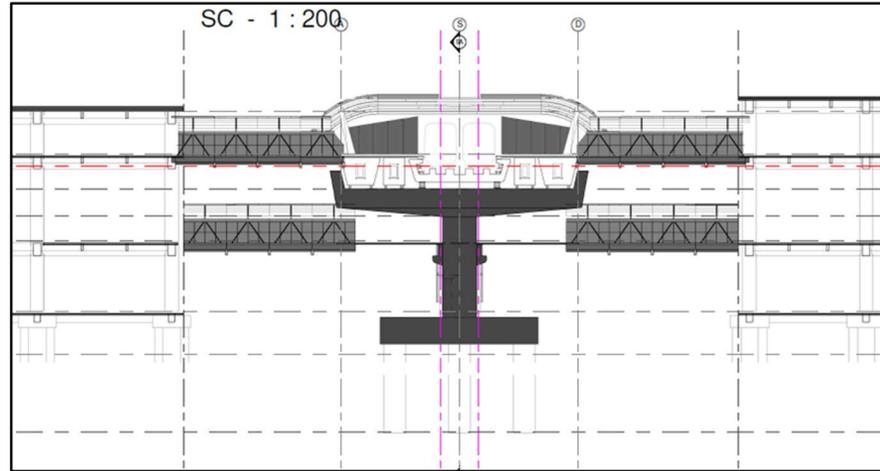


Figura 3. Estación intermodal tipo 1

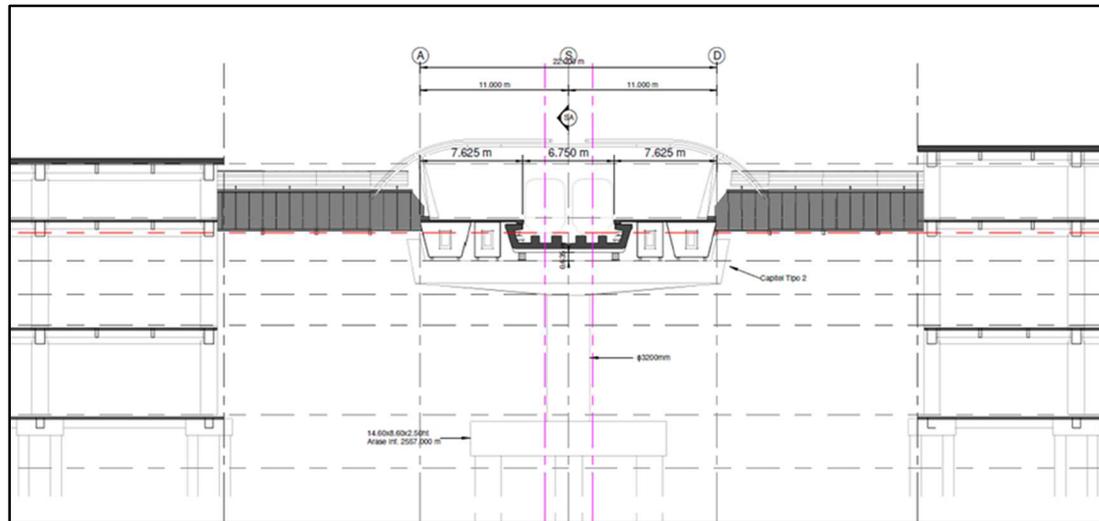


Figura 4. Estación intermodal tipo 2

- Estaciones especiales: Este tipo de estación comporta un nivel de mezzanina soportado por pila axial, donde se establecen los locales técnicos. El acceso a la mezzanina se realiza a través de escaleras y escaleras mecánicas, que también se apoyan en el capitel.

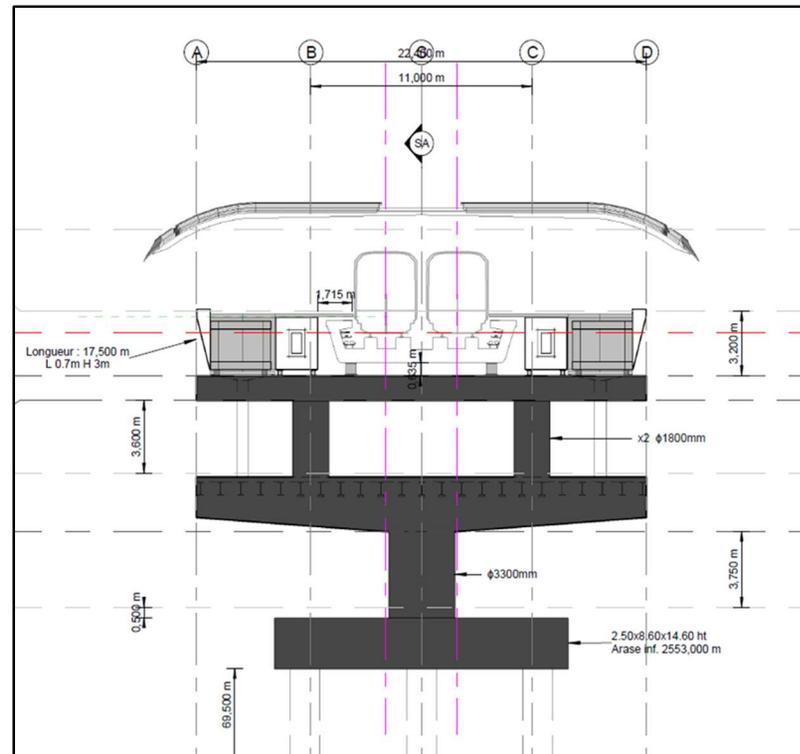


Figura 5. Estación especial tipo 1

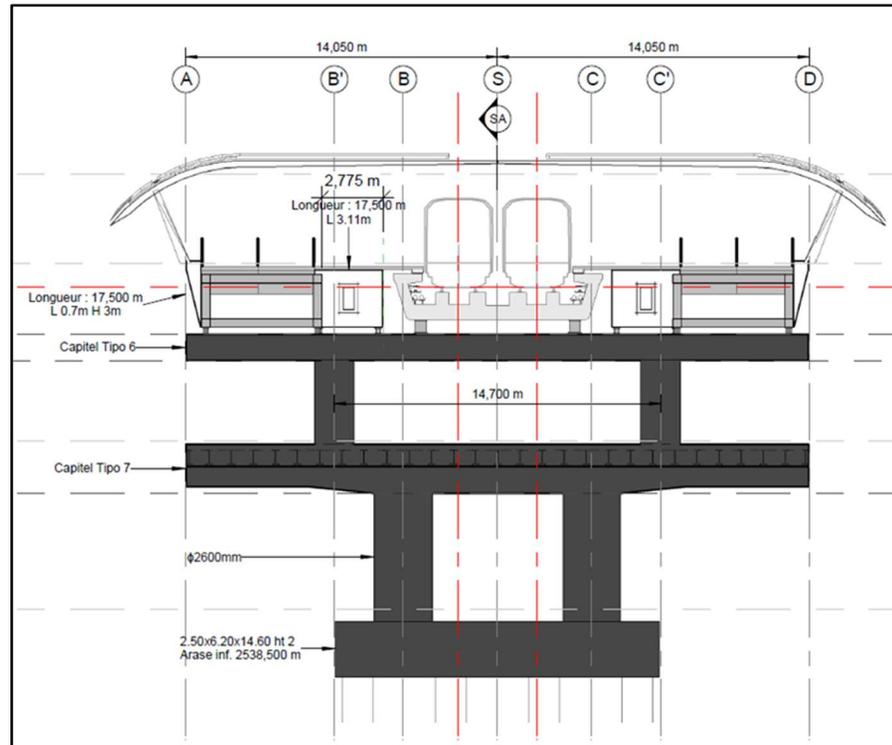


Figura 6. Estación especial tipo 2

#### 2.2.25.4.3.1.6 Descripción de elementos

- Sistema de aislamiento sísmico

El sistema de aislamiento sísmico de tableros de metro en vanos de estación es:

- Dirección longitudinal: aparatos de apoyo LRB (dos por línea de apoyo)
- Dirección transversal: amortiguadores precomprimidos (uno por línea de apoyo)

- Pilas

Las pilas tipo de las estaciones simples son de concreto reforzado, y tienen sección circular con diámetro de 3.00 m

Las pilas tipo de las estaciones intermodales son elípticas de dimensiones:

- 3,00 en la dirección transversal al eje de la línea.
- 3,20 en la dirección longitudinal al eje de la línea.

Las pilas tipo de las estaciones especiales son de concreto reforzado, y tienen sección circular con diámetro de 3,30 m

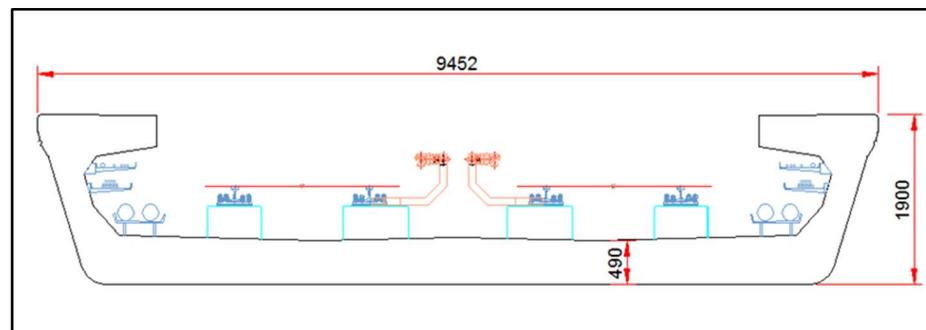
Las pilas cuentan con una memoria de cálculo básica que sustenta las dimensiones mencionadas anteriormente.

- Capitel

El capitel de las estaciones simples e intermodales está postensado transversalmente.

- Vigas gran U

Se plantea una sección tipo U en tramos de estación.



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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

Figura 7. Sección gran U zona de estación

- Andenes

Los andenes laterales están soportados por vigas cajón metálicos, las estaciones simples e intermodales, se dispone una viga cajón por andén, pero en las estaciones especiales, dada la anchura de andén necesaria, se disponen dos vigas cajón por andén.

- Cubierta

La cubierta está constituida por pórticos metálicos dispuestos cada 5 m aproximadamente.

#### 2.2.25.4.3.2 Línea 1 subterránea (estudio inicial)

La información encontrada en el diseño de la PLMB subterráneo corresponde a los producto 8 y 13:

##### 2.2.25.4.3.2.1 Normativa

Se encuentra que la normativa de diseño con la que se desarrolló el estudio de estaciones es la siguiente:

- Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Año 2010, Decreto N° 926 de 2010. Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes
- Decreto N° 340 de 2012 por el cual se modifica parcialmente el Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10.
- Decreto 92 del 17 de enero de 2011 que modificó el decreto 926 de 2010
- Decreto 523 de 16 de Diciembre de 2010 “Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C”.
- Código colombiano de diseño sísmico de puentes CCDSP 200-94. Año 1995.

Debido a que es una estructura especial se contó con una normatividad de apoyo

- Normas Técnicas Colombianas – NTC
- AASHTO LRFD 2012 Bridge Design Specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- ACI 318R-11 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute
- AISC 360-05 Specification for structural Steel buildings. American Institute of Steel Construction.
- Comité Europeo de Normalización. Eurocódigos EN-1990 a EN-1999
- Publication FHWA-NHI-10-034 U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration

- Centro de estudios y experimentación de obras públicas. Recomendaciones de CEDEX para hormigón de pantallas
- Asociación japonesa del jet-grouting. Recomendaciones de diseño de jet-grouting.

#### **2.2.25.4.3.2.2 Materiales**

Las calidades de los materiales empleados son:

- Concreto  $f_c$  35 MPa y 45 MPa
- Acero de refuerzo corrugado  $f_y=420$  MPa
- Acero de preesforzado grado 270  $f_y= 1860$  MPa
- Acero estructural A-36  $f_y$  250 MPa
- Acero estructural A-572  $f_y= 345$  MPa

#### **2.2.25.4.3.2.3 Cargas de diseño**

Las cargas aplicadas son:

- Carga muerta
- Carga Viva en la estación
- Carga viva en viales
- Cargas vivas ferroviarias
- Cargas vivas del material móvil de metro
- Empuje de tierras y presión hidrostática
- Fuerzas sísmicas
- Cargas por edificaciones adyacentes existentes

#### **2.2.25.4.3.2.4 Combinaciones de carga**

Las combinaciones para el diseño de la estructura son las referentes al título B de la NSR-10 para el estado límite de resistencia y de servicio. Para el diseño de la losa de cubierta se toman los valores de combinación dados en la normativa CCDSP-95 en la tabla A.13.2.12-1.

#### **2.2.25.4.3.2.5 Tipo de estaciones**

Se definen 5 tipos de estructuras:

- Estación tipo T1t: tiene unas dimensiones exteriores en planta de 208,20 m en sentido longitudinal y de 20,80 m ó 30,70 m en sentido transversal a la dirección de las vías. La profundidad de la losa inferior es de aproximadamente 24,5 m.

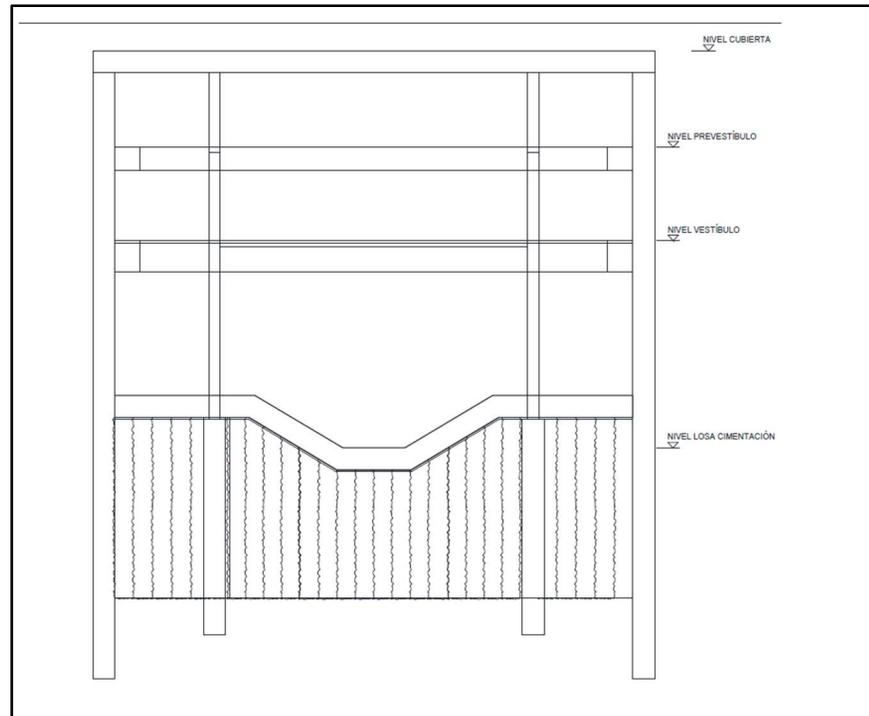


Figura 8. Estación tipo T1t

- Estaciones tipo T2: tiene unas dimensiones exteriores en planta de 262,20 m en sentido longitudinal y de 24,20 m en sentido transversal a la dirección de las vías. La profundidad de la contrabóveda inferior es de aproximadamente 23,9 m.

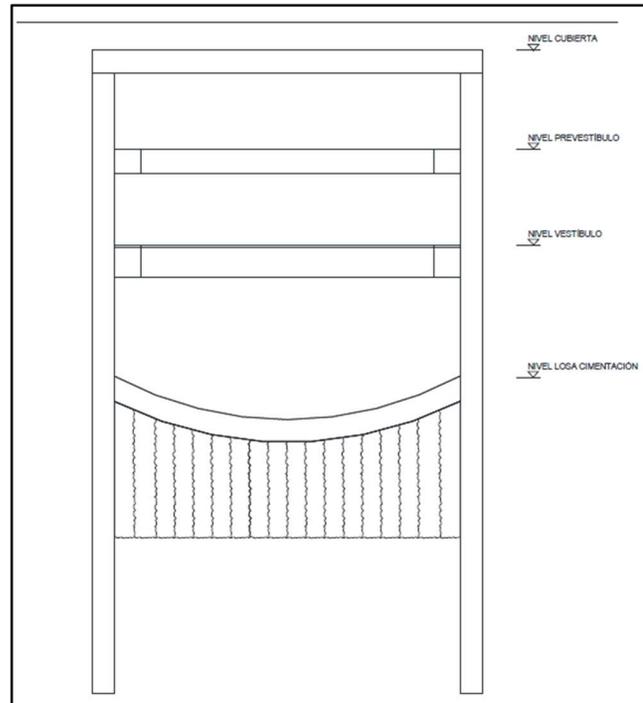


Figura 9. Estación tipo T2

- Estación tipo T1p: En los tramos sin tuneladora en los que se realiza túnel entre pantallas las estaciones tipo T1 se realizan más superficiales, sin la necesidad de disponer un trazado a gran profundidad a causa del espesor mínimo de terreno sobre la tuneladora. En este tipo de estaciones no existe nivel de prevestíbulo. La profundidad máxima de la losa inferior es de 18,5 m.

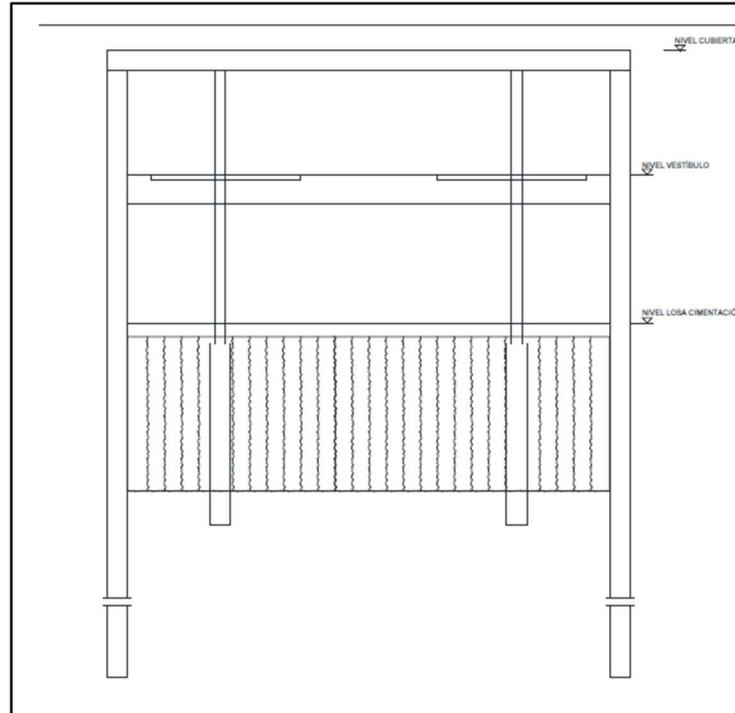


Figura 10. Estación tipo T1p

- Estación tipo T2p: En los tramos sin tuneladora en los que se realiza túnel entre pantallas las estaciones tipo T1 se realizan más superficiales, sin la necesidad de disponer un trazado a gran profundidad a causa del espesor mínimo de terreno sobre la tuneladora. En este tipo de estaciones no existe nivel de prevestíbulo. La profundidad máxima de la contrabóveda inferior es de 19,5 m.

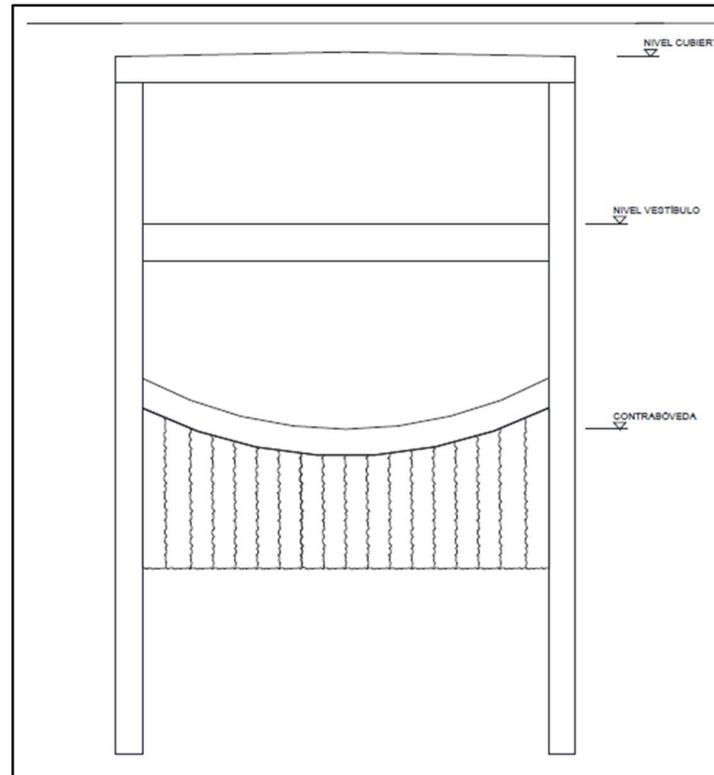


Figura 11. Estación tipo T2p

- Estación tipo T3: La estación tipo T3 tiene unas dimensiones exteriores en planta de 239,60 m en sentido longitudinal y variable con un máximo de 20,40 m en sentido transversal a la dirección de las vías. La profundidad de la contrabóveda inferior es de aproximadamente 20,4 m.

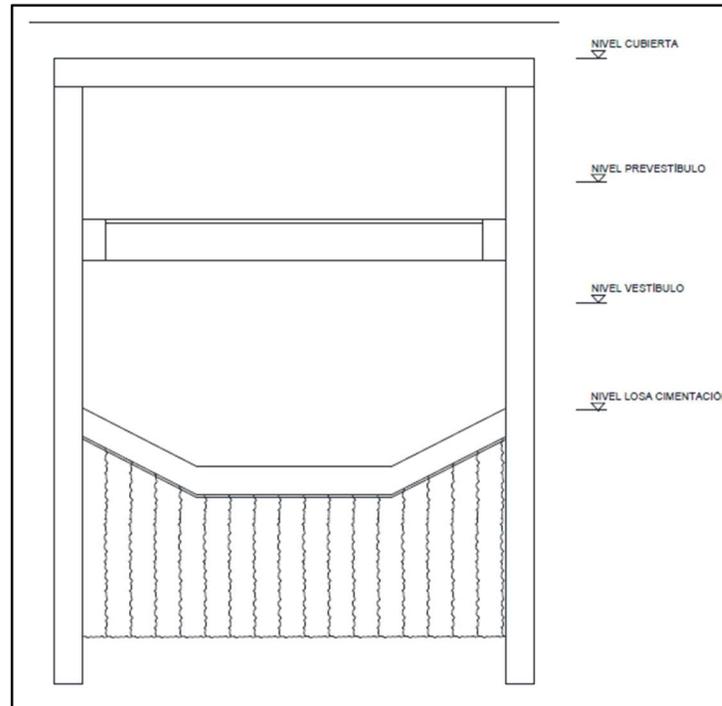


Figura 12. Estación tipo T3

#### 2.2.25.4.3.2.6 Cuantías de acero

Para el prediseño de las estaciones se especificaron densidades de kg de acero por metro cúbico de concreto (kg/m<sup>3</sup>) para cada elemento estructural de la siguiente manera:

Tabla 5. Cuantías de acero estaciones PLMB subterráneas

Elementos	Espesor (cm)	Cuantías de acero (kg/m <sup>3</sup> )
Pantalla	120	140
Muro de andén	30	115
Losa de cubierta	120-144	190
Losa de vestíbulo	170	185
Losa de andenes	30	115
Losa de cimentación	120	120
Pantalla Mortero	120	0

#### 2.2.25.4.3.2.7 Proceso constructivo

La excavación a cielo fue descartada por la presencia de edificios en el entorno, la presencia constante de agua (nivel piezométrico cercano a la superficie) y la profundidad de la excavación, por tanto para la construcción de las estaciones se plantea el uso del método “cut & cover” inferior. Esta técnica consiste en la ejecución en primera fase de un muro pantalla de contención perimetral, posteriormente, en una segunda fase se ejecuta la losa de cubierta o apuntalamiento superior que permite una pronta reposición del tráfico y otros servicios existentes a nivel de superficie. Finalmente se excava bajo cubierta asegurando los muros pantalla mediante diversos niveles de apuntalamiento destinados a controlar los movimientos de dichos muros debidos a las presiones del nivel freático y del propio terreno.

#### 2.2.25.4.4 BENCHMARK (experiencias internacionales)

##### 2.2.25.4.4.1 Línea 1 Metro de Panamá

La línea 1 del metro de Panamá cuenta con 14 estaciones, 7 son subterráneas, 1 semisubterránea y 6 elevadas.

Las estaciones subterráneas tienen una profundidad aproximada de 20 m entre la rasante de vía férrea y la superficie. Los elementos que componen este tipo de estación son: Muros pantalla de concreto reforzado, losa cubierta, losa para nivel de vestíbulo, losa para nivel de mezzanine, losa de fondo y andenes. El proceso constructivo fue del tipo cut and cover invertido:

- Construcción de las pantallas laterales.
- Excavación hasta una profundidad de 5 metros donde se instalan las vigas prefabricadas.
- Continuar la excavación hasta el punto donde se ubicó, la losa de fondo, construida con sección semicircular para que la tuneladora pueda atravesar la estación sin ningún inconveniente.
- Se procedió a construir cada uno de los niveles de la estación.

Las estaciones subterráneas tienen una longitud del cajón de 115 m, un ancho de 19 a 21 m y una longitud de andenes de 105 m. Las excavaciones en zona de estación fueron en promedio de 50000 m<sup>3</sup>.

Las estaciones elevadas cuentan con nivel de calle, vestíbulo andén y nivel de cubierta. Los elementos estructurales tales como pilotes, pilas, capiteles y vigas principales están construidas con concreto in -situ. Se prefabrican elementos estructurales secundarios. La cubierta se construyó con acero estructural.

La información que presentamos sobre el Metro de Panamá fue tomada de la página de internet: <https://www.360enconcreto.com/>

#### 2.2.25.4.4.2 Línea 2A Metro de Panamá

La Línea 2A tiene una extensión de 9,4 km, de los cuales aproximadamente 1 km es elevado, 300 m de transición y el resto del tramo se desarrolla de manera subterránea. Se cuenta con 12 estaciones.

Los materiales utilizados fueron:

- Tirantes:
  - Tensión de fluencia  $f_{yk} \geq 700 \text{ MPa}$ ;
  - Diámetro de la barra  $\varnothing = 57 \text{ mm}$ ;
  - Diámetro de la perforación  $\varnothing = 100 \text{ mm}$ ;

- Resistencia a tracción  $F = 1373 \text{ kN}$ ;
- Carga de trabajo  $F = 820 \text{ kN}$ ;
- Resistencia al arrancamiento  $q_s = 350 \text{ kN/m}$ .

- Concreto

- Resistencia a compresión  $f_{ck} \geq 40 \text{ MPa}$ ;
- Módulo de Elasticidad  $E = 30 \text{ Gpa}$ ;
- Poisson  $\nu = 0,20$ .

Las dimensiones de los elementos principales fueron:

- Pantalla de concreto:
  - Espesor 1,0 m
- Vigas transversales de concreto:
  - Área 1,54 m<sup>2</sup>
  - Separación horizontal: 5,9 m
- Tirantes:
  - Longitud libre: 25 a 30 m
  - Separación horizontal x vertical: 3 x 3 m

A continuación se observan secciones transversales y plantas de distintas estaciones de la línea 2A del metro de Panamá:

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

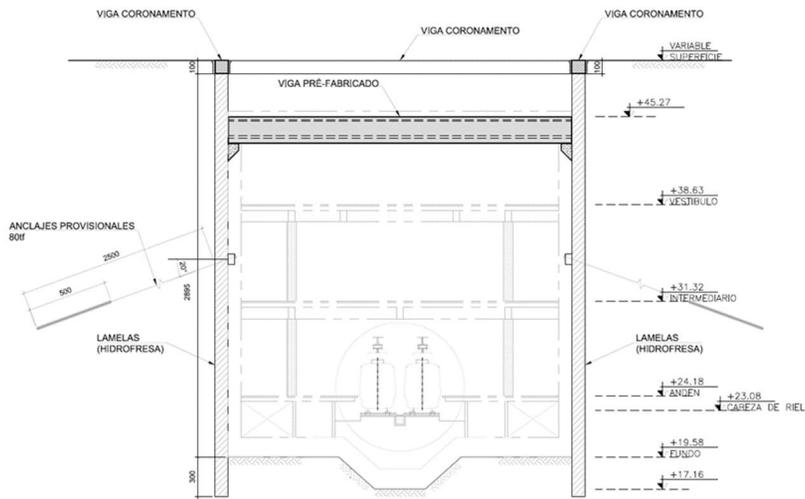


Figura 13. Sección transversal Estación Condado del Rey

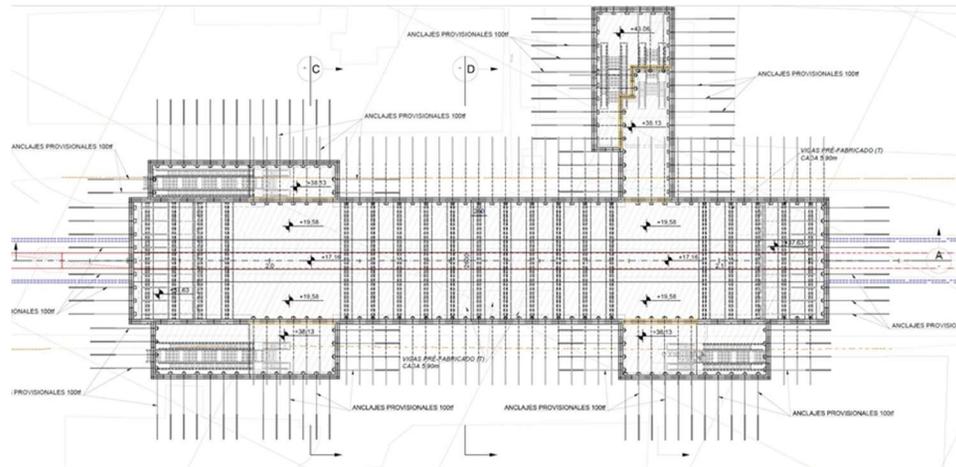


Figura 14. Planta general Estación Condado del Rey

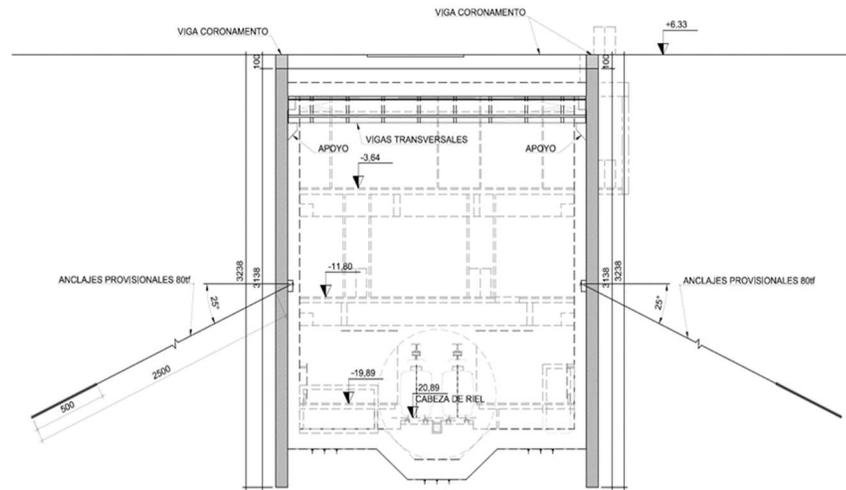


Figura 15. Sección transversal Estación Paitilla

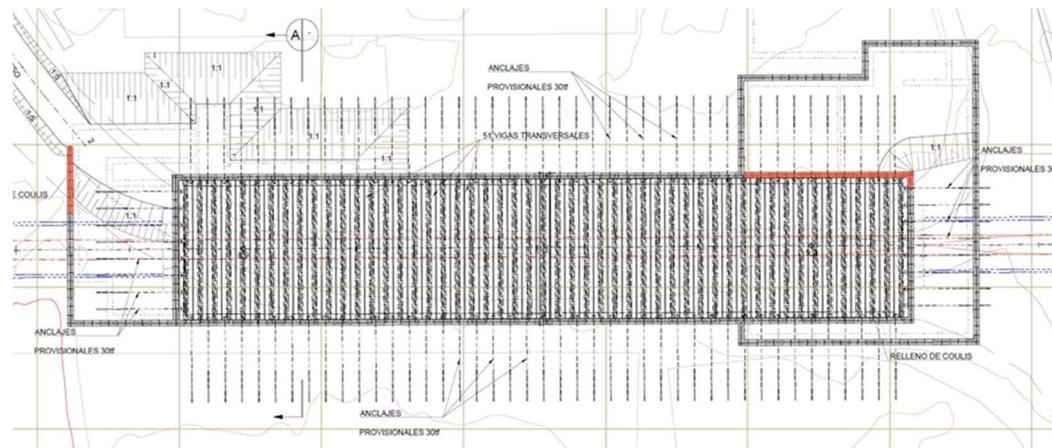


Figura 16. Planta general Estación Paitilla

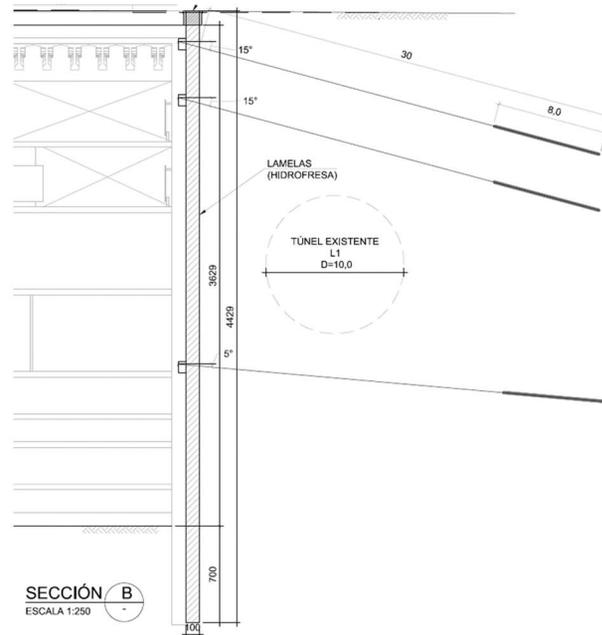


Figura 17. Sección transversal Estación Iglesia del Carmen

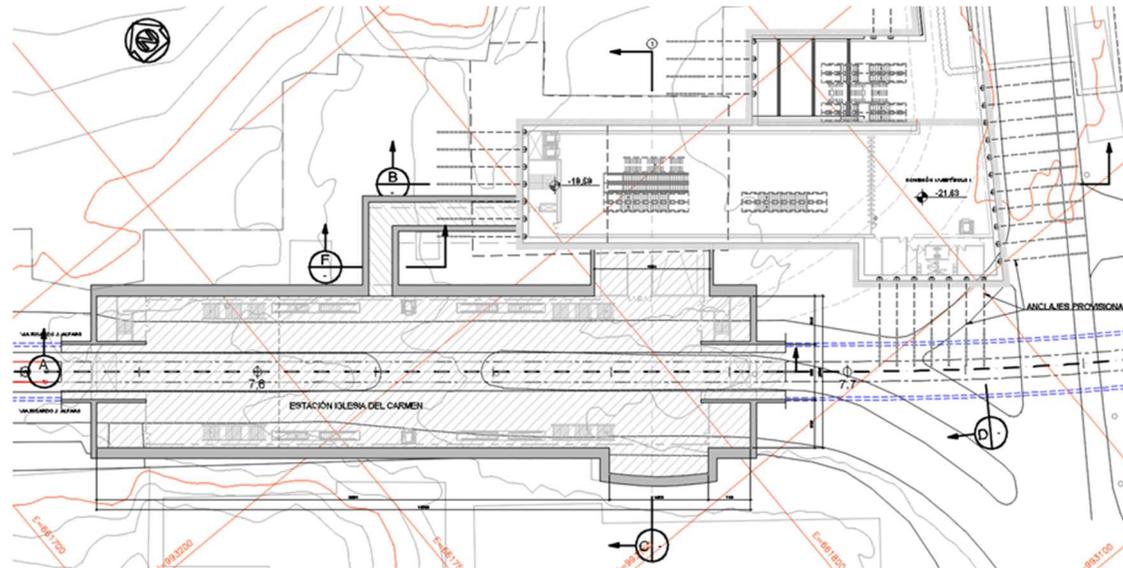


Figura 18. Planta general Estación Iglesia del Carmen

La información que presentamos sobre la Línea 2A del metro de Panamá fue tomada de informes desarrollados por Systra para el proyecto. Se considera que esta información en cuanto a calidades de materiales y dimensiones de elementos es adecuada y aplicable para los diseños de factibilidad de L2MB.

#### 2.2.25.4.4.3 Primera Línea Metro de Quito

La primera Línea del metro de Quito se desarrolló en 22 km y cuenta con 15 estaciones subterráneas, de las cuales tres de ellas son estaciones intermodales que conectan con sistemas de transporte urbano como el Trolebus, Ecovía y Metrovía. Las estaciones se sitúan sobre el trazado en tramos horizontales y sobre alineaciones rectas. Salvo una de las estaciones, todas las estaciones disponen de al menos un nivel intermedio entre el de calle y la cota de andenes, en el que se organiza el vestíbulo de la estación.

Las estaciones se encuentran localizadas sobre suelo blando. Las estaciones subterráneas se construyeron por el sistema de cut-and-cover invertido el cual es considerado por sus diseñadores como óptimo para el tipo de suelo encontrado. Las dimensiones aproximadas de las estaciones son 150 m de largo y 30 m de ancho. Las estaciones se encuentran a una profundidad media de 17,60 metros.

La información que presentamos sobre el Metro de Quito fue tomada de la página de internet: <https://www.jbic.go.jp/>

#### 2.2.25.4.4 Línea 12 metro de Ciudad de México

La línea 12 del metro de Ciudad de México cuenta con una longitud de 24,5 km y 20 estaciones. Según los primeros diseños se planteó que esta línea fuera totalmente subterránea, pero posteriormente la propuesta de su trazado se modificó obteniendo tres tipos de estaciones: subterráneas, elevadas y superficiales. Son 2 estaciones a nivel superficial, 9 subterráneas y nueve elevadas.

Para la construcción de las estaciones se usó el método top- down, el cual consiste en iniciar en la superficie y concluir en la parte de abajo de las estructuras. El principio estructural está basado en el confinamiento de la excavación a base de un sistema de muros pantalla para la zona del lago o pilotes para las zonas de transición. Una vez concluido el confinamiento se inicia con las losas de concreto que pueden ser prefabricadas. Para el caso de las estaciones subterráneas se llevaron a cabo excavaciones entre 80000 y 150000 m<sup>3</sup>.

Luego del accidente ocurrido el 3 de mayo de 2021 en el tramo elevado de la línea 12 se estudia la reconstrucción de este tramo y volver al diseño original subterráneo.

La información que presentamos sobre el Metro de Ciudad de México fue tomada de la página de internet: <https://issuu.com/revistavectordelaing.civil>

#### 2.2.25.4.5 CONCLUSIONES

- El informe de prefactibilidad de la Segunda Línea del Metro de Bogotá para la especialidad de Estructuras - Estaciones no presenta el predimensionamiento de cicloparqueaderos, edificios de acceso, tipología estructural para las estaciones y edificios, no tiene claridad si las estructuras se desarrollarán en concreto o acero, no especifica tipología de cimentación para las estaciones y edificios, no se presenta predimensionamiento de todos los elementos estructurales de las estaciones, no se indica la calidad de los materiales, como mínimo el  $f_c$  para el concreto y el  $f_y$  para el acero, no se presenta una estimación de cantidad de acero por elemento estructural, no se presentan las cargas ni combinaciones de carga para el prediseño de los elementos estructurales, no se presentan memorias de cálculo de los elementos estructurales, no se encuentran planos estructurales de las estaciones y edificios.
- El informe de factibilidad de la Primera Línea del Metro de Bogotá Elevada presenta información de normatividad aplicada, cargas , combinaciones de cargas y memorias de cálculo básicas que permiten tener una referencia para el desarrollo de la factibilidad de la estación elevada de la L2MB.
- El informe de la Primera Línea del Metro de Bogotá Subterránea presenta información de normatividad aplicada, cargas , combinaciones de cargas y memorias de cálculo básicas que permiten tener una referencia para el desarrollo de la factibilidad de las estaciones subterráneas de la L2MB.
- Se presentarán Memorias de Cálculo, planos y cantidades de prediseño estructural a nivel de factibilidad para las estaciones de la L2MB.
- La estructura de las Estaciones pertenece al Grupo de Uso IV según la NSR-10.

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

- Se considera que la información indicada en 2.2.25.4.4 BENCHMARK (experiencias internacionales) en cuanto a calidades de materiales y dimensiones de elementos es adecuada y aplicable para los diseños de factibilidad de L2MB.
- El presente informe comprende el componente estructural y es complementario al presentado por las áreas de arquitectura, mecánica, eléctrica, hidráulica y geotecnia.