

## TABLA DE CONTENIDO

<b>2.2.11.1 NORMATIVA APLICABLE</b>	<b>2</b>
<b>2.2.11.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ</b>	<b>2</b>
<b>2.2.11.3 ASPECTOS RELEVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LÍNEAS DEL METRO DE BOGOTÁ</b>	<b>8</b>
<b>2.2.11.4 REVISIÓN DE EXPERIENCIAS INTERNACIONALES Y APLICACIÓN AL CASO DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ</b>	<b>8</b>
Las líneas y/o proyectos estudiados son:	9
<b>2.2.11.4 CONCLUSIONES</b>	<b>11</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

## 2.2.11 ET11 - ESTRUCTURAS - ESTRUCTURAS ELEVADAS

<b>Disciplina:</b>	<b>Estructuras Elevadas</b>
<b>Entregable de referencia:</b>	<b>Entregable 9 / ET11-Estructuras</b>

### 2.2.11.1 NORMATIVA APLICABLE

La normativa aplicable al componente Estructuras Elevadas está definida en los componentes:

- ACI343.1R-12 Guide for the Analysis and Design of Reinforced and Prestressed Concrete Guideway Structures
- ASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) LRFD Bridge Design Specifications 7 th Edition 2014
- Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD CCP-14, INVIAS – Resolución 108 del 26 de enero de 2015
- 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

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

Se revisan los entregables que contienen información relacionada con las Estructuras Elevadas de la línea 2 en cuanto a selección de ubicación, trazado, perfil, así como los criterios de diseño y recomendaciones finales para su concepción.

<b>Entregable de referencia:</b>	Producto 4 – Estudios y diseños de prefactibilidad / Entregable 6 – Geometría y vía permanente y estructuras metro ferroviarias
<b>Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Se analizan el prediseño geométrico del trazado férreo en planta y perfil, el prediseño de vías, predimensionamiento de obras complementarias y la definición estructural del trazado de la línea 2 del Metro de Bogotá (SLMB).</li><li>- Se presentan condicionantes del proyecto (Geológico, Geotécnico, Hidrogeológico, Entorno urbano y Puntos duros)</li><li>- Se presentan tipo de obra elevada</li><li>- Se presentan diseño de cimentaciones para viaducto y pati taller</li></ul>
<b>Conclusiones del estudio de prefactibilidad:</b>	Se determinó que la parte del trazado en viaducto deberá de manera general seguir lo planteado para la PLMB.

<b>Ítem</b>	<b>Aspectos relevantes</b>	<b>¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?</b>
<b>Capítulo 8 Condicionantes en el Proyecto</b>	Análisis muy superficial, no se enumeraron los parámetros considerados para el cálculo de sismos, viento, efectos geotécnicos en estructuras.	Se deben realizar estudios específicos para la siguiente etapa del proyecto, en el caso de efectos sísmicos, se debe utilizar la nueva revisión del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10
<b>Estructuras Capítulos 10 - Tipo de obra elevada Normativas técnicas</b>	El Informe no presenta las normativas locales e internacionales que guiaron el proyecto de estructuras elevadas, solamente sigue el mismo tipo de estructura que PLMB, sin llevar en cuenta las condiciones generales del suelo	Enumerar las normativas relevantes y las suposiciones utilizadas en el pre-dimensionamiento de estructuras, normativas estructuras de hormigón, trenes ferroviarios, actividad sísmica, etc.
<b>Capítulos 10 - Tipo de obra elevada actividad sísmica</b>	No se mencionan los parámetros utilizados para cálculo de los efectos sísmicos considerados para el pre-dimensionamiento y estimación de las dimensiones de las estructuras de hormigón.	Se deben realizar estudios específicos para la siguiente etapa del proyecto, en el caso de efectos sísmicos, se debe utilizar la nueva revisión del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10
<b>Capítulos 10 - Tipo de obra elevada Tramo Elevado</b>	El tramo elevado de la línea 2 pasa por una región donde hay condominios residenciales junto a la línea y no se indicó el uso de barreras acústicas.	Verificar en los estudios ambientales se deben utilizar barreras acústicas. Si es necesario, las estructuras de los viaductos deberían redimensionarse, incluyendo los esfuerzos derivados de estas barreras.
<b>Capítulos 10 - Tipo de obra elevada Tramo de transición entre lo tramo elevado y lo tramo subterráneo</b>	No está claro en el proyecto si la sección de zanja abierta entre las estaciones 10 y 11 está fuera del área de inundación.	Confirmar el área de inundación en el desarrollo de las próximas etapas del proyecto.
<b>Capítulos 10 Tipo de obra elevada Estructura del tramo en viaducto</b>	La zapata cuadrada de los pilotes con dimensiones ligeramente exageradas.	Se debe revisar las dimensiones de la zapata de acuerdo con el diseño de la cimentación que minimice las dimensiones si posible.
<b>Capítulos 10 - Tipo de obra elevada Cimentación del tramo viaducto</b>	No se presentaron estudios geotécnicos de los sitios de implantación de los viaductos para la predefinición de cimentaciones.	Presentar estudios geotécnicos de los sitios de implantación del tramo elevado, para confirmar el tipo de cimentación elegida y su profundidad.
<b>Capítulo 14 Diseño de prefactibilidad de las cimentaciones para el viaducto y el patio taller</b>	En cuanto a cimentaciones, por las características geológicas locales, indica el uso de cimentaciones profundas, lo cual coincidimos por nuestro conocimiento previo de la geología local.	Se recomienda realizar estudios en el sitio para determinar las cargas, para evaluar las técnicas más ventajosa económicamente y revisar el diseño de cimentaciones en las próximas fases del proyecto.

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>Para la cimentación de viaductos, con el conocimiento de la geología local, se recomienda el uso de pilotes excavados de gran diámetro (1,20m). Se mencionó la posibilidad de utilizar pilotes prefabricados de menor diámetro. Sin embargo, se considera que no serían lo más adecuados debido a la magnitud de las cargas de trabajo, especialmente las cargas horizontales.</p> <p>Además, debido a la gran profundidad necesaria y la pequeña rigidez, incurrirían en riesgos adicionales, inherentes al proceso ejecutivo, como el inestabilidad direccional dinámica.</p> <p>Sin embargo, para el patio indica el empleo de técnicas de mejoramiento del suelo. Para cimentaciones de patio, existe la posibilidad de utilizar pilotes prefabricados, ya que las cargas pueden ser pequeñas. No obstante, solo se puede evaluar por completo después de realizar estudios en el sitio y determinar las cargas.</p> <p>Actualmente existen muchas técnicas para la mejora del soporte del suelo, el empleo de columnas de grava, releño de sobrecarga, columnas de material no cohesivo encapsulado con geosintético, cambio de suelo, aplicación de <i>jet-grouting</i> etc. Sin embargo, solo será posible evaluar la técnica más ventajosa económicamente después de realizar estudios en el sitio.</p>	
<p><b>Planes</b> <b>RAQB014-PROD4-ENT6-TEP-PS-15 a 17</b></p>	<p>Llamado “Prototipo de Estación aérea 11” los 3 planos presentan el diseño general de arquitectura de la estación elevada con layout de los espacios, cuartos, escaleras y accesos. Todavía no presenta elementos de estructuras ni cimentaciones.</p>	<p>El proyecto se debe desarrollar en las próximas fases de manera a tener en cuenta las estructuras y cimentaciones.</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

<b>Interfaces:</b>	N/A
<b>CAPEX y OPEX</b>	N/A
<b>Otros aspectos relevantes:</b>	N/A

<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 SLMB 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. 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 dan conclusiones formales.	
<b>Ítem</b>	<b>Aspectos relevantes</b>	<b>¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?</b>
<b>Tipo 4: Estación elevada 11 (p100)</b>	Las dimensiones propuestas para los pilares de la estación parecen un poco pequeñas y no se presentó el proyecto estructural de la estación.	En las próximas etapas del proyecto se deberán presentar los planos de forma de las estaciones y el dimensionamiento de sus elementos estructurales.
<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> Se requiere la validación preliminar del concepto de estación por desarrollar en el tramo en viaducto.	<b>A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3):</b>
<b>Interfaces:</b>	N/A	
<b>CAPEX y OPEX</b>	El CAPEX de la L2MB parece estar basado en costos unitarios de la L1MB. Todavía se debe considerar la posibilidad de sobrecostos para barreras acústicas en el viaducto, así como para redimensionar las estructuras del viaducto para responder a los esfuerzos derivados de estas barreras.	

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

**Otros aspectos relevantes:**

N/A

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

El Proyecto de Estructuras Elevadas de la PLMB se desarrolla en los Informes:

- Criterios de diseño de la estructura del viaducto y las estaciones
- Criterios de concepción y análisis de alternativas para viaducto elevado
- Estructura del viaducto elevado
- Estructura estaciones

En caso de las estructuras proyectadas en la L1MB, los documentos *ETPLMB-ET06-L02-MCA-Q-0002 - Estaciones Simples: Capitel Tipo* y *ETPLMB-ET06-L02-ITE-Q-0001 - Descripción General de la Estructura de las Estaciones* se presentan los elementos estructurales y su diseño. Además, la tipología de viaducto elevado proyectado es la viga con forma de “U”, que se describe en estos documentos.

En los informes de las estructuras del PLMB hacen referencia las normativas internacionales al componente Estructuras:

- ACI 343.1R12 Guide for the Analysis and Design of Reinforced and Prestressed Concrete Guideway Structures
- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) LRFD Bridge Design Specifications 7 th Edition 2014
- Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD CCP-14, INVIAS – Resolución 108 del 26 de enero de 2015

Para el caso específico de sismos, se utilizaron las siguientes normativas internacionales:

- 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

#### **Conclusiones:**

Los parámetros y referencias normativas del estudio de la L1MB parecen pertinentes para orientar los estudios de factibilidades de la L2MB, todavía es necesario profundizar los estudios de geotecnia, estructuras en viaducto y estación.

### 2.2.11.4 REVISIÓN DE EXPERIENCIAS INTERNACIONALES Y APLICACIÓN AL CASO DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ

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

Las líneas y/o proyectos estudiados son:

Línea	Ciudad	Longitud
Línea 2	Ciudad de Panamá - Panamá	21 km
Línea 1 - Tramo elevado	Salvador - Brasil	4,0 km
Línea 15	São Paulo - Brasil	19,1 km

	Panamá L2	Salvador L1	São Paulo L15
Tipo	Metro convencional	Metro convencional	Monorriel
Número de estaciones elevadas	16	3	14
Andenes de estación	laterales	laterales	centrales
Estructuras de Estación	Pila única central o dos pilas centralizadas	Pila única central	dos pilas centralizadas
Estructura de vía	Viga U prefabricadas	Estrutura moldada in loco	Viga monorriel prefabricadas
Normativas	REP-14 - Reglamento Estructural de la República de Panamá de 2014; ASCE/SEI 7-05 - Cargas de Diseño Mínimas para Edificios y Otras Estructuras (Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures); ACI 318-08 - Requerimientos de Normas de Edificación para Concreto Reforzado (Building Code Requirements for Structural Concrete and	Normativas Técnicas Brasileñas (NBR), como: NBR 6118 - Proyecto de Estructuras de Hormigón; NBR 6122 - Proyecto y Ejecución de Cimentaciones; NBR 7187 - Proyecto de Puentes de Hormigón Armado y Pretensado - Procedimiento; NBR 7188 - Carga Móvil de Carreteras y Peatones en Puentes, Viaductos, Pasarelas y Otras Estructuras	Especificaciones Técnicas Complementarias del Metro de São Paulo, además de Normativas Técnicas Brasileñas (NBR) y Internacionales (Eurocode, AASHTO LRFD)

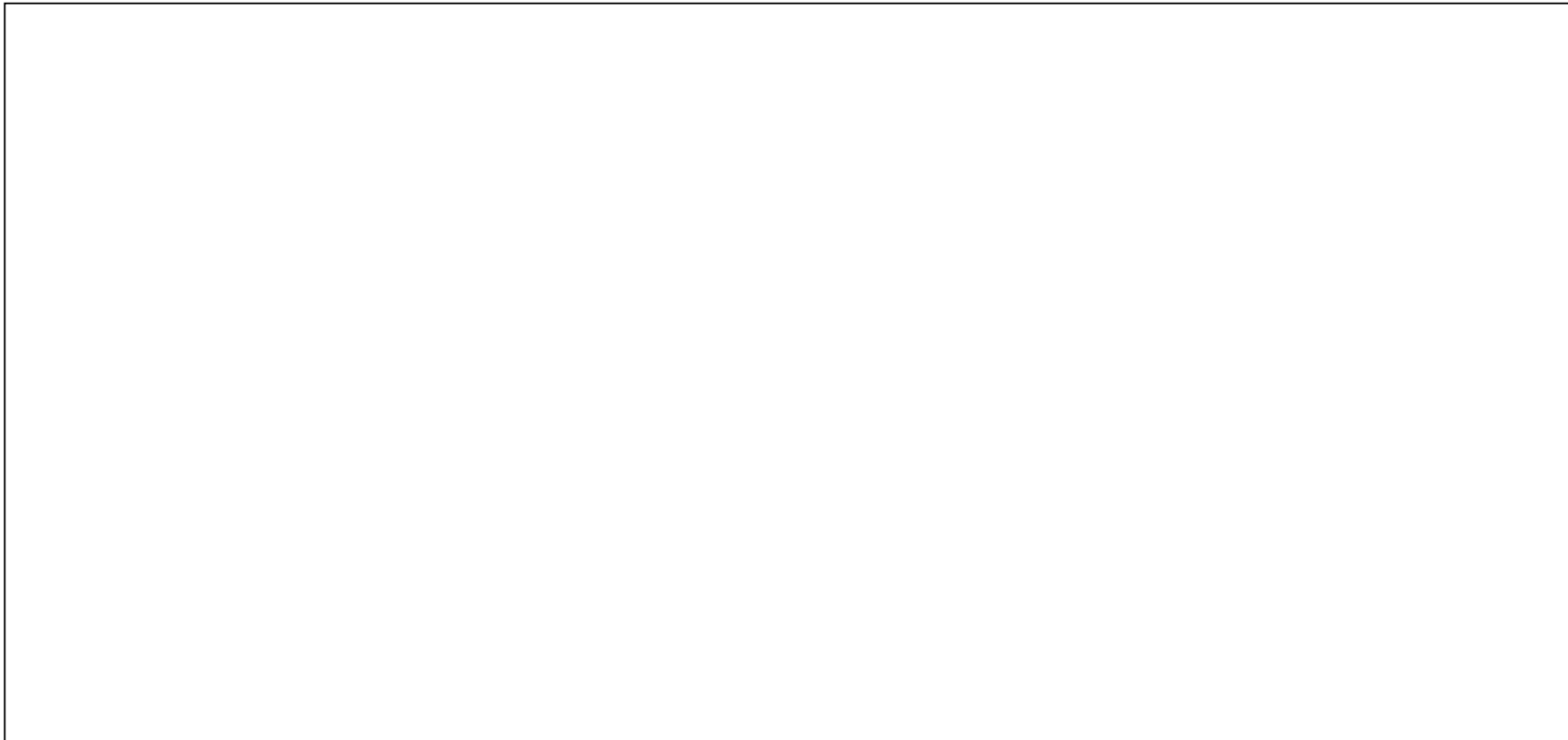


REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

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

	Commentary), Instituto Americano del Concreto.		
--	---	--	--

**Línea 1 Salvador**



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 2 Panamá

*Ilustración - Estacion - línea 2 Metro de Panamá*

<https://www.google.com.br/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fnoticiaslogisticaytransporte.com%2Fgeneral%2F05%2F10%2F2018%2Fse-contrae-la-construccion-en-capital-panamena%2F127963.html&psig=AOvVaw1WjkVzpQT9d6-GW3nvvzMS&u>

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



Ilustración 3 Estacion São Matheus - Liena 15 -Metr São Paulo

<https://www.google.com.br/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fviatrolebus.com.br%2F2019%2F10%2Fchegada-do-monotrilho-em-sao-mateus-deve-triplicar-movimento-na-linha-15-prata%2F&psig=AOvVaw2hM5P2Xf5uAWCG6Yfrlgol&ust=1641582152234000&source=images&cd=vfe&ved=0CAwQjhxFwoTCPir3MrqnfUCFQAAAAAAdAAAAABAD>

### Recomendaciones en base al benchmarking internacional

- ✓ El proyecto de la L2MB debe seguir las guías y normativas internacionales para estructuras
- ✓ Se recomienda estructuras prefabricadas

#### 2.2.11.4 CONCLUSIONES

El Estudio de la L2MB no presenta estudio específico de estructuras, ni de estaciones tampoco de sección de vía. El estudio se basó en los estudios de estructuras hechos en el marco de la L1MB.

Para el tramo en vía elevada parece pertinente la utilización de la experiencia de la L1MB. La experiencia exitosa de la viga U puede replicarse en la L2MB.

Para la estación elevada, el diseño de la estación 11 tiene muchos aspectos estructurales distintos con respecto a las estaciones de la L1MB.

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 experiencia internacional (ejemplo Línea 2 Panamá) exitosa de la viga U puede replicarse en la L2MB.

En ambos casos, para la próximas fases de proyecto, se debe realizar análisis geotécnicos específicos para la L2MB, incluso sondeos y ensayos, que permitan dimensionar las estructuras y cimentaciones.

Específicamente en el tramo en viaducto se debe verificar los estudios ambientales y de ser necesario utilizar barreras acústicas. Si es necesario, las estructuras de los viaductos deberían redimensionarse, incluyendo los esfuerzos derivados de estas barreras.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FOTOGRAFÍAS	5
2.2.11 ESTRUCTURAS	6
2.2.11.1 NORMATIVIDAD APLICABLE	6
2.2.11.1.1 Normatividad nacional	6
2.2.11.1.2 Normatividad internacional	6
2.2.11.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA L2MB	8
2.2.11.3 ASPECTOS RELEVANTES DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ	12
2.2.11.3.1 Línea 1 elevada (en construcción)	12
2.2.11.3.2 Línea 1 subterránea (estudio inicial)	51
2.2.11.4 BENCHMARK (experiencias internacionales)	74
2.2.11.4.1 Línea 2A del Metro de Ciudad de Panamá-Panamá.	74
2.2.11.4.2 Viaducto Línea 2 del Metro de Ciudad de Panamá-Panamá.	79
2.2.11.4.3 Tramo del Túnel Eurasia	80
2.2.11.4.4 Extensión de la línea ferroviaria-Terrasa -España.	81
2.2.11.4.5 Viaducto Línea 3 del Metro de Monterrey-México	82
2.2.11.4.6 Revisión bibliográfica	84
2.2.11.5 CONCLUSIONES	85

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades del concreto para tableros postensados

Tabla 2. Propiedades del acero de refuerzo.

Tabla 3. Propiedades de los torones de preesforzado.

Tabla 4. Parámetros para cálculo de pérdidas por fricción.

Tabla 5. Propiedades del concreto para tableros postensados.

Tabla 6. Propiedades del acero de refuerzo.

Tabla 7. Propiedades de los torones de preesforzado.

Tabla 8. Parámetros para cálculo de pérdidas por fricción.

Tabla 9. Normas y Códigos para diseño de viaducto elevado.

Tabla 10. Propiedades del concreto para tableros postensados.

Tabla 11. Propiedades del acero de refuerzo.

Tabla 12. Normas y Códigos para diseño de viaducto elevado.

Tabla 13. Propiedades del concreto para tableros postensados.

Tabla 14. Propiedades del acero de refuerzo.

Tabla 15. Normas y Códigos para diseño de viaducto elevado.

Tabla 16. Propiedades del concreto para tableros postensados.

Tabla 17. Propiedades del acero de refuerzo.

Tabla 18. Propiedades de los torones de preesforzado.

Tabla 19. Parámetros para cálculo de pérdidas por fricción.

Tabla 20. Normas y Códigos para diseño de viaducto elevado.

Tabla 21. Propiedades del concreto para tableros postensados.

Tabla 22. Propiedades del concreto para capiteles y columnas

Tabla 23. Propiedades del acero de refuerzo.

Tabla 24. Propiedades de los torones de preesforzado.

Tabla 25. Normas y Códigos para diseño de viaducto elevado.

Tabla 26. Propiedades del concreto para tableros postensados.

Tabla 27. Propiedades del acero de refuerzo.

Tabla 28. Relación de Planos Estructuras de Viaductos.

Tabla 29. Recomendaciones de diseño para el análisis de interacción suelo-estructura..

Tabla 30. Puentes Peatonales existentes afectados por la PLMB..

Tabla 31. Cantidad de material por cada metro de dovela.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo Estructural Software SOFiSTiK

Figura 2. Modelo Estructural Software SOFiSTiK

Figura 3. Modelo Estructural Software SOFiSTiK

Figura 4. Modelo Estructural Software SOFiSTiK

Figura 5. Modelo Estructural Software SOFiSTiK

Figura 6. Modelo Estructural Software SOFiSTiK

Figura 7. Análisis de Subestructura-Posiciones de cálculo de los trenes.

Figura 8. Tendido de vía. Bloques Embebidos.

Figura 9. Tendido de vía.Placas de fijación directa sobre plinto.

Figura 10. Proceso Constructivo Propuesto. Paso bajo estructura Carrera 11

Figura 11. Proceso Constructivo Propuesto. Paso bajo estructura sur de la Calle 127

Figura 12. Proceso Constructivo Propuesto. Paso bajo estructura sur de la Calle 127

Figura 13. Sección Estructural tipo para viaducto con dos carriles y luz de 30 m

Figura 14. Sección Estructural tipo para viaducto con tres carriles y luz de 40 m

Figura 15. Túnel entre pantallas. Sección Tipo A

Figura 16. Túnel entre pantallas. Sección Tipo B

Figura 17. Túnel entre pantallas. Sección Tipo C



Figura 18. Túnel entre pantallas. Sección Tipo D

Figura 19. Túnel entre pantallas. Sección Tipo E

Figura 20. Túnel entre pantallas. Sección Tipo F

Figura 21. Estructura de soporte del Túnel.

Figura 22. Perfil del Pozo 2.

Figura 23. Sección A-A. Pozo 2.

Figura 24. Modelo matemático para el análisis del Pozo 2.

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Tramo del Túnel Eurasia-Sistema “Cut&Cover”

Fotografía 2. Tramo túnel en Terrasa-España-Sistema “Cut&Cover”

Fotografía 3. Construcción pilas viaducto. Línea 3 Metro de Monterrey.

Fotografía 4. Avance en la construcción del viaducto. Línea 3 Metro de Monterrey.

Fotografía 5. Avance en la construcción del viaducto. Línea 2 Metro de Ciudad de Panamá.

## 2.2.11 ESTRUCTURAS

<b>Disciplina:</b>	<b>Estructuras</b>
<b>Entregable de referencia:</b>	<b>Entregable 9 / ET11 - Estructuras</b>

### 2.2.11.1 NORMATIVIDAD APLICABLE

#### 2.2.11.1.1 Normatividad nacional

Las normas nacionales que serán utilizadas en los diseños estructurales de factibilidad 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 .

#### 2.2.11.1.2 Normatividad internacional

Las normas internacionales que serán utilizadas como referencia en los diseños estructurales de factibilidad 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
- NCHRP 350. Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features. Norma Americana para barandas de Puentes vehiculares.
- NCHRP 537. Recommended Guidelines for Curb and Curb–Barrier Installations.

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 1317. Road restraint systems. Norma Europea para barandas en puentes vehiculares
- Roadside Design Guide AASTHO.
- UIC. International Union of Railways
- AREMA. American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association
- AWS D1.1 Structural Welding Code - Steel. 2015.
- AWS D1.5 Bridge Welding Code - Steel. 2010.

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

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

<b>Entregables de referencia:</b>	"Producto 4- Estudios y diseños de prefactibilidad - Entregable 6 – Prediseño geométrico del trazado - Definición estructura Metro ferroviarias"
<b>Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:</b>	<p>Dentro del Producto 4-Entregable 6 se presenta información relacionada con:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● Se indica un espesor recomendado de dovelas para los túneles<ul style="list-style-type: none"><li>○ 35 cm de espesor de dovela para túnel de 10 m de diámetro</li><li>○ 30 cm de espesor de dovela para túnel de 7 m de diámetro</li></ul></li><li>● Volumen de concreto para túnel:<ul style="list-style-type: none"><li>○ 10,6 m<sup>3</sup>/m para monotubo.</li><li>○ 12,6 m<sup>3</sup>/m para bitubo.</li></ul></li><li>● Túnel en trinchera cubierta.<ul style="list-style-type: none"><li>○ Muros pantalla de 1,0 m de espesor (Estimación basada en diseños PLMB subterráneo).</li><li>○ Losa superior de 1,0 m de espesor.</li></ul></li><li>● Trinchera cubierta -Cola de maniobras<ul style="list-style-type: none"><li>○ Muros pantalla de 1,2 m de espesor. (Estimación basada en diseños PLMB subterráneo).</li><li>○ Losa superior de 1,0 m de espesor.</li></ul></li><li>● Rampa de transición subterráneo a elevado<ul style="list-style-type: none"><li>○ Muros pantalla de 0,60 m de espesor.</li><li>○ Losa inferior 0,50 m de espesor.</li></ul></li><li>● Viaducto tipo PLMB<ul style="list-style-type: none"><li>○ Ancho tablero: 10 m</li><li>○ Diámetro pilas con protecciones: 3,5 m</li><li>○ Luz promedio: 35 m</li><li>○ Vigas prefabricadas en forma de U<ul style="list-style-type: none"><li>■ Concreto pretensado</li><li>■ Ancho Total: 10 m entre bordes externos, ancho efectivo en placa de 7.80 m</li><li>■ Espesor total de apoyo: 2.80 m</li><li>■ Altura entre la vía y la membrana superior: 1.10 m</li><li>■ Ancho de las vigas laterales: 1.10 m (operación y mantenimiento)</li></ul></li></ul></li></ul>

- Pilas simétricas
  - Diámetro 2,5 m
  - Altura sobre nivel de terreno: 5 m
- Pilas excéntricas
  - No hay referencia de dimensiones
- Pórticos
  - No hay referencia de dimensiones
- Cimentación del Viaducto
  - 24 Zapatas cuadradas de 9 m x 9 m
  - 4 Pilotes preexcavados de 1,5 m de diámetro y espaciamiento de 4,5 m por cada zapata. (total 96 pilotes)
  - Profundidad de los pilotes: 60 m
- Vía Férrea-Línea
  - Soportes de vía
    - Traviesas o placas base de hormigón.
  - Losa de la pista
    - Concreto C30/37-Espesor 23 cm
  - Losa de Cimentación
    - Concreto C20/25-Espesor 20 cm
  - Transición Vía sobre balasto / Vía construída en concreto
    - Se requiere transición suave
    - Se requiere transición en cada cambio de tendido (Entrada de túnel-entrada zona patio taller-antes/después de curvas cerrada-antes/después de desvío por radio pequeño.
- Pozos de Ventilación
  - No se presentan dimensiones de elementos estructurales.
- Se indica la necesidad de realizar estudios patológicos y estructurales para los puentes vehiculares localizados por la calle 72 entre Av. Caracas y Av. Ciudad de Cali con el fin de determinar su condición estructural y determinar si es factible que los puentes sean reemplazados por estructuras nuevas y de esta manera ajustar el trazado de la línea.
- Se recomienda adelantar un estudio del cruce de la línea férrea con la línea de conducción de agua potable Tibitoc de 78" en la "Calle 72 con Av Caracas", para evaluar la posibilidad de desviar la red matriz.
- Se recomienda realizar estudios detallados en los pasos del sistema férreo bajo canales existentes.

**Conclusiones del estudio de prefactibilidad:**

A continuación se presentan aspectos de la pre-factibilidad que deben ser investigados más a fondo y mejorados en desarrollo de los estudios de factibilidad:

- Se menciona pero no se calcula el volumen estimado de concreto necesario para rellenar la parte inferior del túnel hasta llegar a una superficie uniforme para la instalación de la vías.
- No se presenta predimensionamiento de pozos o túneles de conexión para evacuación de emergencia.
- No se evidencia estimación en la magnitud de subsidencia debido a la construcción del túnel (monotubo o bitubo) que permita cuantificar daño sobre edificaciones o estructuras adyacentes a la línea. Solo se realiza mención a la forma de la cubeta de subsidencia.
- No se presenta avalúo de cargas ni cálculo numérico simplificado para determinar dimensiones de elementos estructurales.
- No se presentan planos de elementos estructurales.
- Se asume que la vía férrea tendrá un ancho estándar UIC (Unión Integral de Ferrocarriles) pero no se encuentra soporte técnico para esta suposición.
- La red matriz de agua potable Tibitoc de 78" pasa por la Av Boyacá y no por la Av Caracas como se menciona en la Prefactibilidad.
- En la mayoría de los elementos estructurales mencionados no se presentan resistencias de los materiales a emplear.
- No se presentan recomendaciones o estudios relacionados con posibles afectaciones estructurales en edificaciones existentes.
- No se presentan recomendaciones o análisis en relación a la posible afectación a las estructuras que conforman las Estaciones de Servicio localizadas a lo largo del trazado.
- No se presenta evaluación de posibles afectaciones con puentes vehiculares y peatonales existentes localizados a lo largo del trazado.
- No se presentan planos estructurales de elementos estructurales.
- No se presentan memorias de cálculo de predimensionamiento estructural.
- No se presenta cuantificación consolidada de cantidades de materiales.
- No se han incluido consideraciones especiales asociadas a interferencias de redes o similares, en función de la trayectoria del Metro por un desarrollo urbano de alta densidad poblacional.
- 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?

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>Normatividad aplicada para el diseño estructural</b>	No se enuncia la normatividad aplicable.	Se aplicará la normatividad enunciada en el presente capítulo durante la ejecución de los diseños estructurales a nivel de Factibilidad.
<b>Memorias de Cálculo estructural</b>	No se presentan memorias de cálculo relacionadas con predimensionamiento estructural de elementos.	Se presentarán memorias de cálculo, a nivel de factibilidad, para los elementos que conforman las estructuras principales y complementarias del sistema.
<b>Planos</b>	No se presentan planos de elementos estructurales.	Se presentarán planos de prediseño estructural, a nivel de factibilidad, para las estructuras principales y complementarias del sistema.
<b>Cantidades</b>	No se presentan cantidades de obra.	Con base en los planos de prediseño, se estimarán las cantidades de obra para las estructuras principales y complementarias que conforman el sistema.
<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>

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>● Determinar áreas de estructuras principales y complementarias a construir.</li> <li>● Estimar cantidades de concreto y/o acero estructural para el sistema estructural principal.</li> <li>● Estimar peso de acero de refuerzo por m3 de concreto (kg/m3).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar Planos de diseño estructural a nivel de factibilidad para las estructuras principales y secundarias que garanticen el funcionamiento del sistema.</li> <li>● Realizar memorias de cálculo estructural a nivel de factibilidad.</li> <li>● Determinar Cantidades de Obra a nivel de Factibilidad.</li> </ul>
<b>Interfaces:</b>	Interfaces con: Arquitectura, Geotécnia, Redes hidrosanitarias, Vías, Eléctrica, Mecánica, Control.	
<b>CAPEX y OPEX</b>	No se evidencia un estudio detallado de los costos asociados a la construcción de las estructuras complementarias que conformarán la L2MB.	
<b>Otros aspectos relevantes:</b>	-	

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

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

##### Viaductos

- Se presenta documento de criterios de diseño: CRITERIOS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL VIADUCTO Y LAS ESTACIONES (TPLMB-ET06-L00-ITE-Q-0001\_R0) como parte del proyecto ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTA (PLMB)
- Se presentan Memorias de Cálculo de las siguientes estructuras:

Todas las Memorias de cálculo revisadas presentan Combinaciones de Carga de acuerdo a la Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD CCP-14



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

- “MEMORIA DE CALCULO – VIADUCTO ESTANDAR VANO 35m RECTO – FLEXION LONGITUDINAL” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0001-R0

- **Materiales**

Tabla 1. Propiedades del concreto para tableros postensados

<b>Propiedades del concreto en tableros preesforzados</b>		
Resistencia a compresión	$f_c$	50 MPa
Densidad	$w_c$	2 355 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E_c$	34 738 MPa
Módulo de rotura	$f_r$	4.38 MPa
Relación de Poisson	$\nu$	0.20
Coefficiente de expansión térmica	$\alpha$	$1.08 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$

Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0001-R0

Tabla 2. Propiedades del acero de refuerzo.

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

Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0001-R0

Tabla 3. Propiedades de los torones de preesforzado.

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

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 <sub>pu</sub>
Esfuerzo de tesado para postensión	$f_{p0}$	1 376 MPa	= 0.74*f <sub>pu</sub>
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

Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0001-R0

Tabla 4. 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	1.32 x 10 <sup>-6</sup>	0.15-0.25
	Polietileno	1.32 x 10 <sup>-6</sup>	0.23

Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0001-R0

- **Cargas de Diseño:**

Se indica que los diseños fueron realizados bajo las siguientes cargas de diseño:

- Carga muerta de los componentes estructurales (DC)

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

- Sobrecarga muerta (DW)
  - Cargas vivas del material rodante (LL)
  - Incremento de carga dinámica del tren (IM)
  - Fuerzas longitudinales de arranque y frenado (LF)
  - Fuerza de lazo (HF)
  - Fuerza centrífuga (CF)
  - Carga viva peatonal (PL)
  - Descarrilamiento de vehículos ferroviarios (DR)
  - Carga de viento sobre la estructura (WS)
  - Carga de viento sobre el material rodante (WL)
  - Variación uniforme de temperatura (TU)
  - Gradiente térmico (TG)
  - Retracción y flujo plástico del concreto (SH, CR)
  - Asentamiento diferencial (SE)
  - Carga sísmica (EQ)
- 
- **Modelo Estructural**
- Se presenta modelo estructural del viaducto en el software SOFiSTiK

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

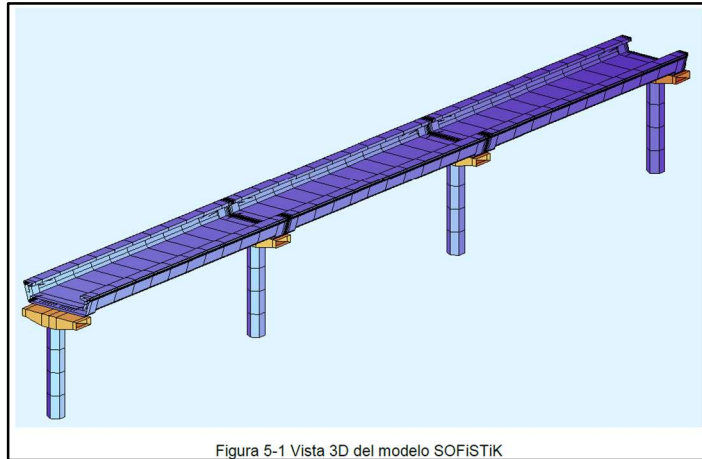


Figura 5-1 Vista 3D del modelo SOFiSTiK

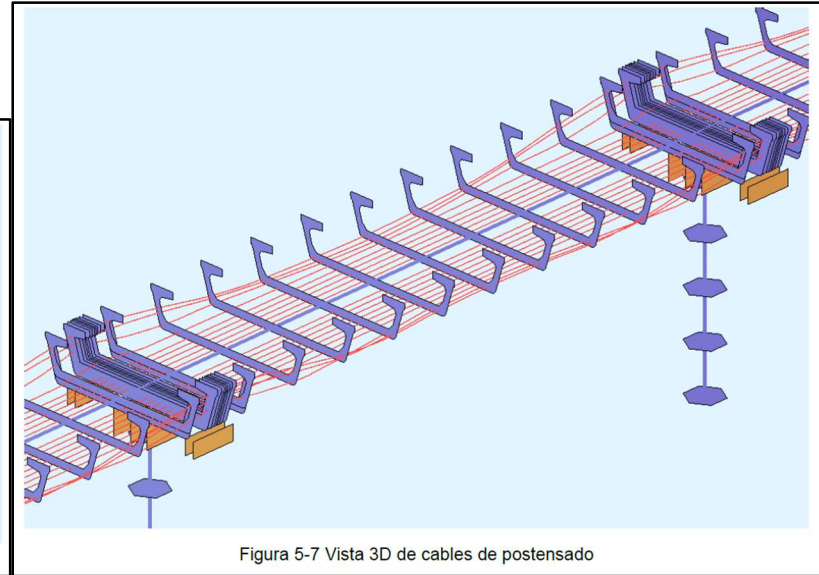


Figura 5-7 Vista 3D de cables de postensado

Figura 1. Modelo Estructural Software SOFiSTiK  
DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0001-R0

A partir del modelo, se realizó el proceso de diseño estructural para determinar las cuantías de refuerzo requeridas.

- “MEMORIA DE CALCULO – VIADUCTO ESTANDAR VANO 30m CURVA R=200m –FLEXION LONGITUDINAL” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0004-R0)

- **Materiales**

Tabla 5. Propiedades del concreto para tableros postensados.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0004-R0

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>Propiedades del concreto en tableros preesforzados</b>		
Resistencia a compresión	$f_c$	50 MPa
Densidad	$w_c$	2 355 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E_c$	34 738 MPa
Módulo de rotura	$f_r$	4.38 MPa
Relación de Poisson	$\nu$	0.20
Coefficiente de expansión térmica	$\alpha$	$1.08 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Tabla 6. Propiedades del acero de refuerzo.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0004-R0

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

Tabla 7. Propiedades de los torones de preesforzado.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0004-R0

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

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 <sub>pu</sub>
Esfuerzo de tesado para postensión	$f_{p0}$	1 376 MPa	= 0.74*f <sub>pu</sub>
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 <sub>1000</sub>	2.5%	ASTM A416-96a

Tabla 8. Parámetros para cálculo de pérdidas por fricción.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0004-R0

Tipo de acero	Tipo de ducto	K (mm <sup>-1</sup> )	$\mu$
Alambre o torón	Ducto rígido y semirrígido de metal galvanizado	1.32 x 10 <sup>-6</sup>	0.15-0.25
	Polietileno	1.32 x 10 <sup>-6</sup>	0.23

- **Cargas de Diseño:**

Se indica que los diseños fueron realizados bajo las siguientes cargas de diseño:

- Carga muerta de los componentes estructurales (DC)
- Sobrecarga muerta (DW)
- Cargas vivas del material rodante (LL)

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

- Incremento de carga dinámica del tren (IM)
- Fuerzas longitudinales de arranque y frenado (LF)
- Fuerza de lazo (HF)
- Fuerza centrífuga (CF)
- Carga viva peatonal (PL)
- Descarrilamiento de vehículos ferroviarios (DR)
- Carga de viento sobre la estructura (WS)
- Carga de viento sobre el material rodante (WL)
- Variación uniforme de temperatura (TU)
- Gradiente térmico (TG)
- Retracción y flujo plástico del concreto (SH, CR)
- Asentamiento diferencial (SE)
- Carga sísmica (EQ)

- **Modelo Estructural**

Se presenta modelo estructural del viaducto en el software SOFiSTiK

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

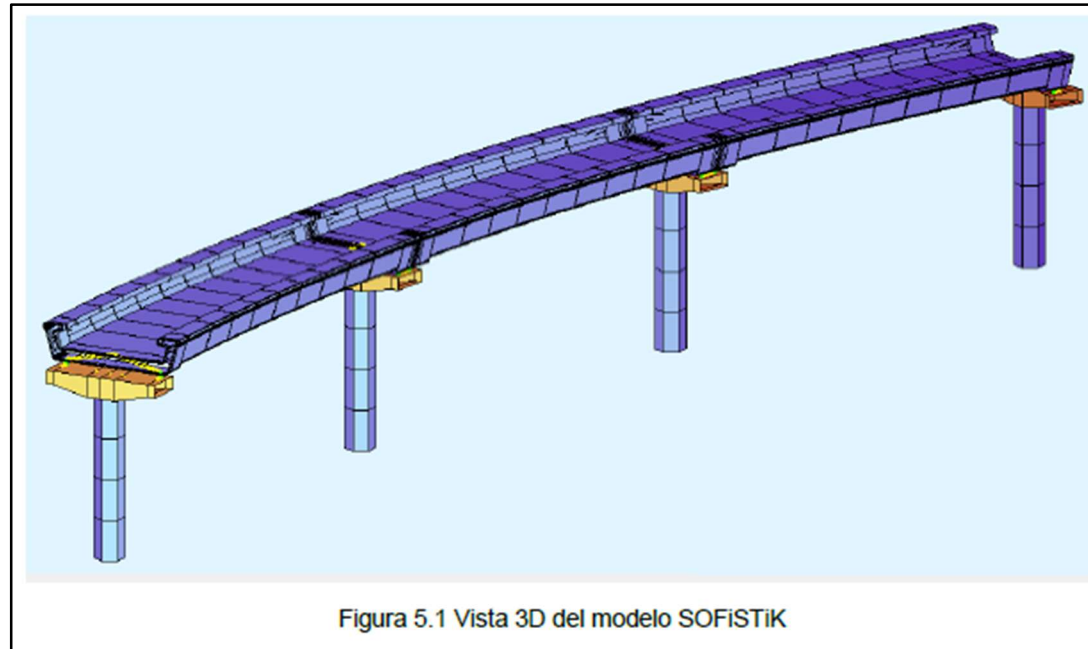


Figura 2. Modelo Estructural Software SOFiSTiK  
DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0004-R0

A partir del modelo, se realizó el proceso de diseño estructural para determinar las cuantías de refuerzo requeridas



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

- **MEMORIA DE CÁLCULO – VIADUCTO ESTÁNDAR VANO 35m RECTO – FLEXIÓN TRANSVERSAL (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q- 0008-R0)**

- **Normativa**

Tabla 9. Normas y Códigos para diseño de viaducto elevado.

Fuente:DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q- 0008-R0

Objeto	Documento normativo
Bases de diseño generales para el viaducto y estaciones: cargas, combinaciones de acciones, criterios de diseño estructural	ACI343.1R-12 Guide for the Analysis and Design of Reinforced and Prestressed Concrete Guideway Structures
	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
Acción de descarrilamiento de vehículos ferroviarios	EN 1991-2: Cargas de tráfico en puentes
Definición de los espectros de diseño a sismo	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
	ACI343.1R-12 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

<b>Objeto</b>	<b>Documento normativo</b>
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 sistema de drenaje	Normas SISTEC de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado, Agua y Aseo de Bogotá
	Especificaciones INVIAS

- **Materiales**

Tabla 10. Propiedades del concreto para tableros postensados.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0008-R0

<b>Propiedades del concreto en tableros preesforzados</b>		
Resistencia a compresión	$f_c$	50 MPa
Densidad	$w_c$	2 355 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E_c$	34 738 MPa
Módulo de rotura	$f_r$	4.38 MPa
Relación de Poisson	$\nu$	0.20
Coefficiente de expansión térmica	$\alpha$	$1.08 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$

Tabla 11. Propiedades del acero de refuerzo.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0008-R0

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

- **Cargas de Diseño:**

Se indica que los diseños fueron realizados bajo las siguientes cargas de diseño:

- Carga muerta de los componentes estructurales (DC)
- Sobrecarga muerta (DW)
- Cargas vivas del material rodante (LL)
- Incremento de carga dinámica del tren (IM)
- Fuerzas longitudinales de arranque y frenado (LF)
- Fuerza de lazo (HF)
- Fuerza centrífuga (CF)

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

- Carga viva peatonal (PL)
- Descarrilamiento de vehículos ferroviarios (DR)
- Carga de viento sobre la estructura (WS)
- Carga de viento sobre el material rodante (WL)
- Variación uniforme de temperatura (TU)
- Gradiente térmico (TG)
- Retracción y flujo plástico del concreto (SH, CR)
- Asentamiento diferencial (SE)
- Carga sísmica (EQ)

- **Modelo Estructural**

Se presenta modelo estructural del viaducto en el software SOFiSTiK

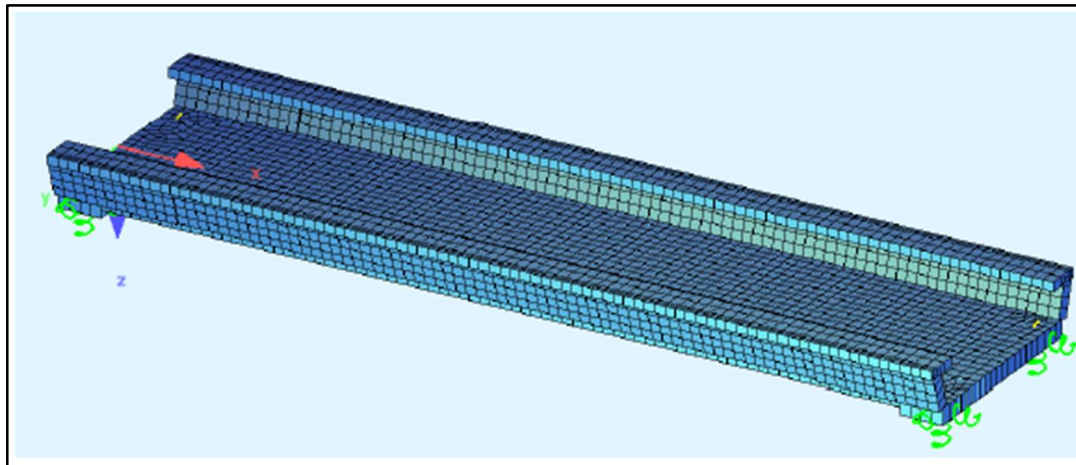


Figura 3. Modelo Estructural Software SOFiSTiK  
DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0008-R0

A partir del modelo, se realizó el proceso de diseño estructural para determinar las cuantías de refuerzo requeridas

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

- “MEMORIA DE CÁLCULO – VIADUCTO ESTÁNDAR VANO 30m CURVO – FLEXIÓN TRANSVERSAL” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0009-R0)

- Normativa

Tabla 12. Normas y Códigos para diseño de viaducto elevado.

Fuente:DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q- 0009-R0

Objeto	Documento normativo
Bases de diseño generales para el viaducto y estaciones: cargas, combinaciones de acciones, criterios de diseño estructural	ACI343.1R-12 Guide for the Analysis and Design of Reinforced and Prestressed Concrete Guideway Structures
	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
Acción de descarrilamiento de vehículos ferroviarios	EN 1991-2: Cargas de tráfico en puentes
Definición de los espectros de diseño a sismo	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
	ACI343.1R-12 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

<b>Objeto</b>	<b>Documento normativo</b>
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 sistema de drenaje	Normas SISTEC de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado, Agua y Aseo de Bogotá
	Especificaciones INVIAS

- **Materiales**

Tabla 13. Propiedades del concreto para tableros postensados.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0009-R0

<b>Propiedades del concreto en tableros preesforzados</b>		
Resistencia a compresión	$f_c$	50 MPa
Densidad	$w_c$	2 355 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E_c$	34 738 MPa
Módulo de rotura	$f_r$	4.38 MPa
Relación de Poisson	$\nu$	0.20
Coefficiente de expansión térmica	$\alpha$	$1.08 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Tabla 14. Propiedades del acero de refuerzo.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0009-R0

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

- **Cargas de Diseño:**

Se indica que los diseños fueron realizados bajo las siguientes cargas de diseño:

- Carga muerta de los componentes estructurales (DC)
- Sobrecarga muerta (DW)
- Cargas vivas del material rodante (LL)

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

- Incremento de carga dinámica del tren (IM)
- Fuerzas longitudinales de arranque y frenado (LF)
- Fuerza de lazo (HF)
- Fuerza centrífuga (CF)
- Carga viva peatonal (PL)
- Descarrilamiento de vehículos ferroviarios (DR)
- Carga de viento sobre la estructura (WS)
- Carga de viento sobre el material rodante (WL)
- Variación uniforme de temperatura (TU)
- Gradiente térmico (TG)
- Retracción y flujo plástico del concreto (SH, CR)
- Asentamiento diferencial (SE)
- Carga sísmica (EQ)

- **Modelo Estructural**

Se presenta modelo estructural del viaducto en el software SOFiSTiK



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

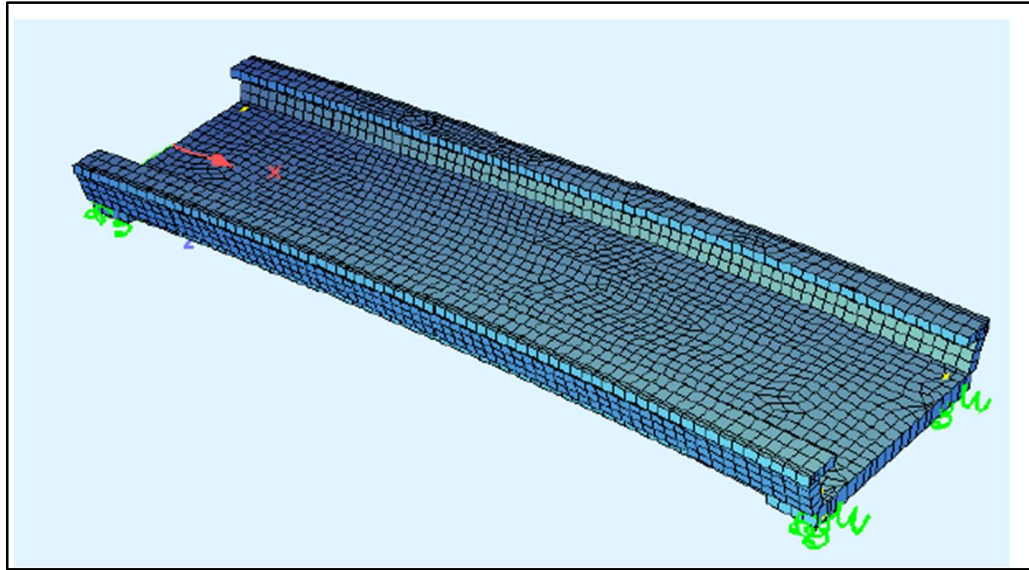


Figura 4. Modelo Estructural Software SOFISTiK  
DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0009-R0

A partir del modelo, se realizó el proceso de diseño estructural para determinar las cuantías de refuerzo requeridas

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

- “MEMORIA DE CALCULO – VIADUCTO ESPECIAL CONTINUO 45-45m RECTO – FLEXION LONGITUDINAL” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0010-R0)

- Normativa

Tabla 15. Normas y Códigos para diseño de viaducto elevado.  
Fuente:DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q- 0010-R0

Objeto	Documento normativo
Bases de diseño generales para el viaducto y estaciones: cargas, combinaciones de acciones, criterios de diseño estructural	ACI343.1R-12 Guide for the Analysis and Design of Reinforced and Prestressed Concrete Guideway Structures
	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
Acción de descarrilamiento de vehículos ferroviarios	EN 1991-2: Cargas de tráfico en puentes
Definición de los espectros de diseño a sismo	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
	ACI343.1R-12 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

<b>Objeto</b>	<b>Documento normativo</b>
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 2nd Edition 2009
Diseño de sistema de drenaje	Normas SISTEC de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado, Agua y Aseo de Bogotá
	Especificaciones INVIAS

- **Materiales**

Tabla 16. Propiedades del concreto para tableros postensados.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0010-R0

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>Propiedades del concreto en tableros preesforzados</b>		
Resistencia a compresión	$f_c$	50 MPa
Densidad	$w_c$	2 355 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E_c$	34 738 MPa
Módulo de rotura	$f_r$	4.38 MPa
Relación de Poisson	$\nu$	0.20
Coefficiente de expansión térmica	$\alpha$	$1.08 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$

Tabla 17. Propiedades del acero de refuerzo.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-00010-R0

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

Tabla 18. Propiedades de los torones de preesforzado.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-00010-R0

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 <sub>pu</sub>
Esfuerzo de tesado para postensión	$f_{p0}$	1 376 MPa	= 0.74*f <sub>pu</sub>
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 <sub>1000</sub>	2.5%	ASTM A416-96a

Tabla 19. Parámetros para cálculo de pérdidas por fricción.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0010-R0

Tipo de acero	Tipo de ducto	K (mm <sup>-1</sup> )	$\mu$
Alambre o torón	Ducto rígido y semirrígido de metal galvanizado	1.32 x 10 <sup>-6</sup>	0.15-0.25
	Polietileno	1.32 x 10 <sup>-6</sup>	0.23

- **Cargas de Diseño:**

Se indica que los diseños fueron realizados bajo las siguientes cargas de diseño:

- Carga muerta de los componentes estructurales (DC)
- Sobrecarga muerta (DW)
- Cargas vivas del material rodante (LL)
- Incremento de carga dinámica del tren (IM)
- Fuerzas longitudinales de arranque y frenado (LF)
- Fuerza de lazo (HF)
- Fuerza centrífuga (CF)
- Carga viva peatonal (PL)

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

- Descarrilamiento de vehículos ferroviarios (DR)
- Carga de viento sobre la estructura (WS)
- Carga de viento sobre el material rodante (WL)
- Variación uniforme de temperatura (TU)
- Gradiente térmico (TG)
- Retracción y flujo plástico del concreto (SH, CR)
- Asentamiento diferencial (SE)
- Carga sísmica (EQ)

- **Modelo Estructural**

Se presenta modelo estructural del viaducto en el software SOFiSTiK

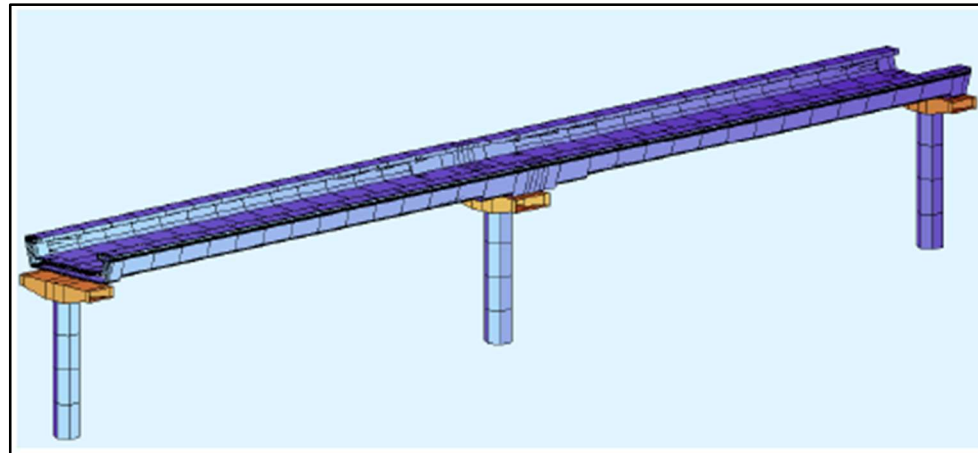


Figura 5. Modelo Estructural Software SOFiSTiK  
DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0010-R0

A partir del modelo estructural se realiza el modelo estructural para determinar las cuantías de refuerzo requeridas.

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

**“MEMORIA DE CALCULO – VIADUCTO ESPECIAL CALLE 26 60-100-60m – FLEXION LONGITUDINAL TABLERO Y DISEÑO SUBESTRUCTURA” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0012-R0)**

- **Normativa**

Tabla 20. Normas y Códigos para diseño de viaducto elevado.  
Fuente:DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q- 0012-R0

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 3.1 Normas y códigos para diseño de viaducto elevado

Objeto	Documento normativo
Bases de diseño generales para el viaducto y estaciones: cargas, combinaciones de acciones, criterios de diseño estructural	ACI343.1R-12 Guide for the Analysis and Design of Reinforced and Prestressed Concrete Guideway Structures
	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
Acción de descarrilamiento de vehículos ferroviarios	EN 1991-2: Cargas de tráfico en puentes
Definición de los espectros de diseño a sismo	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
	ACI343.1R-12 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

<b>Objeto</b>	<b>Documento normativo</b>
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 sistema de drenaje	Normas SISTEC de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado, Agua y Aseo de Bogotá
	Especificaciones INVIAS

- **Materiales**

Tabla 21. Propiedades del concreto para tableros postensados.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0012-R0

<b>Propiedades del concreto en tableros preesforzados</b>		
Resistencia a compresión	$f_c$	50 MPa
Densidad	$w_c$	2 355 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E_c$	34 738 MPa
Módulo de rotura	$f_r$	4.38 MPa
Relación de Poisson	$\nu$	0.20
Coefficiente de expansión térmica	$\alpha$	$1.08 \times 10^{-5} \text{°C}^{-1}$

Tabla 22. Propiedades del concreto para capiteles y columnas  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0012-R0

<b>Propiedades del concreto en capiteles preesforzados</b>		
Resistencia a compresión	$f_c$	45 MPa
Densidad	$w_c$	2 343 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E_c$	32 714 MPa
Módulo de rotura	$f_r$	4.16 MPa
Relación de Poisson	$\nu$	0.20
Coefficiente de expansión térmica	$\alpha$	$1.08 \times 10^{-5} \text{°C}^{-1}$

Tabla 3.4 Características del concreto para columnas

<b>Propiedades del concreto en columnas</b>		
Resistencia a compresión	$f_c$	40 MPa
Densidad	$w_c$	2 332 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E_c$	30 626 MPa
Módulo de rotura	$f_r$	3.92 MPa
Relación de Poisson	$\nu$	0.20
Coefficiente de expansión térmica	$\alpha$	$1.08 \times 10^{-5} \text{°C}^{-1}$

Tabla 23. Propiedades del acero de refuerzo.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-00012-R0

Propiedad	Nomenclatura	Valor
Resistencia última	$f_y$	620 MPa
Resistencia de fluencia	$f_s$	420 MPa
Módulo de elasticidad	$E_s$	200 000 MPa

Tabla 24. Propiedades de los torones de preesforzado.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-00012-R0

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 <sub>pu</sub>
Esfuerzo de tesado para postensión	$f_{po}$	1 376 MPa	= 0.74*f <sub>pu</sub>
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

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

Tipo de acero	Tipo de ducto	K (mm <sup>-1</sup> )	μ
Alambre o torón	Ducto rígido y semirrígido de metal galvanizado	6.67 x 10 <sup>-7</sup>	0.15-0.25
	Polietileno	6.67 x 10 <sup>-7</sup>	0.23

- **Cargas de Diseño:**

Se indica que los diseños fueron realizados bajo las siguientes cargas de diseño:

- Carga muerta de los componentes estructurales (DC)
- Sobrecarga muerta (DW)
- Cargas vivas del material rodante (LL)
- Incremento de carga dinámica del tren (IM)
- Fuerzas longitudinales de arranque y frenado (LF)
- Fuerza de lazo (HF)
- Fuerza centrífuga (CF)
- Carga viva peatonal (PL)
- Descarrilamiento de vehículos ferroviarios (DR)
- Carga de viento sobre la estructura (WS)
- Carga de viento sobre el material rodante (WL)
- Variación uniforme de temperatura (TU)
- Gradiente térmico (TG)
- Retracción y flujo plástico del concreto (SH, CR)
- Asentamiento diferencial (SE)
- Carga sísmica (EQ)

- **Modelo Estructural**

Se presenta modelo estructural del viaducto en el software SOFiSTiK

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

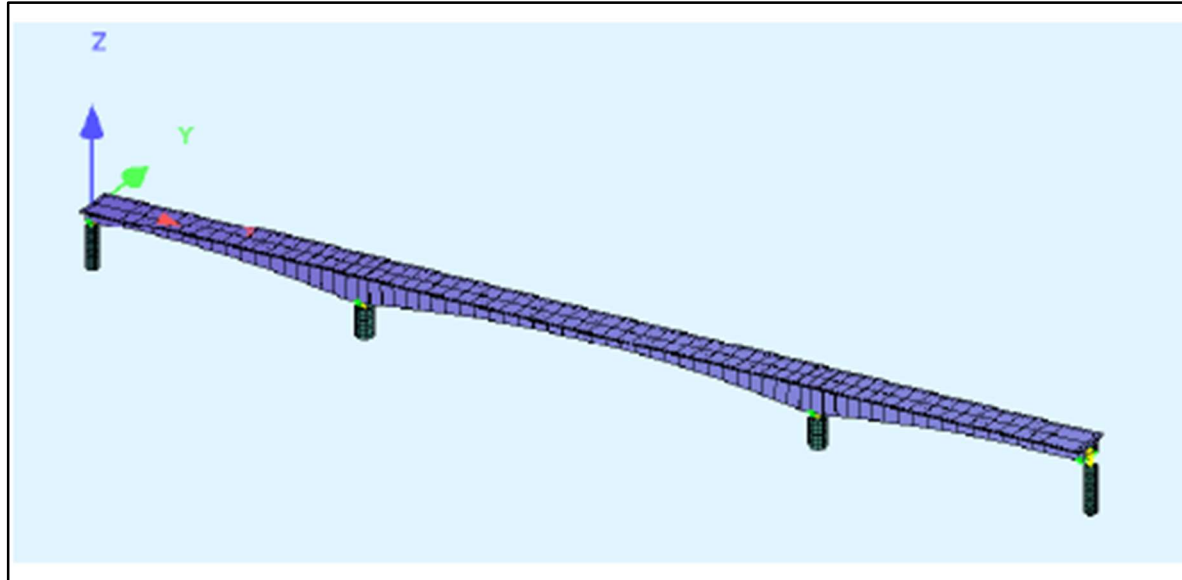


Figura 6. Modelo Estructural Software SOFiStiK  
DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0012-R0

A partir del modelo estructural se realiza el modelo estructural para determinar las cuantías de refuerzo requeridas.

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

- “MEMORIA DE CÁLCULO – DISEÑO DE PILA TIPO PARA VANOS ESTÁNDAR” (DOCUMENTO N°ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0013-R0)

- Normativa

Tabla 25. Normas y Códigos para diseño de viaducto elevado.  
Fuente:DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q- 0013-R0

Objeto	Documento normativo
Bases de diseño generales para el viaducto y estaciones: cargas, combinaciones de acciones, criterios de diseño estructural	ACI343.1R-12 Guide for the Analysis and Design of Reinforced and Prestressed Concrete Guideway Structures
	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
Acción de descarrilamiento de vehículos ferroviarios	EN 1991-2: Cargas de tráfico en puentes
Definición de los espectros de diseño a sismo	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
	ACI343.1R-12 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

<b>Objeto</b>	<b>Documento normativo</b>
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 sistema de drenaje	Normas SISTEC de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado, Agua y Aseo de Bogotá
	Especificaciones INVIAS



- **Materiales**

Tabla 26. Propiedades del concreto para tableros postensados.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0013-R0

<b>Propiedades del concreto en tableros preesforzados</b>		
Resistencia a compresión	$f_c$	50 MPa
Densidad	$w_c$	2 355 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E_c$	34 738 MPa
Módulo de rotura	$f_r$	4.38 MPa
Relación de Poisson	$\nu$	0.20
Coefficiente de expansión térmica	$\alpha$	$1.08 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Tabla 27. Propiedades del acero de refuerzo.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-00013-R0

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

- **Cargas de Diseño:**

Se indica que los diseños fueron realizados bajo las siguientes cargas de diseño:

- Carga muerta de los componentes estructurales (DC)
- Sobrecarga muerta (DW)

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

- Cargas vivas del material rodante (LL)
- Incremento de carga dinámica del tren (IM)
- Fuerzas longitudinales de arranque y frenado (LF)
- Fuerza de lazo (HF)
- Fuerza centrífuga (CF)
- Carga viva peatonal (PL)
- Descarrilamiento de vehículos ferroviarios (DR)
- Carga de viento sobre la estructura (WS)
- Carga de viento sobre el material rodante (WL)
- Variación uniforme de temperatura (TU)
- Gradiente térmico (TG)
- Retracción y flujo plástico del concreto (SH, CR)
- Asentamiento diferencial (SE)
- Carga sísmica (EQ)

- **Modelo Estructural**

Se presenta modelo estructural del viaducto en el software SOFiSTiK

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

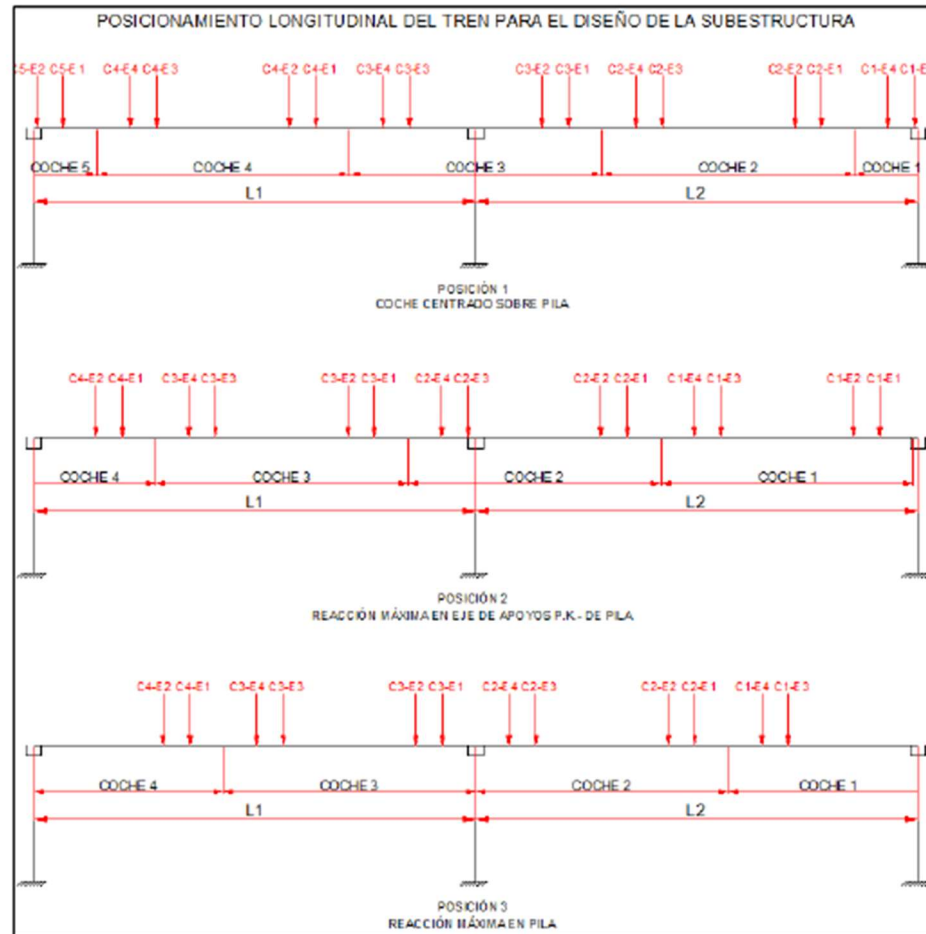


Figura 7. Análisis de Subestructura-Posiciones de cálculo de los trenes.  
DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0013-R0

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

A partir del modelo, se realizó el proceso de diseño estructural para determinar las cuantías de refuerzo requeridas.

A continuación se mencionan otros documentos revisados en los cuales se presentan las Memorias de Cálculo relacionadas con estructuras complementarias del sistema.

- “MEMORIA DE CÁLCULO – DISEÑO DE CAPITEL DE PILA TIPO” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0014-R0)
- “MEMORIA DE CÁLCULO – DISEÑO DE PILA CON CAPITEL EXCÉNTRICO” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0015-R0)
- “MEMORIA DE CÁLCULO – DISEÑO DE PÓRTICO  $L < 18$  m” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0016-R0)
- “MEMORIA DE CÁLCULO – DISEÑO DE PÓRTICO  $18$  m  $< L < 25$  m” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0017-R0)
- “MEMORIA DE CÁLCULO – DISEÑO ESTRUCTURAL DE FUNDACIONES PROFUNDAS DE VANOS ESTÁNDAR” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0019-R0)
- “MEMORIA DE CÁLCULO – INTERACCIÓN VÍA ESTRUCTURA” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0021-R0)
- “MEMORIA DE CÁLCULO – DISEÑO DE APARATOS DE APOYO LRB Y JUNTA ENTRE TABLEROS DE VIADUCTO ESTÁNDAR” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q- 0022-R0)
- “MEMORIA DE CÁLCULO – LLAVES DE CORTANTE TRANSVERSALES ENTRE PLINTOS DE VÍA” DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q- 0023-R0)
- “MEMORIA DE CÁLCULO – VIADUCTO ESPECIAL CANAL FUCHA 70-70m – FLEXIÓN LONGITUDINAL TABLERO Y DISEÑO SUBESTRUCTURA” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0024-R0)
- “MEMORIA DE CÁLCULO – VIADUCTO ESPECIAL CONTINUO DE 3 VANOS CON LUZ MÁX. 55M CURVO – FLEXIÓN LONGITUDINAL TABLERO Y DISEÑO SUBESTRUCTURA” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q-0025-R0)
- “MEMORIA DE CALCULO – SUPERSTRUCTURA DE VIA FÉRREA – VÍA SOBRE VIGAS” (DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-MCA-Q- 0026-R0)

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

A continuación, se presenta el listado de planos asociados a los diseños de las estructuras previamente mencionadas.

Tabla 28. Relación de Planos Estructuras de Viaductos.  
Fuente: DOCUMENTO N° ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0000-R0

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

TÍTULO	CODIFICACIÓN
Estructura Viaducto - Índice de planos - Hoja 1	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0000
Estructura Viaducto - Índice de planos - Hoja 2	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0001
Estructura Viaducto - Notas generales	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0005
Estructura Viaducto - Sección funcional dovela tipo - Alineación recta o curva R≥900 m	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0010
Estructura Viaducto - Sección funcional dovela de pila - Alineación recta o curva R≥900 m	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0011
Estructura Viaducto - Sección funcional dovela tipo - Alineación curva Rs300 m	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0012
Estructura Viaducto - Sección funcional dovela de pila - Alineación curva Rs300 m	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0013
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Tablero - Definición general - Alineación recta o curva R≥900 m	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0014
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Tablero - Secciones tipo - Alineación recta o curva R≥900 m	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0015
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Tablero - Definición general - Alineación curva Rs300 m	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0016
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Tablero - Secciones tipo - Alineación curva Rs300 m	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0017
Estructura Viaducto - Viaducto especial: Módulo continuo de 2 vanos - Definición general 1	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0018
Estructura Viaducto - Viaducto especial: Módulo continuo de 2 vanos - Definición general 2	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0019
Estructura Viaducto - Viaducto especial: Módulo continuo de 2 vanos - Secciones tipo	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0020
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Pila tipo - Definición general - Alineación recta o curva R≥900 m	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0021
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Pila tipo - Definición general - Alineación recta o curva Rs300 m	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0022
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Pila tipo - Vista en perspectiva 3D	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0023
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Pórtico Ls18 m - Definición general	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0024
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Pórtico 18<Ls125 m - Definición general	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0025
Estructura Viaducto - Viaducto especial: Módulo continuo de 2 vanos - Pila central	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0026
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Pila con capitel excéntrico - Definición general	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0027
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Drenaje - Concepto - Hoja 1	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0028
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Drenaje - Concepto - Hoja 2	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0029
Estructura Viaducto - Viaducto especial: Módulo continuo de 3 vanos 60-100-60 m - Definición general - Hoja 1	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0030
Estructura Viaducto - Viaducto especial: Módulo continuo de 3 vanos 60-100-60 m - Definición general - Hoja 2	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0031
Estructura Viaducto - Viaducto especial: Módulo continuo de 3 vanos 60-100-60 m - Definición general - Hoja 3	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0032
Estructura Viaducto - Viaducto especial: Módulo continuo de 3 vanos 60-100-60 m - Secciones funcionales	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0033
Estructura Viaducto - Viaducto especial: Módulo continuo de 3 vanos 60-100-60 m - Pila central	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0034
Estructura Viaducto - Viaducto especial: Módulo continuo de 3 vanos 60-100-60 m - Pila lateral	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0035
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Tablero - Alineación curva 300 m<R<900 m - Definición general	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0038
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Tablero - Alineación curva 300 m<R<900 m - Secciones tipo	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0039
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Procedimiento constructivo - Hoja 1	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0040
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Procedimiento constructivo - Hoja 2	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0041
Estructura Viaducto - Viaducto estándar: Procedimiento constructivo - Hoja 3	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0042
Estructura Viaducto - Viaducto especial: Módulo continuo de 2 vanos - Procedimiento Constructivo	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0043
Estructura Viaducto - Viaducto especial: Módulo continuo de 3 vanos 60-100-60m - Procedimiento constructivo Hoja 1	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0044
Estructura Viaducto - Viaducto especial: Módulo continuo de 3 vanos 60-100-60m - Procedimiento constructivo Hoja 2	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0045
Estructura Viaducto - Viaducto especial: Módulo continuo de 3 vanos 60-100-60m - Procedimiento constructivo Hoja 3	ETPLMB-ET06-L01-PLA-Q-0046

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

### 2.2.11.3.2 Línea 1 subterránea (estudio inicial)

- En el documento 202006-DF-RESEJEC-MEM-00-VF (4.4.4 Subsidiencias regionales en el área afectada por la PLMB) Se presentan datos preliminares de asentamientos debido al proceso constructivo de la línea subterránea.
- Se presentan recomendaciones de diseño para ejecución de análisis de Interacción Suelo Estructura (ISE)

Tabla 29. Recomendaciones de diseño para el análisis de interacción suelo-estructura..

Fuente: DOCUMENTO 202006-DF-RESEJEC-MEM-00-VF

Abscisa (m)	Tramo I		Abscisa (m)	Tramo II		Abscisa (m)	Tramo III		Abscisa (m)	Tramo IV	
	Desplazamiento de diseño (cm)			Desplazamiento de diseño (cm)			Desplazamiento de diseño (cm)			Desplazamiento de diseño (cm)	
	Máximo	NSR10		Máximo	NSR10		Máximo	NSR10		Máximo	NSR10
0	6.7	3.4	7000	5.4	2.7	14500	7.7	3.8	20500	3.8	1.9
500	6.8	3.4	7500	6.4	3.2	15000	7.0	3.5	21000	3.6	1.8
1000	6.4	3.2	8000	7.2	3.6	15500	5.9	3.0	21500	3.3	1.7
1500	5.8	2.9	8500	7.9	3.9	16000	4.8	2.4	22000	3.2	1.6
2000	5.0	2.5	9000	8.1	4.0	16500	3.7	1.8	22500	3.1	1.5
2500	4.2	2.1	9500	6.8	3.4	17000	2.8	1.4	23000	3.1	1.5
3000	3.5	1.7	10000	5.3	2.6	17500	2.3	1.2	23500	3.3	1.6
3500	2.9	1.4	10500	4.8	2.4	18000	2.7	1.4	24000	3.6	1.8
4000	2.5	1.3	11000	5.0	2.5	18500	4.2	2.1	24500	4.0	2.0
4500	2.5	1.2	11500	5.6	2.8	19000	4.1	2.1	25000	4.6	2.3
5000	2.6	1.3	12000	6.4	3.2	19500	4.2	2.1	25500	5.4	2.7
5500	3.0	1.5	12500	7.2	3.6	20000	4.1	2.0	26000	6.2	3.1
6000	3.7	1.8	13000	7.8	3.9				26500	7.1	3.5
6500	4.5	2.3	13500	8.1	4.1				27000	7.9	4.0
			14000	8.1	4.0				27200	8.3	4.1

- Superestructura:
  - Tendido de vía en Túnel
    - Apoyo de vía en losa de concreto.
    - Bloques de concreto recubiertos de material elastomérico embebidos en concreto de la placa principal

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

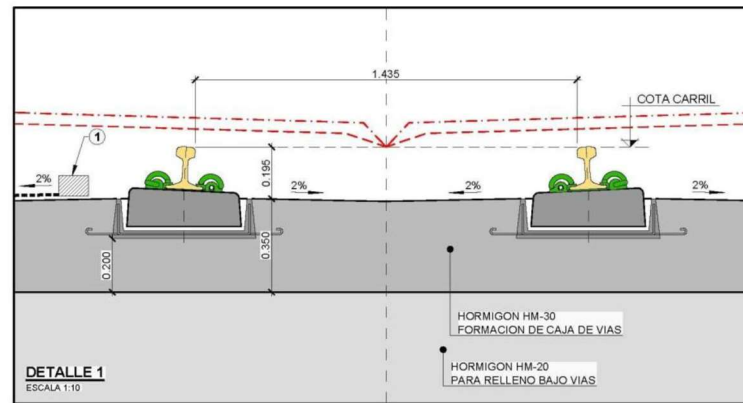
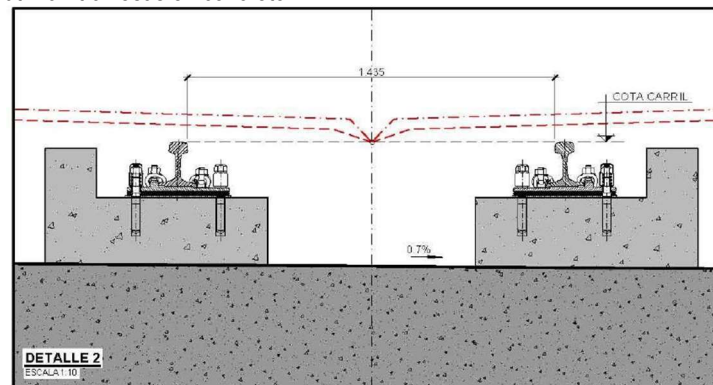


Figura 8. Tendido de vía. Bloques Embebidos.  
Fuente: DOCUMENTO 202006-DF-RESEJEC-MEM-00-VF

- Tendido de vía en Túnel
  - Fijación directa del riel sobre la placa principal.
  - No se utilizan traviesas en concreto.





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 9. Tendido de vía. Placas de fijación directa sobre plinto.  
Fuente: DOCUMENTO 202006-DF-RESEJEC-MEM-00-VF

- **Estructuras.**

En el Producto 07-Estructuras y Producto 32-Proyecto de Estructuras de Ramal Técnico, se describe la intervención sobre los siguientes tipos de estructuras:

- **Puentes Peatonales existentes.**

Tabla 30. Puentes Peatonales existentes afectados por la PLMB..  
Fuente: DOCUMENTO 202006-DF-RESEJEC-MEM-00-VF

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

TRAMO	REFERENCIA	PK	SITUACION	ACTUACION
TRAMO 1	P1	1+275	Avda. Ciudad de Cali	Desmontaje y almacenamiento. Sustitución por pasos inferiores de los accesos a la estación y paso peatonal a nivel semaforizado en Avda. Ciudad de Villavicencio
	P2	4+447	Avda. Primero de Mayo	Demolición y sustitución por paso peatonal a nivel semaforizado
	P3	5+550	Avda. Kra. 72. Boyacá	Demolición y sustitución por pasos inferiores de los accesos a la estación y paso peatonal a nivel semaforizado
	P4	5+874	Avda. Primero de Mayo	Se mantiene la pasarela. Tratamiento de la cimentación de pila central
TRAMO 2	P5	0+150	Avda. Primero de Mayo	Se mantiene la pasarela. Tratamiento de la cimentación de pila central y el estribo sur
	P6	0+719	Avda. Primero de Mayo	Demolición y sustitución por paso peatonal a nivel semaforizado en cruce con Kra. 52B
	P7	1+348	Avda. Primero de Mayo	Se mantiene la pasarela. Tratamiento de la cimentación de pila central
	P8	2+090	Avda. Primero de Mayo. Río Albina	Se mantiene la pasarela. Tratamiento de la cimentación de pila central
	P9	3+114	Avda. Ciudad de Quito, NQS. Kra. 30	Se mantiene la pasarela. Tratamiento de la cimentación de pila central. Desmontaje y traslado y acopio de rampa de conexión con TransMilenio
TRAMO 4	P10	4+060	Kra. 11	Se mantiene la pasarela. No afectada
	P11	4+714	Kra. 9. Río Molinos	Se mantiene la pasarela
	P12	6+013	Kra. 9 con Calle 123	Se desmontan y reponen dos vanos afectados
	P13	6+724	Calle 127. Río Callejas	Se mantiene la pasarela. Tratamiento de la cimentación

Tabla 32.- Puentes peatonales existentes afectados por la PLMB

En el Informe 202006-DF-PR07-ANX13-MEM-01-VF se presenta la descripción detallada de la intervención a cada uno de los Puentes Peatonales afectados. Se incluyen los cálculos para los recalces de la cimentación de puentes peatonales. Los Planos de Recalces son presentados en el Documento 202006-DF-PR07-ANX13-PLA-01-VF

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

- **Estructuras sobre la Calle 127**

Las intervenciones en las estructuras localizadas sobre la Calle 127, se describen en el Documento 202006-DF-PR07-ANX13-MEM-03-VF. En este documento se presentan las Memorias de Cálculo Estructural y planos constructivos para las intervenciones propuestas. Se relacionan las siguientes intervenciones:

- **Paso bajo estructura Carrera 11.**

Debido al trazado de la Línea 1, la cimentación de las pilas 5 y 6 del puente de la carrera 11 se ven afectadas. Se propone la construcción de un sistema adicional de cimentación para garantizar la estabilidad del Puente. Los planos asociados a esta intervención, se presentan en el Documento: 202006-DF-PR07-ANX13-PLA-03-VF.

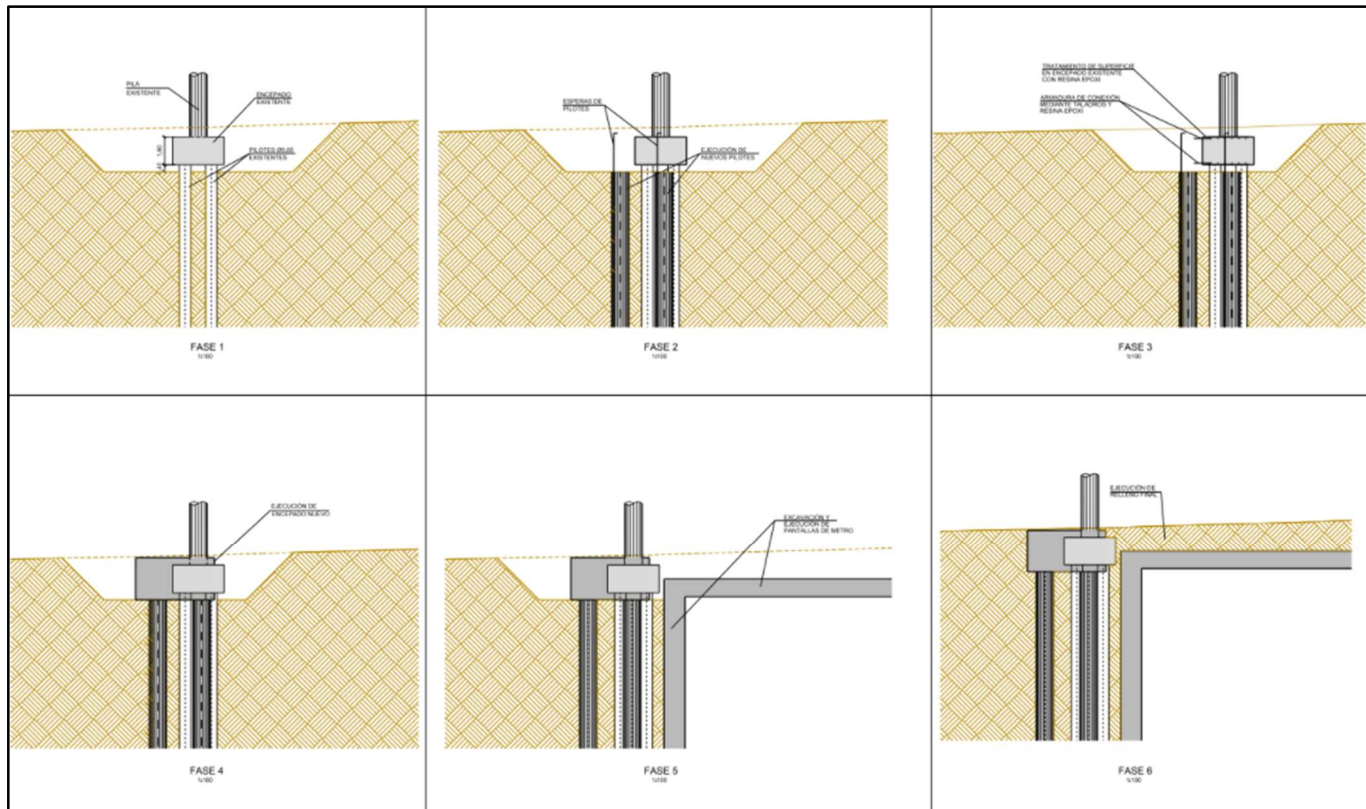


Figura 10. Proceso Constructivo Propuesto. Paso bajo estructura Carrera 11  
Fuente: Documento 202006-DF-PR07-ANX13-PLA-03-VF.

- **Cruce bajo la estructura Sur de la Calle 127.**

Se presentan afectación a dos pilas de la estructura existente. Se plantea la sustitución de las 2 pilas afectadas para evitar transmisión de cargas a la infraestructura L1MB. Los planos asociados a esta intervención se presentan en el Documento: 202006-DF-PR07-ANX13-PLA-04-VF

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

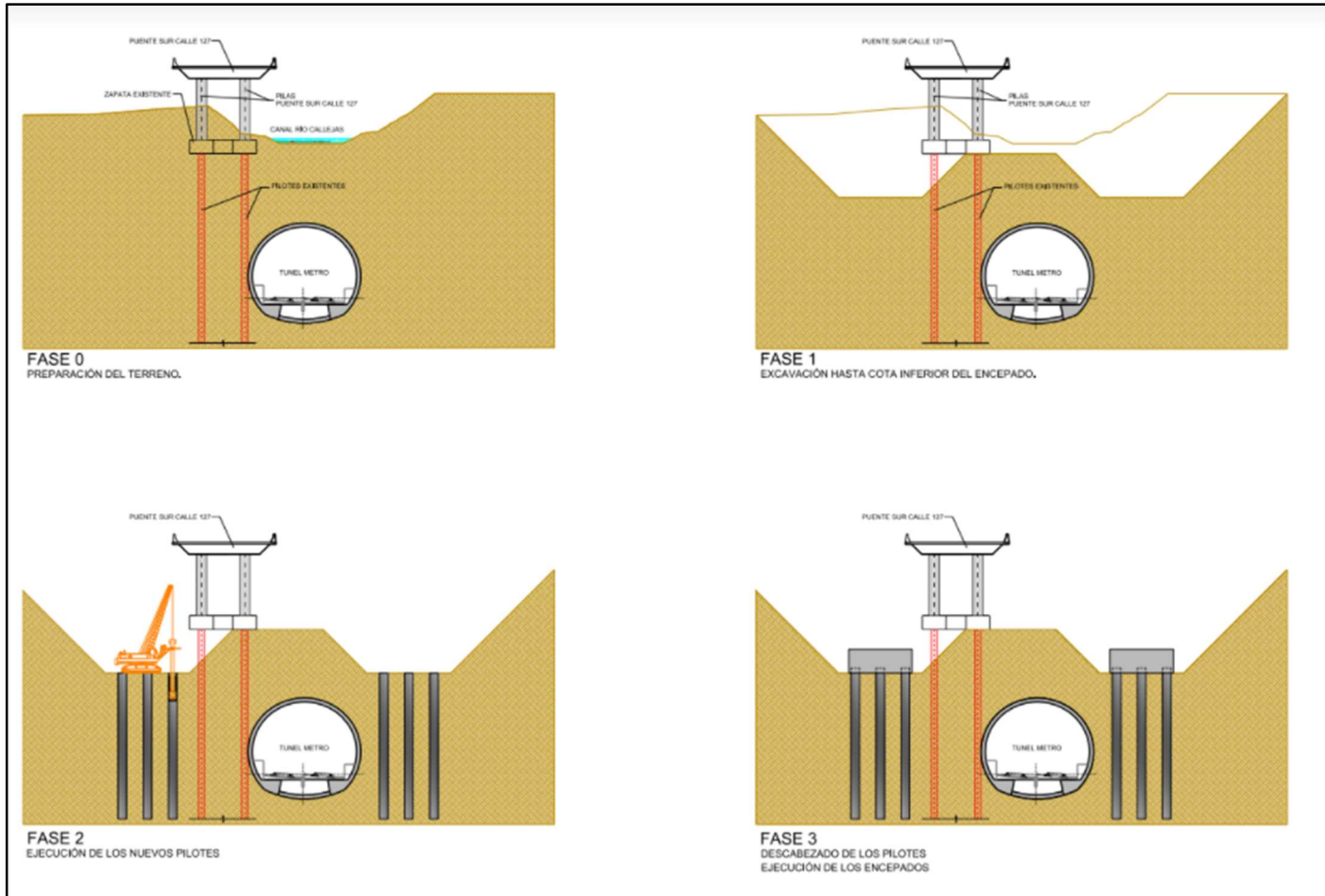


Figura 11. Proceso Constructivo Propuesto. Paso bajo estructura sur de la Calle 127  
Fuente: Documento 202006-DF-PR07-ANX13-PLA-04-VF.

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

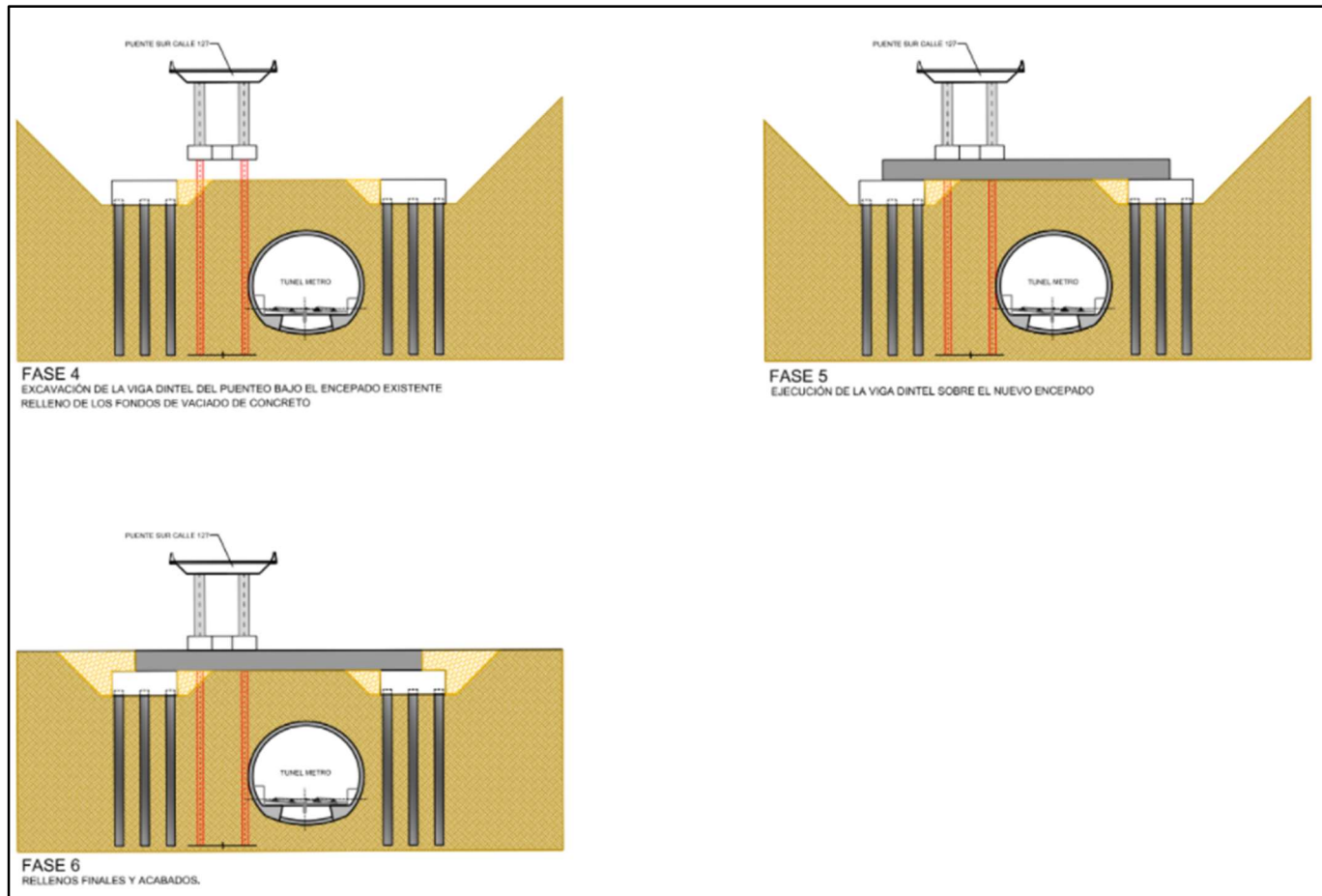


Figura 12. Proceso Constructivo Propuesto. Paso bajo estructura sur de la Calle 127  
Fuente: Documento 202006-DF-PR07-ANX13-PLA-04-VF.

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

- **Cruce bajo la estructura Norte de la Calle 127**

Se contempla afectación sobre los muros-aletas de la estructura existente y de la losa superior. Estos se deberán demoler antes de la ejecución del túnel entre pantallas y serán reconstruidos una vez el túnel sea construido. No se presentan Planos para esta intervención.

- **Parqueadero del Parque del Tercer Milenio.**

Se proyecta afectación del parqueadero subterráneo que funciona en el Parque del Tercer Milenio junto con una subestación eléctrica y un sistema de cargue de vehículos eléctricos. Se proyectan las siguientes actividades:

- Traslado de la subestación eléctrica y del sistema de cargue de vehículos eléctricos a su nueva ubicación.
- Construcción del cuarto de la subestación eléctrica
- Construcción de un muro de 0,25 m de espesor
- Excavación hasta el nivel superior de la cubierta
- Demolición de la cubierta, columnas y muros laterales
- Demolición de la losa de contrapiso, incluido vigas de amarre y dados de pilote
- Relleno de material seleccionado y compactado

En el Documento 202006-DF-PR07-ANX13-MEM-04-VF se presenta la descripción del proceso constructivo para la intervención de esta estructura. Los planos asociados a esta intervención se presentan en el Documento: 202006-DF-PR07-ANX13-PLA-05-VF

- **Box Culvert**

Se proyecta afectación de las siguientes estructuras tipo box culvert:

- Box Culvert río Negro. Una celda de 2,00 m de luz libre por 1,75 m de altura libre. Placas de concreto de 0,25 m de espesor.
- Box Culvert Av. Santa Fe. Una celda de 3,00 m de luz libre por 2,95 m de altura libre. Placas de concreto de 0,40 m de espesor.

En el Documento 202006-DF-PR07-ANX13-MEM-05-VF se presenta la Memoria de Cálculo Estructural para los nuevos box culvert.

En el Documento 202006-DF-PR07-ANX13-PLA-06-VF se presentan los planos, con detalles estructurales, asociados a esta intervención.

- **Estructuras del Ramal Técnico**

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 presenta el análisis y diseño estructural para la ingeniería básica del viaducto de la vía férrea doble - triple para el ramal técnico de la PLMB, localizados desde la estación Portal de Las Américas hasta el patio taller que se ubicará en la zona denominada Bosa 37.

- Superestructura

  - Tablero de Placa Maciza con refuerzo principal perpendicular al tráfico
  - Vigas Cajón de Concreto Pre-esforzado.
  - Vigas Cabezal sobre Pilas en concreto.

- Subestructura

  - Dados en concreto reforzado
  - Pilotes profundos.

Las Memorias de Cálculo estructural se presentan en el Documento: 202006-DF-PR32-ANX13-MEM-00-VF y 202006-DF-PR32-ANX13-MEM-01-VF

Los Planos Estructurales de la Ingeniería Básica se presentan en el Documento: 202006-DF-PR32-ANX13-PLA-6.6-000-VF



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

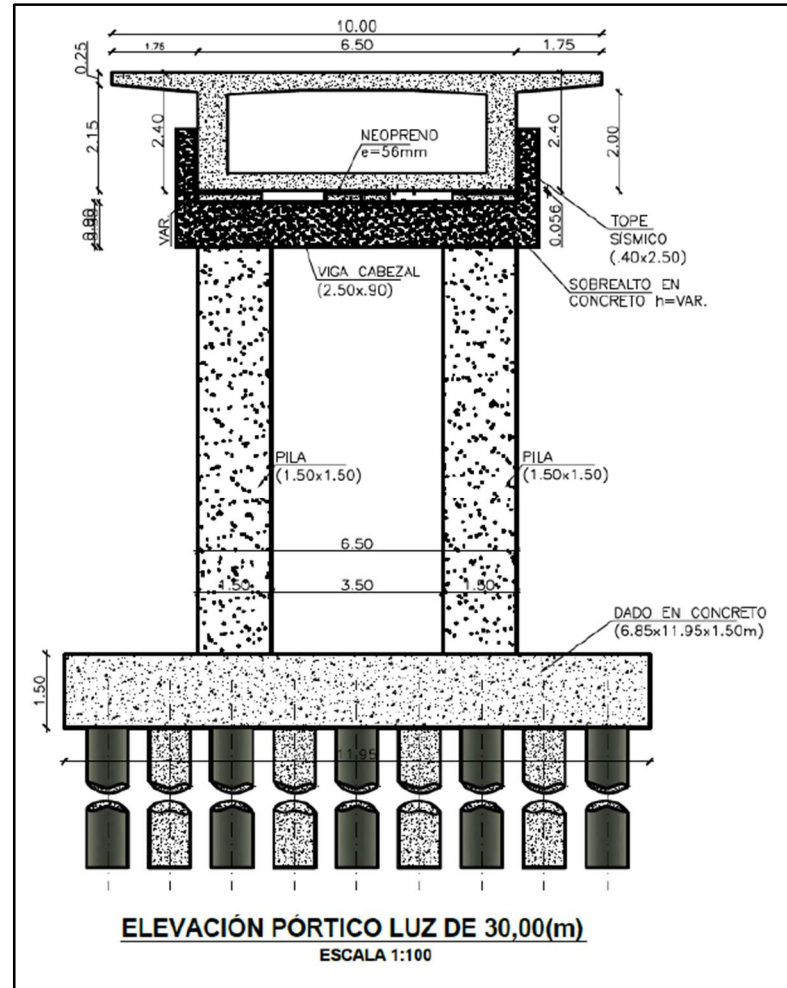


Figura 13. Sección Estructural tipo para viaducto con dos carriles y luz de 30 m

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

Fuente: Documento 202006-DF-PR32-ANX13-PLA-6.6-000-VF

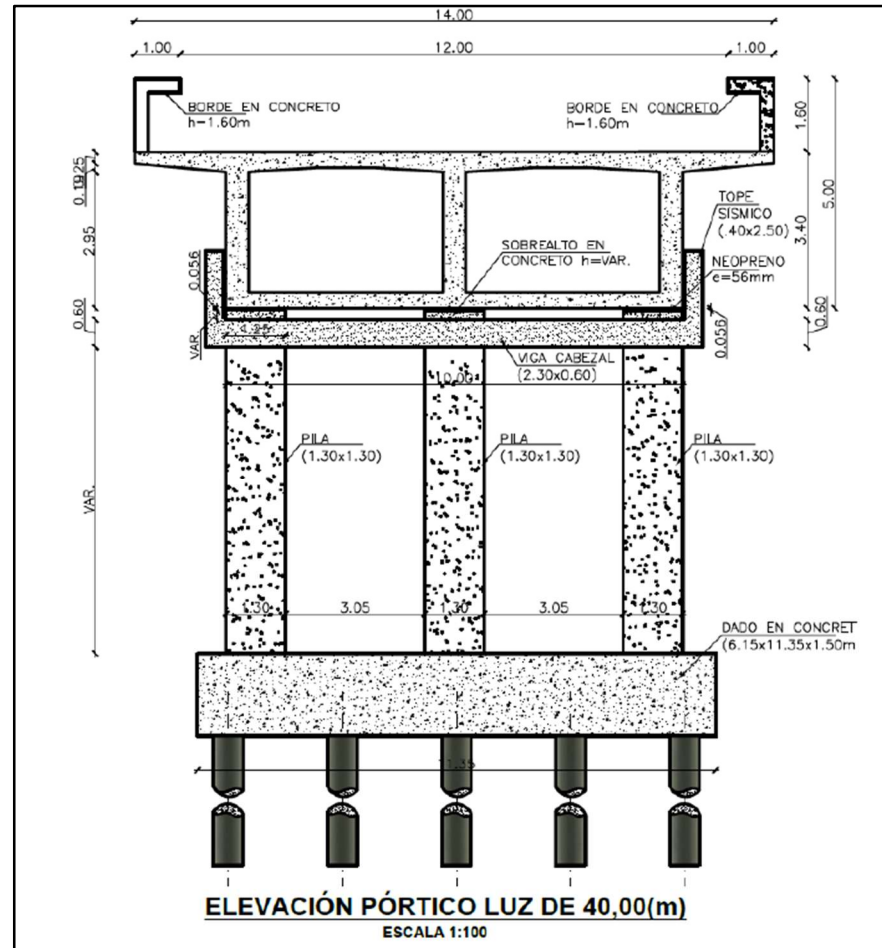


Figura 14. Sección Estructural tipo para viaducto con tres carriles y luz de 40 m  
Fuente: Documento 202006-DF-PR32-ANX13-PLA-6.6-000-VF

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

Sección transversal para el viaducto del Ramal Técnico en función de la luz y el número de carriles.

- **Túnel**

- Dovelas en Túnel: Espesor 38 cm

- **Túnel entre Pantallas.**

En el documento 202006-DF-PR04-ANX14-MEM-05-VF se presenta la memoria técnica para el túnel entre pantallas. Se presenta predimensionamiento de espesor de pantallas y losa pero no se evidencia cálculo de acero de refuerzo para estos elementos.

- **Sección Tipo A**

Espesor de Pantalla de 1,20 m

Espesor Losa Superior: 1,00 m

Espesor Losa intermedia: 0,95 m

Espesor Losa Inferior: 1,20 m

Jet Grouting bajo losa inferior.

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

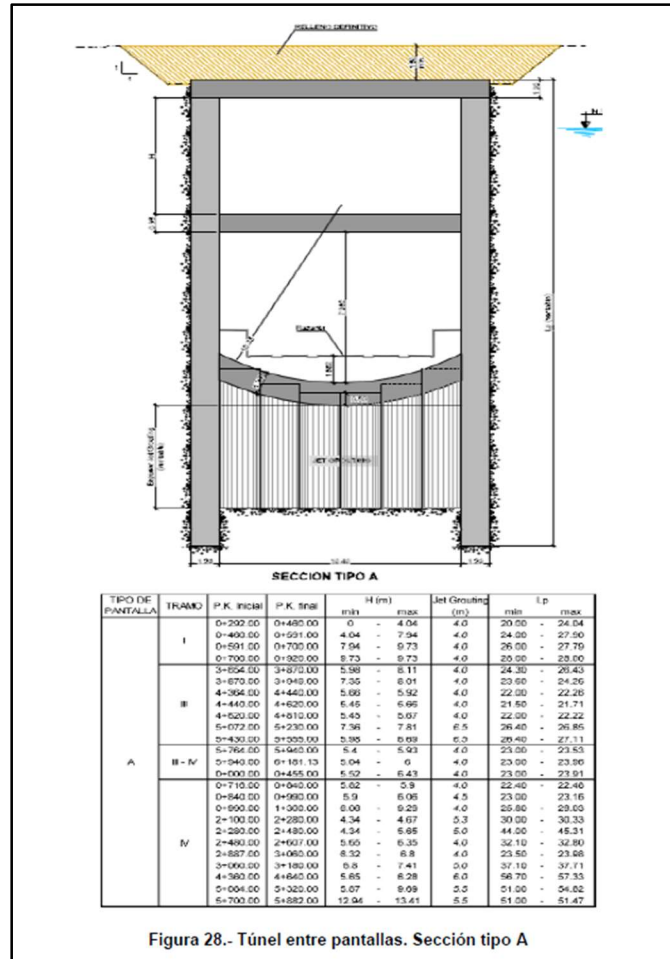


Figura 28.- Túnel entre pantallas. Sección tipo A

Figura 15. Túnel entre pantallas. Sección Tipo A  
Fuente: Documento 202006-DF-PR04-ANX14-MEM-05-VF

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

- **Sección Tipo B**

Requiere la instalación de una fila de puntales temporales durante la construcción para limitar desplazamientos.

Espesor de Pantalla de 1,20 m  
Espesor Losa Superior: 1,00 m  
Espesor Losa intermedia: 0,95 m  
Espesor Losa Inferior: 1,20 m  
Jet Grouting bajo losa inferior.

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

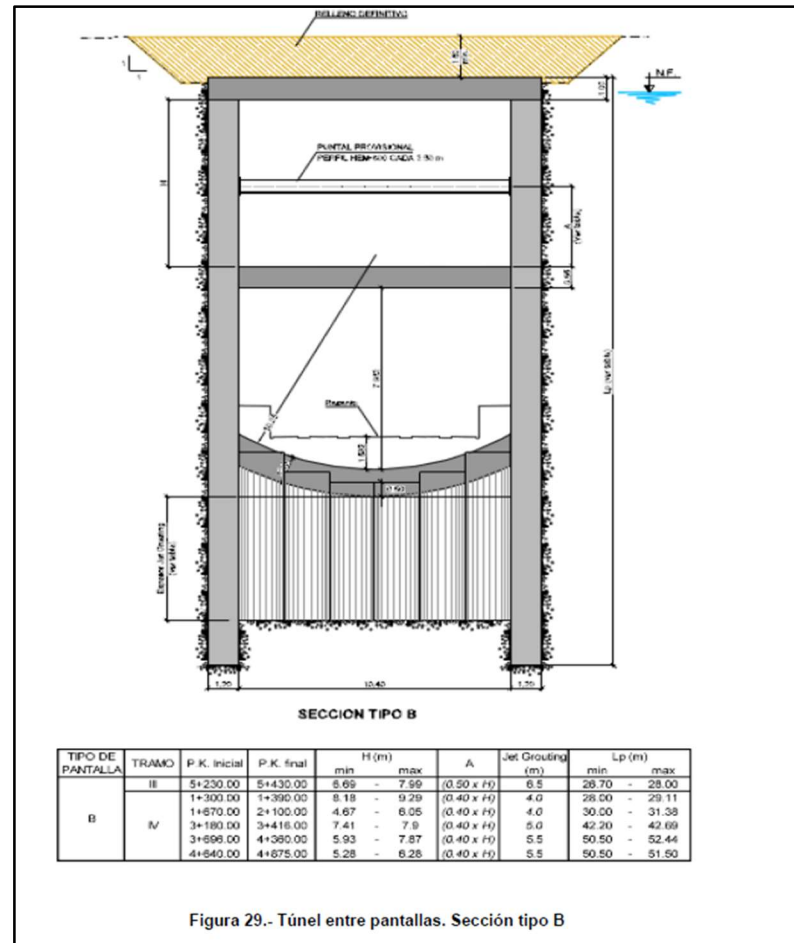


Figura 29.- Túnel entre pantallas. Sección tipo B

Figura 16. Túnel entre pantallas. Sección Tipo B  
Fuente: Documento 202006-DF-PR04-ANX14-MEM-05-VF

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

- **Sección Tipo C**

Requiere la instalación de dos filas de puntales temporales durante la construcción para limitar desplazamientos.

Espesor de Pantalla de 1,20 m  
Espesor Losa Superior: 1,00 m  
Espesor Losa intermedia: 0,95 m  
Espesor Losa Inferior: 1,20 m  
Jet Grouting bajo losa inferior.

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

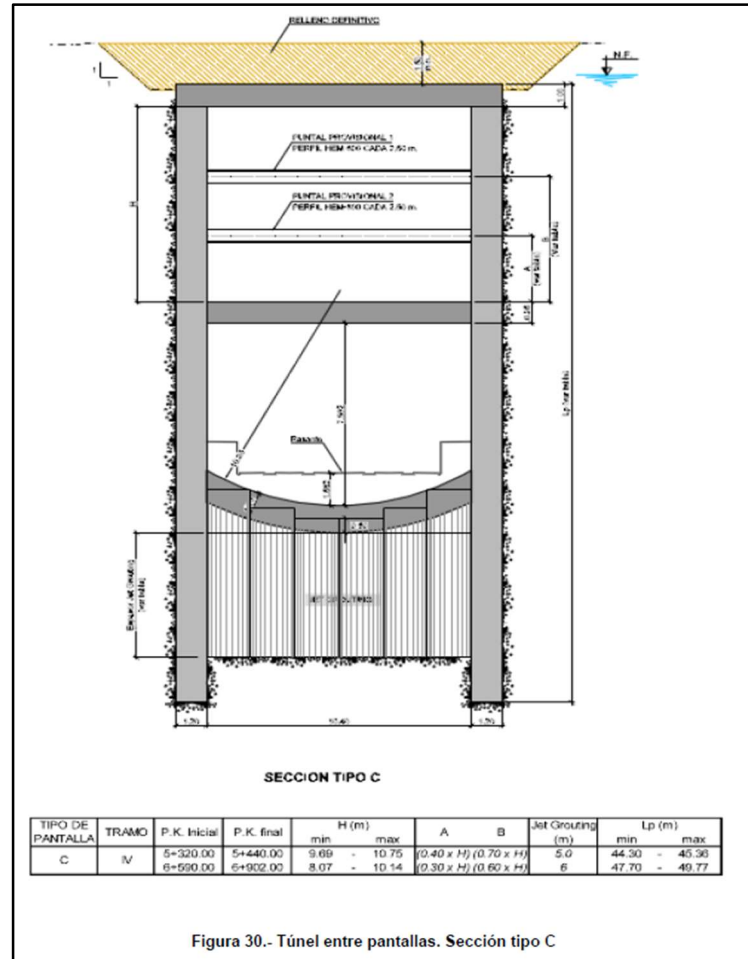


Figura 30.- Túnel entre pantallas. Sección tipo C

Figura 17. Túnel entre pantallas. Sección Tipo C  
Fuente: Documento 202006-DF-PR04-ANX14-MEM-05-VF



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

- **Sección Tipo D**

Similar a la Sección Tipo C pero con mayor espesor de Jet Grouting.

Espesor de Pantalla de 1,20 m  
Espesor Losa Superior: 1,00 m  
Espesor Losa intermedia: 0,95 m  
Espesor Losa Inferior: 1,20 m  
Jet Grouting bajo losa inferior.

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

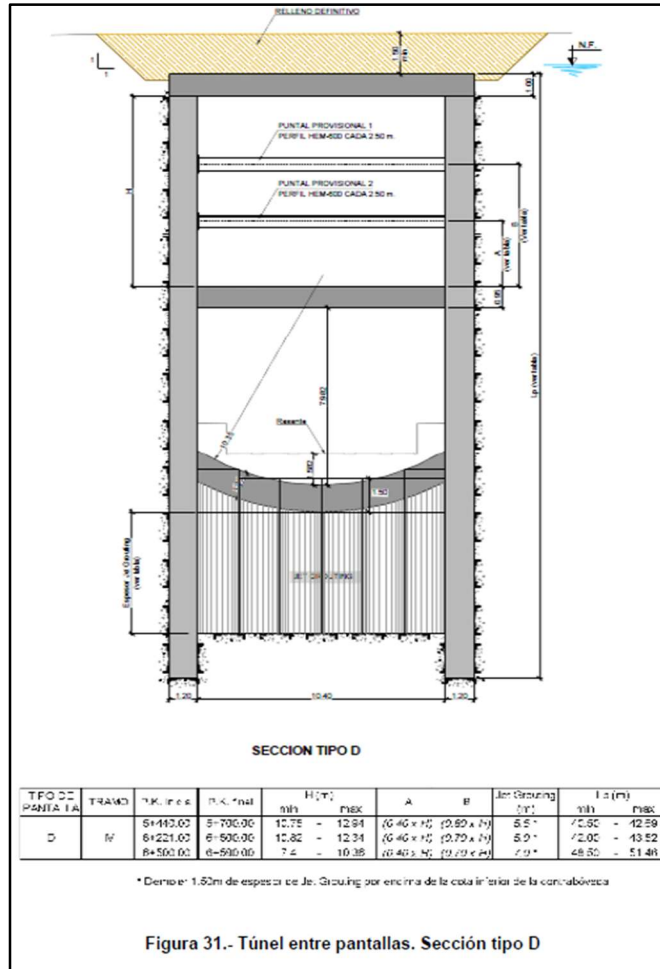


Figura 18. Túnel entre pantallas. Sección Tipo D  
Fuente: Documento 202006-DF-PR04-ANX14-MEM-05-VF

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

- **Sección Tipo E**

Sistema de pantallas en voladizo que sobresale del nivel del terreno para evitar inundaciones. Sección aplicada al comienzo de la zona de rampa.

Espesor de Pantalla de 1,20 m

Espesor Losa Inferior: 1,20 m

Jet Grouting bajo losa inferior.

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

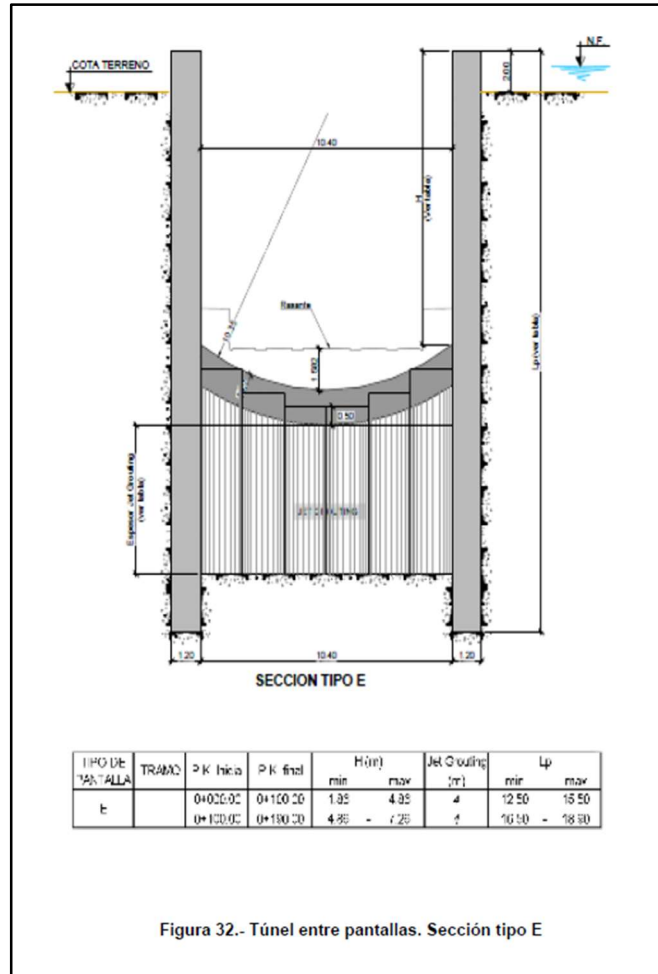


Figura 19. Túnel entre pantallas. Sección Tipo E  
Fuente: Documento 202006-DF-PR04-ANX14-MEM-05-VF

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

- **Sección Tipo F**

Sección aplicada a medida que se profundiza la rampa y hay gálibo suficiente para la construcción de una losa intermedia.

Espesor de Pantalla de 1,20 m  
 Espesor Losa intermedia: 0,95 m  
 Espesor Losa Inferior: 1,20 m  
 Jet Grouting bajo losa inferior.

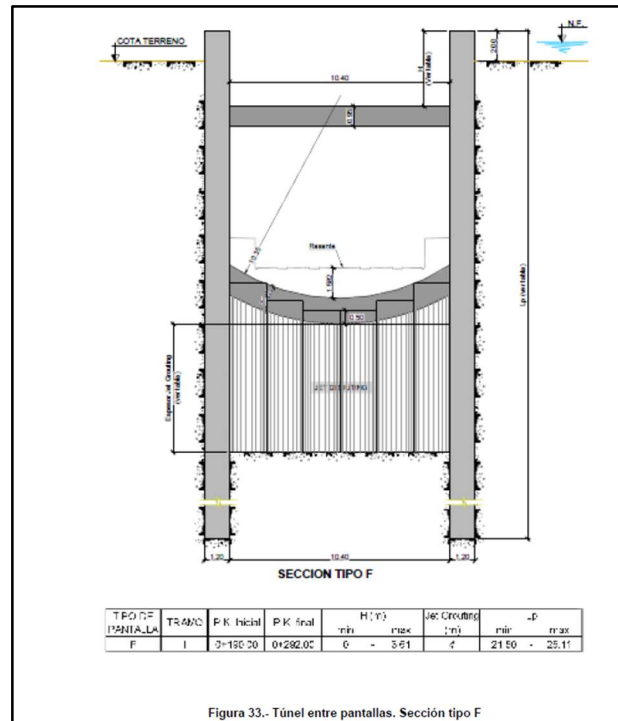


Figura 33.- Túnel entre pantallas. Sección tipo F

Figura 20. Túnel entre pantallas. Sección Tipo F  
 Fuente: Documento 202006-DF-PR04-ANX14-MEM-05-VF

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

#### 2.2.11.4 BENCHMARK (experiencias internacionales)

##### 2.2.11.4.1 Línea 2A del Metro de Ciudad de Panamá-Panamá.

La información que se presenta a continuación es tomada del documento: “Estudio de Factibilidad de la Línea 2A del Metro de Panamá” realizado por SYSTRA para la empresa Metro de Panamá.

- **Estructura de soporte del Túnel.**

En los estudios para la Línea 2A del Metro de Ciudad de Panamá, se proyecta la construcción de un túnel de 10 m de diámetro. Se plantea una estructura de soporte del túnel conformada por dovelas de concreto prefabricadas con espesor de 35 cm. Ver Figura 21. Los materiales a implementar presentan las siguientes características:

#### **Concreto**

$f_c \geq 45$  MPa

Relación A/C  $\leq 0,55$

#### **Acero de refuerzo**

100 kg/m<sup>3</sup>

#### **Fibras de Acero**

40 kg/m<sup>3</sup>

En la Tabla 31 se presentan las cantidades de material establecidas para la construcción de las dovelas que conformarán la estructura de soporte del túnel.

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

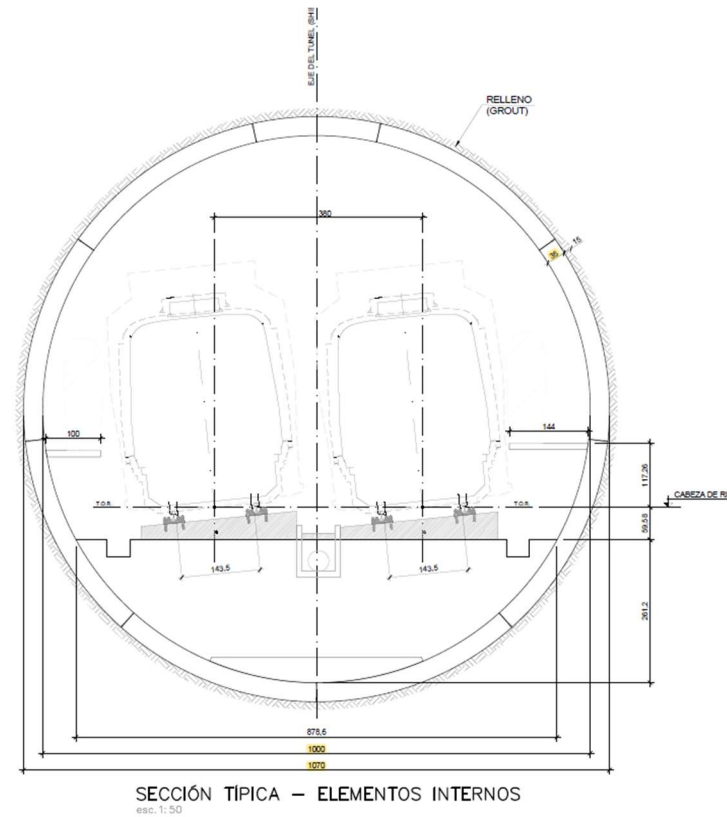


Figura 21. Estructura de soporte del Túnel.

Fuente: Plano: DE-2-00-00-00-4G3-002- Estudio de Factibilidad de la Línea 2A del Metro de Panamá-SYSTR.

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 31. Cantidad de material por cada metro de dovela.  
Fuente: Plano: DE-2-00-00-00-4G3-002- Estudio de Factibilidad de la Línea 2A del Metro de Panamá-SYSTRÁ.

TABLA DE CANTIDADES POR 1m DE ANILLO				
SEGMIENTOS	VOLUMEN DE HORMIGÓN (m³)	CONSUMO DE FIBRAS (kg)	CONSUMO DE ACERO (kg)	GROUT (m³)
1 A 9	17,04	680	2047	5,11

- **Pozos**

En la Figura 22 y Figura 23 se presentan las características del pozo denominado “Pozo 2”.

El sistema de contención implementado para la construcción del pozo fue el de pilotes secantes.

Diámetro de los pilotes: 1,20 m.  
Separación radial: 1,05 m  
Módulo de elasticidad: 30 GPa  
Poisson: 0,20.

En la Figura 24 se presenta el modelo matemático realizado para el diseño del pozo.



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

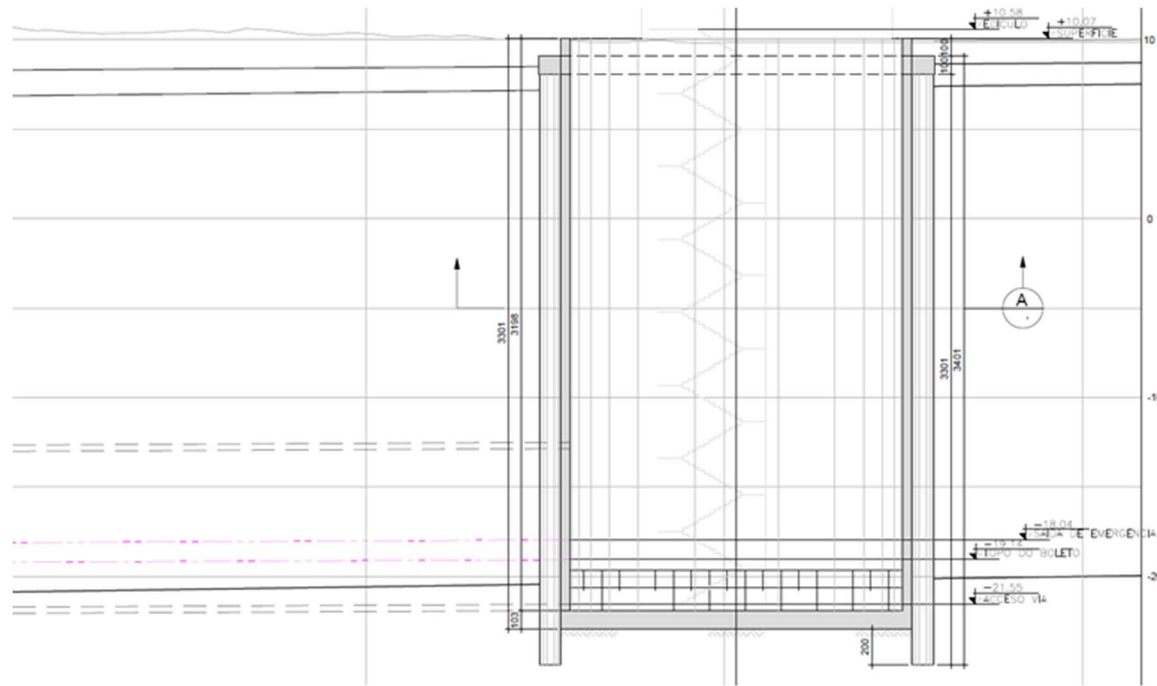


Figura 22. Perfil del Pozo 2.

Fuente: Documento: Estudio de Factibilidad de la Línea 2A del Metro de Panamá-SYSTR.

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

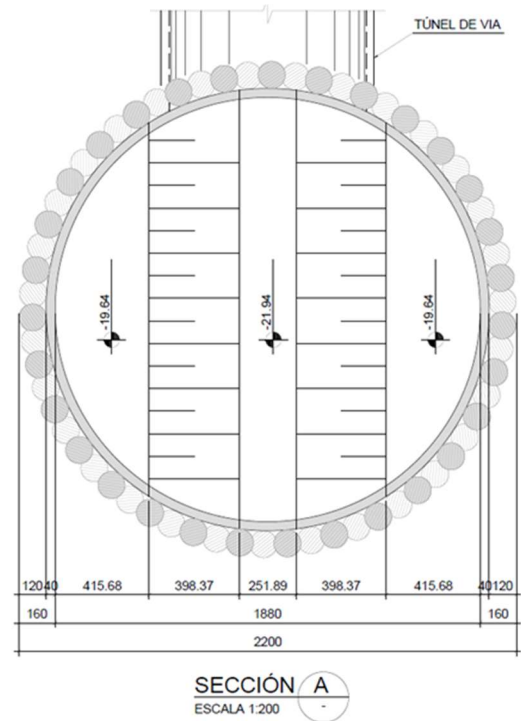


Figura 23. Sección A-A. Pozo 2.

Fuente: Documento: Estudio de Factibilidad de la Línea 2A del Metro de Panamá-SYSTR.

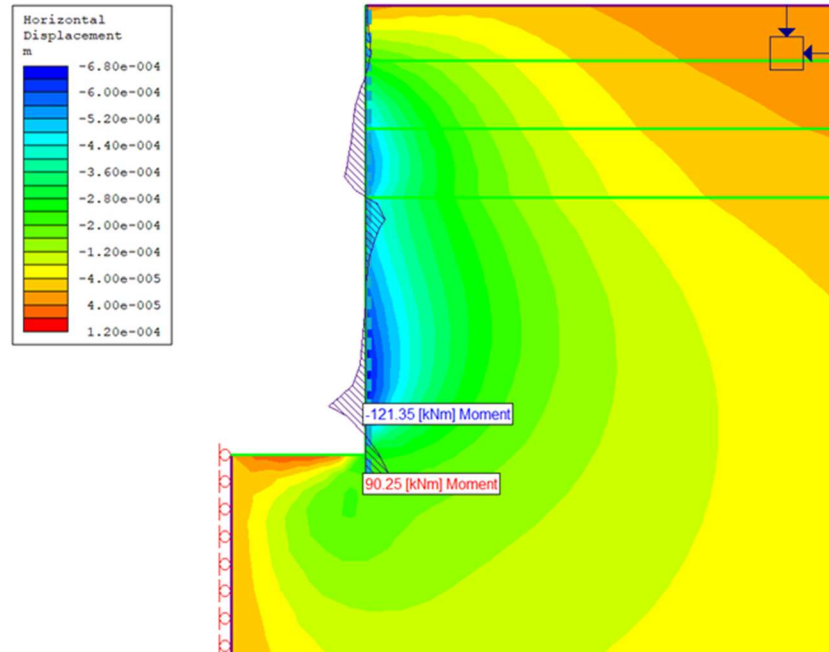


Figura 24. Modelo matemático para el análisis del Pozo 2.

Fuente: Documento: Estudio de Factibilidad de la Línea 2A del Metro de Panamá-SYSTR.

#### 2.2.11.4.2 Viaducto Línea 2 del Metro de Ciudad de Panamá-Panamá.

La construcción de la línea 2 del metro de Ciudad de Panamá se inició en 2016. Esta línea presenta una longitud total de 23 km de vía elevada. El viaducto implicó la construcción de 840 pilotes con diámetros de 2,5 m y profundidades entre 20 m y 25 m. Se construyeron 840 pilas de 24 m de altura y una separación de 25 m. Se construyeron vigas en U de 5 m de ancho y longitudes entre 20 a 30 m. (Fuente: <https://www.elmetrodepanama.com/inicia-construccion-del-viaducto-de-la-linea-2/>)

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



Fotografía 5. Avance en la construcción del viaducto. Línea 2 Metro de Ciudad de Panamá.  
<https://elcapitalfinanciero.com/linea-2-del-metro-de-panama-registra-40-de-avance/>

#### 2.2.11.4.3 Tramo del Túnel Eurasia

Para la construcción de un segmento del Túnel Eurasia en Estambul-Turquía, se implementó el método constructivo “cut&cover”. Este segmento de túnel tiene dimensiones de 168 m de longitud y 35 m de profundidad con anchos variables. Como soporte lateral de la excavación se implementó un sistema de dos filas de pilas secantes. En la Fotografía 1 se observa la estructura de contención lateral implementada para la construcción del segmento de túnel.

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



Fotografía 1. Tramo del Túnel Eurasia-Sistema “Cut&Cover”  
Fuente: <https://www.wsp.com/en-CA/services/cut-and-cover-tunnelling>

#### 2.2.11.4.4 Extensión de la línea ferroviaria-Terrasa -España.

Este proyecto tuvo como objetivo ampliar la capacidad de tráfico de pasajeros en la ciudad. Como parte de este proyecto se construyó un túnel mediante el sistema “Cut&Cover” con una sección de 14 m de ancho y 17 m de profundidad. En la Fotografía 2 se observan los sistemas de apuntalamiento en concreto construidos para garantizar la estabilidad del túnel y sobre los cuales se construirán las losas intermedias.

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



Fotografía 2. Tramo túnel en Terrasa-España-Sistema “Cut&Cover”  
<https://www.ulmaconstruction.com/en/projects/tunnels/tunnel-extension-terrassa-spain>

#### 2.2.11.4.5 Viaducto Línea 3 del Metro de Monterrey-México

El proyecto Línea 3 del Metro de Monterrey se diseñó para movilizar alrededor de 116000 pasajeros diarios. Este proyecto contempló la construcción de 7,5 km de viaducto.

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



Fotografía 3. Construcción pilas viaducto. Línea 3 Metro de Monterrey.  
<http://calledecadente.blogspot.com/2015/07/metro-linea-3-monterrey.html>



Fotografía 4. Avance en la construcción del viaducto. Línea 3 Metro de Monterrey.  
<https://www.construccionlatinoamericana.com/news/linea-3-del-metro-monterrey-con-92-de-avance/4133513.article>

#### 2.2.11.4.6 Revisión bibliográfica

Se realiza revisión de artículos científicos relacionados con el comportamiento de estructuras que conforman sistemas subterráneos para líneas férreas.

- **The influence of interfacial joints on the structural behavior of segmental tunnel rings subjected to ground pressure** (Jiao-Long Zhang, Thomas Schlappal, Yong Yuan, Herbert A. Mang, Bernhard Pichler; Tunnelling and Underground Space Technology; 2019)

Los investigadores determinaron la influencia de las interfases de los segmentos que conforman los anillos de recubrimiento de túneles en el comportamiento general de sección debido a la presión del suelo. La investigación se realizó mediante simulaciones estructurales combinadas con soluciones analíticas de la teoría lineal de arcos circulares. Para la investigación se tuvo en cuenta el efecto de fluencia del concreto en el tiempo (creep). Para validar los datos de la modelación, se realiza una prueba de carga en un anillo de túnel a escala real. Los investigadores determinaron los siguientes resultados como relevantes para investigación:

- El efecto de creep en el concreto se traduce en mayores desplazamientos estructurales.
- Los pernos localizados en la interfaz de los segmentos de recubrimiento mejoran la capacidad de servicio de los anillos debido a que aseguran la estabilidad de la posición del revestimiento.
- La capacidad de carga de los anillos de túneles sometidos a presión del suelo se puede determinar, de manera confiable, a partir de la combinación de modelos de interfaz y soluciones analíticas basadas en la teoría lineal de arcos circulares delgados.

- **Seismic vulnerability assessment of rectangular cut-and-cover subway tunnels.** (Duy-Duan Nguyen, Duhee Park, Sadiq Shamsher, Van-Quang Nguyen, Tae-Hyung Lee; Tunnelling and Underground Space Technology; 2019)

Los investigadores generaron curvas de fragilidad en términos de la Aceleración Efectiva del Terreno (PGA), Velocidad Máxima del Terreno (PGV) y  $PGV / Vs_{30}$ , donde  $Vs_{30}$  corresponde a la velocidad de onda de corte promedio hasta 30 m de profundidad, para túneles construidos con el sistema Cut&Cover. Los resultados indican que las curvas de fragilidad son sensibles a las variaciones de los perfiles de sitio. Los investigadores también concluyeron que los túneles de caja múltiple son más susceptibles a daños que los túneles de caja sencilla debido a la mayor demanda sísmica que se presenta en los primeros.

- **Seismic fragility curves of shallow tunnels in alluvial deposits.** (S.A. Argyroudis, K.D. Pitilakis; Soil Dynamics and Earthquake Engineering; 2012)

Los investigadores realizaron un planteamiento numérico para la construcción de curvas de fragilidad en túneles de metro poco profundos sometidos a eventos sísmicos transversales. La metodología planteada le permitió a los investigadores obtener curvas de fragilidad considerando características como la geometría del túnel, propiedades de resistencia, sismo de entrada y propiedades del suelo. La investigación resalta la influencia de las condiciones locales del suelo.

- **Comparison of the structural behavior of reinforced concrete tunnel segments with steel fiber and synthetic fiber addition** (Xian Liu, Qihao Sun, Yong Yuan, Luc Taerwe; Tunnelling and Underground Space Technology; 2020)



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 investigación desarrolló un estudio experimental y teórico para determinar el comportamiento de segmentos de concreto reforzados, utilizados en la construcción de túneles, bajo la adición de fibras sintéticas y metálicas. Se evaluó si la adición de fibras en el concreto aporta resistencia mecánica o se limita al control de fisuración. Los investigadores determinaron que la adición de macrofibras aporta a la resistencia mecánica de la sección una vez se presenta la fisuración en la zona sometida a tensión.

- **Precast segments under TBM hydraulic jacks: Experimental investigation on the local splitting behavior**, (Giuseppe Tiberti, Antonio Conforti, Giovanni A. Plizzari; Tunnelling and Underground Space Technology; 2015)

La investigación busca determinar el comportamiento de los segmentos de concreto utilizados para el recubrimiento de túneles bajo las fuerzas de empuje de los gatos que conforman la máquina perforadora (TBM). Para realizar la investigación, se realizaron prismas de concreto, con y sin refuerzo de fibras, a los cuales se les aplicaron cargas lineales y puntuales con el fin de determinar el aporte de fibras de polipropileno en el control de fisuraciones locales del segmento de concreto producto de las cargas transmitidas por los gatos. Los resultados indican que las fibras favorecen una distribución de las tensiones posterior a la fisuración, sin embargo, se evidencia que el proceso de incorporación de las fibras durante la fundición afecta los resultados.

### 2.2.11.5 CONCLUSIONES

La información presentada en el Estudio de Prefactibilidad en relación a las estructuras complementarias del sistema que conformará la L2MB no cuenta con información suficiente relacionada con:

- Avalúo de Cargas
- Combinaciones de carga
- Memorias de Cálculo de Prediseño estructural
- Determinación de cuantías de refuerzo
- Planos Estructurales
- Cantidades de obra

Así mismo, no se presenta evaluación detallada del impacto de la construcción de la L2MB sobre el sistema estructural de estructuras existentes, tales como: Edificaciones, Puentes vehiculares, Puentes Peatonales, Estaciones de Transmilenio y Estaciones de Servicio. Se requiere profundizar en la cuantificación de los posibles y potenciales afectaciones sobre estas estructuras para mitigar sus efectos a partir de procesos adecuados de diseño. Se debe contemplar que debido a que el trazado de la L2MB está planteado por zonas urbanas de alta densidad, posiblemente se requiera el diseño de pilas excéntricas para los viaductos, las cuales tendrán cimentaciones de mayores dimensiones y por ende una mayor afectación sobre estructuras existentes.

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 Prefactibilidad no presenta posibles escenarios causados por una eventual afectación de la Línea de Conducción Tibitoc de 78” la cual presenta un posible punto de interferencia en la Av. Boyacá, la evaluación de una posible afectación de esta red matriz es relevante debido a la importancia en el suministro de agua potable para la ciudad.

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 del viaducto para el tramo elevado 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, así como escenarios de posible afectación sobre estructuras existentes que permiten tener una referencia para el desarrollo de la factibilidad de estructuras complementarias que conforman la L2MB.

La información recopilada del proyecto Línea 2A del metro de Panamá, permiten tener una referencia precisa de características estructurales como las dimensiones de las dovelas utilizadas para la estructura de soporte del túnel, así como las propiedades y cantidades aproximadas de los materiales utilizados para su respectiva construcción. En este proyecto también se pudo establecer características del diseño de los pozos, para los cuales se implementó un sistema de contención de la excavación mediante pilotes secantes, los cuales pueden convertirse en una alternativa viable para la implementación en el proyecto de L2MB. Así mismo, las experiencias internacionales evidencian la aplicabilidad de sistemas constructivos como el “Cut&Cover” para la construcción de sistemas de túneles en espacios urbanos. Así mismo, para el caso de viaductos se observa la aplicación de vigas en sección U como en el caso de la línea 2 del metro de Ciudad de Panamá. Estas experiencias internacionales estarán como referente para los procesos de diseño a nivel de factibilidad de la L2MB.



Las estructuras principales localizadas en proximidades del trazado y que en desarrollo de los diseños de factibilidad se tendrán en cuenta para que no se vean afectadas por el proyecto, son las siguientes:

- Puente Vehicular Calle 72 Av. NQS
- Puente Vehicular Calle 72 Av. 68
- Puente Vehicular Calle 72 Av. Boyacá
- Puente Vehicular Av Cra 86 Calle 80
- Puente Vehicular Transversal 86
- Puente Vehicular Calle 127
- Puente Peatonal Calle 72 Av. Cra 30
- Puente Peatonal Calle 72 Cra 68
- Puente Peatonal Av Cra 86 Calle 80
- Canal Arzobispo

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

- Canal Salitre
- Canal CAFAM
- Iglesia La Porciuncula (calle 72 con carrera 11)
- Plaza de mercado del 12 de octubre (calle 72 entre carreras 51 y 52)
- Deprimido de la Calle 72 con Av. Caracas
- Red Matriz Tibitoc
- Iglesia de San Fernando (calle 72 con carrera 57a)
- Colegio Mayor Jorge Eliecer Gaitán (calle 72 entre carreras 58 y 60)
- Centro comercial Alkosto (calle 72 con av. 68)
- Conjunto residencial Acapulco 4 (calle 72 con Av. Boyacá, costado suroriental, 4 pisos)
- Edificio de apartamentos Alegre (calle 72 con av. Boyacá, costado noroccidental, 18 pisos)
- Edificaciones Barrio La Almería (intersección calle 72 con av. Ciudad de Cali)
- Edificaciones del barrio Nuevo Corinto (entre av. Ciudad de Cali y predio de la ALO)
- Edificaciones existentes en Calle 145 (zona de viaducto)

El trazado que se proyecte en desarrollo de la ingeniería de factibilidad buscará evadir las estructuras antes mencionadas. En ese contexto, y con excepción del deprimido de la calle 72, no se requiere conocer el detalle de las mismas, puesto que no serán determinantes en el diseño. La información correspondiente al deprimido de la calle 72 fue suministrada por el Concesionario de la PLMB y se presenta en el Capítulo 4.

La posible afectación de estructuras existentes se determina en el entregable “Análisis de Subsistencia de las Estructuras Existentes” que se adelanta como parte del desarrollo del proyecto final de factibilidad.



La implantación de las estructuras del proyecto no interfiere con estudios previos, excepto la Estación no. 6 ubicada al costado oriental del puente que en el marco del Contrato IDU-1352-2017 - Proyecto TransMilenio Avenida Ciudad de Cali se proyectó en la Av. Ciudad de Cali con Calle 80. Los detalles particulares de dicho puente se presentan en el Capítulo 4. En desarrollo de la ingeniería de factibilidad se tomarán las medidas necesarias para evitar que éste se vea afectado por la Estación 6 proyectada. En general, las estaciones y el patio taller se encuentran en predios que serán comprados sin afectar otros proyectos.