

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

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

TABLA DE CONTENIDO

2.2.20.1	NORMATIVIDAD APLICABLE	2.2.20.2	REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ
2.2.20.3	ASPECTOS RELEVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LINEA DEL METRO DE BOGOTÁ		
92.2.20.4		BENCHMARK	(EXPERIENCIAS INTERNACIONALES)
102.2.20.5			CONCLUSIONES
			11

2.2.20 DISEÑO GEOMÉTRICO SISTEMA METRO

Disciplina:	Diseño geométrico sistema metro
-------------	---------------------------------

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

Entregable de referencia:	Entregable 6 / ET20-Diseño geométrico sistema metro
----------------------------------	--

2.2.20.1 NORMATIVIDAD APLICABLE

La normativa aplicable al componente Geometría de vía férrea está definida en los componentes asociados con el diseño geométrico del sistema metro (ET20), a saber

- UIC 703 R - Características de trazado de vías recorridas por trenes de pasajeros rápidos
- EN 13803: Aplicaciones ferroviarias. Vía. Parámetro de proyecto del trazado de la vía. Anchos de vía de 1435mm y mayores. Componentes de vía, de aparatos de vía y situaciones comparables de proyecto del trazado con variaciones bruscas de curvatura.

2.2.20.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ

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

Entregable de referencia:	Producto 4 – Estudios y diseños de prefactibilidad / Entregable 6 – Geometría de vía permanente y estructuras metro ferroviarias	
Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:	<ul style="list-style-type: none"> - 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). 	
Conclusiones del estudio de prefactibilidad:	<ul style="list-style-type: none"> - Para la estación terminal con conexión con PLMB en el cruce entre Calle 72 y la Carrera 15, se propone una alternativa para su construcción bajo el deprimido vial de tal manera que se pueda optimizar la distancia entre PLMB y L2MB. - Se recomendó la realización de un túnel en bitubo para los tramos bajo las avenidas Calle 72, Carrera 86 y Calle 127 con vías férreas únicas direccionales. Cabe precisar que la selección del bitubo es el resultado de un análisis parcial y que tiene sobre todo un alcance teórico (no entrando en el conjunto de impactos detallados asociados frente a la solución en monotubo). - Se recomendó la construcción de un túnel en trinchera cubierta (Cut & Cover) para el desarrollo del túnel sobre el tramo de la ALO. - La mejor opción para el tramo de la cola de maniobras sería un túnel somero construido en trinchera cubierta (Cut & Cover) 	
Ítem	Aspectos relevantes	¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?

Parámetros geométricos (P11) - tabla 3.4	Radio mínimo en planta: se debe verificar si el valor excepcional de 240m cumple con el radio de giro de la tuneladora a contratar para la obra	Verificar la compatibilidad de los radios de giro de la tuneladora a utilizar en la obra para que sea compatible con las características de radios mínimos utilizados en el diseño geométrico
Parámetros geométricos (P11) - tabla 3.4	Entrevía: se muestra en la tabla que el espaciamiento puede tener valores variables dependiendo del radio. Sin embargo, para un mejor control de ejecución y minimización de posibles errores de ejecución, se recomienda adoptar una entrevía constante, igual o mayor que el mínimo, para todo el alineamiento horizontal	Definición del alineamiento horizontal de las vías con entrevía constante, a definir a partir de lo gálibo dinámico con una velocidad de proyecto de 90km/h, considerando la situación más crítica de uso de radio mínimo y pendiente máximo.
Parámetros geométricos (P11) - tabla 3.4	Distanciamiento de las puntas de las agujas de las cambiavías: Se recomienda que la tabla presente criterios de distanciamiento horizontal de los puntos notables de el alineamiento horizontal con relación a las puntas de las agujas	Se presentarán las características y especificaciones técnicas de las cambiavías que se utilizarán en el proyecto.
Parámetros geométricos (P11) - tabla 3.4	Distancias de las puntas de las agujas entre las cambiavías de direcciones opuestas: se recomienda que la tabla presente los criterios de longitud mínima para las tangentes entre las puntas de las agujas.	Se presentarán las características y especificaciones técnicas de las cambiavías que se utilizarán en el proyecto.
Parámetros geométricos (P11) - tabla 3.4	Distancias de las puntas de las agujas de las cambiavías a las juntas estructurales: se recomienda que la tabla presente criterios de longitud mínima entre las puntas de las agujas de los AMV y las juntas estructurales	Se presentarán las características y especificaciones técnicas de las cambiavías que se utilizarán en el proyecto.
Parámetros geométricos (P11)	Falta texto descriptivo o tabla con características y especificaciones técnicas de las cambiavías a utilizar en el proyecto	Se presentarán las características y especificaciones técnicas de las cambiavías que se utilizarán en el proyecto.
Parámetros geométricos (P12) - tabla 3.5	Tabla presenta Pendiente longitudinal máxima en línea con valor excepcional de 4% en contradicción con los 3,5% presentado en el capítulo 15 Material Rodante del Entregable 10	Se deberá adoptar la pendiente máxima permitida por el Material Rodante.
Parámetros geométricos (P12) - tabla 3.5	No se presenta pendiente máxima para tramos de cambiavías.	Se presentarán las características y especificaciones técnicas de las cambiavías que se utilizarán en el proyecto.
Parámetros geométricos (P12) - tabla 3.5	Distancia de la punta de la aguja cambiavías: se recomienda que la tabla presente criterios de	Se presentarán las características y especificaciones técnicas de las cambiavías que se utilizarán en el proyecto.

	distanciamiento vertical de los puntos notables de lo alineamiento vertical en relación a la punta de la aguja	
Parámetros geométricos (P12) - tabla 3.5	Se recomienda que en regiones con vías de estacionamiento con pendiente de 0,50%, en una situación excepcional, la rampa no descienda hacia las vías operativas	Evitar pendientes de vías de estacionamiento con pendiente contraria a las vías operativas.
Parámetros geométricos (P12) - ítem 3.11	Con el objetivo de optimizar el trazado general en favor de la comodidad del pasajero, se recomienda, siempre que sea posible, que las curvas del alineamiento horizontal no coincidan con las de lo alineamiento vertical, proporcionando así una situación más favorable para la comodidad del usuario.	La disposición del trazado debe permitir, siempre que sea posible, que las curvas del alineamiento horizontal no coincidan con las de lo alineamiento vertical, proporcionando así una situación más favorable para la comodidad del usuario.
Parámetros geométricos (P15) - ítem 3.19	El ítem señalado en el informe indica que lo gálibo dinámico fue calculado para una situación de R=315m, V= 80km/h y P=140mm. Sin embargo, para que esté de acuerdo con los parámetros de proyecto adoptados, en el caso de túnel m de vía singular, se recomienda verificar lo gálibo dinámico para situaciones de: R=400m, V=90km/h e P=140mm e, excepcional, R=240m, V=70km/h e P=140mm.	
Para el caso de un solo túnel en doble carril, se debe realizar un estudio para definir la entrevía y también el diámetro del Shield	Verifique y haga coincidir los parámetros apropiados para estudios de gálibo dinámico	
Parámetros geométricos (P53) - ítem 5.2	El diagrama unifilar indica cambiavías en las proximidades de estaciones con plataforma central, sin embargo, para permitir la implementación de estas cambiavías, se debe considerar la ejecución de los túneles de conexión	El posicionamiento de los cambiavías debe estudiarse teniendo en cuenta el tipo de solución a adoptar para la ejecución de los túneles ferroviarios.
Trazado Geométrico (P61) - tabla 7.13	Se verificó en el informe de trazado geométrico en planta que, en algunas situaciones, se utilizan diferentes longitudes en la entrada y salida de las curvas de transición. Se recomienda, siempre que sea posible, adoptar la misma longitud de curvas de transición de entrada y salida.	El trazado geométrico en planta debe asegurar, siempre que sea posible, que se adopte la misma longitud de curvas de transición para entrada y salida.

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

Trazado Geométrico (P61) - tabla 7.13	En la última curva, de R=100m, presentada en la tabla, se debe verificar si la velocidad de V=45km/h cumple con las normas de los parámetros geométricos, aún porque este radio es un mínimo excepcionalmente aceptable.	Verificar si la velocidad de V=45km/h cumple las normas de los parámetros geométricos para esta región del trazado, teniendo en cuenta que el radio presentado es R=100m, es decir, inferior al mínimo excepcional (Rminexc=240m).
Aspectos críticos por atender:	A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2):	A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3):
	<ul style="list-style-type: none"> - Validación del concepto de plan de vías desarrollado en el estudio de prefactibilidad - Validación del tipo de túnel - Validación de los parámetros básicos del tipo de material rodante 	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo del perfil geológico - Compatibilidad entre los elementos estructurales (cimentaciones, grandes redes enterradas)
Interfaces:	Material rodante, tipo de túnel	
CAPEX y OPEX	<p>Los costos de adquisición de riel y aparatos de vías parecen subestimados en cantidades y costos unitarios. Las estructuras necesarias para la conexión de las vías, que están separadas en dos túneles (bi-tubo), no fueron contempladas en el proyecto ni tampoco en el CAPEX.</p> <p>El proyecto tendrá que contemplar al menos (si confirmado el número de aparatos de vías) 7 tramos de conexión con estructuras entre los dos túneles.</p>	
Otros aspectos relevantes:		

Entregable de referencia:	Producto 4 – Estudios y diseños de prefactibilidad / Entregable 6 – Geometría de vía permanente y estructuras metro ferroviarias
Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:	<ul style="list-style-type: none"> - Se presentan 13 planchas con planta y perfil del Diseño Geométrico del estudio de Prefactibilidad la línea 2 del metro de Bogotá - Planchas RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-01 à 13 sobre base catastral - Planchas RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-14 à 26 el mismo Diseño sobre base ortofotos
Conclusiones del estudio de prefactibilidad:	N/A

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

Ítem	Aspectos relevantes	¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-01	El perfil presenta pendiente longitudinal de 4% (Pk800) en contradicción con los 3,5% presentado en el capítulo 15 Material Rodante del Entregable 10	Se debe adoptar la pendiente máxima permitida por el Material Rodante = 3,5%
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-01	El perfil presenta pendiente longitudinal de 4% (Pk800). No se presenta la ubicación de cambiavías en planta, pero se puede esperar que el mismo se encuentre en esta sección. No se recomienda un cambiavía en una sección con pendiente tan fuerte.	Estudiar ubicación de cambiavías
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-01	El Proyecto presenta radio de curva vertical de 1000m (PK616)	Ese radio es excepcional y se puede de debe subir para al menos 2000 m. Desplazar estación hacia lado oriental o profundizar
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-01	El túnel pasa muy cerca debajo de las cimentaciones el deprimido de la calle 72 (PK930)	Es recomendable que se propongan en esa fase de proyecto, soluciones más conservadoras con gálibo mínimo de un diámetro de túnel entre los dos
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-01	Punto bajo en el (PK930) para pasar abajo del Deprimido de la calle 71	Prever sistema de bombeo
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-03	Punto bajo en el (PK2969) para pasar abajo del río Arzobispo	Prever sistema de bombeo
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-04	Radio espiral (PK 4257) muy cerca del inicio de la estación CR 68	Respectar 20 metros de “Longitud mínima elemento” de parámetro geométrico
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-05	Radio espiral (PK 5959) muy cerca del inicio de la estación Boyacá	Respectar 20 metros de “Longitud mínima elemento” de parámetro geométrico
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-06	Radio espiral (PK 7103) muy cerca del inicio de la estación Av ciudad de Cali	Respectar 20 metros de “Longitud mínima elemento” de parámetro geométrico
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-07	Curva horizontal (PK 7300) con radio 250m en eje es decir una velocidad operacional muy reducida (71km/h) y costos operacionales más importantes (rieles).	Se debe verificar si el valor excepcional de 240m cumple con el radio de giro de la tuneladora a licitar para la obra. Es recomendable proponer soluciones más conservadoras en esa fase de proyecto.
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-08	Radio espiral (PK 9337) muy cerca del inicio de la estación CR 91	Respectar 20 metros de “Longitud mínima elemento” de parámetro geométrico
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-08	Punto bajo en el (PK9500) para pasar abajo del río Bogotá	Prever sistema de bombeo
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-09	Radio espiral (PK 9337) muy cerca del inicio de la estación Humedal	Respectar 20 metros de “Longitud mínima elemento” de parámetro geométrico

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

RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-10	Punto bajo en el (PK9500) para pasar abajo del Humedal Juan Amarillo	Prever sistema de bombeo
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-12	Radio espiral (PK 4400) muy cerca del inicio de la estación ALO Norte	Respectar 20 metros de “Longitud mínima elemento” de parámetro geométrico
RAQB014-PROD4-ENT5-DGF-PP-13	No se presentan los cambiavías anterior y posterior a la estación Fontanar. Verificar se hay espacio para cambiavías entre el fin de la curva vertical y el inicio de la estación	Verificar si hay espacio para cambiavías entre el fin de la curva vertical y el inicio de la estación Fontanar, respetando el parámetro geométrico de “20 metros de Longitud mínima entre elementos”
General:	No se presentan los cambiavías, propuestos en el esquema funcional capítulo 5 del Entregables 6 y capítulo 9 del Entregable10 del Estudio de Prefactibilidad, en las planchas de trazado geométrico.	Se debe indicar los cambiavías (aparato de vía) en las planchas de trazado geométrico. También se debe comprobar que hay espacio para inserción de cambiavías según las siguientes premisas: <ul style="list-style-type: none"> • Los aparatos de vía se deben colocar en zonas de pendiente uniforme; • Los aparatos de vía se deben colocar en tramos rectos; • Los aparatos de vía se deben colocar lo más cerca posible a las estaciones; • Se proponen diagonales para los cambios dobles de vía
Aspectos críticos por atender:	A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2): <ul style="list-style-type: none"> - Se debe revisar la ubicación de la estación 1-Calle 72 para atender a las restricciones de curva vertical y de pendiente máxima - Incorporar informaciones de la revisión del Plan Operacional y Plan de vías - Revisar el Proyecto Geométrico llevando en cuenta la ubicación e inserción de los cambiavías - Incorporar informaciones de redes subterráneas - Revisar Geometría horizontal sobre base topográfica. 	A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3): <ul style="list-style-type: none"> - Incorporar informaciones del perfil Geológico
Interfaces:	Plan Operacional	

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

CAPEX y OPEX	N/A
Otros aspectos relevantes:	N/A

2.2.20.3 ASPECTOS RELEVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LINEA DEL METRO DE BOGOTÁ

El Proyecto de Geometría de vía de la PLMB se desarrolla en los Informes:

- Criterio de diseño geométrico del sistema metro
- Memoria de trazado y
- Planos con trazado en planta y perfil longitudinal

Los dos Informes hacen referencia las normativas internacionales al componente Geometría de vía férrea.

- UIC 703 R - Características de trazado de vías recorridas por trenes de pasajeros rápidos
- EN 13803 (Vía. Parámetros de proyecto del trazado de la vía: plena vía y aparatos de vía y situaciones comparables)

Pero se verifica diferencias entre las dos líneas para algunos criterios de diseño

Criterio de diseño	PLMB	L2MB
Radio mínimo en planta	400m	240m
Pendiente longitudinal máxima en estación	0,25%	0%
Radio vertical mínimo	2500m	1000m

Conclusiones:

La Línea 1 y la Línea 2 tienen características de trazado horizontal y perfil vertical, así como operacionales, muy distintas.

2.2.20.4 BENCHMARK (EXPERIENCIAS INTERNACIONALES)

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

Las líneas y/o proyectos estudiados son:

Línea	Ciudad	Longitud
Línea 2	Ciudad de Panamá - Panamá	9,4 km
Línea 6	São Paulo - Brasil	15,3 km
Línea 5	São Paulo - Brasil	20,1 km

	Panamá L2A	São Paulo L6	São Paulo L5
Inserción	Enterrada (una estación elevada)	Enterrada	Mixta (5 estaciones elevadas y 11 enterradas)
Método constructivo túnel	Shield monotubo	Shield monotubo	NATM y Shield monotubo
Ancho de vía	1435mm	1435mm	1435mm
Radio mínimo en planta	300m	300m	300m
Radio mínimo de curva vertical	3500m	2500m	2500m
Pendiente máximo	3,5%	4%	4%
Normativas	Especificaciones funcionales, técnicas y contractuales - Tomo II del Metro de Panamá, que incorpora internacionales normativas <ul style="list-style-type: none"> ● UIC 703 R ● EN 13803 	Especificaciones Técnicas Complementarias del Metro de São Paulo, que incorpora internacionales normativas <ul style="list-style-type: none"> ● UIC 703 R ● EN 13803 	Especificaciones Técnicas Complementarias del Metro de São Paulo, que incorpora internacionales normativas <ul style="list-style-type: none"> ● UIC 703 R ● EN 13803

Recomendaciones en base al benchmarking internacional

- ✓ Las especificaciones funcionales de proyectos de geometría de vía siguen las normativas internacionales

2.2.20.5 CONCLUSIONES

El Estudio de Prefactibilidad sigue las guías y normativas internacionales, pero propone soluciones de trazado en planta y perfil longitudinal que a veces están en el límite del aceptable, es decir que utiliza el concepto de límite excepcional para soluciones que van a estar presentes en operación normal de la línea para siempre (durante toda vida útil de la línea). Es el caso de la pendiente de 4% seguida de curva vertical de 1.000 m en la aproximación de la estación Calle 72.

Otro caso es la curva horizontal (PK 7300) con radio 250 m para el pasaje del eje de la línea de la calle 72 hacia la carrera 86. Se recomienda revisar estos puntos del proyecto.

El estudio presenta valores distintos de pendiente longitudinal máxima entre los entregables 6 y 10.

Se presenta Pendiente longitudinal máxima en línea con valor excepcional de 4% en contradicción con los 3,5% presentado en el capítulo 15 Material Rodante del Entregable 10.

Se recomienda adoptar la pendiente máxima permitida en el Material Rodante a 4%.

El Estudio de Prefactibilidad no presenta los cambiavías, propuestos en el esquema funcional capítulo 5 del Entregables 6 y capítulo 9 del Entregable 10 del Estudio de Prefactibilidad, en las plantas de trazado geométrico.

Se recomienda revisar el diseño geométrico incluyendo la ubicación e inserción de los cambiavías con base en las premisas propuestas en el esquema funcional:

- Los aparatos de vía se deben colocar en zonas de pendiente uniforme;
- Los aparatos de vía se deben colocar en tramos rectos;
- Los aparatos de vía se deben colocar lo más cerca posible a las estaciones;
- Se proponen diagonales para los cambios dobles de vía

Cabe precisar que se diseñará (o más bien que se ajustará) el trazado de la L2MB considerando radios de giro importantes (para mantener una velocidad comercial importante). Se evitará en la medida de lo posible tener radios de giro inferiores a 400 m y en ningún caso tendrán que ser inferiores a 250 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

NB: no se presenta en el documento correspondiente un análisis detallado de los documentos técnicos elaborados para contratar la concesión de la PLMB (apéndices técnicos, preguntas y respuestas) pero se afirma que se tomarán en cuenta estos documentos para la definición y redacción de las especificaciones técnicas relacionadas con la ET correspondiente