



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

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

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



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

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

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

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

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

J. C. Pantoja 18-05-2022
Director de estructuración

REVISIÓN Y APROBACIÓN

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

TABLA DE CONTENIDO

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO	5
10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN	5
10.16 SUPERESTRUCTURA DE VÍA	5
10.16.1. Alcance	5
10.16.2. Normatividad aplicable	5
10.16.3. Descripción general de la superestructura de vía del sistema metro	6
10.16.4 Descripción general del trazado	6
10.16.5. Plan de Operación Preliminar	7
10.16.6 Secciones típicas	7
10.16.7 Criterios de diseño	9
10.16.8. Diseño y construcción de la vía	11
10.16.9. Materiales	12
10.16.9.1. Rieles	12
10.16.9.2. Sistemas de fijación directa	14
10.16.9.3. Viga de hormigón armado	15
10.16.9.4. Losa de hormigón armado	16
10.16.9.5. Aparato de vías	17
10.16.9.6. Aparatos de dilatación	18
10.16.9.7. Juntas aislantes	18
10.16.9.8. Soldaduras	18
10.16.9.9. Toperas	20
10.16.9.10. Otros componentes de la vía férrea	20
10.16.9.11. Pruebas	21
10.16.10. Construcción de la vía férrea	21
10.16.10.1. Vías principales	21
10.16.10.2. Vías del patio-taller	23
10.16.10.3. Replanteo de vías	24
10.16.10.4. Ensanchamiento de vía	24
10.16.10.5. Tolerancias geométricas en el montaje de vía	24

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - *Distancias por tipología constructiva*

Tabla 2 - *Criterios de diseño para el alineamiento horizontal*

Tabla 3 - *Criterios de diseño para el alineamiento vertical*

Tabla 4 - *Otros criterios de diseño*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - *Vista de todas las estaciones*

Figura 2 - *Esquema de vía del Plan de Operación Preliminar*

Figura 3 - *Sección en túnel*

Figura 4 - *Trinchera de transición en abierta*

Figura 5 - *Tablero sistema metro elevado*

Figura 6 - *Drenajes en las secciones transversales de vía en recta y en curva*

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO

10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN

10.16 SUPERESTRUCTURA DE VÍA

10.16.1. Alcance

Este capítulo detalla los principales elementos necesarios para la construcción de las dos vías de operación, así como los aparatos de vía que es necesario instalar en estas vías. Adicionalmente se suministrarán los elementos necesarios para construir las vías del patio y taller, con los correspondientes aparatos de vías, y todas las vías y aparatos de vía de patio y talleres.

El alcance del suministro de la vía férrea abarca los siguientes elementos, pero no necesariamente limitativo:

- Rieles
- Sistemas de fijación directa.
- Viga de hormigón armado
- Losa de Hormigón Armado
- Aparato de vías.
- Aparatos de dilatación
- Juntas aislantes
- Soldaduras
- Otros componentes de la vía férrea.

10.16.2. Normatividad aplicable

La normativa aplicable al componente Superestructura de vía debe tomar como referencia la experiencia internacional. Cómo se indica en el ET22, en el caso de aplicación de normas EN y UIC, el orden de prevalencia de las normas para el diseño será el siguiente: primero normas EN, y después las internacionales IEC, UIC e ISO. En el caso de que estas normas no se apliquen, las aplicables serán las normas BS, DIN y NF. Además, se debe respetar el conjunto de reglamentaciones colombianas.

Algunas normas particulares para considerar son:

- EN 13674 - Aplicaciones ferroviarias. Vía – Rieles
- UIC 721 R - Recomendaciones para el empleo de diferentes tipos de aceros para rieles
- EN 13232 - Aplicaciones ferroviarias. Vía – Aparatos de vía
- Manual de Normativa Férrea – Parte I y II – Ministerio de Transporte (2013)

10.16.3. Descripción general de la superestructura de vía del sistema metro

La superestructura de la Línea 2 del Metro de Bogotá mantendrá, siempre que posible, la misma naturaleza y funcionalidad que la instalada para la PLMB, es decir, doble vía de ancho UIC-60 y circulación por la derecha, según el sentido de la marcha.

La superestructura de las vías principales será sin balasto y estará formada por rieles 54E1 y fijaciones elásticas fijadas sobre las vigas del viaducto.

El presente capítulo establece los criterios para el diseño, fabricación, pruebas, transporte y puesta en marcha del sistema de vía férrea.

10.16.4 Descripción general del trazado

La siguiente imagen muestra el mapa del recorrido de la Línea 2 del Metro de Bogotá, con 15,5 km y la ubicación general de las 11 estaciones.

Figura 1 - Vista de todas las estaciones



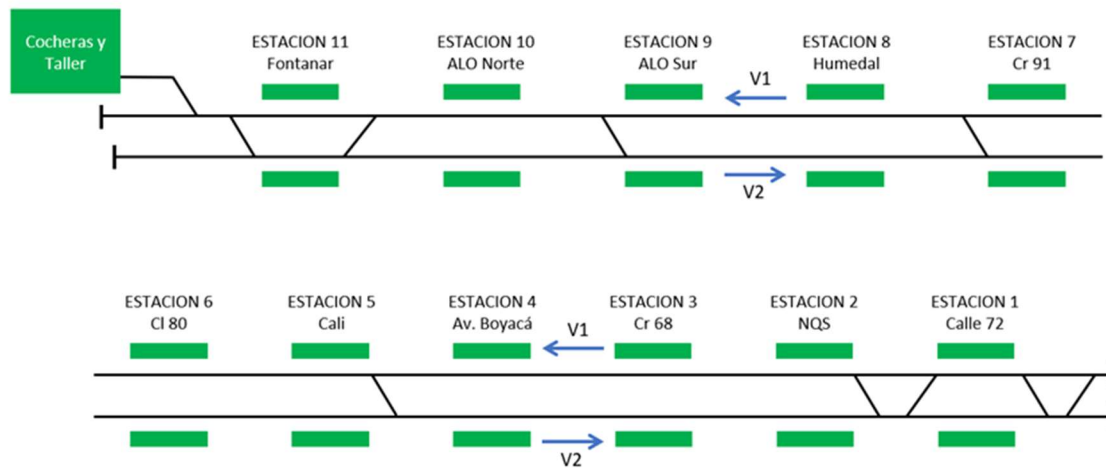
Tabla 1 - Distancias por tipología constructiva

Tramo	Extensión (m)
Tramo en túnel (entre E1 y E10)	14.200
Trinchera (al Norte de E10, zona de transición)	300
Elevado (E11 y acceso al patio-taller)	1.000

10.16.5. Plan de Operación Preliminar

El Plan de Operación Preliminar determina la ubicación de los aparatos de vías.

Figura 2 - Esquema de vía del Plan de Operación Preliminar



La referencia para dimensionamiento de diseño geométrico son aparatos de vías UIC-1:9 R=300.

10.16.6 Secciones típicas

La tipología más presente en el proyecto de la L2MB es la sección en túnel, pero el proyecto tiene secciones en trinchera y en viaducto elevado.

Las distintas infraestructuras del Proyecto y su Diseño Geométrico permiten que los gálibos dinámicos sean respetados garantizando performance y seguridad para el sistema.

Figura 3 - Sección en túnel

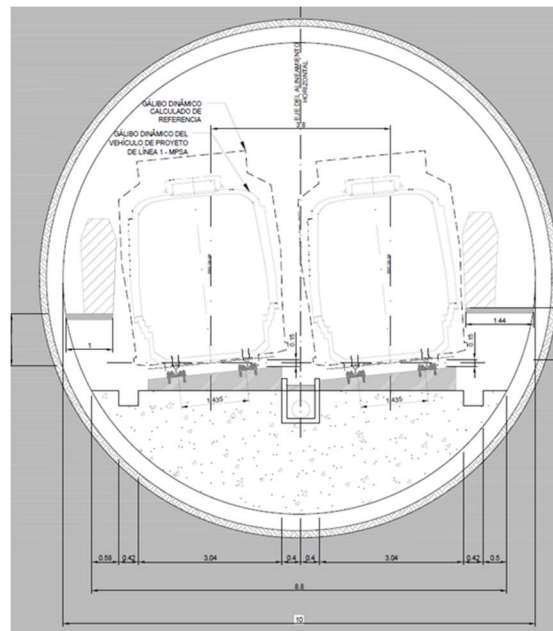


Figura 4 - Trinchera de transición en abierta

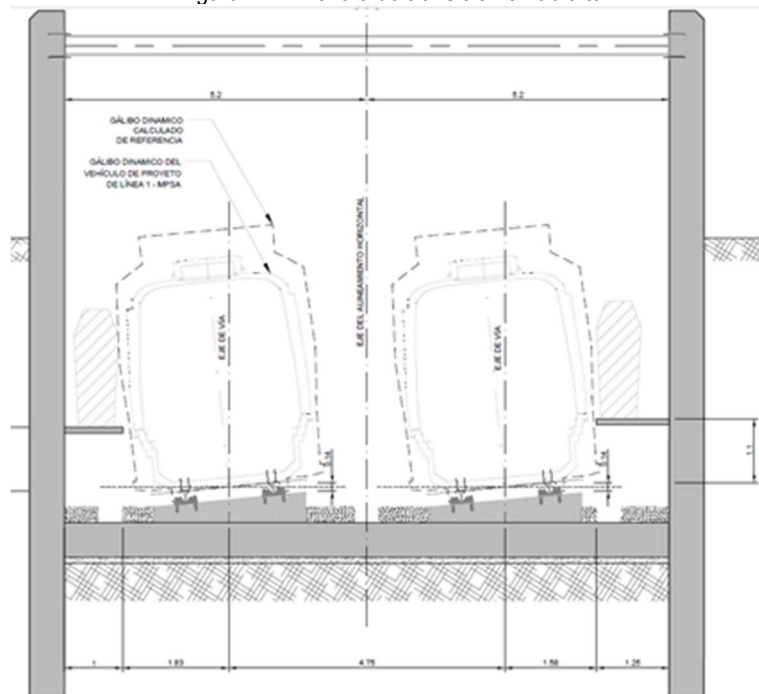
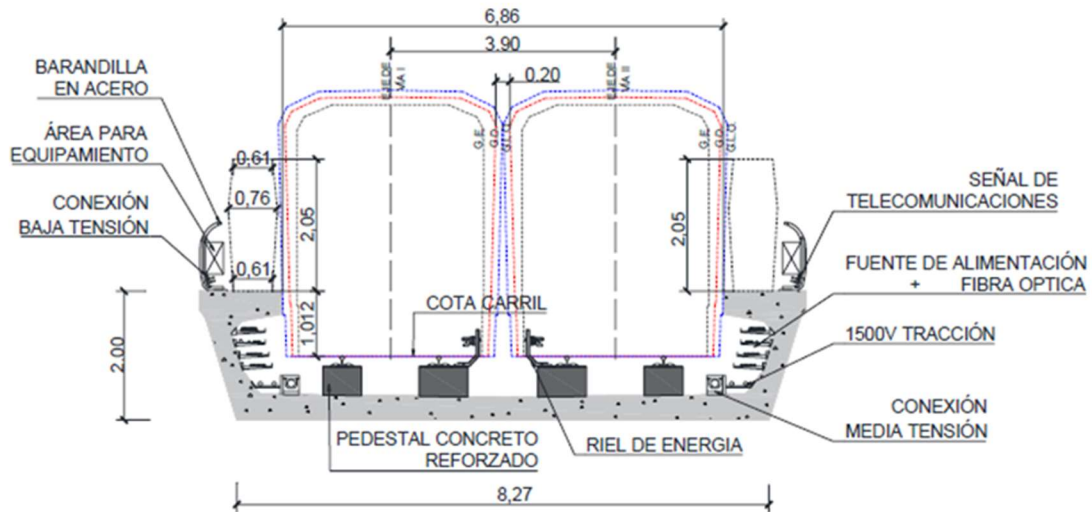


Figura 5 - Tablero sistema metro elevado



10.16.7 Criterios de diseño

A continuación, se destacan los parámetros del sistema metro considerados para el proyecto de superestructura de vías:

Tabla 2 - Criterios de diseño para el alineamiento horizontal

PARÁMETRO	VALORES RECOMENDADOS	VALORES EXCEPCIONAIS
ALINEAMIENTO HORIZONTAL		
Ancho de vía	1435 mm	
Riel	UIC-60	
Velocidad (de diseño)	90 km/h	
Radio mínimo en planta (vías comerciales)	400m	240m
Radio mínimo en estación	Recta	
Longitud mínima elemento (recta, curva, clotoide)	30m	25m
Longitud mínima de andén en estación	150m	

PARÁMETRO	VALORES RECOMENDADOS	VALORES EXCEPCIONAIS
Longitud mínima de alineación restante en estación	180m	150m
Inter-eje monotubo y estación	3,90m	
Peralte máximo (D)	140 mm	
Insuficiencia máxima de peralte (I)	100 mm	
Aceleración transversal no compensada (máxima)	0,65 m/s ²	
Máxima variación aceleración no compensada con el tiempo - Jerk	0,40 m/s ³	
Variación máxima del peralte con el tiempo	50 mm/s	
Variación máxima de la insuficiencia de peralte con el tiempo	60 mm/s	
Variación máxima del peralte (alabeo)	180/V ≤ 2 mm/m	180/V ≤ 2,5 mm/m

Tabla 3 - Criterios de diseño para el alineamiento vertical

PARÁMETRO	VALORES RECOMENDADOS	VALORES EXCEPCIONALES
ALINEAMIENTO VERTICAL		
Pendiente longitudinal máxima en línea	2%	4%
Pendiente longitudinal mínima en línea	0,20%	
Pendiente longitudinal máxima en estación	Horizontal (0%)	
Acuerdo mínimo (R)	3125 m	1000 m

<i>PARÁMETRO</i>	<i>VALORES RECOMENDADOS</i>	<i>VALORES EXCEPCIONALES</i>
Longitud mínima elemento (rasante uniforme, acuerdo)	20 m	
Aceleración vertical máxima (a)	0,20 m/s ²	
Gradiente equivalente	G + 800/R	
Pendiente longitudinal máxima en posición de parqueo	0%	0,50%
Pendiente longitudinal máxima en Patio Taller	0,10%	0,50%

Tabla 4 - Otros criterios de diseño

<i>PARÁMETRO</i>	<i>VALORES RECOMENDADOS</i>	<i>VALORES EXCEPCIONALES</i>
<i>OTROS PARÁMETROS</i>		
<i>Distancia entre aparatos de vía</i>	145m	
<i>Distancia entre andén y aparatos de vía 15m 10m</i>	2,90m	
<i>Tipo de aparatos de vía a utilizar</i>	3,90m	
<i>Distancia entre trenes en estacionados</i>	1100 mm +50/-0	
<i>Distancia entre tren y tope de vía</i>	200m	
<i>Distancia entre tren y aparatos de vía</i>	100m	

10.16.8. Diseño y construcción de la vía

Todos los componentes de las vías, en sus distintas tipologías, deberán ser de un tipo probado universalmente y que se encuentre en funcionamiento en una línea o red de metro durante un tiempo superior a los 5 años, con un tráfico similar a lo previsto para la Línea 2 del Metro de Bogotá y en condiciones medioambientales similares.

Con objeto de minimizar el número de repuestos y facilitar el mantenimiento de la vía se considerará el empleo de un conjunto de sujeción y placa de apoyo.

La vía férrea será diseñada para una carga por eje estático de 13,5 toneladas empleando rieles de tipo 54E1 de grado R240. La tipología de las vías principales y todas aquellas que se sitúen en estructura será en placa, incluso las zonas de cola de maniobras.

En las vías principales se emplearán aparatos de vías de tg 1/9 y radio en vía desviada de 190 metros, con corazón en bloque soldados integrables en la vía en placa sin necesidad de empleo de durmientes de hormigón. Los corazones de cruzamientos y las agujas estarán reforzados para permitir una soldadura continua de los rieles.

El conjunto de la Vía Férrea deberá ser diseñado para integrarse con otros equipos del Sistema Integral, con técnica y funcionalidad en su construcción y facilidad de mantenimiento. Todos los pasos a nivel o accesos viales necesarios para el cruce a nivel de vías o acceso a las mismas de vehículos dotados de diábolos se construirán mediante un sistema modular de paneles individuales de caucho conectados entre sí.

Al diseñar la vía férrea, se tendrán en consideración los factores ambientales, tales como ruido, vibración, corrientes de fuga, drenaje e impermeabilidad al agua.

La construcción de la vía férrea y los estándares de mantenimiento tendrán como prioridad los niveles de seguridad del sistema Metro.

10.16.9. Materiales

10.16.9.1. Rieles

Tipo

Para la línea y para la zona de Patios y Talleres los rieles corresponderán al perfil 54E1 de grado R260 según la norma EN 13674-1:2008 o normas equivalentes comprobadas, en barras de dieciocho (18) metros no taladrados en la extremidad con un valor de dureza comprendido en el intervalo 260-300 HB y una resistencia a la tracción de al menos 880N/mm².

La procedencia de todos los rieles será de un sólo fabricante y producidos según el proceso de colada continua.

Dimensiones y tolerancias

La longitud mínima de riel en líneas será de 18.0 m. Donde haya restricciones en la obra que hagan inevitables rieles más cortos, se podrá proponer longitudes no inferiores a 9,0 m.

Las tolerancias corresponden con la norma EN 13674-1:2008.

Identificación

La marcación de identificación de los rieles corresponderá a la norma EN 13674-1:2008.

Suministro, almacenamiento y manejo

Se protegerá todos los rieles contra corrosión durante el transporte y el almacenamiento. Los rieles que hayan sufrido una corrosión que pueda dar lugar a fallos prematuros en el servicio, serán rechazados. Se evitará especialmente que

los rieles permanezcan sumergidos o en contacto permanente con el agua. Cualquier afección a la superficie de los rieles distinta a la oxidación superficial debida a la exposición atmosférica, motivada por contacto con sustancias agresivas motivará la sustitución del riel afectado.

La disposición del área de almacenamiento y métodos de estibamiento de rieles se someterán a la aprobación de la Metro de Bogotá. Se dispondrán cuadradillos de madera entre los rieles acopiados, de manera que el patín del riel superior no esté en contacto con la cabeza del riel inferior.

Rieles dañados durante el suministro, almacenamiento o manejo serán reemplazados.

Amolado de rieles

Se efectuará un amolado de los rieles en la Línea y en las zonas de aparcamiento, antes de comenzar la operación de la Línea. La finalidad será la eliminación de asperezas y pequeños defectos en la superficie.

La rectificación se realizará de acuerdo con la norma UIC 60, perfil del vértice. Una rectificación asimétrica en las curvas no está permitida.

Se eliminarán 0.2mm de acero. Las tolerancias serán de ± 0.1 mm en sentido longitudinal y ± 0.3 mm en sentido transversal.

Todos los residuos de rectificación se removerán rápidamente mediante succión o lavado y las vías se dejarán limpias, especialmente en la vecindad de las fijaciones del riel, con el fin de minimizar el riesgo de que se produzcan corrientes de fuga.

Características físicas y químicas de los rieles

Los rieles deben ser resistentes a la abrasión, carentes de fragilidad, deben ser susceptibles a ser soldados para formar rieles continuos.

Los componentes químicos de los rieles dan diferentes características físicas. El carbono incrementa la resistencia y la fragilidad, el manganeso la resistencia a la tracción y al desgaste, el silicio y el carbono facilitan la eliminación de gases en la elaboración, el cromo, vanadio y molibdeno incrementan la resistencia, el fósforo y el azufre hacen al metal frágil y propicio a roturas.

Con mayor cantidad de carbono se aumenta la dureza, y con la de manganeso la resistencia al desgaste. Una excesiva proporción de fósforo aumenta la fragilidad, pero favorece la resistencia al desgaste.

Composición química de los rieles R260 en estado sólido:

Pruebas

Los rieles serán sometidos a las pruebas siguientes:

- Prueba de tracción.
- Prueba de dureza.
- Prueba Bauman.
- Prueba de choque.
- Análisis químico.
- Verificación geométrica.

- Comprobación del enderezado.
- Comprobación del marcaje.
- Control de peso.

El suministrador y/o una autoridad competente deberán entregar un certificado comprobando la composición química y todas las pruebas realizadas. Se presentará una propuesta de la lotificación del material para la realización de las pruebas.

10.16.9.2. Sistemas de fijación directa

Sistema de fijación directa en vía principal

Los sistemas de fijación directa mantendrán los rieles en la correcta posición, en el ancho de vía requerido y la inclinación requerida. El sistema empleado será similar al empleado en la Línea 2 (placa nervada con apoyo elástico) para optimizar el stock de piezas de repuesto.

Los sistemas de fijación directa resistirán a los esfuerzos laterales y longitudinales provocados por los rieles continuamente soldados. Además, los sistemas de fijación limitarán la brecha de ruptura del carril a 75 mm.

Los sistemas de fijación soportarán las fuerzas verticales, transversales y longitudinales impuestas por el material rodante y transmitirán estos esfuerzos a las subestructuras con un mínimo de impacto, de vibraciones y de daño.

Los sistemas de fijación deberán considerar la interfaz con las estructuras elevadas entre las cuales se destacan la expansión, la flexión y la torsión.

Los sistemas de fijación proveerán aislamiento eléctrico.

El sistema de fijación debe amortiguar las vibraciones causadas por el tráfico afín de cumplir los requisitos ambientales.

Todos los componentes del sistema de fijación deberán ser adecuados para sus propósitos y el tiempo de vida útil de los componentes individualmente deberá ser equilibrado para permitir un funcionamiento económico y un mantenimiento óptimo. La grapa elástica mantendrá una carga constante durante su vida útil sin mantenimiento.

El sistema de fijación deberá ser fácilmente desmontado y reemplazado.

Se indicará en el documento de especificaciones técnicas del sistema de fijación empleado la holgura máxima disponible para corregir desviaciones en nivelación y/o alineación así como el procedimiento de trabajo y materiales a eliminar, sustituir o añadir para lograrlo.

Las fijaciones se embalarán de forma que se permita un almacenamiento exterior, en un área segura. Los cuerpos de las fijaciones se amontonarán en paletas y se atarán.

Juegos de fijación de rieles y otros artículos pequeños se embalarán por tipos de componente, en barriles o cajas y se identificarán claramente.

Inmediatamente después de haber terminado la fabricación, y antes del embarque, se protegerán con una pintura anti-corrosiva todos los artículos metálicos no recubiertos en el juego de fijación. Dicha pintura será capaz de prevenir una corrosión para un mínimo de 18 meses durante el embarque, transporte y almacenamiento.

10.16.9.3. Viga de hormigón armado

Se denomina viga la superestructura de hormigón sobre el viaducto.

El hormigón que se utilizará para la viga en viaducto, tanto para las vías como para los aparatos de vías tendrá una resistencia mínima a la compresión de 300 kg/cm² a la prueba de cilindro a los 28 días.

El recubrimiento de hormigón mínimo desde los refuerzos hasta el borde de la losa es de 50 mm. El recubrimiento de hormigón mínimo desde los anclajes del sistema de fijación hasta el borde de la losa es de 100 mm.

El diseño del acero reforzado de las vigas de las vías considerará:

- Barras de espera para asegurar el empotramiento de la plataforma/viga.
- Barras dentro de las vigas para resistir las fuerzas del tren.

La viga de hormigón armado deberá soportar las cargas transversales, verticales y longitudinales (cargas estáticas, las fuerzas de frenado, las fuerzas de la expansión y la contracción del hormigón) y garantizar una transmisión uniforme a las subestructuras.

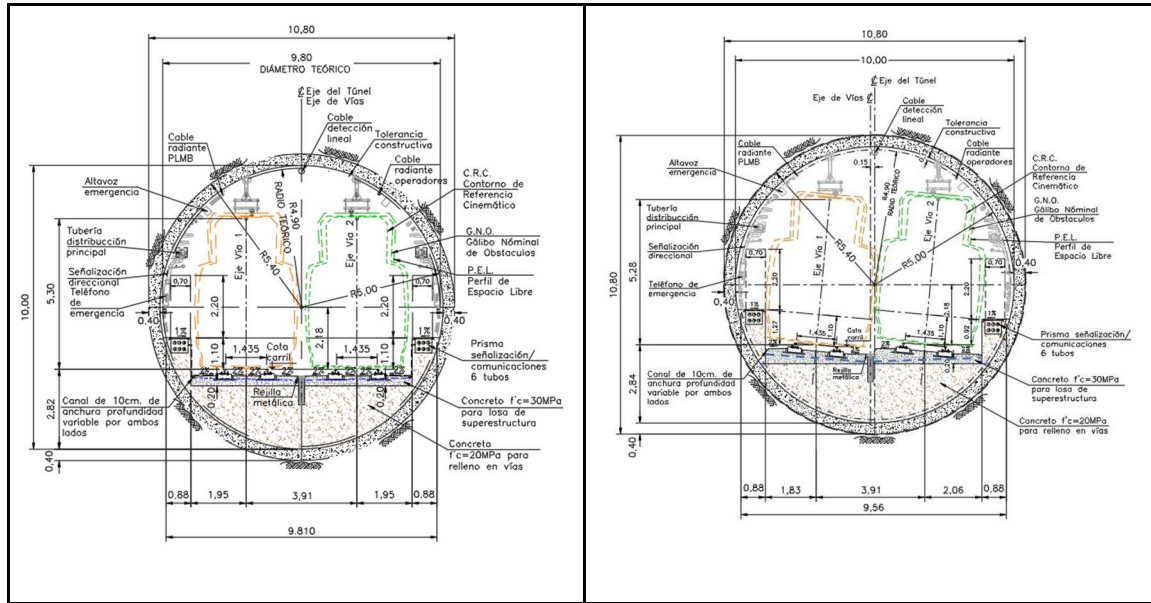
El diseño de la viga en hormigón armado tendrá en cuenta la interfaz de la estructura del viaducto entre las cuales la expansión, flexión y torsión de la estructura del viaducto.

La viga de hormigón armado deberá ser resistente a las condiciones climáticas extremas de la zona de implantación tanto como a las solicitaciones mecánicas durante un período que corresponde a la vida del resto de las estructuras.

Las armaduras se conectarán al sistema principal de captación de corriente parásita sin perjuicio de que la vía ferroviaria tenga su retorno eléctrico a la subestación con el negativo.

La viga de hormigón armado deberá garantizar el drenaje del agua. En tal sentido se prevén canalizaciones transversales hacia el dren central de la vía. La imagen siguiente muestra la solución adoptada tanto para vía recta como para vía en curva.

Figura 6 - Drenajes en las secciones transversales de vía en recta y en curva



10.16.9.4. Losa de hormigón armado

El hormigón que se utilizará para la losa en zona subterránea, tanto para las vías como para los aparatos de vías tendrá una resistencia mínima a la compresión de 300 kg/cm² a la prueba de cilindro a los 28 días.

El recubrimiento de hormigón mínimo desde los refuerzos hasta el borde de la losa es de 50 mm. El recubrimiento de hormigón mínimo desde los anclajes del sistema de fijación hasta el borde de la losa es de 100 mm.

El diseño del acero reforzado de las losas de las vías considerará:

- Barras de espera para asegurar el empotramiento de la plataforma/viga.
- Barras dentro de las vigas para resistir las fuerzas del tren.

La losa de hormigón armado deberá soportar las cargas transversales, verticales y longitudinales (cargas estáticas, las fuerzas de frenado, las fuerzas de la expansión y la contracción del hormigón) y garantizar una transmisión uniforme a las subestructuras.

La losa de hormigón armado deberá ser resistente a las condiciones climáticas extremas de la zona de implantación tanto como a las solicitaciones mecánicas durante un período que corresponde a la vida del resto de las estructuras.

La losa de hormigón armado deberá garantizar el drenaje del agua.

Las armaduras se conectarán al sistema principal de captación de corriente parásita.

10.16.9.5. Aparato de vías

General

Los aparatos de vías se construirán con el mismo tipo de riel que la vía principal y serán iguales a aquellos ya instalados en la línea 2.

Los aparatos de vías deberán soportar las cargas transversales, verticales y longitudinales.

Los aparatos de vías deberán ser diseñados para adaptarse al perfil de la rueda.

El ensamblaje debe asegurar el contacto eléctrico continuo.

El fabricante de los aparatos de vías deberá ser una empresa de reconocido prestigio internacional.

Geometría

En vía principal, el radio de vía desviada será de 190 metros, con tangente de salida 1/9. El sistema de fijación estará directamente anclado en una losa de hormigón armado. Los aparatos de vías serán diseñados para una velocidad máxima de circulación en vía desviada de 40km/h.

Materiales

El riel de aguja deberá ser flexible, hecho a partir de perfiles de rieles 54E1A3 o equivalente, con el talón forjado para ser conectado con el riel de parte intermedia. Los carriles serán de grado R260.

Las fijaciones serán elásticas,

Las contra agujas deberán estar hechas a partir del riel 54E1 con una inclinación de 1/20 y de grado R260.

Las sillas de aguja, las cuales están emparejadas con las contra-agujas y las agujas de carril flexibles, están montadas en las contra-agujas. Estas sillas son de tipo baja fricción a fin de evitar el uso de lubricante durante la vida útil de cambiavía. Los cruzamientos serán de tipo mono bloque en manganeso fundido con antenas soldadas en fábrica.

Cada corazón de cruzamiento se identificará con marcaciones en letras de relieve que indicarán lo siguiente:

- Tipo de corazón de cruzamiento.
- Identificación del fabricante.
- Mes y año de fabricación.

Los contracarriles serán de perfil 33C1 grado R260. Los soportes de contra carriles serán hechos de material de hierro fundido esferoidal en grafito.

También el proponente puede presentar otro tipo de cambiavía estandarizado y mundialmente usado para la optimización del diseño del sistema de vías del Patio y Talleres, el cual debe ser aprobado por la METRO DE BOGOTÁ.

Especificaciones de aparato de vías

Los aparatos de vías son elementos indispensables en la operación de un sistema ferroviario, permitiendo la reunión, la separación y la intersección de los itinerarios.

Los aparatos de vías de la vía principal serán de agujas elásticas predisuestas para la maniobra eléctrica, con corazón de acero al manganeso y completos con todos los órganos de unión para el apoyo sobre durmientes especiales de hormigón. Los aparatos de vías en Patio y Talleres serán talonables.

Las dimensiones y el tipo de los componentes de los aparatos de vías deberán ser conforme a lo indicado en los planos de detalles y de conjunto. Todos los componentes de los aparatos de vías deberán ser conformes a las normas EN o sus equivalentes.

10.16.9.6. Aparatos de dilatación

Se deberá presentar el estudio de dilataciones que justifique la necesidad o no de instalar aparatos de dilatación.

Los aparatos de dilatación del riel deberán ser de un diseño duradero y ser capaces de soportar los movimientos longitudinales causados por las cargas térmicas y estructurales.

Los aparatos de dilatación estarán hechos de rieles de perfil 54E1, en acero de grado R260.

10.16.9.7. Juntas aislantes

Las juntas aislantes aseguran un aislamiento eléctrico de tramos de vías.

Las juntas aislantes encoladas se fabrican en la planta y se entregan con una longitud de 6 o 9 metros.

La junta aislante encolada deberá ser capaz de soportar sin daño los efectos de la expansión y la contracción de los rieles soldados.

Las propiedades de aislamiento entre los dos rieles serán adecuadas para ser aplicados en la propuesta de sistema de tracción y señalización.

10.16.9.8. Soldaduras

Tipos permitidos de soldadura

Los rieles para toda la Línea fuera de los límites de los aparatos de vías serán soldadas en cadenas continuas empleando, o bien el proceso eléctrico de soldadura “Flash-butt” con una máquina colocada encima de las vías que será capaz de ajustar cabezas del riel a las soldaduras individuales, o bien el proceso aluminotérmico de soldadura.

Los rieles que se encuentren dentro de los límites del aparato de vías se soldarán empleando un proceso térmico de soldadura aceptado.

Metodología

Se presentará a consideración del Metro de Bogotá, el proceso detallado de soldadura que pretende emplear. Dicho informe deberá ser detallado cubriendo no sólo el proceso de soldadura sino también los medios materiales y personales que se emplearán para la realización de los ensayos de ultrasonidos y geometría, así como los estándares de aceptación y rechazo. Se demostrará que los estándares de aceptación y rechazo son similares a aquellos usados por otras explotaciones de Metro similares.

Los rieles deberán ser soldados mediante el procedimiento elegido para tener una vía férrea continuamente soldada. Dicha unión se realizará con temperaturas del carril que no sobrepasen en $\pm 10^{\circ}\text{C}$ la temperatura de neutralización de la barra larga soldada.

Se podrá optar entre dos métodos de precalentamiento, el denominado precalentamiento normal (PN) y el precalentamiento corto (PC). Se usarán kits desechables (de un solo uso).

El acero aluminotérmico de la carga de soldadura deberá poseer una composición química, microestructura perlítica y resistencia mecánica acordes con el carril, y en cualquier caso una dureza no inferior a 260 HB.

Dimensiones de la cala: los valores aproximados (dependiendo de las especificaciones de los kits de soldadura homologados por los distintos fabricantes) de las dimensiones de la cala normal y de la cala ancha se establecen en 25 y 50 mm respectivamente. Las soldaduras de cala ancha solamente se utilizarán para la reparación de soldaduras defectuosas y en los trabajos de vía con objeto de evitar la colocación de un cupón.

La soldadura deberá encontrarse exenta de defectos: sopladoras, grietas, roturas y coladeras de metal; defectos importantes como arena o corindón incluidos en la soldadura; emplazamiento de los rieles; desplazamiento de los moldes. Toda soldadura defectuosa se sustituirá, siempre que sea posible, por una sola soldadura aluminotérmica, normal o de cala ancha, de acuerdo con el defecto a eliminar. Si fuera necesario se dispondrá un cupón con una longitud mínima de seis metros.

Una vez terminada la soldadura, se marcará de forma indeleble indicando al menos la fecha de ejecución y la identificación del soldador.

Especificaciones técnicas básicas

Verificación de geometría:

Las soldaduras aceptables deberán tener flechas máximas, en los planos:

- Horizontal: valor máximo de flecha cuando suponga un aumento en la trocha de vía 0.5mm. Se rechazará cualquier soldadura no reparable que suponga una reducción en la trocha de vía.
- Vertical: flecha apuntada con valor máximo de 0.3mm. Se rechazará toda soldadura rehundida.

La comprobación de la geometría de las soldaduras ejecutadas se realizará mediante regla electrónica homologada y con certificado de calibración emitido por una entidad competente en vigor. En ningún caso se validará la geometría de una soldadura que haya sido comprobada con regla metálica y juego de galgas.

Pruebas en laboratorio y en campo:

Las soldaduras deberán ser sometidas a las pruebas en laboratorio según las normas F.S. o equivalentes.

Hasta 200 soldaduras: 2 muestras; por cada 500 soldaduras adicionales: 1 muestra.

Ensayos a realizar en laboratorio:

- Ensayo de dureza.
- Inspección visual.
- Ultrasonidos.
- Análisis químico.
- Ensayo de flexión.
- Zona de fusión.

Las pruebas en el campo se realizarán a través de un estudio de defectoscopia o equivalente. Los ensayos de comprobación mediante métodos ultrasónicos se realizarán sobre el 100% de las soldaduras ejecutadas en todos los aparatos de vías y sobre el 10% de las vías generales en cada km de cada una de las vías. Los ensayos mediante líquidos penetrantes se realizarán sobre un 10% de las soldaduras en cada km distintas a las sometidas a la prueba ultrasónica. Se realizarán pruebas, de forma adicional, sobre todas las soldaduras cuya inspección visual arroje dudas sobre la calidad de las mismas.

10.16.9.9. Toperas

Las toperas de tipo fricción en vía principal serán adaptadas para choques con trenes de 5 coches con pasajeros a una velocidad de 30km/h sin producir ningún daño al tren, la topera y la estructura.

Las toperas de tipo fricción en las vías de cochera en el patio serán adaptadas para choques con trenes de 5 coches sin pasajeros a una velocidad de 15km/h sin producir ningún daño al tren, la topera y la estructura.

Las toperas en las vías de patios serán adaptadas para choques con trenes de 5 coches sin pasajeros a una velocidad de 5km/h.

10.16.9.10. Otros componentes de la vía férrea

Todas las componentes de la Vía Férrea se adaptarán a los requerimientos de otros subsistemas de la Línea 2 del Metro de Bogotá, tales como Señalización y Control, Suministro de Energía, Comunicaciones y Material Rodante.

Enlace de cables con rieles. Suministro e instalación

Se cortará los cables a una longitud necesaria para montar los sujeta-cables, antes de fijar dichos sujeta-cables a la vía.

Se conectarán los cables a la vía usando un lubricante eléctrico de contacto aceptado, para bajar la resistencia de contacto.

El método de conectar cables a los rieles requiere la aprobación de METRO DE BOGOTÁ.

Pruebas eléctricas.

Completados los trabajos de instalación de cables, se medirá la resistencia de contacto empleando un juego de prueba de "Ductor" o uno similar, para cada finalización de cables. La resistencia medida entre el riel portante y el bulón de conexión no deberá ser superior a 50 micro-ohm.

Palancas de aparato de vías

Se presentará a consideración y aprobación de la Empresa Metro de Bogotá un tipo de palanca manual para los aparatos de vías en el Patio. El mecanismo de palanca ofrecido será del tipo libre de obstrucciones. Se proveerá durmientes extendidos para fijar la palanca y un área de balasto alrededor de la palanca, a fin de proporcionar una operación segura.

Engrasadores

Se definirá el método de engrase de la interfaz rueda-riel, con el fin de evitar el ruido y el desgaste del riel y/o de la pestaña de la rueda.

Se presentará una propuesta del tipo de engrasador a instalar, que incluya distintas consideraciones como tipo de funcionamiento, capacidad de regular la cantidad de grasa y mantenimiento necesario.

Para la ubicación de los engrasadores se debe tener en cuenta el trazado geométrico de la vía y las condiciones operativas de la línea. Por lo tanto, se consideró la necesidad de engrasadores en curvas con radios menores o iguales a 325 metros, y con el fin de minimizar el desgaste lateral de los rieles en estos lugares, ya que son más solicitados.

10.16.9.11. Pruebas

Todos los componentes de la superestructura de vía: rieles, soldadura de los rieles, fijaciones del riel, juntas aislantes, durmientes, balasto y los aparatos de vías deberán ser suministrados con declaración escrita de los fabricantes, sobre las pruebas ejecutadas de acuerdo con las normas y especificaciones de reconocido uso internacional.

10.16.10. Construcción de la vía férrea

10.16.10.1. Vías principales

En el caso del montaje de las vías en el tramo elevado se emplearán barras de carril 54E1 de dieciocho metros de longitud con fijaciones ancladas directamente a plintos de hormigón. El sistema de sujeción de placa nervada con apoyo elástico amortigua los ruidos y vibraciones, y es de fácil mantenimiento. Los plintos serán de hormigón armado de 5100x600x260 mm en recta, con una separación de 150 mm, anclados a las esperas de las vigas. La separación entre sujeciones será de 750 mm y se definirá la distancia mínima entre una sujeción y el extremo del plinto.

De forma previa al inicio de los trabajos de construcción de la vía se deberán realizar todos los trabajos de topografía necesarios para poder realizar un correcto replanteo de los ejes de las vías. Se realizará un levantamiento tomando tres puntos por sección al menos en los apoyos de las vigas y en el centro de las mismas.

El replanteo de los ejes tendrá en cuenta el trazado teórico definido y la deformación de las vigas debida al peso propio y a las distintas cargas a considerar, tanto en la fase constructiva como en la fase de explotación.

Adicionalmente se deberá organizar la logística para suministrar, acopiar y distribuir todos los materiales necesarios (rieles, pórticos, sujeciones, piquetes de vía, anclajes, armaduras, encofrados, herramientas).

Para el montaje de las vías mediante el sistema top&down se usarán con una separación de 3,00 metros con su correspondiente tensor anclado. En alineaciones curvas piquetes de vía de radio reducido se colocarán dichos piquetes de vía cada 1,50 metros.

En el desarrollo de la construcción de la vía férrea se deberá proceder con seguridad acorde al manual previsto con este fin. En el caso de la distribución de los rieles durante la descarga estos no se dejarán caer y se tendrá a un mínimo el arrastre de estos. Antes de soldar los rieles, se sujetarán de forma fija con tornillos de apriete todas las juntas por las que pueda pasar un tren de construcción. El espacio entre los rieles en estos casos no excederá de 10mm y la velocidad de los vehículos de construcción no deberá exceder de 10km/h.

Los vehículos de construcción no deberán pasar sobre juntas soldadas antes de haber finalizado el recorte y esmerilado y la temperatura de los rieles esté debajo de los 100 grados centígrados. La velocidad será restringida a 10km/h hasta que el esmerilado haya sido realizado a las tolerancias finales especificadas y la soldadura haya sido probada, inspeccionada y aceptada por la inspección de la Empresa Metro de Bogotá.

Se podrá, si lo prefiere, recortar los extremos de los rieles, antes de soldar. Los rieles se cortarán de forma limpia por medio de sierras especiales o discos abrasivos de recorte. No se permitirá el corte con soplete. Los cortes serán controlados empleando un dispositivo de guía o una plantilla hecha al propósito y estarán dentro de 0.75mm del eje vertical del riel, medido a lo largo de toda la altura, o dentro de 0.50mm del eje transversal, medido a lo largo de la anchura de cabeza del riel. La unión temporal de los extremos de los rieles se hará mediante bridas, dejando una cala de 25 mm (excepto en el caso mencionado anteriormente, cuando se prevea la circulación de vehículos de obra, que será de 10 mm).

Una vez comprobados los parámetros geométricos de la vía (alineación, nivelación, trocha, peralte e inclinación del riel) y el correcto montaje de las armaduras y de los encofrados, se procede al vaciado de los plintos. Los encofrados serán estancos y lo suficientemente rígidos como para impedir deformaciones, y se achaflanarán las aristas. Asimismo, se protegerá el riel y las sujeciones convenientemente para impedir que se manchen de hormigón.

Posteriormente se comprobará topográficamente la correcta geometría de las vías atendiendo a las tolerancias de la Empresa Metro de Bogotá. Para ello se realizará un metraje de la vía cada cinco metros mediante la ejecución de una marca indeleble en el carril.

En caso de que se superen las tolerancias establecidas se realizarán las oportunas correcciones, sin que en ningún caso se modifiquen dichas tolerancias. Si fuera necesario realizar correcciones que supongan una modificación de la configuración estándar del sistema de sujeción indicado en el documento de especificaciones técnicas que previamente se habrá entregado (debido a la eliminación de la placa de asiento, inserción de placas intermedias de distintos grosores o sustitución de piezas). La Empresa Metro de Bogotá estudiará el alcance del problema, pudiendo incluso exigir la demolición y reconstrucción de aquellos tramos en los que las diferencias se lleven al límite de holgura de las sujeciones.

Se soldarán todas las uniones embridadas excepto aquellas que deban ser utilizadas para la ejecución de la liberación de tensiones de las vías, que se ejecutarán al finalizar dicha actividad. Las soldaduras se situarán centradas entre dos sujeciones, y enfrentadas. Todas las soldaduras quedarán troqueladas, indicándose el número de la soldadura, la identificación del soldador y la fecha de ejecución. En el caso de que el método empleado sea la soldadura aluminotérmica, se emplearán kits de un solo uso. Se comprobará la geometría de la soldadura realizada mediante el uso de una regla electrónica homologada y calibrada capaz de generar para cada soldadura analizada un informe que represente numéricamente y gráficamente su geometría (alineación y nivelación) que indique la aptitud de la soldadura o la posibilidad, en su caso, de ser reparada. Se generará un acta para cada una de las soldaduras ejecutadas, donde al menos se incluya la siguiente información:

- Localización de la soldadura (vía, punto kilométrico e hilo).

- Identificación del soldador.
- Fecha y hora de ejecución.
- Identificación de la carga de soldadura utilizada.
- Tipo de cala empleada.
- Temperatura del riel.

Se entregará de forma previa al inicio de los trabajos la documentación que justifique convenientemente la aptitud del soldador. Dicha documentación podrá consistir en una homologación de una administración competente o una certificación del fabricante que suministre el material.

Para la realización de la liberación de tensiones en la vía se determinarán las longitudes de los tiros de liberación, en función del trazado y de la insolación recibida a lo largo del día, y se definirá la temperatura de neutralización en función de las temperaturas medias de los rieles a lo largo del año. El método a emplear será el de calentamiento solar. Se utilizará siempre que sea posible el método solar y se comprobará el apriete definitivo de las sujeciones al final del proceso. Se utilizarán mazas de caucho para golpear el alma de los rieles, y se empleará una moto clavadora para el apriete simultáneo de cada uno de los cuatro hilos, disponiendo además de una máquina de repuesto in situ. Se generará un acta de liberación de tensiones para cada uno de los tiros realizados, donde se indique explícitamente la dilatación de los cuatro hilos comprendida entre el aflojado de las sujeciones y maceado de los rieles, y el apriete de dichas sujeciones. Después del proceso de neutralización se comprobará el apriete definitivo de las sujeciones.

Finalmente se limpiarán los rieles y sujeciones, y se comprobará el correcto acabado superficial de los plintos.

10.16.10.2. Vías del patio-taller

La tipología de las vías de la zona de Patio y Taller varía según la función y los equipamientos implantados en ellas.

En el caso de que las vías de conexión y el haz de vías se monten sobre balasto, se emplearán traviesas monobloque de hormigón espaciadas cada 60 cm, sobre una capa de 20 cm de balasto. La superestructura en este caso estará compuesta por lo siguiente:

- Rieles 54E1 en barra corta de 18 m.
- Fijaciones elásticas sobre durmientes de hormigón monobloque cada 0,6 m.
- 20 cm de balasto.
- Aparato de vías tipo 54E1-tg1/5-R100 sobre durmientes de hormigón.

De forma previa al posicionamiento de los durmientes se compactará el lecho de balasto, y se ejecutará un pequeño surco central (sin cordones laterales). Se ejecutará un piqueteado de vías como red de apoyo topográfico para el control del posicionado de las traviesas (en un primer momento) y el control de la geometría de las vías (posteriormente). El hombro de balasto será de al menos 80 cm. Las soldaduras se ejecutarán una vez embalastadas y bateadas las vías. Se cuidará que el balasto no sobrepase la arista superior de los durmientes, y que quede al menos cuatro centímetros por debajo de la superficie inferior del riel.

En la zona de Patio y Talleres, adicionalmente existen vías con diferente función y por tanto la superestructura se adapta consecuentemente, pudiendo ser con foso o sin él, sobre pilarillos metálicos, ancladas o embebidas, en función de la necesidad.

10.16.10.3. Replanteo de vías

Para el replanteo de la vía, se utilizarán aparatos topográficos que permitan las precisiones mínimas especificadas en el proyecto. Estos equipos topográficos necesarios en función de las características técnicas de los mismos se pueden agrupar como sigue:

- A. Equipo topográfico para replanteo de vías con base en carro de vías.
 - a. Estación o estaciones totales remotas con precisiones de 1" o 0.5" para guiado de carro de vías.
 - b. Carro de vías para replanteo y control de parámetros de posicionamiento geométrico de carriles, ancho entre carriles, peralte, y nivelación de ambos carriles.
 - c. Regla de replanteo y control de inclinación de carril

- B. Equipo topográfico para replanteo y control de vías con base a elementos clásicos de control:
 - a. Estación total con precisión de 1" o 0.5".
 - b. Regla multifunción, con soporte para prisma, y control de peralte, ancho entre carriles y nivelación de carril.
 - c. Regla para replanteo y control de inclinación de carril.
 - d. Asas de flechar.

- C. Equipo topográfico para replanteo y control de vías con base a elementos clásicos de control (segunda opción):
 - a. Estación total con precisión de 1" o 0.5"
 - b. Zapata de vías con soporte para mini prisma, para control de posicionamiento y nivel de carril colocado.
 - c. Regla para replanteo y control de trocha de vía y peralte.
 - d. Regla para replanteo y control de inclinación de carril.
 - e. Asas de flechar.

Cualquiera de las combinaciones expuestas puede ser utilizada para el montaje de vías, debiendo exponer tanto los medios como las metodologías a utilizar, previamente a aprobación por parte de la Empresa Metro de Bogotá.

10.16.10.4. Ensanchamiento de vía

En vía general, dado que el radio mínimo a emplear es 300 metros no se prevé la necesidad de modificar la trocha de vía estándar.

En el caso de curvas de radio inferior a 200 metros, se propondrá un cuadro con la modificación del ancho de vía en función del radio con objeto de reducir el desgaste tanto del riel como de la rueda. Se evaluará la posible afección en la inscripción del bogie del tren en estas curvas en caso de que el diseño prevea la existencia de juntas (rectas) en este tipo de alineaciones.

10.16.10.5. Tolerancias geométricas en el montaje de vía

Para el caso de la vía sobre viaducto, las tolerancias finales son las siguientes:

- Altimetría -3/+3 mm. Variación 1mm/m
- Planimetría: -3/+3 mm. Variación 0,4mm/m
- Trocha: -1/+2 mm. Variación 1mm/m
- Peralte: -3/3 mm. Variación 1mm/m
- Inclinación del riel (1/40): 1,7%-3,3%

En el caso de las vías en talleres (vía sobre balasto, sobre postes y embebida) las tolerancias son las siguientes:

- Altimetría -10/+10 mm. Variación 1,5 mm/m
- Planimetría: -5/+5 mm. Variación 1 mm/m
- Trocha: -2/+3 mm. Variación 1mm/m
- Peralte: -3/+3 mm. Variación 1,5 mm/m

Además en el caso de la vía embebida hay que controlar la inclinación del riel, la tolerancia será:

- Inclinación del riel (1/40): 1,7%-3,3%

En el caso de la vía sobre balasto la separación entre durmientes será de 600 mm con una tolerancia de ± 20 mm. Se controlará que los durmientes queden a escuadra respecto a los rieles con una tolerancia de ± 10 mm.

Se facilitarán los valores de par de apriete recomendado por el fabricante de los sistemas de sujeción empleados en la construcción de las vías con esta tipología.