



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE MOVILIDAD

**DISEÑO CONCEPTUAL DE LA RED DE TRANSPORTE MASIVO  
METRO Y DISEÑO OPERACIONAL, DIMENSIONAMIENTO  
LEGAL Y FINANCIERO DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO EN  
EL MARCO DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE  
PUBLICO-SITP- PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

**PRODUCTO Nº 15:  
EVALUACIÓN DE LAS  
ALTERNATIVAS DE LA RED METRO DEL SITP**

**Tomo 1: Formulación y caracterización de las alternativas de red de metro**

**MB-GC-ME-0015  
Rev. 0.**



**TITULO DEL DOCUMENTO: EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE LA RED METRO DEL SITP**

*Tomo I: Formulación y caracterización de las alternativas de red de metro*

DOCUMENTO N°: MB-GC-ME-0015

Referencia: P210C25

Fichero: MB-P15.doc

Revisión número: 0 Fecha revisión: 13/08/2009

	Nombre	Firma	Fecha
Realizado por	Susana Domingo		Agosto 2009
Verificado por	Guillermo Dierssen		Agosto 2009
	Diego Duque		Agosto 2009
Aprobado por	Luis M. San Martín		Agosto 2009
	Esteban Rodríguez		Agosto 2009



**REGISTRO DE CAMBIOS**

<b>REV.</b>	<b>FECHA</b>	<b>SECCIÓN / PÁRRAFO AFECTADO</b>	<b>INICIO DEL DOCUMENTO/ RAZONES DEL CAMBIO</b>
0	13/08/2009	TODOS	DOCUMENTO INICIAL

## ÍNDICE

1.	Introducción y objetivos .....	5
2.	Formulación de alternativas de Red.....	6
2.1	<i>Alternativa 0</i> .....	7
2.2	<i>Alternativas de Red analizadas en estudios anteriores</i> .....	10
2.2.1	<i>1981 Estudio de factibilidad y realización de un sistema de transporte masivo para Bogotá, INECO-SOFRETU</i> .....	11
2.2.2	<i>1987 Estudio de corredores férreos, Grupo Italiano (Resultados de una licitación internacional)</i> .....	13
2.2.3	<i>1996 Plan Maestro de Transporte Urbano de Santa Fé de Bogotá, JICA</i> .....	15
2.2.4	<i>1997 Diseño conceptual del sistema integrado de transporte masivo de la Sabana de Bogotá</i> .....	17
2.2.5	<i>Análisis comparativo de los estudios</i> .....	19
2.3	<i>Nuevas alternativas de red: criterios de concepción</i> .....	24
3.	Descripción detallada y caracterización de las diferentes alternativas de red.....	25
3.1	Red A.....	32
3.2	Red B.....	34
3.3	Red C.....	36
3.4	Red D.....	38
3.5	Resumen de Alternativas de Red.....	40
3.6	Ubicación de Patios y Talleres .....	41
4.	Análisis multicriterio de las propuestas de Red.....	44

## 1. Introducción y objetivos

Con el objetivo de definir y determinar la propuesta óptima de red metro mediante la caracterización y análisis de todos los criterios que intervienen en la definición de una red, el Grupo Consultor ha elaborado el presente documento, estructurado en dos actividades fundamentales:

1. Formulación y caracterización cuantitativa y cualitativa de las diferentes propuestas que se plantean para la futura red de metro para la Ciudad de Bogotá
2. Implementación de la metodología de evaluación de redes metro establecida en el Producto 14, y selección de la red de metro con mejor desempeño

La estructura del presente documento se articula en una introducción preliminar de los alcances de la metodología planteada de acuerdo a los Términos de Referencia y la Propuesta presentada por el Grupo Consultor en fase de Licitación, para luego desarrollar los dos bloques principales del producto correspondientes a las actividades anteriormente citadas.

El Producto 15 se organiza en 8 tomos, cuyos contenidos se detallan a continuación:

Tomo 1: Formulación y caracterización cuantitativa y cualitativa de las diferentes alternativas de red de metro previstas para la Ciudad de Bogotá

Tomo 2: Implementación de la metodología de evaluación multicriterio y recomendación de selección de red, que incluye como anexo un manual de uso de la herramienta de ayuda a la toma de decisiones diseñada por el Grupo Consultor

Tomo 3: Anexo de cálculo de los indicadores del Eje 1

Tomo 4: Anexo de cálculo de los indicadores del Eje 2

Tomo 5: Anexo de cálculo de los indicadores del Eje 3

Tomo 6: Anexo de cálculo de los indicadores del Eje 4

Tomo 7: Anexo de cálculo de los indicadores del Eje 5

Tomo 8: Anexo de cálculo de los indicadores del Eje 6

Los anexos incluyen los procedimientos de cálculo de los indicadores correspondientes a cada eje, de modo que puedan ser consultadas las bases de información empleadas para el cálculo de los mismos.

En el Producto 15 se han aplicado los indicadores definidos en el Producto 14 como parte de la metodología para la Selección de la Red de Metro. Estos indicadores, tal y como se establece en los Términos de Referencia valoran los siguientes aspectos:

- Urbanísticos
- Captación de usuarios al SITP (Oferta y Demanda)

- Socioeconómicos
- Integración con el PMM
- Accesibilidad
- Redes de servicios públicos
- Ambientales
- Adquisición, expropiación y/o relocalización
- Suministro de energía
- Riesgos naturales

## 2. Formulación de alternativas de Red

Antes de empezar a hablar de “Corredores y Líneas” es importante matizar el significado de cada uno de estos términos.

**Corredor:** Es el potencial pasillo por donde debe implantarse el sistema, cuya anchura es variable ya que comprende una franja muy amplia por donde se concentran los mayores desplazamientos de la población.

**Línea:** Posteriormente a la definición de corredores se analiza, a una escala mayor, por donde debe pasar el trazado y donde deben ubicarse las estaciones y sus accesos. A este nivel ya se puede trabajar en coordenadas y determinar por que calles debe pasar la línea y donde se deben colocar las estaciones.

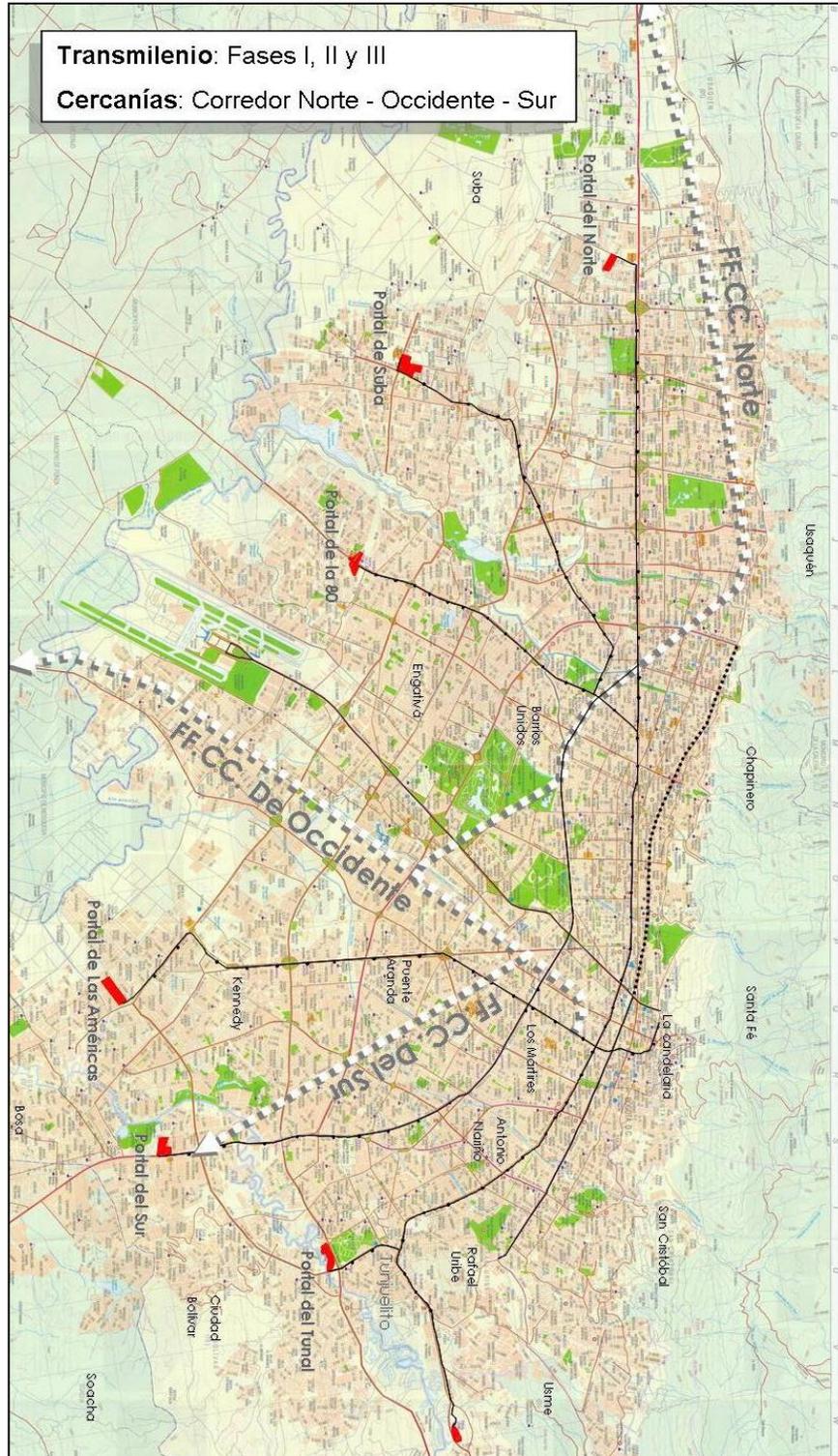
La línea encierra un valor no sólo de trazado dentro de la ciudad, sino de explotación ferroviaria. Así una línea podrá ocupar más de un corredor y es posible que un corredor contenga en parte de él más de una línea.

Según se establece en los Términos de Referencia se han analizado los siguientes escenarios:

- Alternativa 0 (Bogotá sin metro)
- Alternativas de red analizadas en estudios anteriores
- Nuevas alternativas de red propuestas

A continuación se detallan cada uno de estos escenarios.

## 2.1 Alternativa 0



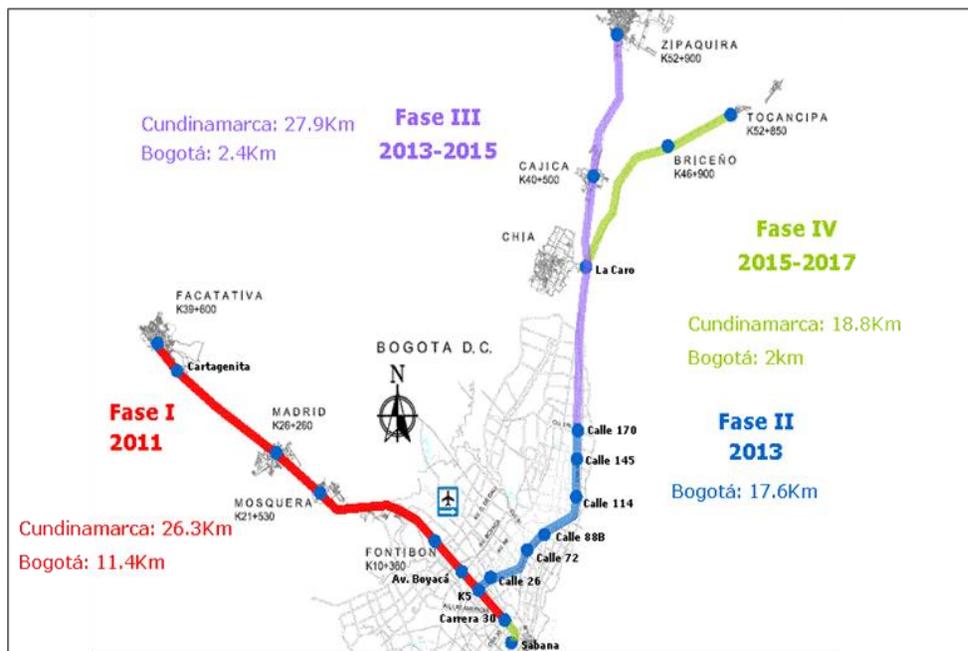
Se considera como Alternativa 0 aquella en la que no existe una red de metro convencional y solo forman parte del SITP:

- Transmilenio (Fases I, II y III),
- Cercanías (Norte y Occidente)
- Transporte colectivo (Buses)

El transporte masivo en la ciudad de Bogotá se organiza con una red de corredores operados por Transmilenio, y de cercanías, según el gráfico adjunto. La mayoría de estos corredores son radiales y comunican la periferia con el centro (Suba, 80, Américas y Sur) y la línea Norte-Tunal, Usme une el Norte con el Sur pasando por el centro. En esta malla faltaría un corredor Norte-Sur por la periferia que ayudaría a descongestionar el centro.

Los corredores del Tren de Cercanías, en funcionamiento, son el corredor del Norte y el corredor de Occidente. En la actualidad el corredor del Sur está fuera de servicio e incluso parte del corredor ha sido ocupado por la edificación. En los próximos años está prevista una remodelación de estos corredores en cuatro fases tal y como se muestra en el gráfico adjunto (Figura 1)

**Figura 1. Fases de ejecución del proyecto del Tren de Cercanías de La Sabana de Bogotá**



Fuente: Estudio de Estructuración Técnica, Legal y Financiera del Tren de Cercanías de La Sabana de Bogotá y el Distrito Capital (2007) ConCol

El sistema de transportes de la ciudad de Bogotá, con una demanda actual de 1.060.000 viajes en hora punta, realizados en un 63% con Transporte Público y 37% en el vehículo privado, es un sistema congestionado donde las velocidades medias del viario en ese período no alcanzan los 17 km/hora. El Sistema de Transporte Público Colectivo está afectado muy negativamente por esas velocidades y el Transporte Público Masivo existente (TRANSMILENIO), aunque con buenas velocidades comerciales, presenta unos niveles de ocupación no admisibles en diversas partes de sus líneas.

En los próximos treinta años, la ciudad de Bogotá y su entorno más próximo van a experimentar, como no podía ser de otra manera, cambios importantes en su estructura social, económica y urbana.

Las tendencias demográficas van a exigir reasentar 3,61 Millones de personas, de los que la mayoría (2,47 Millones) corresponden a la ciudad de Bogotá. La densidad actual de la ciudad no va a permitir una asignación del crecimiento propio en la misma ciudad, crecimiento que deberá ser absorbido en parte por el entorno de proximidad. De esta manera, la proporción entre la población del entorno y Bogotá pasará de un 14% en el año 2008 a un 19% en el año 2038.

Por su parte, durante el mismo período la actividad económica va a generar en el mismo ámbito un aumento de 1,65 Millones de nuevos empleos, de los que casi 1,20 Millones se localizarán en la ciudad de Bogotá (debido a la potenciación del carácter de la ciudad como Centro de Negocios y Actividad de primer orden), y a corto y medio plazo ligados fundamentalmente a los diversos Planes de Desarrollo y Actuaciones Estratégicas propuestas para los próximos años.

Finalmente, se espera para los próximos treinta años un crecimiento muy importante de la tasa de motorización en el ámbito, pasando de los 93 vehículos/1000 habitantes actuales a los más de 200 vehículos/1000 habitantes, en el año 2038, siendo los estratos medios (estrato 3 y 4) aquellos para los que se prevé un cambio más radical.

Estos cambios introducen en la demanda de movilidad de Bogotá y su entorno modificaciones substanciales en la demanda de transporte, caracterizadas básicamente por:

- Un incremento importante en el total de viajes, y en particular en los viajes en hora punta, que experimentan un crecimiento similar al de la población (30%).
- Un incremento aún mayor de los viajes\*km al aumentar la proporción de los viajes entre el entorno y la ciudad y, como consecuencia de ello, la distancia media de los mismos.
- Una mayor disponibilidad de vehículo propio en algunos estratos, anteriormente cautivos en casi su totalidad del Transporte Público.

Frente a estas expectativas de futuro, existen diversos planes para mejorar la situación. En esta línea, el IDU contempla una serie de proyectos viarios aislados orientados a incrementar ligeramente la capacidad en tramos críticos de la red (allá donde es posible), pero que resultarán a largo plazo y a todas luces insuficientes para absorber el incremento de demanda esperado, y mejorar sustancialmente las condiciones de circulación en hora punta.

Por su parte, TRANSMILENIO prevé la creación de nuevas líneas en corredores actualmente no utilizados, con el objeto de retirar de la circulación la mayor parte de los autobuses que en esos momentos utilizan dichos corredores y mejorar así, tanto las condiciones para los usuarios del Transporte Público como el nivel de servicio del viario. Como en el caso anterior, estas actuaciones son necesarias y convenientes pero no suficientes para solucionar el problema a largo plazo, como lo ponen de manifiesto algunos indicadores del sistema en el año 2038 donde:

- La velocidad media del viario en hora punta no superará los 18 Km/hora,
- La ocupación media del transporte público colectivo alcanzaría cifras impensables (superior al 80%).

Por todo lo anterior, la solución a largo plazo para el sistema parece pasar por la puesta en marcha de actuaciones infraestructurales decididas en el sistema de transporte público colectivo, que mejoren la capacidad y calidad del mismo y que no resulten intrusivas sobre el viario, restando capacidad al mismo: SISTEMAS METRO.

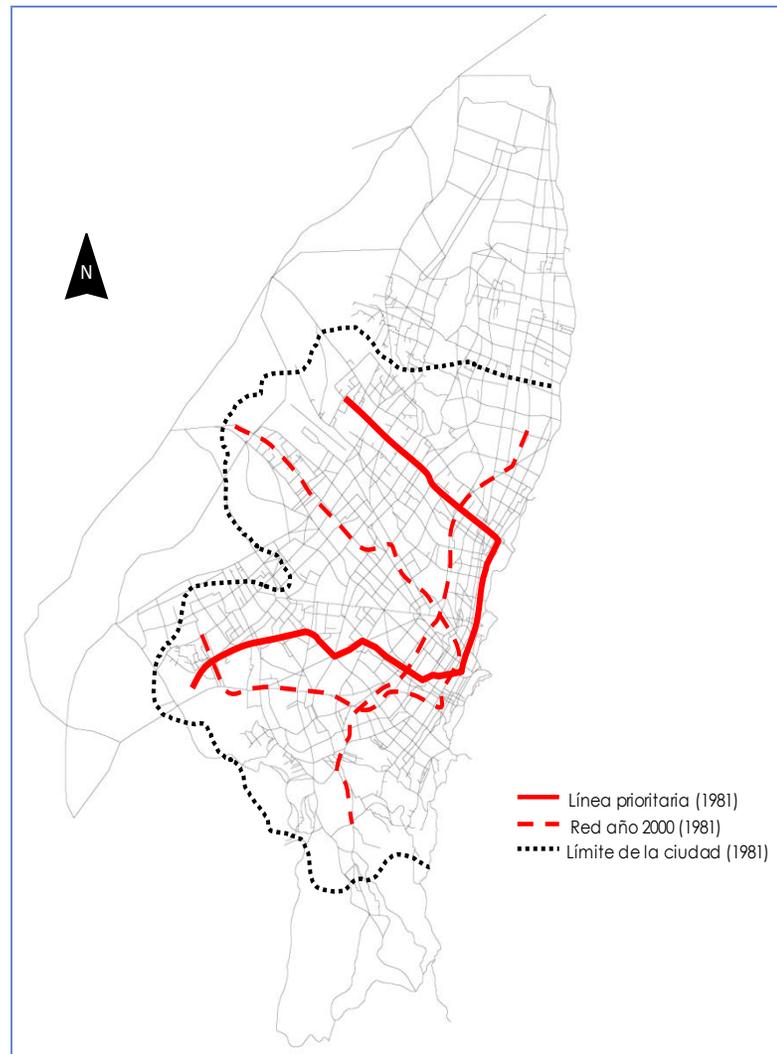
## **2.2 Alternativas de Red analizadas en estudios anteriores**

Los proyectos realizados en estudios anteriores tenían como objetivo solucionar las deficiencias presentadas por el transporte público hasta el momento y estructurar el continuo crecimiento de la ciudad de Bogotá. Así entre el año 1981 y el año 1997 se sucedieron 3 estudios y los resultados de una licitación internacional:

- 1981 Estudio de factibilidad y realización de un sistema de transporte masivo para Bogotá, INECO-SOFRETU
- 1987 Estudio de corredores férreos, Grupo Italiano (Resultados de una licitación internacional)
- 1996 Plan Maestro de Transporte Urbano de Santa Fé de Bogotá, JICA
- 1997 Diseño conceptual del sistema integrado de transporte masivo de la Sabana de Bogotá

A continuación se incluye un resumen del análisis que se realizó de estos estudios y que forma parte del Producto 1 Diagnóstico.

### **2.2.1 1981 Estudio de factibilidad y realización de un sistema de transporte masivo para Bogotá, INECO-SOFRETU**



Fuente: INECO-SOFRETURG

#### **Análisis de la Propuesta INECO-SOFRETU-CS**

Este proyecto, en que se propusieron tres líneas de Metro, tenía como objetivo dar cobertura a toda la ciudad de Bogotá. Adicionalmente, se prestó especial atención al sector más céntrico de la ciudad, por la

cual confluían todas las líneas, facilitando así un modelo de transporte concéntrico situando el núcleo en la zona histórica de la ciudad dándole a ésta la función de centro de captación y distribución de viajes.

La propuesta presentaba un número de paradas reducido para que los costes iniciales de la inversión se ajustaran a la coyuntura económica del momento. Esta decisión, financieramente adecuada ya que facilitaba la viabilidad económica de la línea, en términos estrictos de movilidad no permitía aprovechar completamente el efecto estructurante de la red en toda la longitud de la línea y, además, retrasaba la renovación completa de las localidades afectadas por la infraestructura.

El planteamiento de red de metro con superestructura elevada proponía la segregación del tránsito vial con estaciones distribuidas a lo largo del recorrido. Esta segregación proporcionaría una mejor optimización de los modos de transporte (tanto público como privado) ofreciendo en un mismo corredor una capacidad de viajes mayor a la oferta existente en la actualidad.

Para la definición del trazado de la red, se consideró como condicionante la máxima captación de pasajeros posible; para adecuarse a dicho requerimiento, se planteó una primera línea de metro que uniría las principales localidades de generación de demanda con las zonas de atracción.

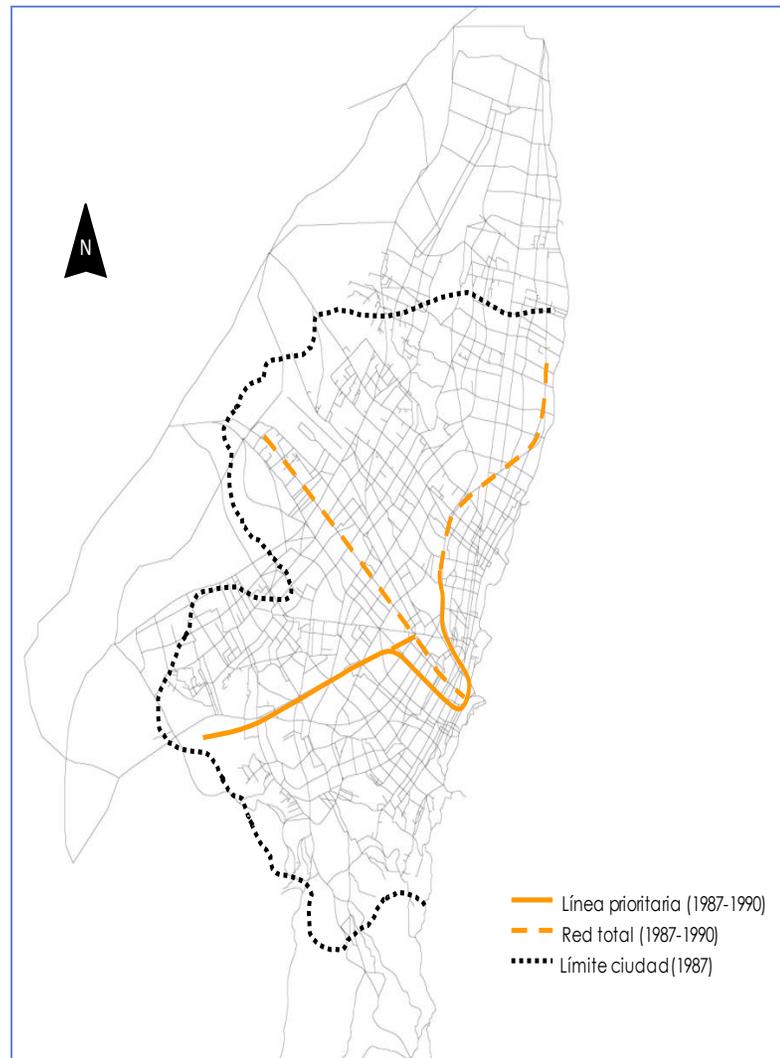
Dentro del conjunto de la red de metro propuesta, la PLM se proyectó según el eje Ciudad Bolívar-Santa Fe-Engativá; esta línea recorría, además de las localidades ya mencionadas, los distritos de Barrios Unidos y Chapinero, en la zona norte, y Puente Aranda y Ciudad Kennedy, en el sector sur. La realización de la línea tenía como objetivo poder estructurar toda el área afectada permitiendo la renovación de las zonas más desfavorecidas (especialmente las situadas al sur).

La primera línea de metro, se complementaría con otro corredor en forma de U que uniría las localidades de Fontibón y Ciudad Bolívar, recorriendo a su vez Rafael Uribe, Santa Fe y Teusaquillo. Además, se planteó una tercera línea que recorrería la ciudad mediante un eje Norte-Sur que permitiría la estructuración de los distritos de Usme y Usaquén. La tarifa considerada para la red se quiso ajustar a los costes de explotación de la línea sin prever ningún tipo de subsidio; esta propuesta concordaba con la política Bogotana que ha preterido a no subsidiar el transporte público.

En la propuesta de trazado que se presentó tenía los siguientes detalles constructivos:

- Recorrido en superficie que representaba más del 50% del total
- Trayecto en viaducto no alcanzaba el 15%
- Longitud en subterráneo resultaba ser del 32%, mayoritariamente en trinchera cubierta

### **2.2.2 1987 Estudio de corredores férreos, Grupo Italiano (Resultados de una licitación internacional)**



Fuente: Estudio corredores férreos, 1987

#### **Análisis de la Propuesta Intermetro-SPA**

En este estudio se planearon dos líneas de metro siguiendo los corredores existentes de vía férrea que se combinarían con una troncal de autobuses que redistribuiría a los usuarios del sistema metro. Esta opción se planteó debido a los problemas económicos que atravesaba el Gobierno de Colombia durante la realización de la propuesta. La realización del proyecto aunque facilitaría de manera considerable la

construcción de la infraestructura debido a que los predios eran de propiedad estatal, impediría adecuarse a la demanda de viajeros ya que el recorrido vendría preestablecido por las vías de tren.

Se planteó, a su vez, la opción de aprovechar durante la ejecución de la obra toda la superestructura existente de los corredores férreos (vías, estaciones, durmientes, señalización,...) para reducir, en la medida de lo posible, los costes totales de construcción de la red de metro.

El objetivo del proyecto era convertirse en un modo de transporte válido para acceder desde las zonas periféricas al centro histórico, aunque la evolución producida en Bogotá D.C. en los últimos 20 años ha provocado que, especialmente en los extremos norte y sur, la periferia de la ciudad se haya trasladado más lejos del centro, dificultando el propósito con el cual se realizó el estudio.

Las líneas proyectadas articularían la ciudad a partir de dos ejes con el centro histórico de la ciudad como nexo de unión de ambos. El primero, en dirección norte-sur, se extendería por las localidades de Usaquén, Barrios Unidos, Teusaquillo, Santa Fe y Ciudad Bolívar mientras que el segundo eje, orientado este-oeste, enlazaría los distritos de Fontibón y Puente Aranda con el núcleo de Bogotá D.C. El proyecto contaría con una línea troncal de autobuses que recorrería la Avenida Caracas, que permitiría redistribuir los pasajeros de la red de metro de manera más eficiente.

En la propuesta, se consideró que la primera línea de metro conectara la localidad de Ciudad Bolívar, situada al suroeste de la ciudad, con el centro histórico y administrativo de Bogotá D.C. mediante una primera vía de 23 kilómetros de longitud, lo que permitiría estructurar una zona muy desfavorecida y unirla con el resto de la población ofreciéndole la posibilidad de modernizarse.

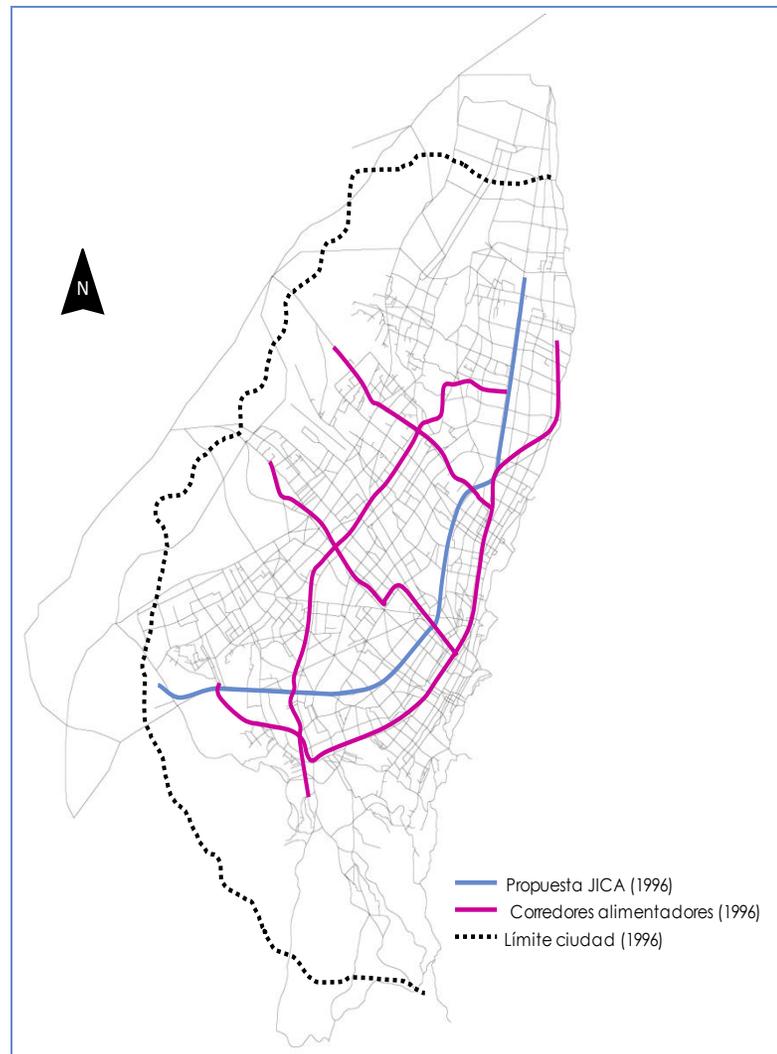
El trazado presentado era mayoritariamente en superficie (más de la mitad del recorrido) y en viaducto (un 46% del total) y únicamente un 3% de la longitud de las líneas proyectadas sería superada mediante túneles, realizados en trinchera.

Finalmente, cabe destacar que el estudio contaba con el presupuesto más reducido de los que se presentaron en las diferentes propuestas, con un coste kilométrico medio que no superaba los 30 MM USD.

El trazado estaba compuesto por los siguientes porcentajes de tramos de vía:

- 51% de su recorrido en superficie
- 46% en viaducto
- 3% del trayecto en trinchera sin tener en ningún punto túneles en profundidad

### 2.2.3 1996 Plan Maestro de Transporte Urbano de Santa Fé de Bogotá, JICA



Fuente: Propuesta JICA, 1996

#### **Análisis de la Propuesta JICA**

En el proyecto realizado por la Agencia de Cooperación Japonesa se propuso una red alternativa a los estudios anteriores; para este fin se consideró la realización de una única línea de metro orientada norte-sur, que seguiría el corredor autopista Norte, avenida Ciudad de Quito, autopista Sur, debido a que éste

poseía extensión suficiente para la disposición de una línea férrea. Esta elección impedía usar un corredor situado en las zonas con la máxima demanda existente en la ciudad.

La demanda para la línea de metro se estimó que sería cercana a los 380,000 pasajeros/día en 2020, una vez hubieran transcurrido 4 años de la puesta en funcionamiento de la red, que se preveía estuviera terminada en 2016.

En el estudio, también se plantearon un conjunto de corredores alimentadores que permitirían una mayor accesibilidad al sistema metro por parte de la población de Bogotá D.C. lo que facilitaría una demanda superior en la infraestructura haciéndola más viable. Se proyectaron 4 recorridos, dos circulando en dirección paralela a la línea de metro, situados en la avenida Caracas y la avenida Boyacá, y dos más perpendiculares al corredor NQS, localizados en la Autopista El Dorado y la AC 80 (Autopista Medellín).

Los corredores alimentadores planteados se eligieron en base a una demanda potencial de los mismos, teniendo en cuenta la evolución que se esperaba en la ciudad de Bogotá en los siguientes años, lo que permitiría un mayor aprovechamiento de la infraestructura a medio y largo plazo.

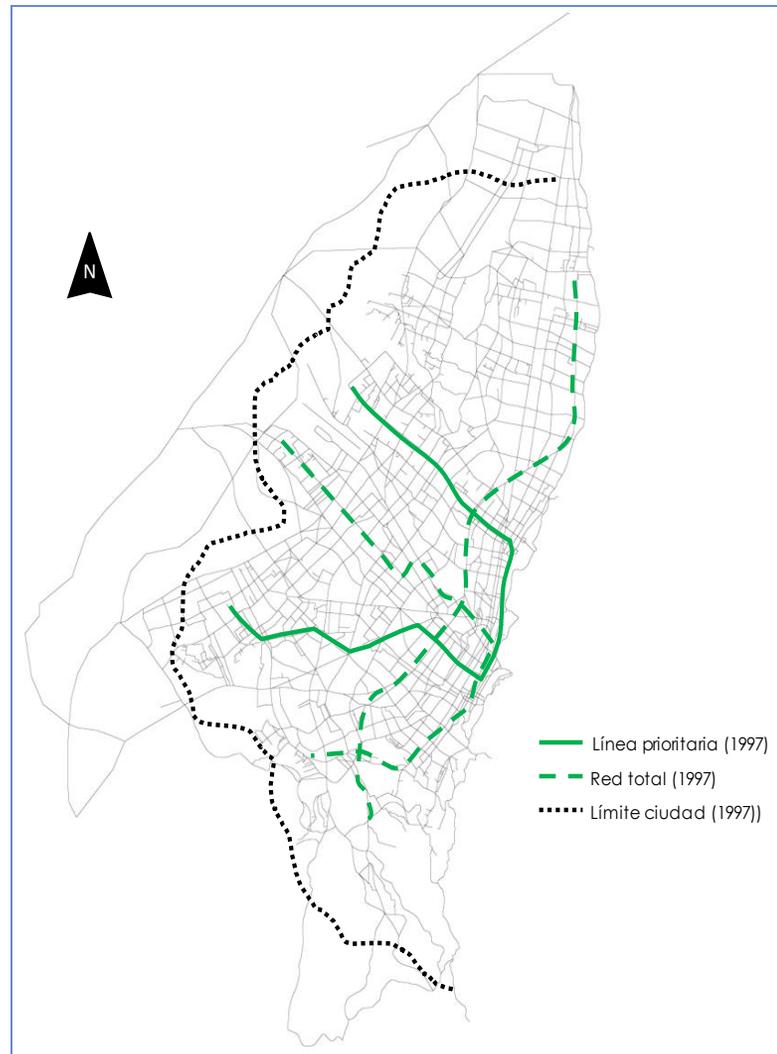
Con este sistema, la red de transporte masivo propuesta alcanzaba a dar servicio a prácticamente toda la ciudad de Bogotá, sin tener en cuenta, únicamente, las zonas en expansión situadas en los extremos norte (localidades de Usaquén y Suba) y sur (Distrito de Usme) de la ciudad.

La propuesta, además de proponer un sistema de transporte masivo para la ciudad de Bogotá, pretendía reestructurar el sistema de movilidad existente en la capital colombiana mediante la reorganización de rutas de buses, aumento de capacidad de los mismos, el reemplazo de la flota existente de buses, la integración de la administración de transporte público y la reestructuración organizativa de las entidades operadoras.

El precio total de la línea principal de metro, que comenzaría a construirse en 2006, se valoró en 2,477 MM USD, con el coste kilométrico más elevado de las diferentes propuestas presentadas, superior a los 70 MM USD.

La documentación que se disponía para la realización del estudio no permitía establecer los detalles constructivos del diseño.

## **2.2.4 1997 Diseño conceptual del sistema integrado de transporte masivo de la Sabana de Bogotá**



Fuente: Estudio corredores férreos, 1987

### **Análisis de la Propuesta BECHTEL-SYSTR-INGETEC**

La propuesta planteada por el consorcio B-S-I consideró la realización de un conjunto de tres líneas de metro que permitirían dar servicio a las zonas más densificadas de la ciudad estructurándolas, a la vez que descongestionaría las vías más cargadas de la capital bogotana; además, se complementarían la red

con un conjunto de buses expresos que proporcionarían una función alimentadora con carácter local, los cuales ofrecerían una mejor prestación beneficiando a más comunidades.

En el estudio, se planteó una primera línea de metro, al igual que en la propuesta de INECO-SOFRETU, que recorrería el eje Ciudad Bolívar-Santa Fe-Fontibón, para poder estructurar dicho territorio permitiendo la renovación de estas zonas, especialmente la localidad de Ciudad Bolívar, uno de los distritos más desfavorecidos actualmente. Este corredor, en forma de U, atravesaría también las localidades de Mártires y Antonio Nariño (al sur) y Teusaquillo (al norte) la cual estaría funcionando en 2001. Se previó que en 2006, la línea tendría una capacidad de 56,000 pasajeros por hora y sentido con un intervalo de paso de 2 minutos y 45 segundos.

La segunda línea de la red de metro tenía como objetivo conectar el sector más meridional de Ciudad Bolívar con las localidades de Bosa y Ciudad Kennedy, pasando por el centro histórico de la ciudad. Este corredor posibilitaría la unión de dos distritos esencialmente obreros, con el núcleo de la población. Su puesta en funcionamiento estaba prevista en 2011 y para entonces se esperaba una capacidad en la línea de 46,000 pasajeros por hora y sentido con un intervalo de paso menor a 3 minutos.

El sistema masivo se completaba con una tercera línea de metro que recorrería la ciudad de norte a sur; el corredor daría servicio directo a las localidades de Usaquén, Chapinero, Los Mártires, Antonio Nariño, Rafael Uribe y Usme. La fecha de finalización de la infraestructura sería el año 2016 y la capacidad máxima que podría absorber y el intervalo de paso tendrían los mismos valores que la segunda línea.

La cobertura que proporcionaba la red de metro propuesta por el consorcio Bechtel-Systra-Ingetec daba servicio a gran parte de la ciudad de Bogotá, únicamente no abastecía a la localidad de Suba y la zona sur de Usme. Esta conexión de toda la ciudad, además se reforzaría con un sistema de buses alimentadores de carácter local que darían una mayor accesibilidad a la malla.

Para acceder al servicio de transporte proyectado, se planteó una integración tarifaria que se adaptara a los requerimientos del usuario para así poder captar una demanda de pasajeros elevada. Se consideraría una tarifa unimodal (únicamente se podría usar el metro) y otra multimodal (en la que se podría utilizar tanto el metro como el servicio de bus en un mismo viaje).

El coste de la red se valoró en 4,215 MM USD de los cuales 2.495 (más del 50%) corresponderían a la construcción de la primera línea. El coste medio kilométrico de la red superaba los 50 MM USD.

El trazado de la línea prioritaria de Metro se concibió de la siguiente manera:

- Principalmente en viaducto (más del 70% de la línea)
- En línea subterránea se recorría casi el 25% de la distancia
- En superficie apenas se circulaba durante 1.7 km lo que representa un 5% del total

### 2.2.5 Análisis comparativo de los estudios

En este apartado se analizan entre los diferentes proyectos de metro presentados, un conjunto de indicadores que permiten confrontar dichas propuestas entre sí. En primer lugar se presenta una tabla con los diferentes valores obtenidos y, a continuación, se realiza un análisis detallado de cada uno de los indicadores.

En primer lugar se estudia el importe económico, tanto total como por kilométrico, a desembolsar para la realización del proyecto; en segundo lugar, se comparan las diversas extensiones de red planteadas; y a continuación, se analiza la cobertura de los diferentes corredores a partir de la longitud de línea y la superficie que se propuso abastecer; el siguiente punto, examina la demanda prevista en cada una de las redes sugeridas; el quinto punto indica la velocidad comercial con la que se diseñó el estudio y, finalmente, el último dato se refiere al tiempo que debe transcurrir para la puesta en servicio de la red.

**Tabla -1. Resumen indicadores analizados**

INDICADOR	INECO-SOFRETU	INTERMETRO-SPA	JICA	B-S-I
Coste total:	2,956 MM USD	1,360 MM USD	2,477 MM USD	4,215.1 MM USD
Coste kilométrico:	32.6 MM USD	30 MM USD	71.1 MM USD	53.5 MM USD
Longitud Total red	92.8 km	45.1 km	40 km	78.8 km
Longitud 1ª Línea	23 km	23 km	40 km	29.3 km
Cobertura de los Corredores	0.305 km/km <sup>2</sup>	0.144 km/km <sup>2</sup>	0.083 km/km <sup>2</sup>	0.196 km/km <sup>2</sup>
Demanda prevista	3,386,300 pax/día	1,400,000 pax/día	381,000 pax/día	3,750,000 pax/día
Velocidad de Diseño	28 km/h	43 km/h	n/a	40 km/h
Tiempo necesario puesta en marcha	5 años	8 años	10 años	4 años

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de los diferentes estudios analizados*

### Coste económico: Total/Kilométrico

El importe total de los diferentes proyectos de Metro realizados varía entre los 1,360 MM USD (Intermetro-SPA) hasta los 4,215.1 MM USD (B-S-I) mientras que el coste kilométrico oscila entre los 30 MM USD (Intermetro-SPA) y los 71.1 MM USD (JICA); estas diferencias considerables en los precios se deben, especialmente, a las longitudes de redes que cambian en función del proyecto escogido y la tipología de construcción usada.

El estudio de INECO-SOFRETU, con un importe total de 2,956 MM USD y un coste kilométrico de 32,6 MM USD, se situaba como el segundo proyecto más caro pero uno de los menos costosos por kilómetro. El elevado precio radicaba en que el trazado era el más largo de los planteados en los estudios mientras que su reducido coste kilométrico se debía, especialmente, a que su recorrido se realizaba de forma mayoritaria por superficie y al limitado número de paradas que se planteaban en un principio por la desfavorable coyuntura económica de la época.

Intermetro-SPA planteó un proyecto con importes tanto total (1,360 MM USD) como kilométrico (30 MM USD) reducidos porque los costes de implantación del sistema se reducían ya que este estudio planeaba aprovechar los corredores férreos existentes, lo que evitaría el coste de expropiación de predios; además, se planteó la posibilidad de reutilizar toda la superestructura existente posible. Cabe destacar que un motivo por el cual se descartó esta propuesta fue la escasa confianza de los promotores hacia el proyecto debido al precio final reducido.

El estudio de red de metro planteado por JICA, que valoraba el proyecto en 2,477 MM USD, implicaba un coste kilométrico excesivamente elevado (superior a 70 MM USD) que se desmarcaba de las otras 3 propuestas; además, este proyecto no incluía información sobre los detalles constructivos ni material rodante que se usaría en la explotación de la línea.

Finalmente, el consorcio formado por Bechtel-Systra-Ingetec propuso en 1997 una red con un coste kilométrico elevado (cercano a los 52 MM USD). Este proyecto permitiría una primera línea de metro, que uniría una de las zonas más desfavorecidas con el centro, que estaría operativa en, únicamente, 4 años. Adicionalmente, su recorrido en superficie sería únicamente en un 5% del total de la red.

## Longitud de la red de metro

La extensión de la red, en los diferentes proyectos realizados por los grupos consultores, oscilaba entre los 40 kilómetros propuestos por JICA, hasta los 92 kilómetros planteados por el consorcio INECO-SOFRETU, y el número de líneas en los estudios variaba entre 1 (JICA) y 3 (INECO-SOFRETU y B-S-I).

Los proyectos consideraron como núcleo principal de la red, la localidad de Santa Fe, situada en el centro histórico de la ciudad, a excepción del modelo planteado por la Agencia de Cooperación Japonesa que tan solo lo bordeaba; además, todos los estudios realizados plantearon una línea de metro en el eje norte-sur y solamente la propuesta de JICA no consideró un recorrido este-oeste.

Los estudios de INECO-SOFRETU y B-S-I, que planteaban una red de metro con 3 corredores, ambas presentaron una primera línea que uniría los distritos de Ciudad Bolívar por un lado, y Fontibón/Engativá por el otro, con el centro de la ciudad; este corredor enlazaría las principales localidades de generación de viajes con el núcleo captador de demanda.

## Cobertura de los Corredores

Este indicador se obtiene al hacer el cociente entre la longitud de red de metro prevista en cada proyecto y la superficie de la ciudad en el momento de realización de la propuesta; se expresa en  $\text{km}/\text{km}^2$ .

A partir de los resultados obtenidos, se observa que la propuesta con mayor cobertura es la planteada por INECO-SOFRETU (con una cobertura de  $0.3 \text{ km}/\text{km}^2$ ), proyecto con mayor longitud de línea y con superficie de estudio menor; en el otro extremo se encuentra el estudio de JICA que tiene una cobertura menor a  $0.1 \text{ km}/\text{km}^2$  debido a que únicamente se planteaba un corredor de metro. Las propuestas de Intermetro-SPA ( $0.14 \text{ km}/\text{km}^2$ ) y B-S-I ( $0.19 \text{ km}/\text{km}^2$ ) se sitúan en un término medio de cobertura de red.

## **Demanda Prevista**

La demanda prevista en las diferentes redes de metro oscilaba entre los 381,000 viajeros por día en la propuesta de JICA y los 3,750,000 usuarios en día medio en el estudio realizado por Bechtel-Systra-Ingetec. Los proyectos de Intermetro-SPA (1,400,000 pax/día) y INECO-SOFRETU (3,386,300 pax/día) se situaban en una franja intermedia.

Considerando los viajeros por kilómetro de recorrido, se observa que el proyecto realizado por B-S-I alcanzaría los 48,000 pax/km, los estudios realizados por INECO-SOFRETU e Intermetro-SPA tendrían una demanda superior a 30,000 pax/km mientras que la propuesta de JICA movería cifras cercanas a los 10,000 pax/km.

Los estudios con una demanda mayor son los propuestos por INECO-SOFRETU y el consorcio B-S-I, que plantean una red con tres líneas de metro que darían servicio a la mayor parte de la ciudad de Bogotá; JICA, con la red más reducida, sería la opción que obtendría una menor demanda.

## **Velocidad de Diseño**

La velocidad media de recorrido de los vehículos que recorrerían la red de metro bogotana oscilaría entre los 28 km/h (INECO-SOFRETU) y los 43 km/h (Intermetro-SPA) en función de la propuesta escogida.

El proyecto presentado por el consorcio B-S-I, aunque cercano a los 40 km/h, no llegaba a circular con una velocidad superior al estudio realizado por Intermetro-SPA en 1987. Cabe resaltar que en la propuesta de JICA no se especificó detalle alguno sobre velocidad de recorrido.

El motivo principal de la variación de velocidad residía en la aceleración de los diferentes vehículos. En el proyecto planteado por Intermetro-SPA, la iniciativa con una celeridad mayor, consideró un valor de  $1.2 \text{ m/s}^2$ ; en el estudio de Bechtel-Systra-Ingetec, la aceleración de los coches se estableció en  $1 \text{ m/s}^2$ , mientras que en la propuesta realizada por INECO-SOFRETU no superaba los  $0.8 \text{ m/s}^2$ .

## **Tiempo Necesario para Puesta en Marcha**

El tiempo necesario para que el sistema de transporte masivo fuese operativo, es decir el lapso transcurrido entre el inicio de la construcción y la puesta en marcha de la infraestructura, varía entre los 4 y los 10 años en función del proyecto considerado.

Los estudios realizados por el consorcio Bechtel-Systra-Ingetec e INECO-SOFRETU permitían operar una primera línea de metro en únicamente 4 y 5 años respectivamente, mientras que las propuestas de JICA y Intermetro-SPA necesitaban un tiempo cercano a los 10 años.

## **Síntesis y conclusiones de los antecedentes metro**

La implementación de un sistema de transporte tan costoso como el de una red metro debe entenderse como un compendio de beneficios que de aportación a la ciudad. En este sentido, no sólo se facilita la movilidad a un importante número de usuarios, sino que se estructura la ciudad. Esta visión debe ser compartida por todos los niveles institucionales con poder de decisión.

Con el objetivo de reducir los costos al máximo, la mayoría de los recorridos fueron diseñados con elevados porcentajes de trazado en superficie, sin embargo la topografía de la ciudad y el entramado urbano obligaba la introducción de elementos costosos como viaductos y túneles o tramos en trinchera. Estas soluciones constructivas permiten salvar fácilmente las interrupciones con el tránsito vial, sin embargo multiplican fuertemente el costo de la obra.

En este sentido se destaca la importancia del costo de construcción y por ende las posibilidades de financiamiento como una de las principales variables para lograr el éxito de implementar un sistema de metro. El ajuste en las estimaciones de esta variable resultará clave no sólo en el proceso de selección de las alternativas de red sino también en la implementación final del sistema.

Como contrapeso a los costos constructivos cabe mencionar las importantes demandas estimadas para los proyectos. Desde hace casi treinta años la demanda se situaba por encima de los 40 M viajes por hora –en el caso del proyecto de los corredores férreos era sensiblemente menor debido a que el trazado no respondía a un análisis planificado de la movilidad sino a una voluntad de recuperar unos espacios de vía en desuso-.

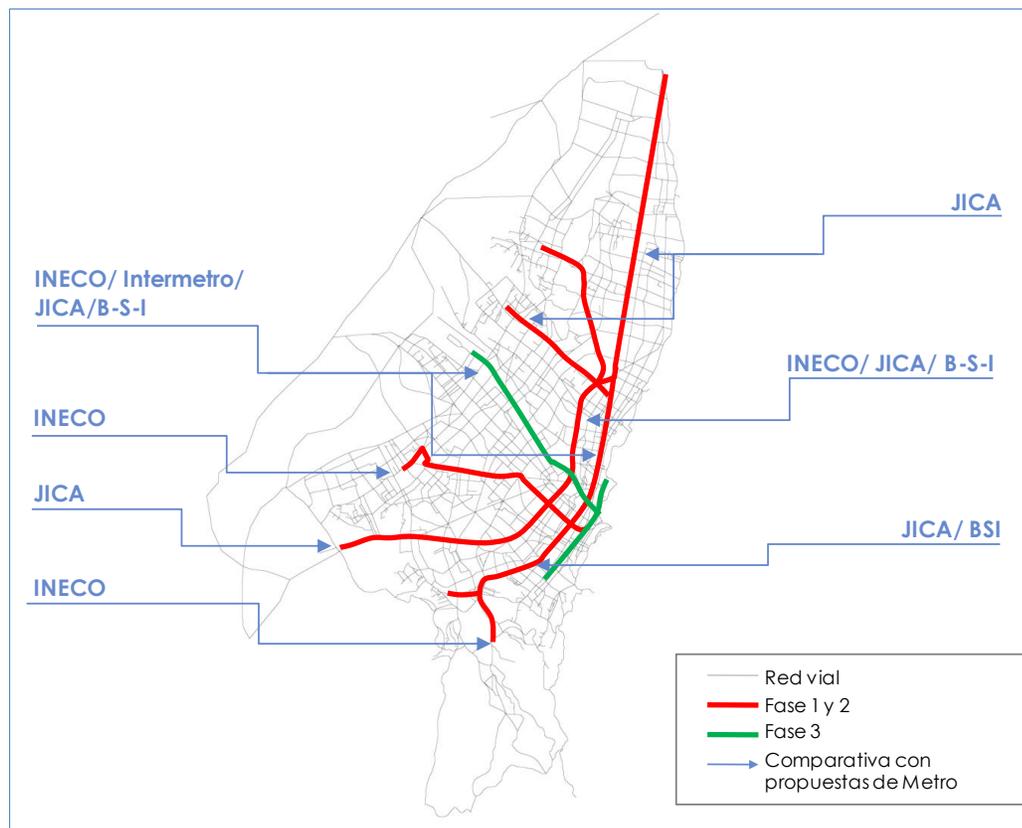
Todos los proyectos contemplan la necesidad de completar la oferta de servicios con una red de buses alimentadores que creaban nodos de intercambio modal en las estaciones de metro.

El análisis de los trazados resulta especialmente relevante tomando en cuenta que en el momento en el que fueron concebidos los estudios no existía el actual sistema de TransMilenio. En la elaboración de los proyectos anteriormente realizados para la ciudad, el planteamiento del estudio partía de asumir que la red de metro iba a ser el eje de transporte estructurador de la capital.

Bajo la premisa expresada en el anterior párrafo las cuatro redes presentan similitudes en su trazado. A continuación se listan los principales puntos de unión entre los distintos diseños.

- El eje norte sur de la Avenida Caracas desde la NQS hasta la Avenida Américas es utilizado en las propuestas de INECO-SOFRETU (en adelante I-S), JICA y Bechtel-Systra –Ingetec (en adelante BSI)
- El corredor este-oeste que tiene los ejes Calle 22 y Avenida del Centenario es una solución que aparece en todos los proyectos
- La Autopista NQS es propuesta por todas las propuestas a excepción del Grupo Italiano Intermetro
- La calle 80 está seleccionada como parte de la red de metro en todas las propuestas a excepción de la del Grupo Italiano de Intermetro
- La unión del centro de la capital con Ciudad Kennedy a través de los ejes de Avenida las Américas, Avenida el Ferrocarril y AC22 con la 30Sur aparece en todos los proyectos descritos anteriormente

Dada la situación actual en la que TransMilenio se encuentra asentado en la vida rutinaria de la ciudad y se ha convertido en una realidad como eje estructurante de la movilidad de Bogotá, se ha comparado la red de TransMilenio con los proyectos anteriores. La figura que sigue a continuación muestra la red actual y aprobada de TransMilenio indicando las coincidencias en los ejes con propuestas anteriores.



*Fuente: Elaboración propia*

Antes de realizar el análisis de la figura anterior, hay que detallar que se ha aproximado el grado de coincidencia con otros proyectos. Si bien en algunos casos el eje vial no es el mismo, pero se ha considerado que forman parte del mismo corredor, esta similitud ha sido resaltada en el mapa elaborado.

Tal y como se ilustra en la imagen anterior, la propuesta con más coincidencias con la red de TransMilenio es la del 1996 de JICA. Esto se debe a que fue a partir del diseño de los corredores de dicho estudio que partió la red de corredores de BRT.

Cabe destacar que el proyecto de I-S es el segundo con mayor grado de coincidencia, y con un elevado grado de competencia en aquellos que aunque no coinciden en vía si pertenecen al mismo corredor. Se debe mencionar que esta fue la propuesta asumida como válida en el Plan de Ordenamiento Territorial del 2004 que todavía es vigente.

En síntesis, se puede concluir que a excepción de la troncal que se dirige a Suba utilizando la Avenida Alfredo Bateman (AC58) y el ramal más próximo al portal del Sur, el resto de troncales forman parte de alguna propuesta anterior.

### **2.3 Nuevas alternativas de red: criterios de concepción**

La nueva propuesta de trazado deberá incorporar la interconexión del sistema Metro con TransMilenio y el Tren de Cercanías, bajo el concepto de sistema funcional y operativamente integrado que contempla el SITP

En el capítulo siguiente se describen detalladamente las cuatro alternativas (A, B, C y D) seleccionadas para el análisis multicriterio.

### **3. Descripción detallada y caracterización de las diferentes alternativas de red**

A continuación se describen pormenorizadamente las cuatro (4) alternativas de Red que han sido seleccionadas de las 10 estudiadas inicialmente por ser las que mejor cumplen con las necesidades de la ciudad de Bogotá.

En una primera fase se analizó la ciudad y se localizaron los potenciales corredores capaces de albergar una línea de transporte masivo (Metro, Transmilenio, autobuses, tranvía). Ver imagen 1.

Una vez detectados todos los posibles corredores se seleccionaron aquellos que mejor cumplían con los requisitos para un sistema masivo. Ver imagen 2

A partir de la selección de estos corredores y de los resultados de demanda (Producto 4) se compusieron diferentes alternativas de red. En cada una de las alternativas de red analizadas se combinan diferentes corredores, de los anteriormente analizados, para conformar las redes propuestas para el año horizonte 2038.

- Red A
- Red B
- Red C
- Red D

A partir de la selección de la red, en fases posteriores (Producto 17), se procederá a determinar cual debe ser la Primera Línea del Metro (PLM) para el escenario del año 2018. En este mismo documento de priorización de la primera línea de metro se determinará cual debe ser la secuencia de construcción de la red seleccionada para dar respuesta a las necesidades de crecimiento de la población y de la ciudad para ese año y posteriores.

Las tipologías aplicadas, en cada corredor para cada tramo y estación dependen de la:

- Geología y geotecnia de la zona de paso (Imagen 3)
- Amplitud de la red vial en la que se implanta cada corredor
- Tejido urbano (trama vial y edificación)
- Proximidad a equipamientos existentes o futuros (polos de atracción)
- Servicios afectados (redes)
- Distancia a los edificios y tipología estructural y usos (cimentaciones, altura, año de construcción,...)

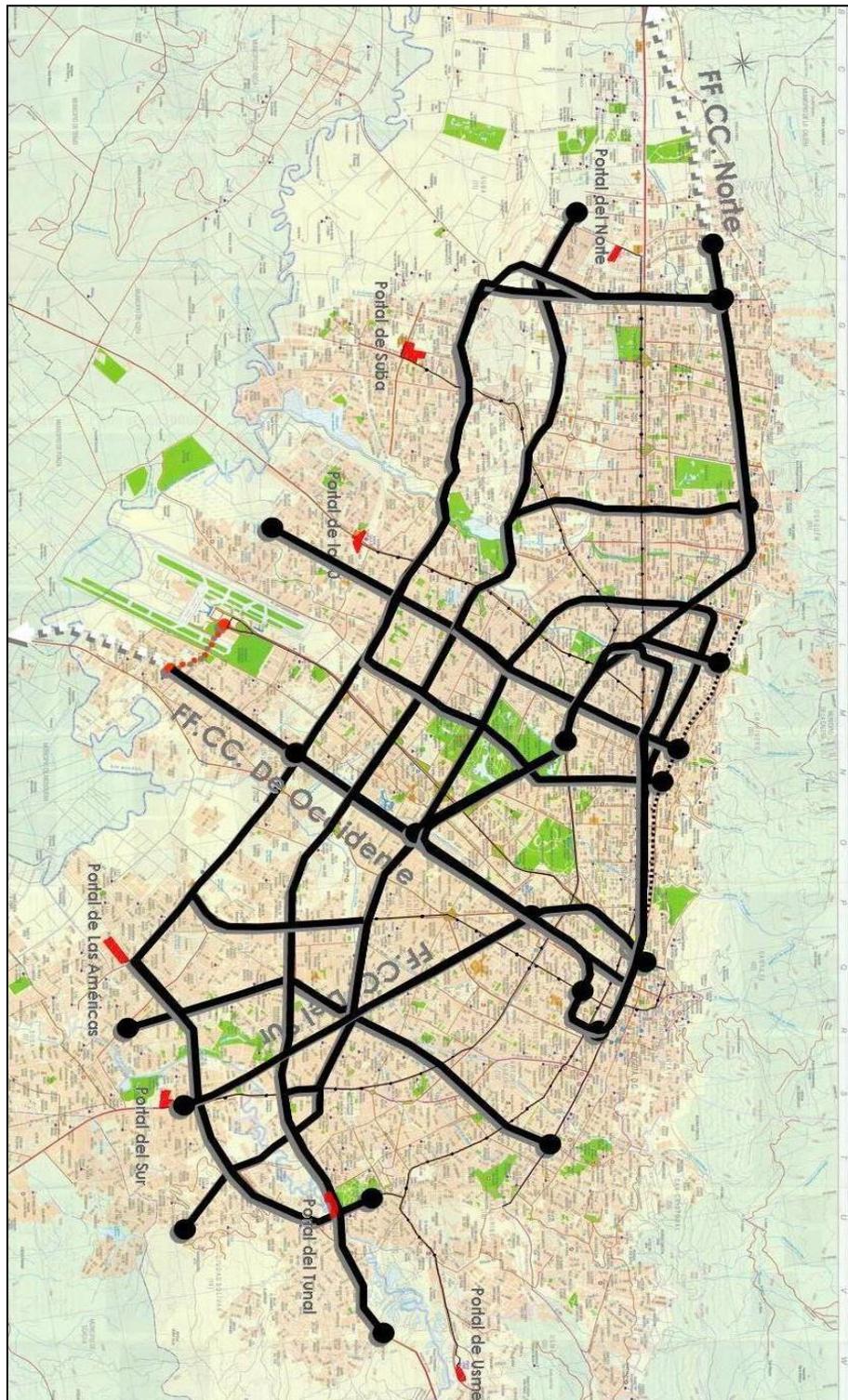


Imagen 1 - Corredores analizados

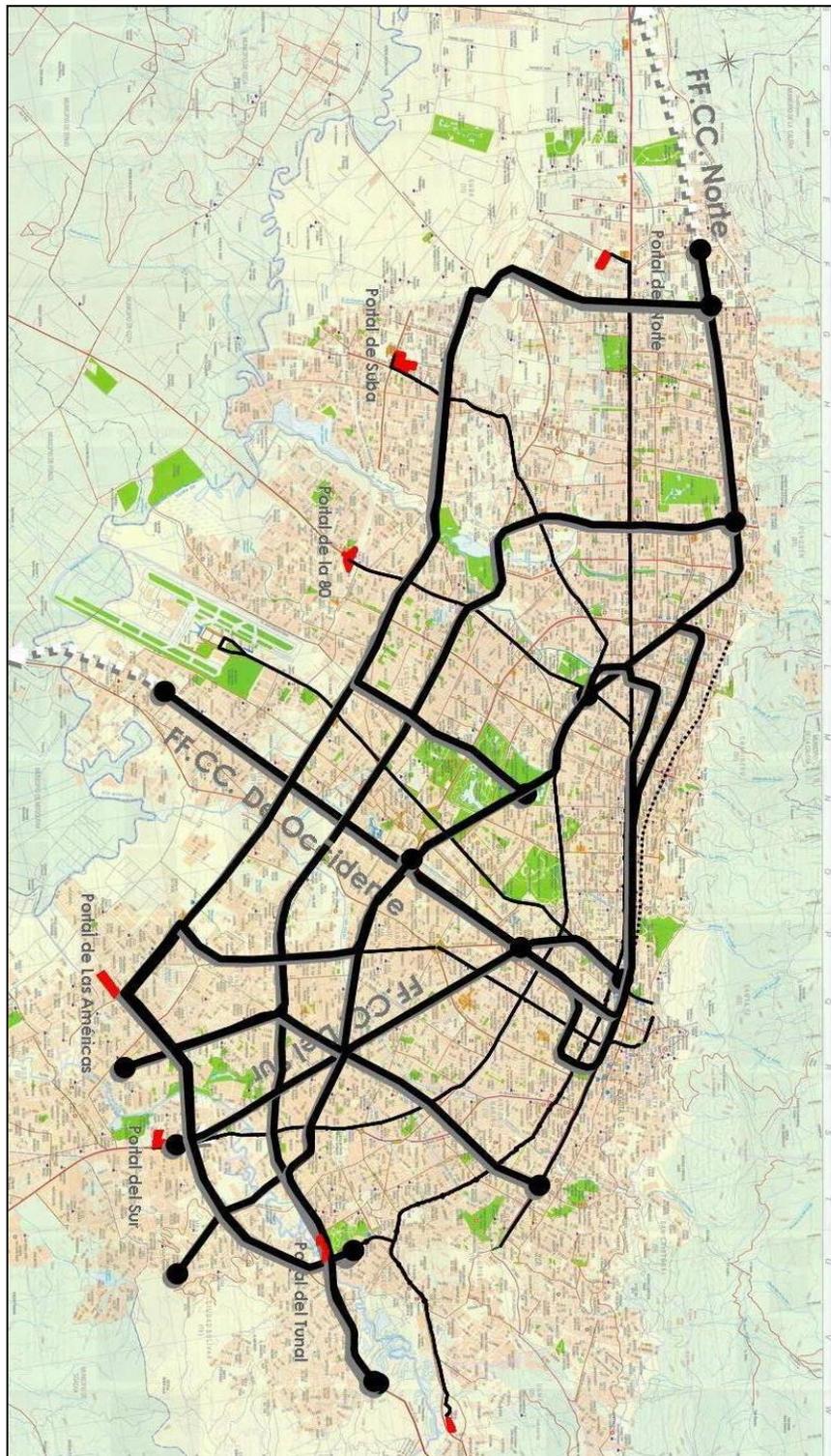


Imagen 2 - Corredores seleccionados

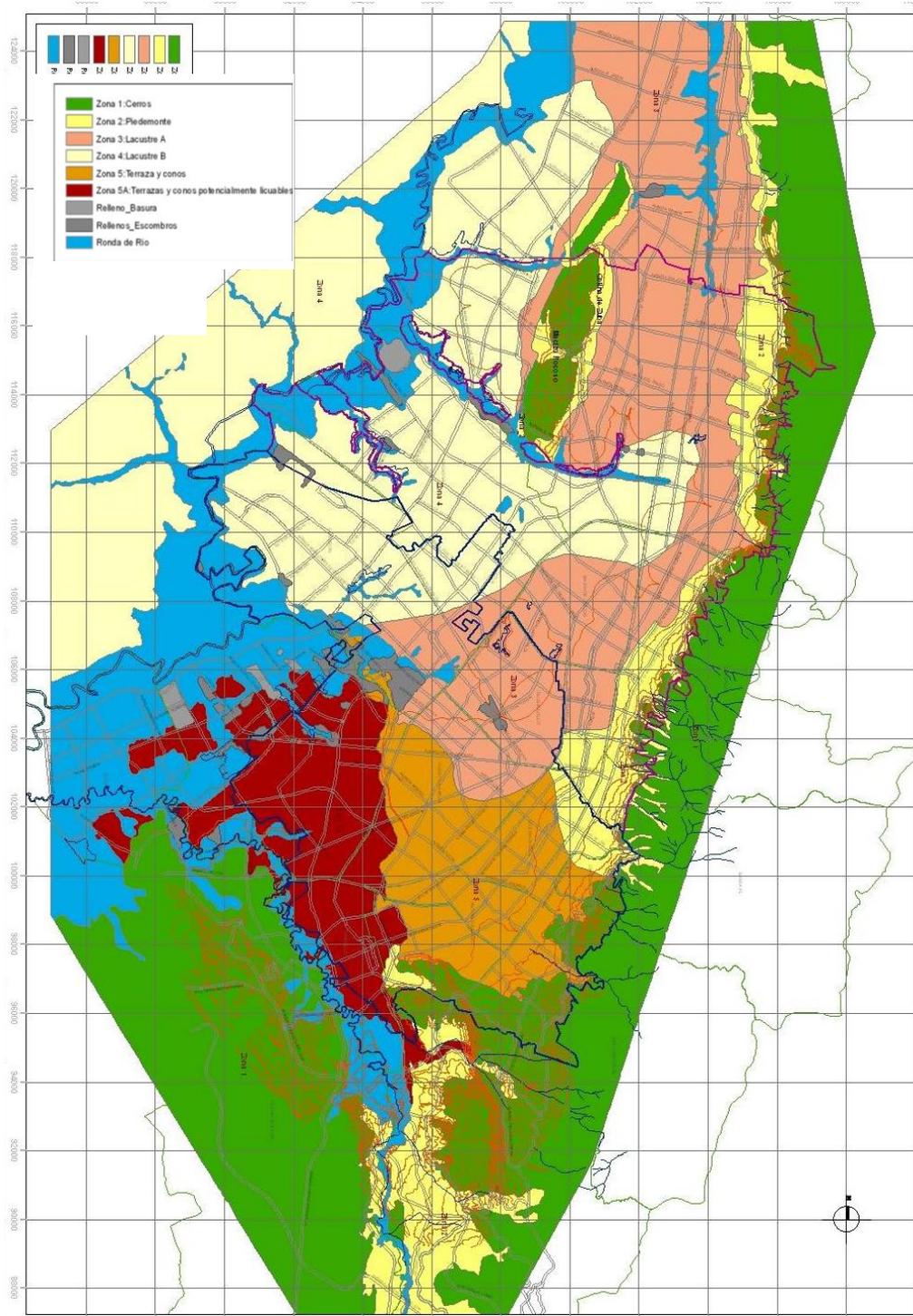


Imagen 3 - Geología

Para llevar a cabo esta selección de corredores se tomaron unas premisas de diseño, unas recomendaciones de trazado y unas características previas para cada corredor, que se detallan a continuación:

## **I. PREMISAS DE DISEÑO**

Los criterios que hasta el momento se han sido utilizados como premisas en la elaboración de alternativas preliminares para la nueva Red de Metro son:

- **NO utilizar preferiblemente** los corredores ocupados por **las Rutas de TransMilenio** en operación o en construcción (Fases 1, 2 y 3 de TM).
- Los trazados de las alternativas de redes de metro a proponer deberán **interceptar las rutas de TransMilenio** ya sea en los puntos inicio, de confluencia entre líneas o durante sus trayectos, a fin de disponer de la mayor cantidad posible de estaciones de transferencia entre ambos modos: **Metro-TransMilenio**.
- Los trazados de las alternativas de redes de metro a proponer deberán **coexistir** con los terminales de llegada de **Cercanías, al Norte y al Oeste** (Ferrocarriil de Occidente), a fin de disponer de un mínimo de dos estaciones de transferencia entre ambos modos: **Metro-Cercanías**.
- Las líneas de metro que conformen la red deberán contar entre sí de **al menos un punto de correspondencia entre líneas**, con el consecuente incremento de la flexibilidad y cobertura de la red.
- Las propuestas de red de metro deberán contemplar en algún momento de su desarrollo la **interconexión de los nuevos poli-centros de desarrollo urbano** contemplados, mediante líneas que los comuniquen directamente.
- Los trazados de las líneas que conformen la red de metro deberán alinearse con los ejes de los **corredores viales principales** a fin de facilitar su inserción urbana y los procesos constructivos.

## **II. CRITERIOS DE DISEÑO RECOMENDADOS (TRAZADO)**

### **Trazado en planta**

Los valores recomendados para los encajes preliminares de trazado son los siguientes:

Ancho de vía	1435 mm
Velocidad de la línea	80 km/h
Velocidad comercial	30 km/h

Aceleración transversal no compensada máxima	0,65 m/s <sup>2</sup>
Jerk máximo	0,4 m/s <sup>3</sup>
Peralte máximo	140 mm
Rampa de peralte máxima	2 mm/m
Curva de transición	Clotoide
Radio mínimo normal	320 m
Radio mínimo excepcional (Velocidad limitada a 50 km/h)	150 m
Radio en estaciones	∞
Longitud de andenes	120-180 m
Longitud mínima en recta	20 m
Entrevía en recta	3,70 m
Ancho de la plataforma	9,00 m

### **Trazado en alzado**

Los valores recomendados para los parámetros de trazado en alzado son los siguientes:

Pendiente máxima	40 ‰
Pendiente en estaciones	0 ‰
Radio mínimo del acuerdo vertical (Kv)	2.500 m
Aceleración vertical máxima en acuerdos verticales	0.20 m/s <sup>2</sup>

## **III. CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS PARA LOS CORREDORES DE METRO**

### **a) Tramos subterráneos**

- Distancia entre fachadas mayor o igual que 20 m en zona de estaciones.
- Ausencia de infraestructuras subterráneas a cota de túnel
- Ausencia de cimentaciones profundas que puedan interferir con el trazado del túnel

**b) Tramos elevados (Viaducto)**

- Viales de gran anchura con mediana central
- Distancia entre fachadas mayor o igual que 30m (preferible 40m)

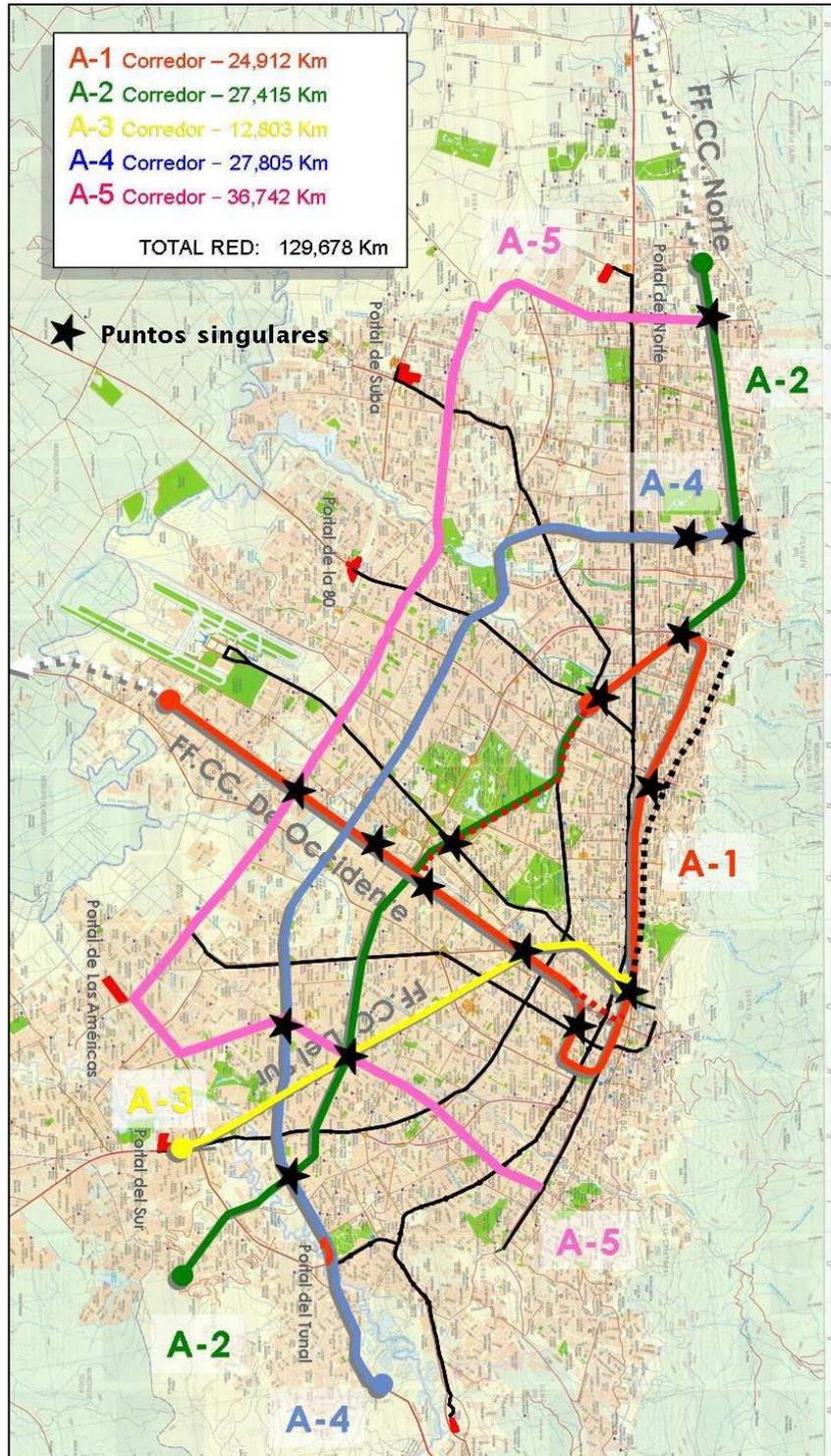
**c) Tramos en superficie/trinchera**

- Viales con mediana central de 8-10m de anchura.
- Anchura mediana central en estaciones de, al menos 16-18m. Ello requiere viales de gran anchura o corredores exclusivos ferroviarios.

**CORREDORES DISPONIBLES**

- a) Principales avenidas actualmente ocupadas por Transmilenio
- b) Corredores ferroviarios aptos para trazado en superficie/trinchera
- Occidente
  - Norte
  - (Sur)

### 3.1 Red A



- **Descripción general**

Esta red se compone de 5 nuevos corredores de transporte público dentro del SITP.

En total la red comprende 129,678Km y 149 estaciones situadas entre 600 y 800 de distancia (contando el eje de la estación), dependiendo del tejido urbano actual y futuro y de las condiciones topográficas.

La longitud de los corredores oscila entre 12Km el más corto y 37Km el más largo.

Los puntos singulares señalados en el plano marcan aquellas estaciones especiales, fundamentalmente estaciones de intercambio ya que se encuentran en un cruce de corredores propuestos y existentes (ocupados en la actualidad por Transmilenio y/o cercanías).

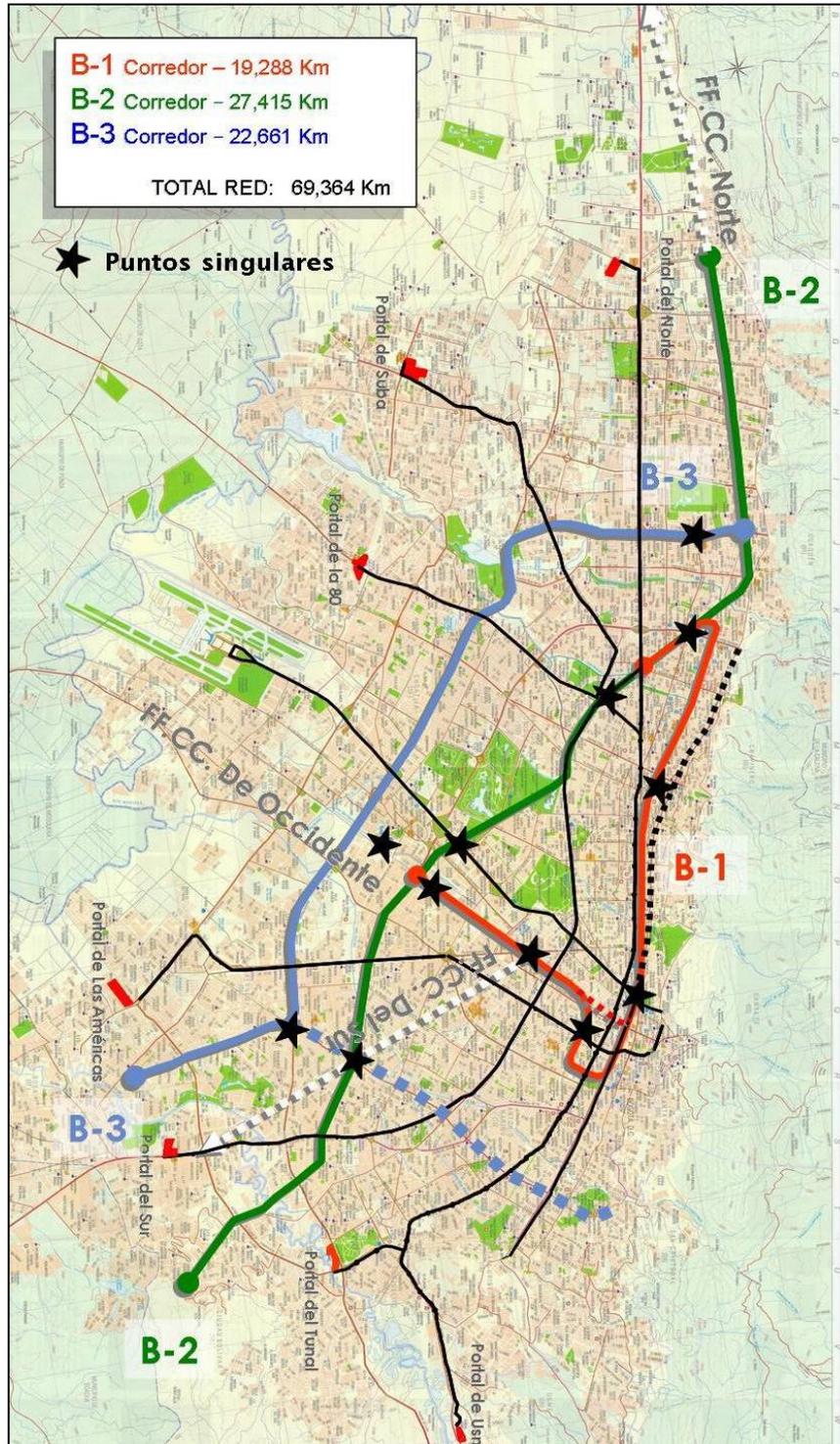
- **Tipologías aplicadas por tramo y corredores.**

Para cada corredor se ha analizado cual sería el sistema constructivo más adecuado teniendo en consideración la geología, topografía, existencia de servicios, dimensión del viario afectado, la edificación existente, etc.

En la tabla adjunta se enumeran las tipologías analizadas (en superficie, en túnel o en viaducto) de trazado en kilómetros y número de estaciones para cada tipología constructiva.

CORREDOR	PK (m)				ESTACIONES			
	Total	Superficie / Trinchera	Túnel	Viaducto	Total	Superficie / Trinchera	Túnel	Viaducto
A1	24.912,00	12.052,00	12.860,00		33	17	16	
A2	27.415,34	16.600,00	10.815,34		32	19	13	
A3	12.803,04	9.203,04	3.600,00		14	9	5	
A4	27.805,79		22.100,00	5.705,79	29	1	24	4
A5	36.742,70		36.742,70		41		41	
<b>TOTAL</b>	<b>129.678,87</b>	<b>37.855,04</b>	<b>86.118,04</b>	<b>5.705,79</b>	<b>149</b>	<b>46</b>	<b>99</b>	<b>4</b>

### 3.2 Red B



- **Descripción general.**

Esta red se compone de 3 nuevos corredores de transporte público dentro del SITP.

En total la red consta de 69,364Km y 79 estaciones situadas entre 600 y 800 de distancia (contando el eje de la estación) dependiendo del tejido urbano actual y futuro, y de las condiciones topográficas.

La longitud de los corredores oscila entre 19Km la más corta y 28Km la más larga.

Los puntos singulares señalados en el plano marcan aquellas estaciones especiales, fundamentalmente estaciones de intercambio ya que se encuentran en un cruce de corredores.

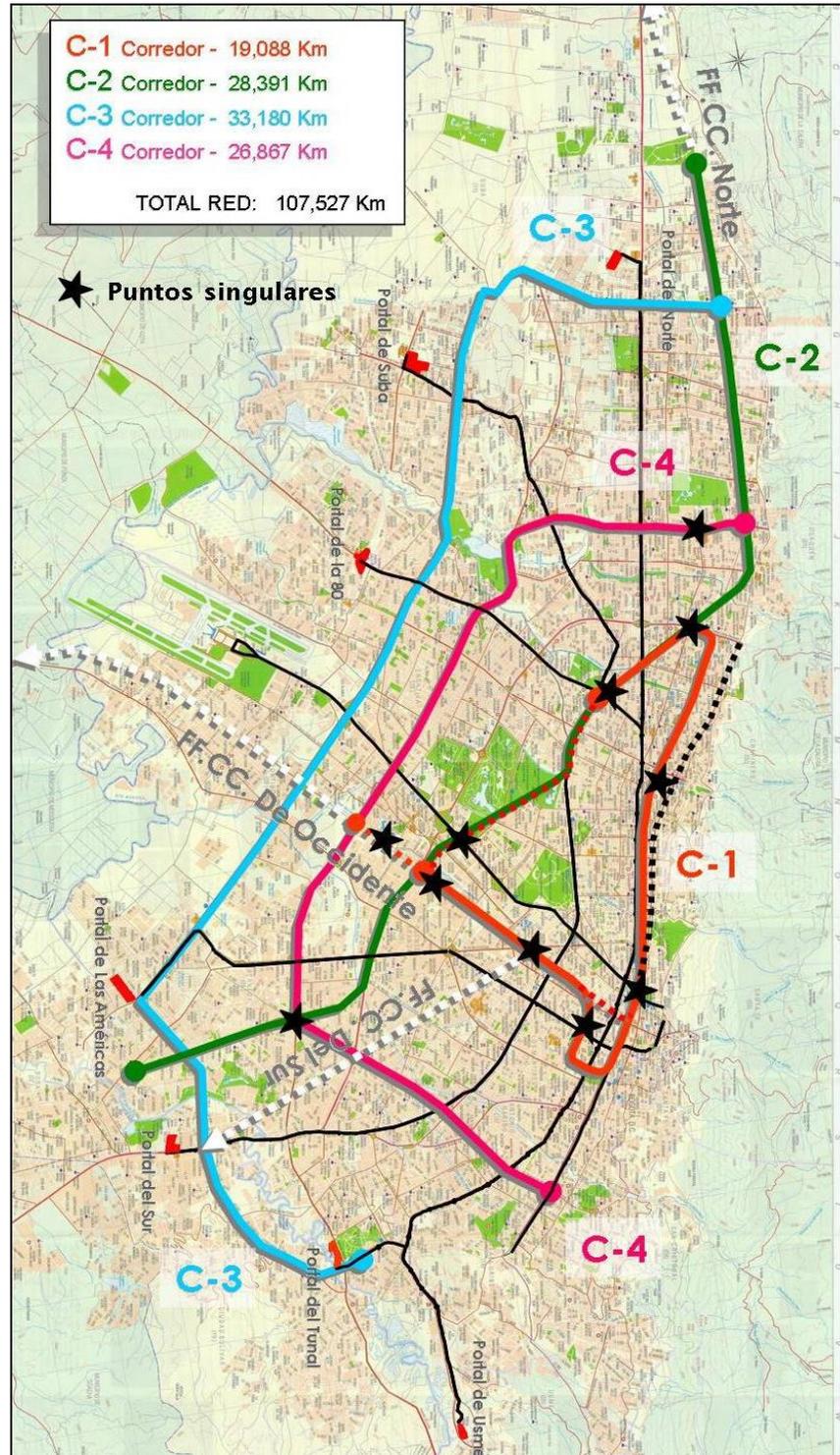
- **Tipologías aplicadas por tramo y corredores.**

Para cada corredor se ha analizado cual sería el sistema constructivo más adecuado teniendo en consideración la geología, topografía, existencia de servicios, dimensión del viario afectado, la edificación existente, etc.

En la tabla adjunta se enumeran las tipologías analizadas (en superficie, en túnel o en viaducto) de trazado en kilómetros y número de estaciones para cada tipología constructiva.

CORREDOR	PK (m)				ESTACIONES			
	Total	Superficie / Trincheras	Túnel	Viaducto	Total	Superficie / Trincheras	Túnel	Viaducto
<b>B1</b>	19.288,12	5.688,12	13.600,00		23	7	16	
<b>B2</b>	27.415,34	16.600,00	10.815,34		32	19	13	
<b>B3</b>	22.661,14		22.661,14		24		24	
<b>TOTAL</b>	<b>69.364,60</b>	<b>22.288,12</b>	<b>47.076,48</b>	<b>0,00</b>	<b>79</b>	<b>26</b>	<b>53</b>	<b>0</b>

### 3.3 Red C



- **Descripción general.**

Esta red se compone de 4 corredores de transporte público dentro del SITP.

En la red consta de 107,527 Km y 122 estaciones situadas entre 600 y 800 de distancia (contando el eje de la estación) dependiendo del tejido urbano actual y futuro y de las condiciones topográficas.

La longitud de los corredores oscila entre 19Km la más corta y 34 Km la más larga.

Los puntos singulares señalados en el plano marcan aquellas estaciones especiales., fundamentalmente estaciones de intercambio ya que se encuentran en un cruce de corredores.

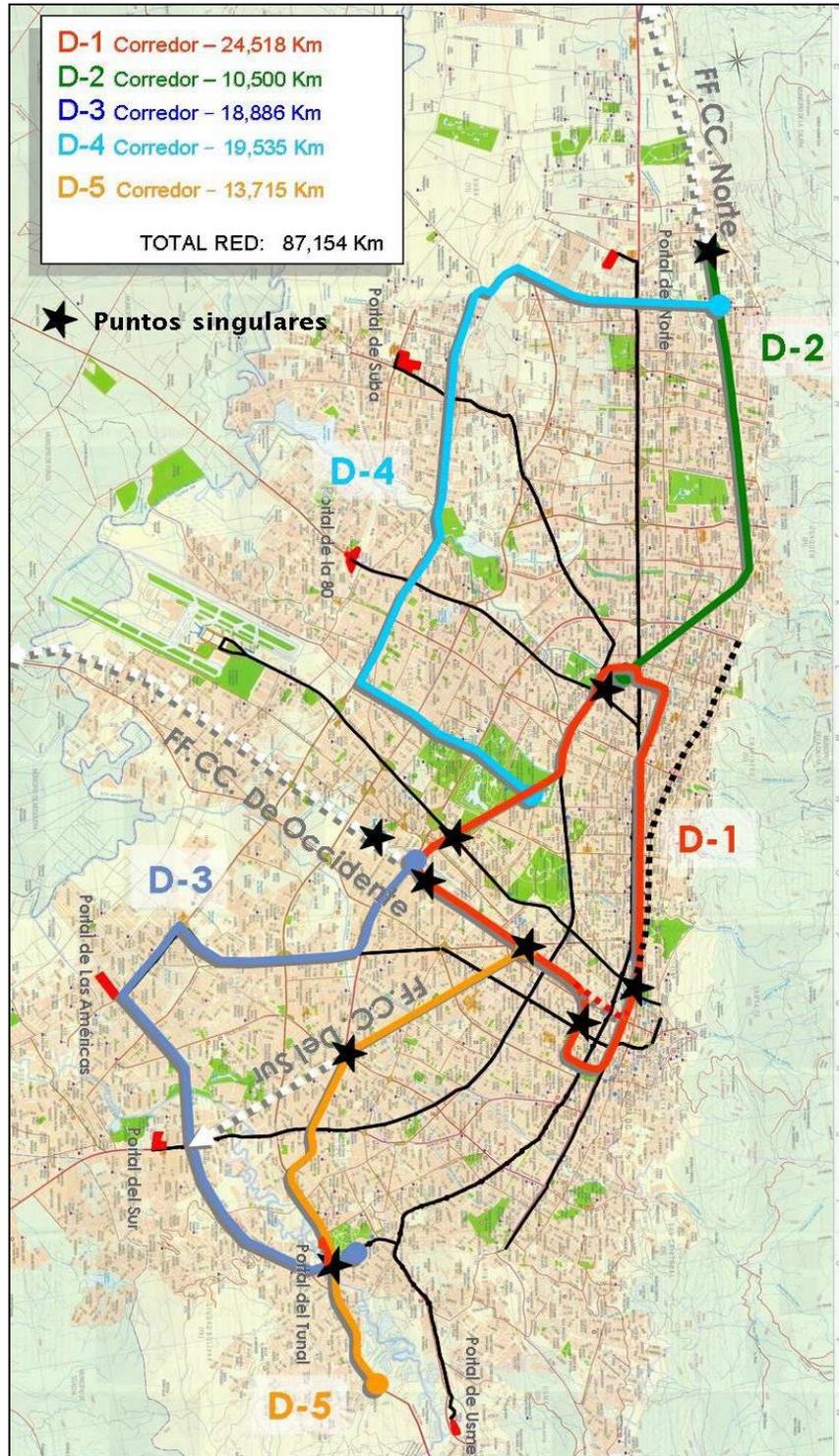
- **Tipologías aplicadas por tramo y corredores.**

Para cada corredor se ha analizado cual sería el sistema constructivo más adecuado teniendo en consideración la geología, topografía, existencia de servicios, dimensión del viario afectado, la edificación existente, etc.

En la tabla adjunta se enumeran las tipologías analizadas (en superficie, en túnel o en viaducto) de trazado en kilómetros y número de estaciones para cada tipología constructiva.

CORREDOR	PK (m)				ESTACIONES			
	Total	Superficie / Trincheras	Túnel	Viaducto	Total	Superficie / Trincheras	Túnel	Viaducto
<b>C1</b>	19.088,12	5.488,12	13.600,00		23	7	16	
<b>C2</b>	28.391,95	18.200,00	10.191,95		33	22	11	
<b>C3</b>	33.180,44		33.180,44		36		36	
<b>C4</b>	26.867,19		26.867,19		30		30	
<b>TOTAL</b>	<b>107.527,70</b>	<b>23.688,12</b>	<b>83.839,58</b>		<b>122</b>	<b>29</b>	<b>93</b>	

### 3.4 Red D



- **Descripción general.**

Esta red se compone de 5 corredores de transporte público dentro del SITP.

En la red consta de 87,154 Km y 93 estaciones situadas entre 600 y 800 de distancia (contando el eje de la estación) dependiendo del tejido urbano actual y futuro y de las condiciones topográficas.

La longitud de los corredores oscila entre 10Km la más corta y 25 Km la más larga.

Los puntos singulares señalados en el plano marcan aquellas estaciones especiales., fundamentalmente estaciones de intercambio ya que se encuentran en un cruce de corredores.

- **Tipologías aplicadas por tramo y corredores.**

Para cada corredor se ha analizado cual sería el sistema constructivo más adecuado teniendo en consideración la geología, topografía, existencia de servicios, dimensión del viario afectado, la edificación existente, etc.

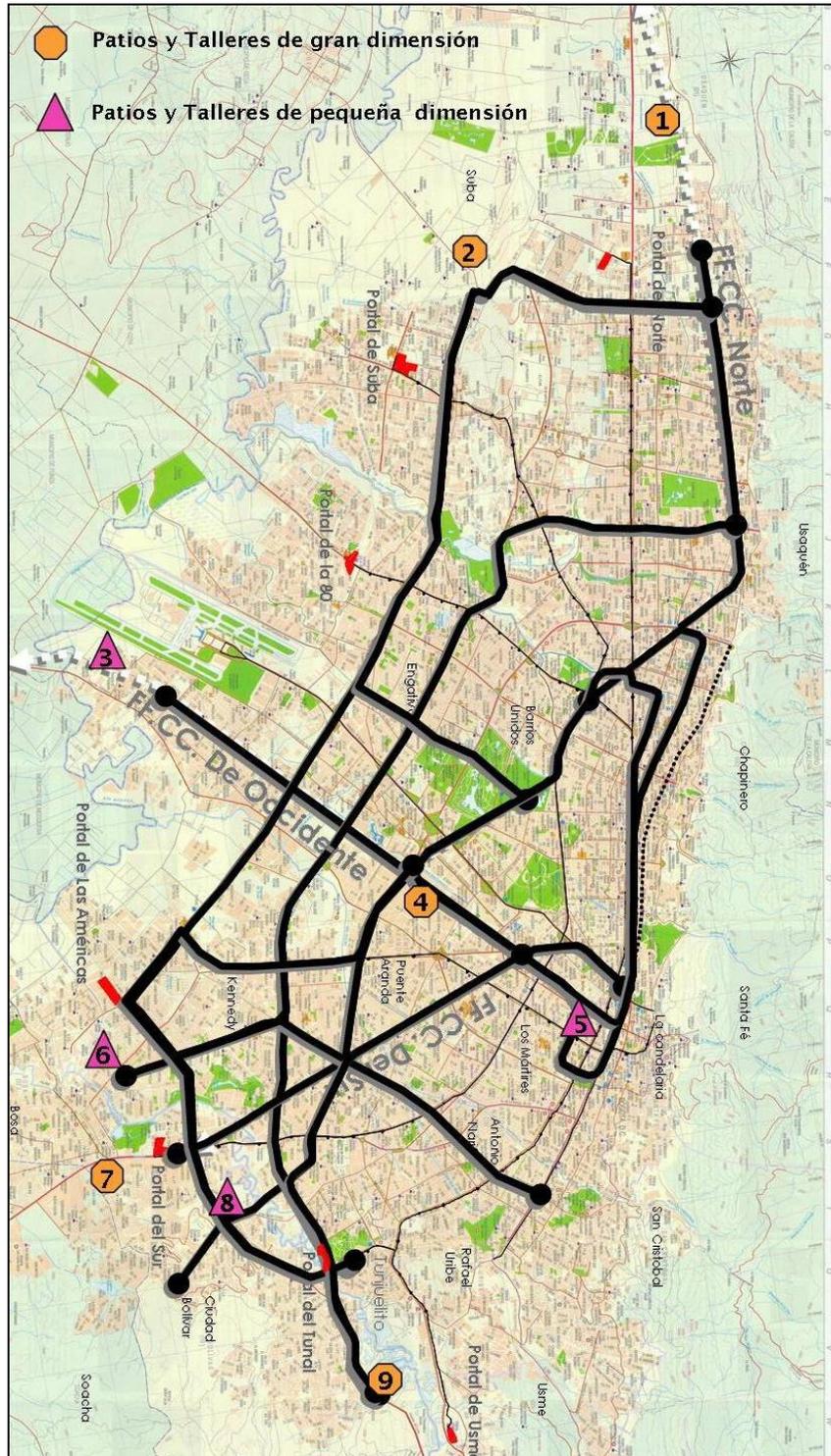
En la tabla adjunta se enumeran las tipologías analizadas (en superficie, en túnel o en viaducto) de trazado en kilómetros y número de estaciones para cada tipología constructiva.

CORREDOR	PK (m)				ESTACIONES			
	Total	Superficie / Trinchera	Túnel	Viaducto	Total	Superficie / Trinchera	Túnel	Viaducto
D1	24.518,37	10.418,37	14.100,00		26	11	15	
D2	10.500,00	10.500,00			13	13		
D3	18.886,12		18.886,12		20	1	19	
D4	19.535,02		19.535,02		18		18	
D5	13.715,32	5.610,56	3.300,00	4.804,76	16	6	6	4
<b>TOTAL</b>	<b>87.154,83</b>	<b>26.528,93</b>	<b>55.821,14</b>	<b>4.804,76</b>	<b>93</b>	<b>31</b>	<b>58</b>	<b>4</b>

### 3.5 Resumen de Alternativas de Red

RED	PK (m)				ESTACIONES			
	Total	Superficie Trinchera	Túnel	Viaducto	Total	Superficie Trinchera	Túnel	Viaducto
<b>RED A</b>	<b>129.678,87</b>	37.855,04	86.118,04	5.705,79	<b>149</b>	46	99	4
<b>RED B</b>	<b>69.364,60</b>	22.288,12	47.076,48		<b>79</b>	26	53	
<b>RED C</b>	<b>107.527,70</b>	23.688,12	83.839,58		<b>122</b>	29	93	
<b>RED D</b>	<b>87.154,83</b>	26.528,93	55.821,14	4.804,76	<b>93</b>	31	58	4

### 3.6 Ubicación de Patios y Talleres



- **Descripción general.**

Para el conjunto de corredores analizados se ha estudiado la posible ubicación de Patios y talleres, más idónea para el servicio del sistema y teniendo en cuenta la disponibilidad de predios libres de edificación en la actualidad.

Se trata de una edificación de tipología industrial donde se revisan, mantienen y almacenan los trenes que operan la Línea.

Se han considerados dos tipos de instalaciones en función de las labores que deben desarrollarse en ellas:

- De gran dimensión (aprox. 20-25Hectáreas)
- De pequeña dimensión (aprox. 10-15Hectáreas)

Es importante que estos se localicen en las proximidades de la línea y no muy alejadas de la primera estación ya que la lejanía penaliza el servicio diario a primera y última hora.

Se recomienda disponer de un patio en cada extremo de la línea, siempre que sea posible, para favorecer la operación, ya que salen trenes de ambos extremos a primera hora.

- **Tipologías de Patios y Talleres.**

En función de las labores que deben desarrollarse en dichas instalaciones será indispensable contar con un taller de mantenimiento especializado que dé servicio a todas las Líneas.

- *Patios y Talleres de gran dimensión*

En función de las labores que deben desarrollarse en dichas instalaciones será indispensable contar con un taller de mantenimiento especializado que dé servicio a todas las Líneas.

Estos Patios y Talleres se han dimensionado con una superficie aproximada de 20-25Hectáreas para permitir estacionar un número importante de unidades de material rodante.

En ellos se llevan a cabo labores diarias de pequeña revisión, lavado de trenes (tanto interior como exterior) según las frecuencias que establezca el operador, además de las operaciones de mantenimiento de grandes reparaciones que deberán ser programadas ya que estas suponen la retirada de unidades durante un periodo de tiempo prolongando sin afectar al servicio.

- *Patios y Talleres de pequeña dimensión*

Estos Patios y Talleres se han dimensionado con una superficie aproximada de 10-15Hectáreas para permitir estacionar un número menor de unidades de material rodante.

En ellos se prevé el mantenimiento diario de los trenes y su limpieza diaria, dejando las operaciones de grandes revisiones y reparaciones para el Taller de mantenimiento mayor ubicado en los otros Patios y Talleres.

- **Puesto de Control de la Línea**

El Puesto de Control de Línea es la zona desde donde se controla y regula la operación del material rodante, así como las condiciones de energía de las vías del sistema.

Se tendrá un especial cuidado en su ubicación, procurando que quede centrada en la Red, con el fin de tener distancias equilibradas para optimizar el uso del cable, trincheras y ductos, a través de los cuales se logra el control de la operación.

La Ingeniería Básica y el Diagrama Operativo fijarán el Programa de necesidades, pero el Programa de Proyecto deberá contar como mínimo con las siguientes áreas.

- Sala de Baterías.
- Sala de Cables.
- Sala de Relevadores.
- Sala de Tableros de Control Ópticos.
- Área de Oficinas Administrativas.
- Circulaciones.
- Baños.
- Estacionamiento para vehículos.

#### **4. Análisis multicriterio de las propuestas de Red**

A continuación se aplican los objetivos e indicadores, definidos en el Producto 14, para determinar cual de las cuatro (4) redes propuestas es la más óptima.

El resultado de la aplicación de estos indicadores se describe en el tomo 2 de este producto y en los tomos del 3 al 8 se adjunta toda la documentación de análisis de los indicadores.