



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 N° 16:

SELECCIÓN DE LA RED DE METRO DEL SITP

MB-GC-ME-0016
Rev. 0.



TITULO DEL DOCUMENTO: SELECCIÓN DE LA RED METRO DEL SITP

DOCUMENTO N°: MB-GC-ME-0016

Referencia: P210C25

Fichero: MB-P16 rev0.doc

Revisión número: 0 Fecha revisión: 28/08/2009

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

REGISTRO DE CAMBIOS

REV.	FECHA	SECCIÓN / PÁRRAFO AFECTADO	INICIO DEL DOCUMENTO/ RAZONES DEL CAMBIO
0	28/08/2009	TODOS	DOCUMENTO INICIAL

ÍNDICE

1.	Introducción y objetivos	5
2.	Formulación de alternativas de Red.....	5
2.1	<i>Alternativa 0</i>	6
2.2	<i>Alternativas de Red analizadas en estudios anteriores</i>	8
2.3	<i>Nuevas alternativas de red: criterios de concepción</i>	9
3.	Descripción detallada y caracterización de las diferentes alternativas de red	10
3.1	Red A.....	16
3.2	Red B.....	19
3.3	Red C.....	22
3.4	Red D.....	25
3.5	Resumen de Alternativas de Red.....	28
3.6	Ubicación de Patios y Talleres.....	29
4.	Análisis multicriterio de las propuestas de Red	32
4.1	Metodología de evaluación	32
4.2	Ejes de análisis	33
4.3	Evaluación de las redes.....	35
4.3.3	Análisis de Robustez	36
4.3.4	Análisis de Sensibilidad	37
4.3.5	Métodos de contraste	37
4.3.6	Alternativa de red seleccionada	38
4.4.	Red del SITP	48

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 elaboró el Producto 15 en donde se valoraron las diferentes alternativas seleccionadas.

En el Producto 15 se aplicaron 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 valoraron 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 analizaron los siguientes escenarios:

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

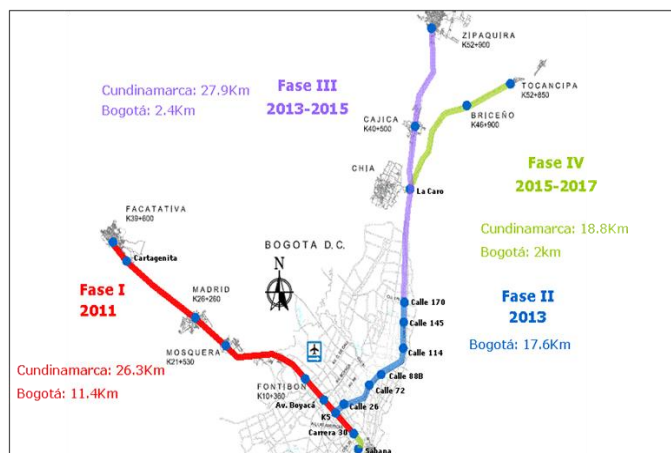
2.1 Alternativa 0

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

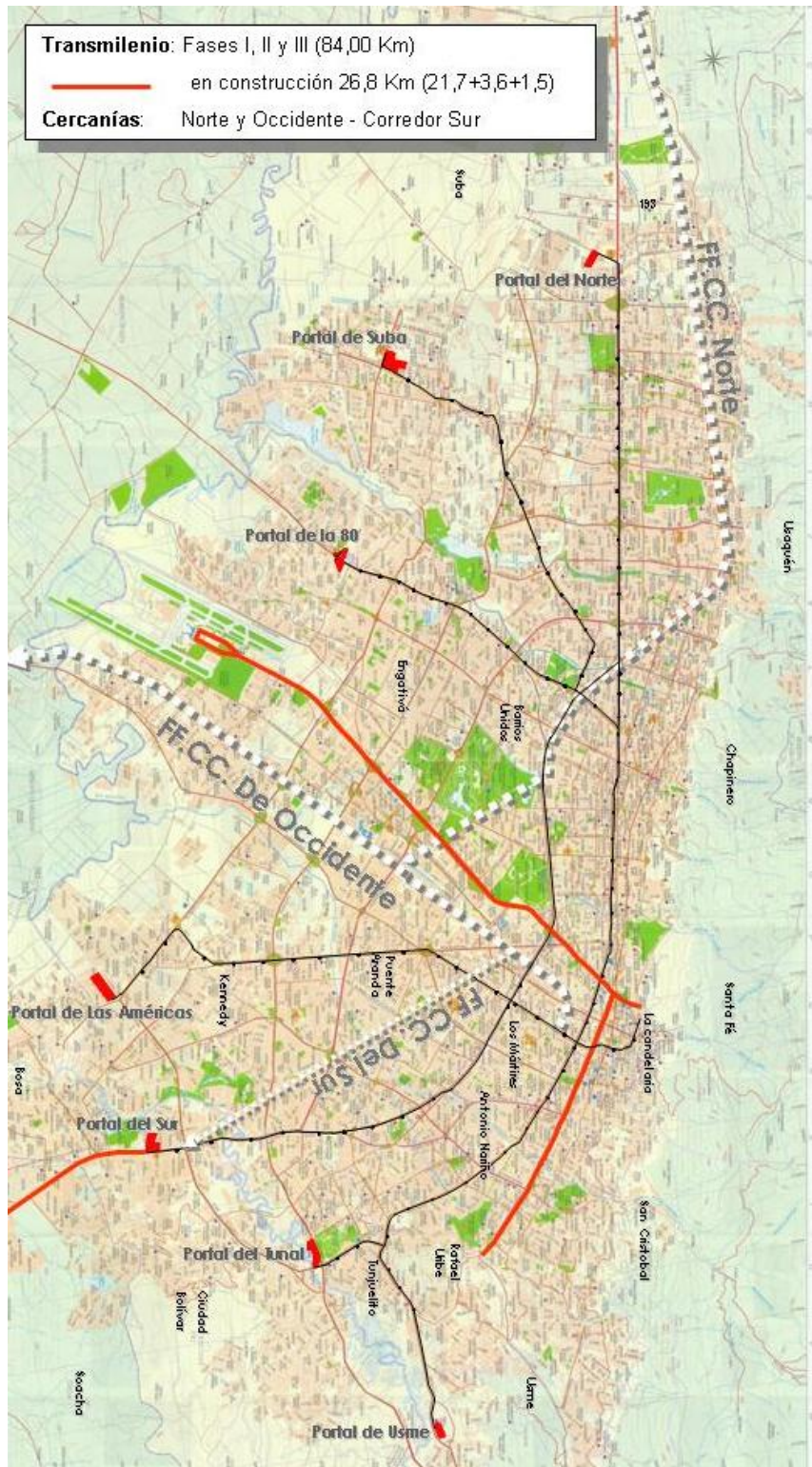
- Cercanías (Norte y Occidente)
- Transmilenio (Fases I, II y III),
- Transporte colectivo (Buses)

Como escenario inicial la situación de partida de Bogotá se compone de la red de transporte masivo TransMilenio con una longitud de vías troncales en operación de 84,0Km y 26,8Km de vías troncales adicionales en construcción.

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



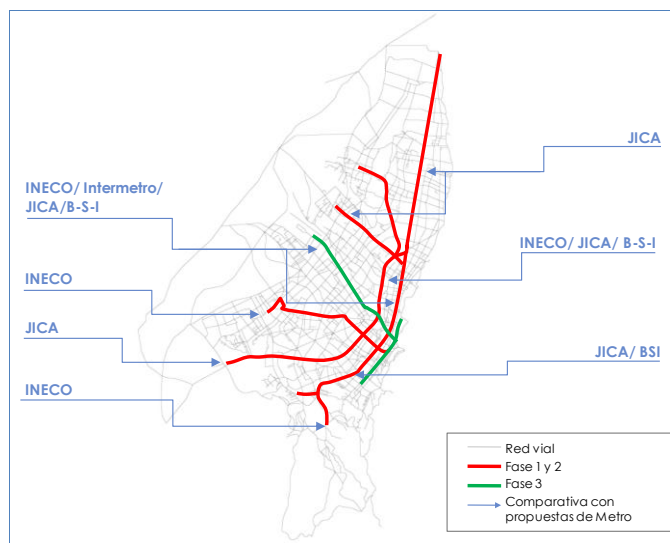
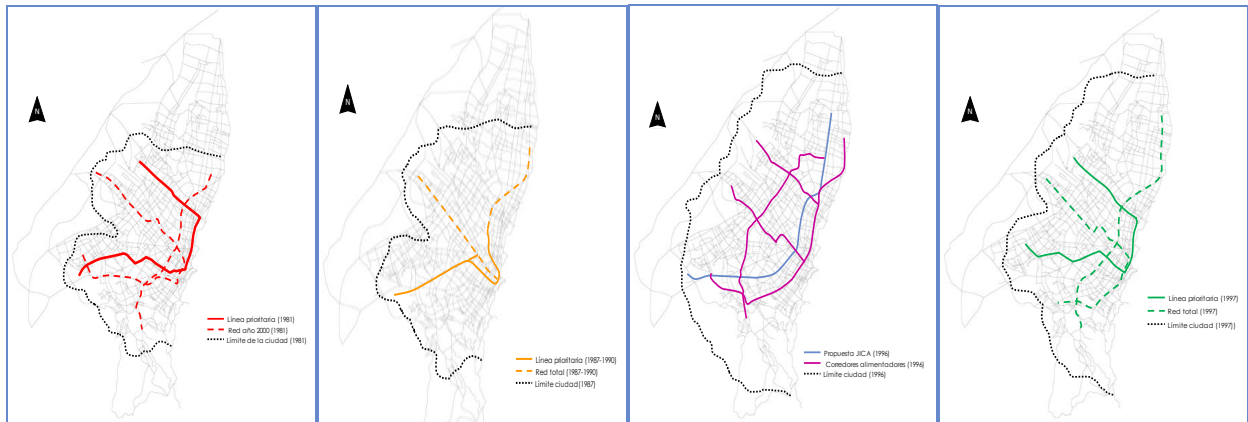
Fuente: Estudio de Estructuración Técnica, Legal y Financiera del Tren de Cercanías de La Sabana de Bogotá y el Distrito Capital (2007) ConCol



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



Fuente: Elaboración propia

Ver con más detalle en el Producto 1 Diagnóstico o en el Producto 15 Tomo I.

2.3 Nuevas alternativas de red: criterios de concepción

La nueva propuesta de trazado del Grupo Consultor debía 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) que fueron seleccionadas para el análisis multicriterio.

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

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.

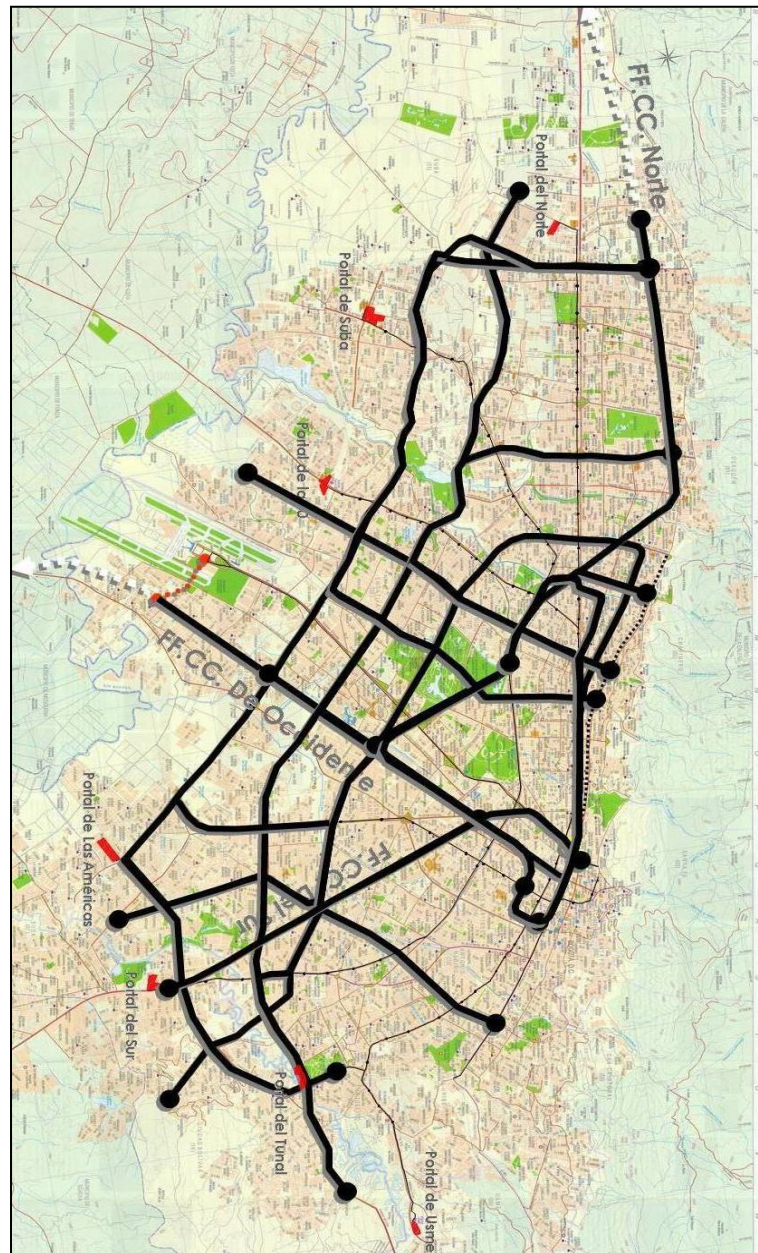


Imagen 1 - Corredores analizados

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

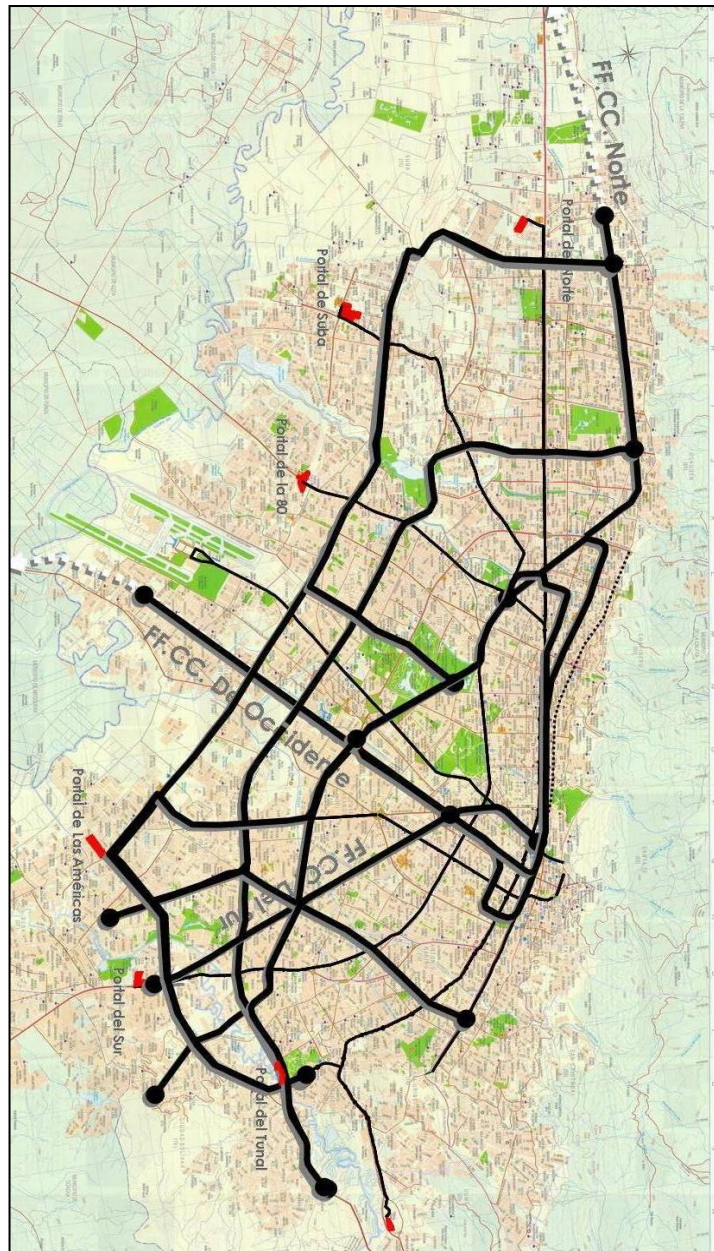
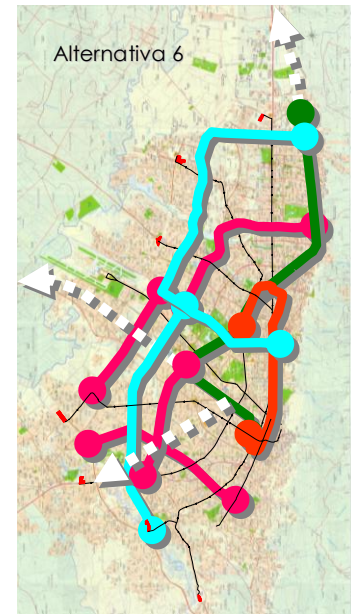
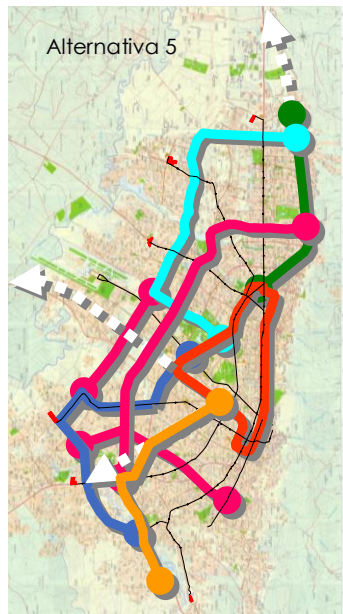
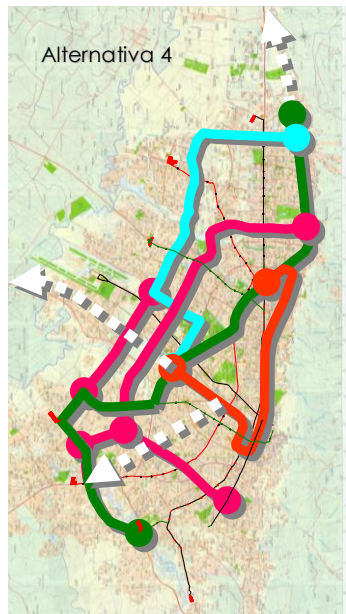
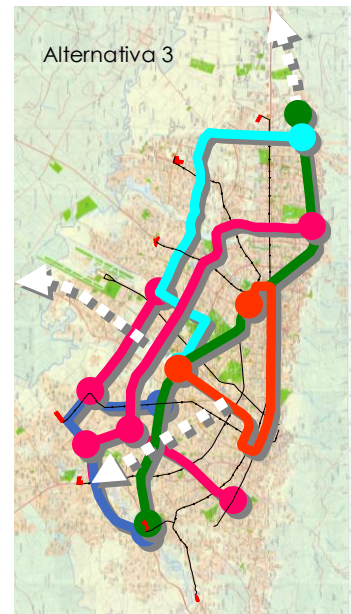
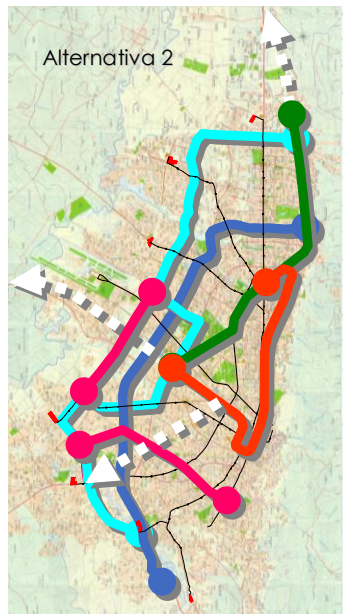
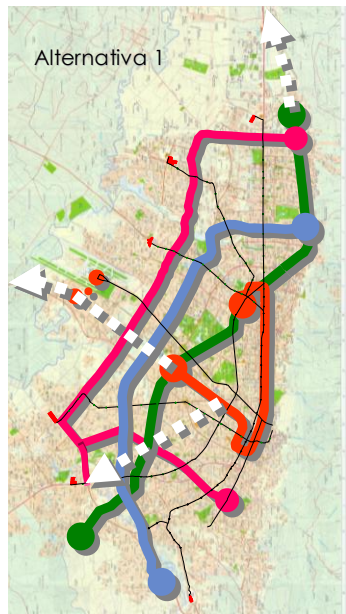
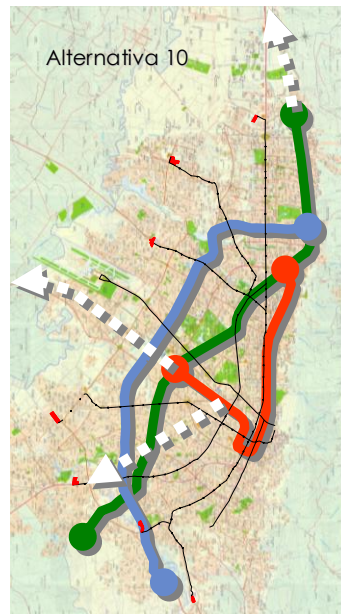
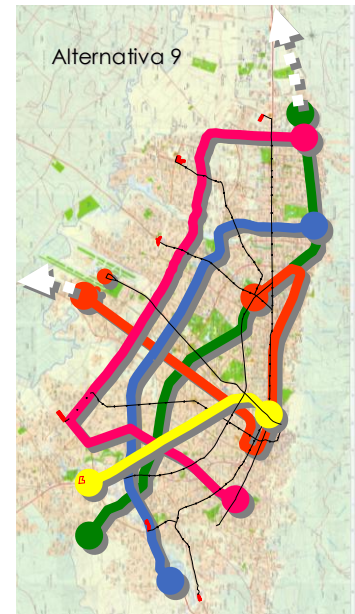
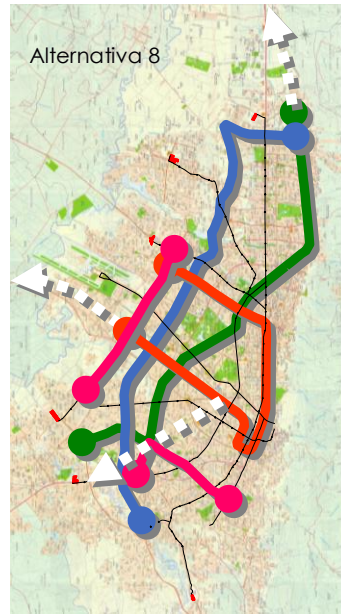
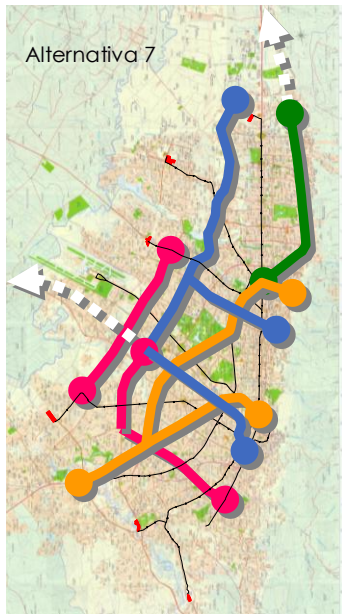


Imagen 2 - Corredores seleccionados

A continuación se analizaron todos los posibles corredores capaces de admitir un trazado de metro y se plantearon diez (10) alternativas de Red.





Posteriormente se seleccionaron las cuatro (4) propuestas que mejor respondían a las necesidades de la población y de trazado.

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 combinaron 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,...)

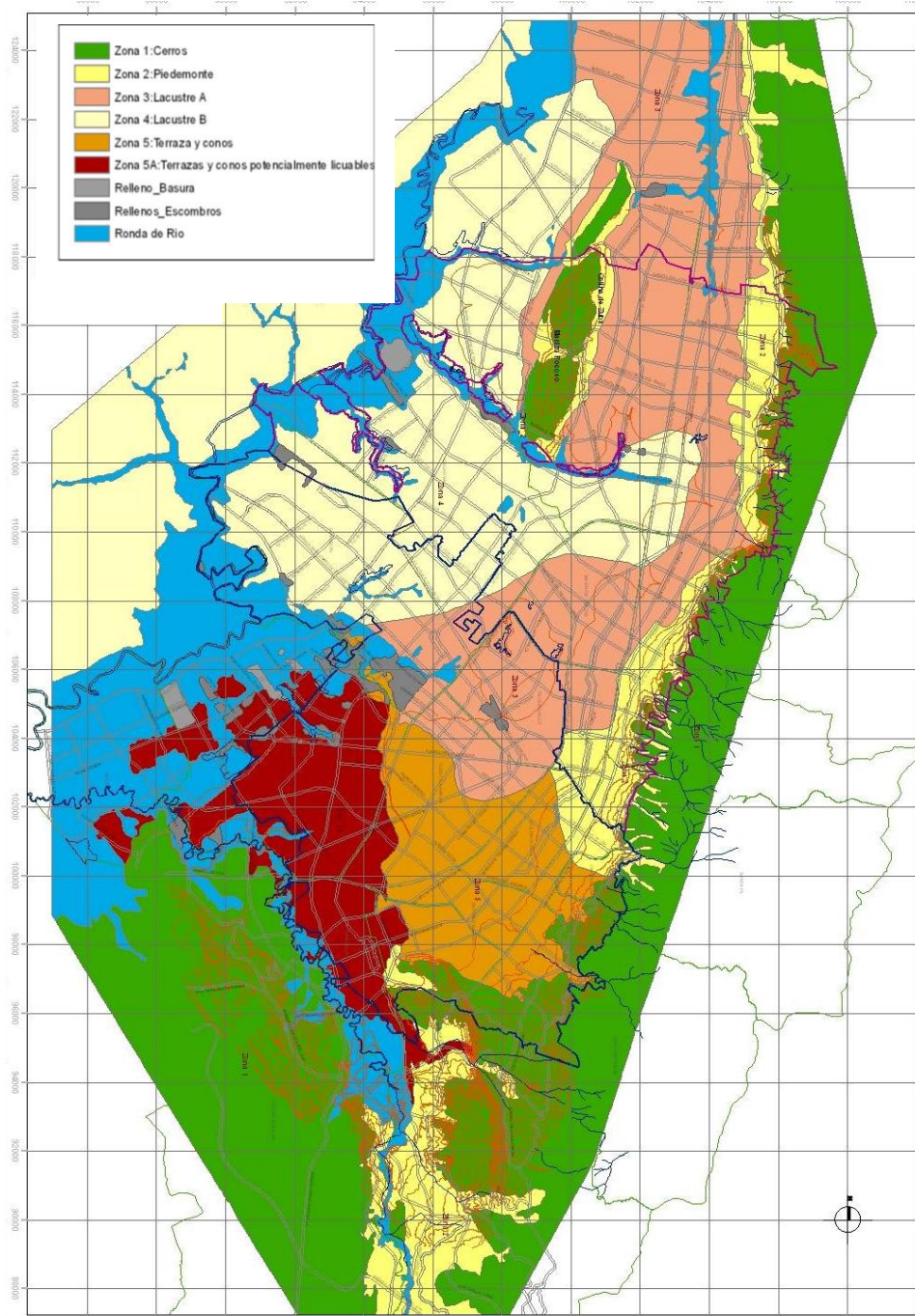
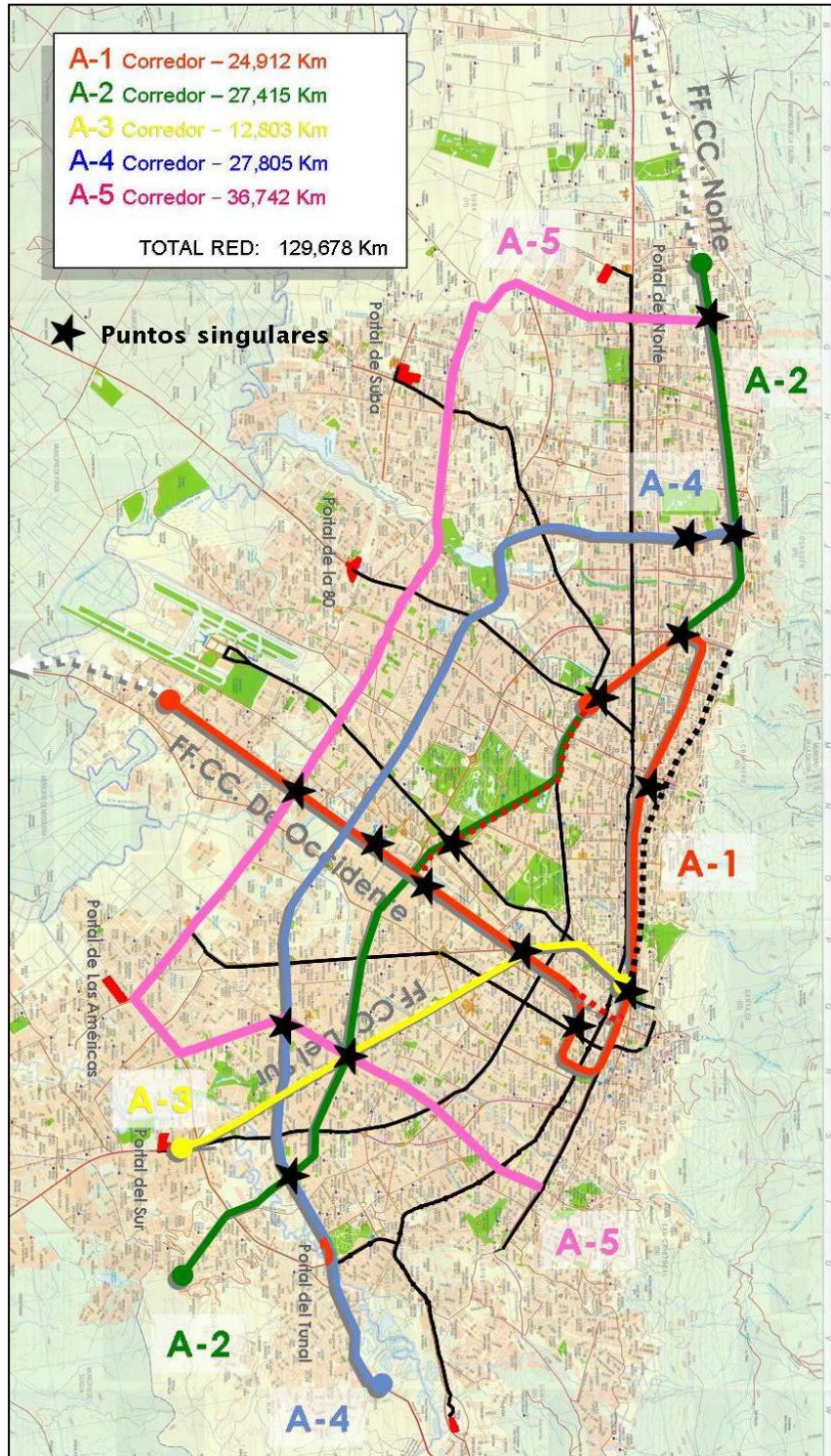


Imagen 3 - Geología

A continuación se presentan algunos datos generales de las cuatro (4) redes estudiadas:

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 129,68Km 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 por tipologías oscila entre 12Km el más corto y 37Km el más largo.

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	
TOTAL	129.678,87	37.855,04	86.118,04	5.705,79	149	46	99	4

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

Longitud y tipo de vía

TIPO DE VÍA (Km)	RED A
Superficie	37,86
Viaducto	5,71
Túnel	86,12
Total	129,68

Numero de corredores	5,00
-----------------------------	-------------

Número de estaciones

ESTACIÓN TIPO	RED A		
	P	T	E
Superficie	25	15	6
Viaducto	3	1	
Túnel	61	32	6
Total	89	48	12

Total estaciones: **149**

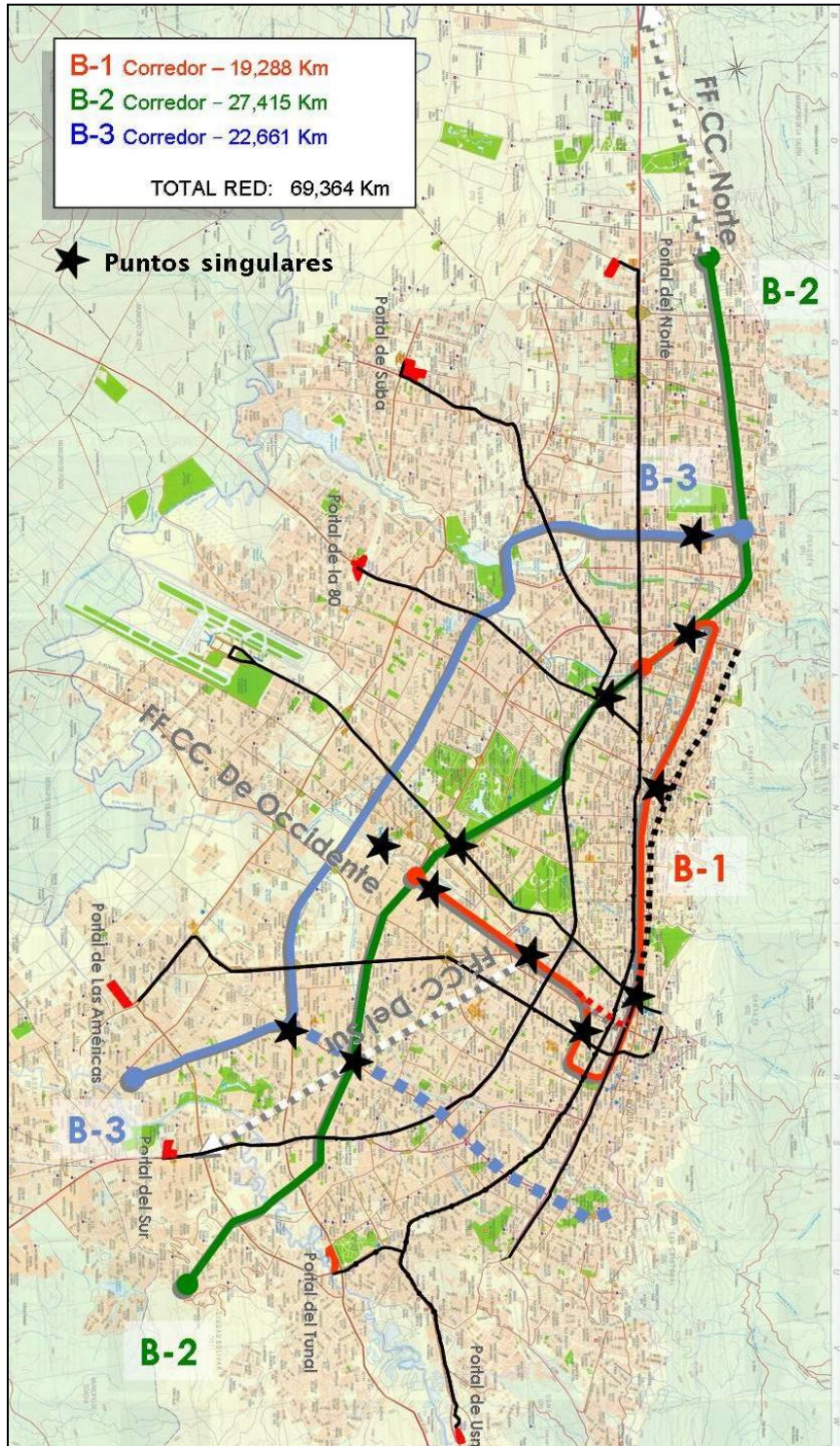
Siendo:

P: estación de paso

T: estación de intercambio

E: estaciones especiales (intercambio entre varios modos de transporte y edificios de equipamientos)

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 por tipologías oscila entre 19Km la más corta y 28Km la más larga.

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

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.

Longitud y tipo de vía

TIPO DE VÍA (Km)	RED B
Superficie	22,29
Viaducto	
Túnel	47,08
Total	69,36

Número de corredores	3,00
-----------------------------	-------------

Número de estaciones

ESTACIÓN TIPO	RED B		
	P	T	E
Superficie	15	6	5
Viaducto			
Túnel	38	13	2
Total	53	19	7

Total estaciones: **79**

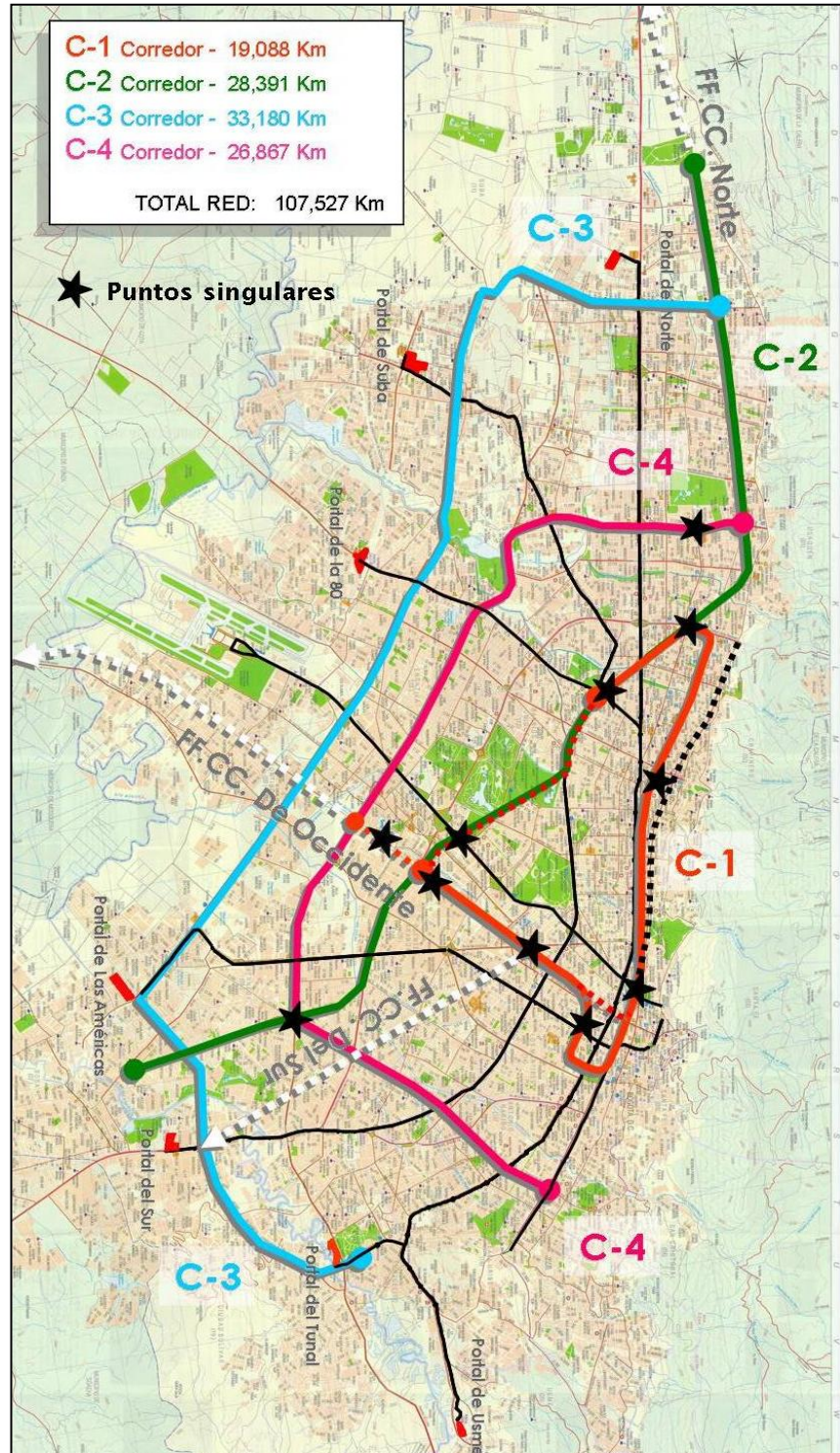
Siendo:

P: estación de paso

T: estación de intercambio

E: estaciones especiales (intercambio entre varios modos de transporte y edificios de equipamientos)

3.3 Red C



- **Descripción general.**

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

En total 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 por tipologías oscila entre 19Km la más corta y 34 Km la más larga.

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

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.

Longitud y tipo de vía

TIPO DE VÍA (Km)	RED C
Superficie	23,69
Viaducto	
Túnel	83,84
Total	107,53

Numero de corredores	4,00
-----------------------------	-------------

Número de estaciones

ESTACIÓN TIPO	RED C		
	P	T	E
Superficie	17	11	3
Viaducto			
Túnel	65	24	2
Total	82	35	5

Total estaciones: 122

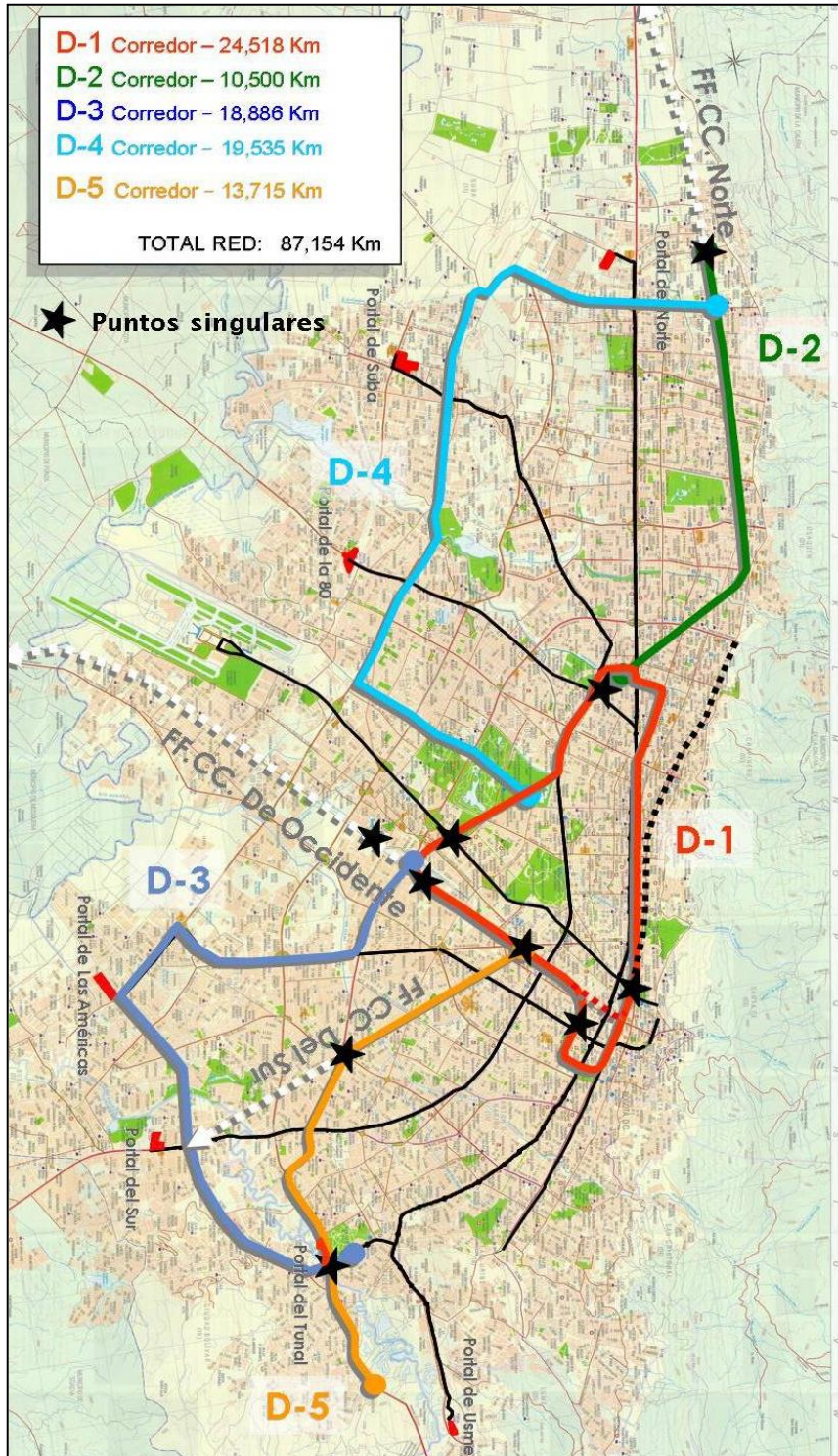
Siendo:

P: estación de paso

T: estación de intercambio

E: estaciones especiales (intercambio entre varios modos de transporte y edificios de equipamientos)

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 por tipologías oscila entre 10Km la más corta y 25 Km la más larga.

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
TOTAL	87.154,83	26.528,93	55.821,14	4.804,76	93	31	58	4

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.

Longitud y tipo de vía

TIPO DE VÍA (Km)	RED D
Superficie	26,53
Viaducto	4,80
Túnel	55,82
Total	87,15

Numero de corredores	5,00
-----------------------------	-------------

Número de estaciones

ESTACIÓN TIPO	RED D		
	P	T	E
Superficie	16	9	6
Viaducto	3	1	
Túnel	41	14	3
Total	60	24	9

Total estaciones: **93**

Siendo:

P: estación de paso

T: estación de intercambio

E: estaciones especiales (intercambio entre varios modos de transporte y edificios de equipamientos)

3.5 Resumen de Alternativas de Red

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

De acuerdo con los Términos de Referencia el consultor debía presentar para su aprobación, a la Interventoría y al Distrito, la metodología, los criterios, variables y ponderaciones, así como el modelo a utilizar para la realización de un análisis multicriterio, de acuerdo con indicadores cuantificables.

Esta evaluación debía permitir caracterizar cada una de las alternativas en estudio, a partir de las cuales se podrían generar nuevas alternativas de la combinación de las mejores opciones, las cuales serán evaluadas por medio de la misma metodología.

En el numeral 5.3.2.4. (Evaluación de las alternativas de red) se especificaban los siguientes criterios a considerar también para la priorización de líneas de la red de acuerdo al apartado 5.3.2.6:

- Socioeconómicos
- Tarifarios
- Urbanísticos
- Integración con el PMM
- Accesibilidad
- Redes de servicios públicos
- Ambientales
- Adquisición, expropiación y/o relocalización
- Suministro de energía
- Captación de usuarios al SITP
- Riesgos naturales

4.1 Metodología de evaluación

El Grupo Consultor propuso la metodología de evaluación comparada de redes y líneas mediante el desarrollo de cinco bloques fundamentales, presentados en la siguiente figura:



El bloque 1 consistió en la evaluación de los resultados derivados del cálculo de los indicadores propuestos para cada alternativa, sin tomar en consideración pesos diferenciales para cada uno de los ejes o indicadores. En este orden de ideas, se denominó “evaluación lineal”.

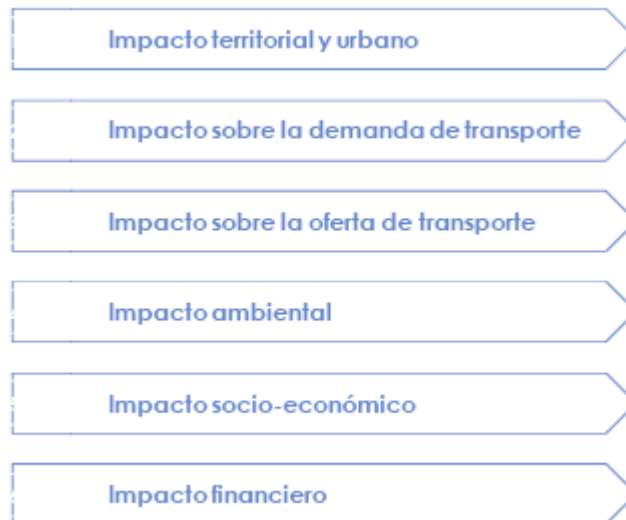
Posteriormente, el Grupo Consultor planteó un análisis de sensibilidad y robustez de las alternativas de metro evaluadas, con el objetivo de identificar la alternativa más robusta; es decir, la menos sensible a la ponderación de los ejes.

Como tercer paso de la metodología, los diferentes entes que participaron en la toma de decisiones tuvieron la posibilidad de realizar una propuesta de ponderación global. Es importante aclarar que tanto durante el proceso de evaluación de las alternativas de red como de las líneas, se acordó entre el Grupo Consultor y El Distrito que no se aplicaría el bloque 3 y portando tampoco el bloque 4 de la metodología propuesta, es decir, no se decidió no introducir factores de ponderación de los ejes, con lo cual los ejes propuestos tendrían el mismo peso durante la evaluación.

Finalmente se aplicó, el quinto paso, consistente en el uso de técnicas de contraste, que permitieran confirmar la selección de la red y la PLM.

4.2 Ejes de análisis

Teniendo en cuenta los criterios de evaluación definidos en los Términos de Referencia, así como las hipótesis de trabajo y aspectos técnicos que el Grupo Consultor consideró necesario incorporar, se procedió a estructurar la evaluación bajo seis ejes de análisis:



Para cada uno de los ejes anteriormente detallados, se definió un conjunto de objetivos a alcanzar por parte de las redes de Metro propuestas, de modo que la evaluación comparada de todas las alternativas de red debía tener como finalidad determinar cuál de las propuestas presentaba un mayor nivel de cumplimiento global de los objetivos.

De igual forma se definieron varios indicadores que permitían medir el desempeño de cada alternativa

frente a los objetivos definidos en cada eje de análisis.

Conviene resaltar que la propuesta partía de la premisa que “los indicadores deben construirse de modo que los insumos necesarios estén disponibles o bien puedan ser estimados por el Grupo Consultor con la agilidad que requiere el desarrollo del contrato”.

Análogamente, era importante que los indicadores que se definieran arrojasen resultados diferenciales entre las alternativas, puesto que el multicriterio tenía como fin determinar cuál es la mejor alternativa de desarrollo. En este orden de ideas, no se incluyeron los indicadores que no implicaban diferencias sustanciales entre las alternativas.

Es importante resaltar que tanto los ejes de análisis, los objetivos y cada uno de los indicadores fueron ampliamente discutidos con la interventoría y especialistas de cada una de las secretarías del Distrito, consensuando finalmente su utilización.

4.3 Evaluación de las redes

4.3.1 Ejes, Objetivos e Indicadores

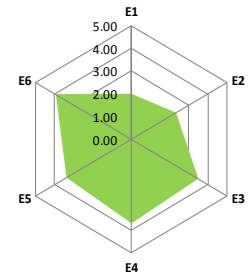
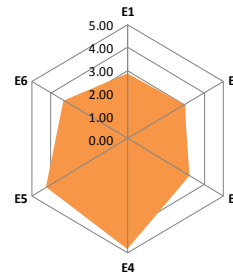
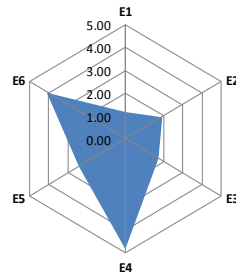
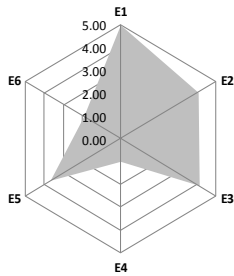
Para el análisis de las redes seleccionadas se establecieron los siguientes Ejes, Objetivos e Indicadores

EJES		OBJETIVOS		INDICADORES			
1	Impacto territorial y urbano	1.1	Garantizar la coherencia con los instrumentos de planificación urbana	1.1.1.	Grado de reconocimiento de la propuesta de densificación del POT		
				1.1.2.	Potenciación de las centralidades futuras		
				1.1.3.	Potenciación de la integración regional		
	1.2	Impactar positivamente sobre la funcionalidad y dinámica urbana	1.2.1.	Accesibilidad a los principales equipamientos de la ciudad			
			1.2.2.	Atención a los principales nodos de actividad			
			1.2.3.	Atención a los principales equipamientos de la ciudad			
1.3	Aprovechar las oportunidades de nuevos desarrollos	1.3.1.	Renovación del tejido urbano				
2	Impacto sobre la demanda	2.1	Mejorar las condiciones de accesibilidad y movilidad de la demanda	2.1.1.	Reducción del tiempo de viaje en la Red de Transporte Masivo		
				2.1.2.	Múmero medio de transbordos en la Red de Transporte Masivo		
	2.2	Introducir una moción de los modos de transporte público y captar	2.2.1.	Demanda captada del modo privado			
			2.2.2.	Demanda del sistema Metro			
		2.2.3.	Demanda de Transporte del Sistema Masivo				
3	Impacto sobre la oferta	3.1	Diseñar una línea de metro de amplia cobertura y operacionalmente productiva	3.1.1.	IPK de Metro		
				3.1.2.	Cobertura de la Red Metro		
	3.2	Compatibilizar la línea metro con el sistema de transporte masivo	3.2.1.	Nivel de integración con el sistema de transporte público convencional SITP			
			3.2.2.	Estaciones de intercambio de pasajeros en Transporte Masivo			
4	Impacto ambiental	4.1	Mitigar los impactos ambientales derivados de la construcción y operación del sistema	4.1.1.	Potencial magnitud de impactos derivados de implantación y operación del Metro		
				4.1.2.	Efecto barrera visual y urbano del Metro		
5	Impacto socio-económico	5.1	Favorecer la mejora de las condiciones de accesibilidad a la población de menores recursos	5.1.1.	Accesibilidad a los estratos de menores recursos		
				5.2	Minimizar los costos sociales	5.2.1.	Ahorros en costos operacionales
						5.2.2.	Reasentamientos derivados de la implementación del Metro
6	Impacto financiero	6.1	Valorar la capacidad financiera del Distrito Capital vs inversión	6.1.1.	Capacidad de Financiación de la Inversión		
				6.2	Minimizar el Valor Presente Neto de las inversiones		
		6.3	Maximizar el beneficio generado por el mayor valor del suelo	6.2.1.	VPN de la inversión por Km		
				6.3.1.	Inversión / Pasajero (Red de Metro)		
		6.4	Mitigar los riesgos	6.3.2.	Costos de operación y mantenimiento por pasajero del Metro		
				6.4.1.	% de túnel respecto a la longitud total de Metro		
6.2.2.	% de redes de servicios afectadas respecto a la longitud total de Metro						

Una vez analizados y calculados los indicadores se obtuvieron los siguientes resultados:

4.3.2 Evaluación lineal

	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D
+	19.77	16.20	21.54	18.99
X	5.91E+02	1.90E+02	1.91E+03	8.37E+02



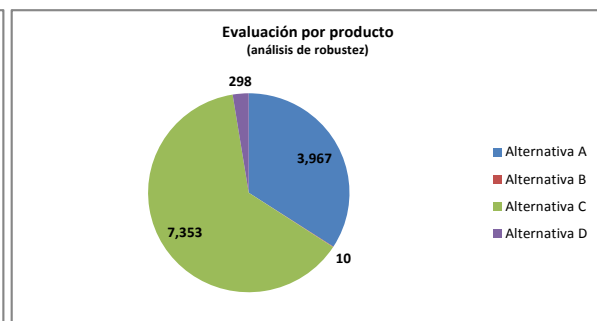
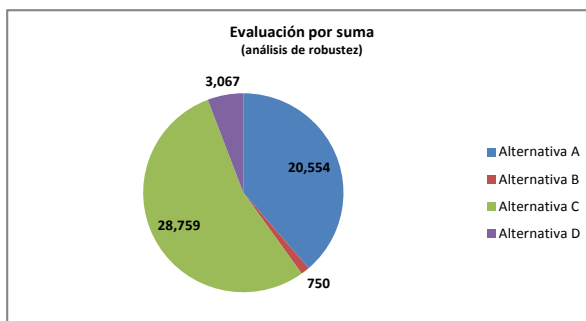
4.3.3 Análisis de Robustez

Por suma

Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Total
20554	750	28759	3067	53130
39%	1%	54%	6%	

Por producto

Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Total
3967	10	7353	298	11628
34%	0%	63%	3%	



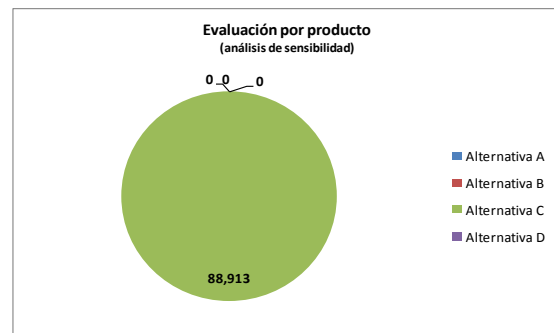
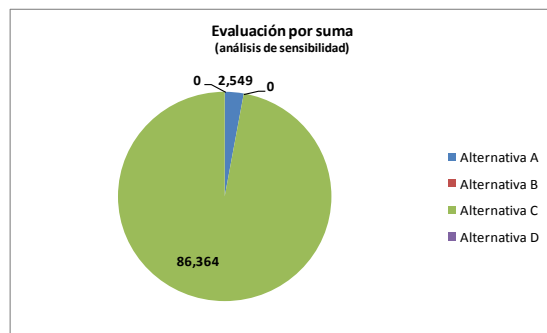
4.3.4 Análisis de Sensibilidad

Por suma

Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Total
2,549	0	86,364	0	88,913
3%	0%	97%	0%	

Por producto

Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Total
0	0	88,913	0	88,913
0%	0%	100%	0%	



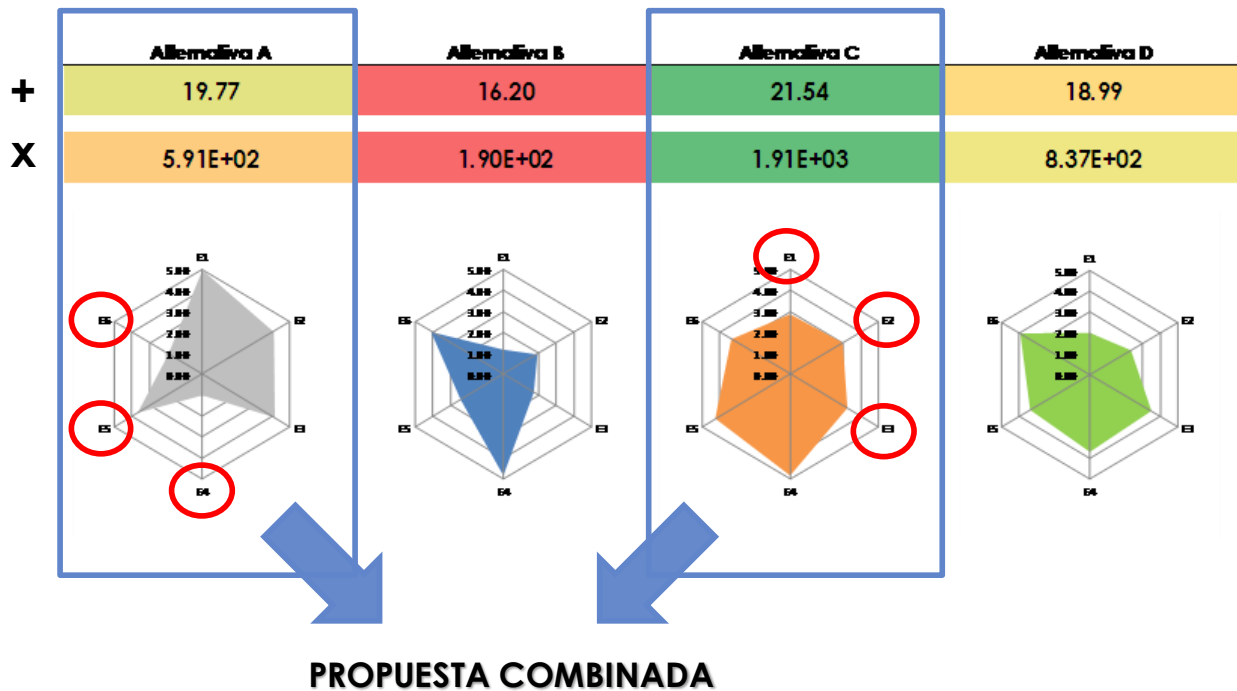
4.3.5 Métodos de contraste

Como último paso se aplicaron cinco (5) métodos de contraste y se obtuvieron los siguientes resultados:

Método de contraste	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D
Pluralidad	16	4	4	6
Borda	81	58	73	64
Copeland	24	-22	8	-10
Simpson	16	9	8	8
Eliminación paralela	18	0	8	0

4.3.6 Alternativa de red seleccionada

Tal como se aprecia en los numerales anteriores las alternativas A y C fueron las que mejor comportamiento obtuvieron en los ejes evaluados, sin que los métodos de evaluación señalaran una clara ganadora.



Según las gráficas anteriores se observa que la alternativa A respondió muy bien en lo referente al impacto territorial y urbano (E1), sobre la demanda (E2) y oferta (E3) de transporte, y sobre el impacto financiero (E6), mientras que la alternativa C respondió mejor en cuanto a los indicadores ambientales (E4) y socio económicos (E5).

Tabla 2-1. Indicadores referidos a los ejes 4, 5 y 6 (Producto 15)

			A	B	C	D
14.1.1.	Potencial magnitud de impactos derivados de implantación y operación del Metro	adimensional	2,90	1,91	1,83	2,11
14.1.2.	Efecto barrera visual y urbano del Metro	km equivalentes	206	111	118	147
15.1.1.	Accesibilidad a los estratos de menores recursos	%	0,83	0,77	0,82	0,81
15.2.1.	Ahorro en costos operacionales	COP	37.479.821	2.458.607	21.644.094	-68.286
15.2.2.	Reasentamientos derivados de la implementación del Metro	Nº personas	972	116	147	112
16.1.1.	Capacidad de financiación de la inversión	%	5,74	15,00	8,77	11,78
16.2.1.	VPN de la inversión por kilómetro	MCOP/ km	84.058	59.906	65.949	60.845
16.3.1.	Inversión /pasajero (red Metro)	COP/ pax	35.763	23.829	23.342	40.891
16.3.2.	Costos de operación y mantenimiento por pasajero (red Metro)	COP/ pax	1.965	1.677	1.832	1.657
16.4.1.	% de túnel respecto la longitud total de Metro	%	0,66	0,68	0,78	0,64
16.4.2.	% de redes de servicios afectada respecto la longitud total de Metro	%	7,35	7,75	6,24	6,46

Fuente: Elaboración propia

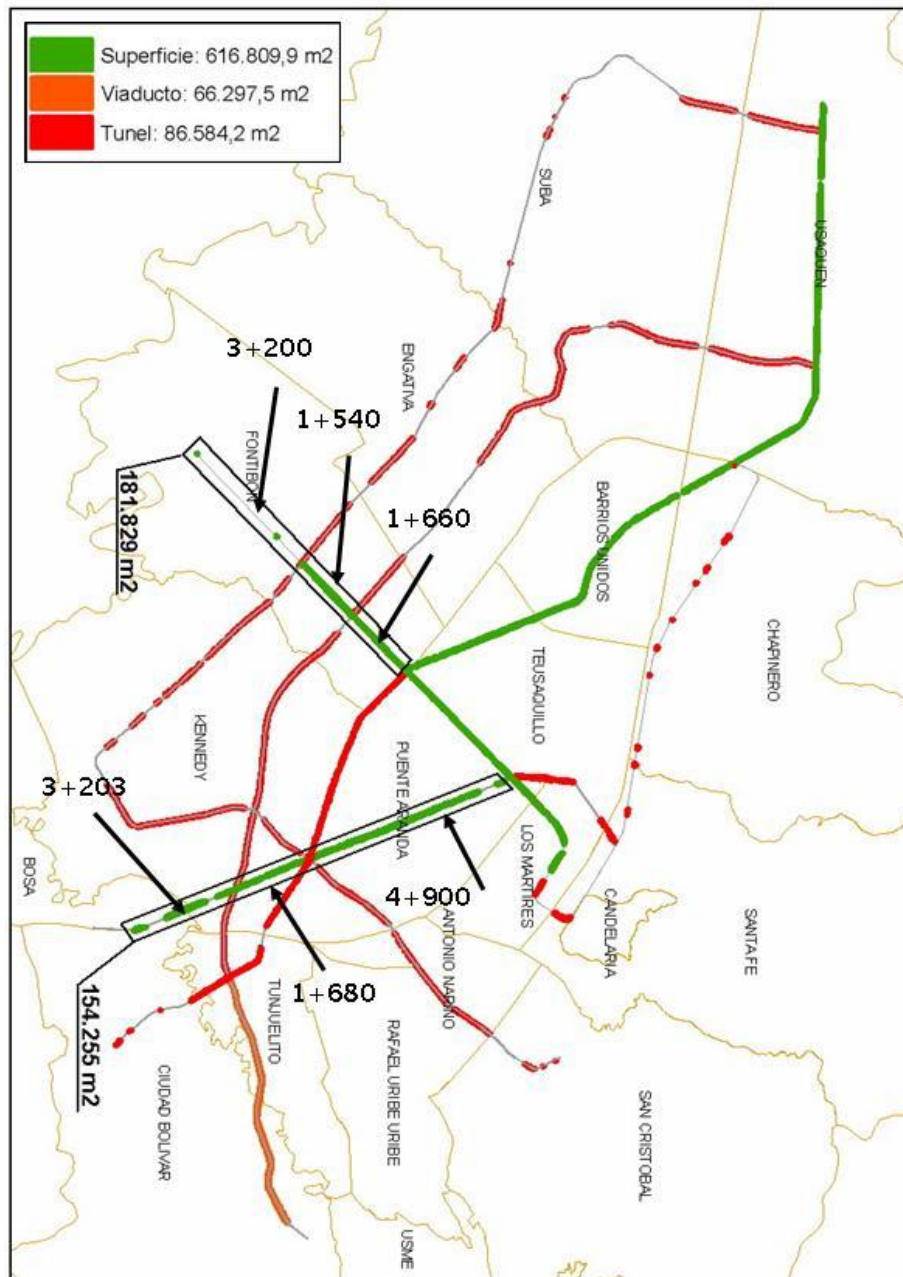
Se analizaron los ejes 4 y 5, y se observa claramente que la red A obtuvo un peor desempeño en los indicadores ambientales y en dos de los indicadores socio-económicos.

De estos, el resultado del indicador I5.2.1. es inherente al tamaño de la red, por lo que no se consideró que fuera mejorable salvo modificaciones de sus dimensiones, que deberían estar motivadas por otros aspectos.

En este contexto, el Grupo Consultor analizó los restantes indicadores pertenecientes a los ejes ambiental y económico en que la red C obtenía un mejor desempeño.

En el indicador 4.1.1., el peor desempeño de la alternativa A es debió, fundamentalmente, a una mayor superficie de afectación de zonas verdes por su mayor extensión de las tipologías en superficie y viaducto. Por otro lado, en el indicador 4.1.2., la peor valoración de la red A estuvo también causada por la mayor extensión de las tipologías en viaducto y, especialmente, superficie que implican un mayor efecto barrera tanto visual como urbano.

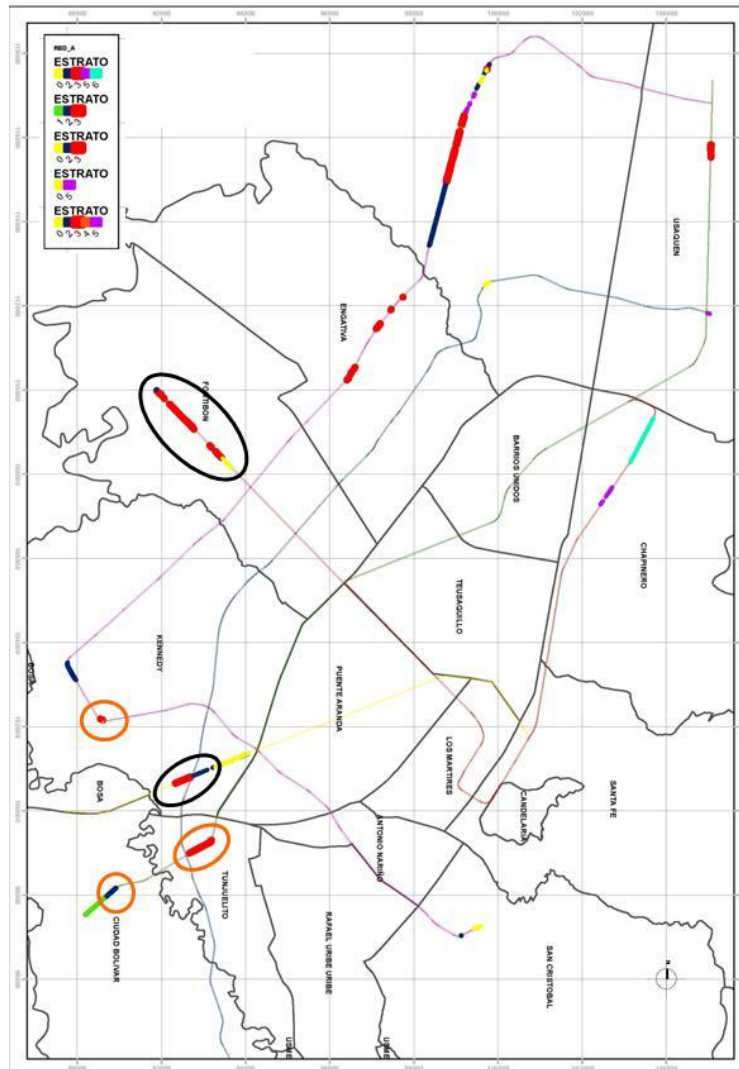
Alternativa A – Espacios Verdes V2



En el indicador 5.2.2., la alternativa de red C supuso el reasentamiento de únicamente 147 personas, mientras que la red A afectaba a 972 personas, valor no muy alto si se tiene en cuenta que hace referencia a la afectación requerida para el desarrollo de toda la red en un horizonte de 30 años.

RED A							
Corredor	A1	A2	A3	A4	A5	Viviendas por Estrato	No. Personas por Estrato
Localidad	Fontibón	Usaquén	Kennedy	Sin afect x Tunnel	Sin afect xTunnel		
Estrato 1	0	0	0	0	0	0	0
Estrato 2	2	0	73	0	0	75	313,5
Estrato 3	109	29	33	0	0	171	658,35
Estrato 4	0	0	0	0	0	0	0
Estrato 5	0	0	0	0	0	0	0
Estrato 6	0	0	0	0	0	0	0
Total Red						246	971,85

Fuente: Cálculos del Grupo Consultor.



En relación con el eje 6, destacar que para el indicador 6.2.1. la red A presentó un VPN de la inversión por kilómetro de 84.058 millones de pesos por km, respecto los 65.949 millones de pesos por km que resultaron en la red C.

Sin embargo, para los ejes 1,2 y 3, la red A arrojó mayores beneficios que la red C, tal como se puede observar en la siguiente tabla, consistente en las diferencias encontradas en la valoración de los indicadores:

Tabla 2-2. Análisis comparado de los indicadores para las alternativas A y C (Producto 15)

464.486	Nº habitantes	Grado de reconocimiento de la propuesta de densificación del POT
290.256	Nº empleos	Potenciación de las centralidades futuras
6.194	Nº habitantes	Potenciación de la integración regional
0	adimensional	Conectividad de red de transporte masivo
290.256	Nº empleos	Atención a los principales nodos de actividad
458.983	Nº usuarios atendidos	Atención a los principales equipamientos de la ciudad
2.338.396	m2 construibles	Renovación del tejido urbano
0,54	Minutos	Reducción del tiempo de viaje en la red de Transporte Masivo
0,02	Número	Número medio de transbordos en la red de Transporte Masivo
0,00	Nº pasajeros	Demanda captada del modo privado
86.579	Nº pasajeros	Demanda del sistema Metro
68.543	Nº pasajeros	Demanda del Sistema de Transporte Masivo
1,06	Pax/veh-km	IPK Metro
32.020.000	m2	Cobertura de la red Metro
1	Nº rutas	Nivel de integración con el sistema de transporte público convencional del SITP
7	Nº conexiones	Estaciones de intercambio de pasajeros en Transporte Masivo
-1,07	adimensional	Potencial magnitud de impactos derivados de implantación y operación del Metro
-88	km equivalentes	Efecto barrera visual y urbano del Metro
0,0	%	Accesibilidad a los estratos de menores recursos
15.835.727	COP	Ahorro en costos operacionales
-825	Nº personas	Reasentamientos derivados de la implementación del Metro
-3,04	%	Capacidad de financiación de la inversión
-18.109	MCOP/ km	VPN de la inversión por kilómetro
-12.421	COP/ pax	Inversión /pasajero (red Metro)
-132	COP/ pax	Costos de operación y mantenimiento por pasajero (red Metro)
0,1	%	% de túnel respecto la longitud total de Metro
-1,11	%	% de redes de servicios afectada respecto la longitud total de Metro

Nota: El indicador resaltado en verde significa que la alternativa A ofrece un mejor desempeño mientras que en caso de resaltarse en rojo es la alternativa C la que obtiene mejor valoración

Fuente: Elaboración propia

A tenor de los resultados obtenidos, la recomendación que realizó el Grupo Consultor fue adoptar la alternativa de red A tomando en consideración el mejor desempeño tanto ambiental como socio-económico ofrecido por la opción C ya que los impactos negativos más destacados de la alternativa A están relacionados con estos temas:

- Necesidad de reasentamiento elevada: hasta un total de 972 personas, 825 más que la alternativa C
- Efecto barrera considerable: dispone de 14.17 km en superficie y 5.7 km en viaducto más que la red C
- Afectación a zonas verdes: las zonas verdes damnificadas por la alternativa A ascienden a 77 Ha, 29 más que la red C

Finalmente, cabe destacar que el costo tanto de reasentamiento como de generación de zonas verdes, las deficiencias más notables de la alternativa A, es inversamente proporcional al costo de construcción, debido a que la ejecución de un sistema metro subterráneo reduce el costo ambiental y socioeconómico pero incrementa el costo financiero.

Por todo lo anterior el Grupo Consultor con la aceptación del Distrito propuso una nueva alternativa de red combinando los aspectos positivos de las alternativas A y C (Red Modificada), la cual finalmente se adaptó y fue seleccionada (Red Seleccionada).

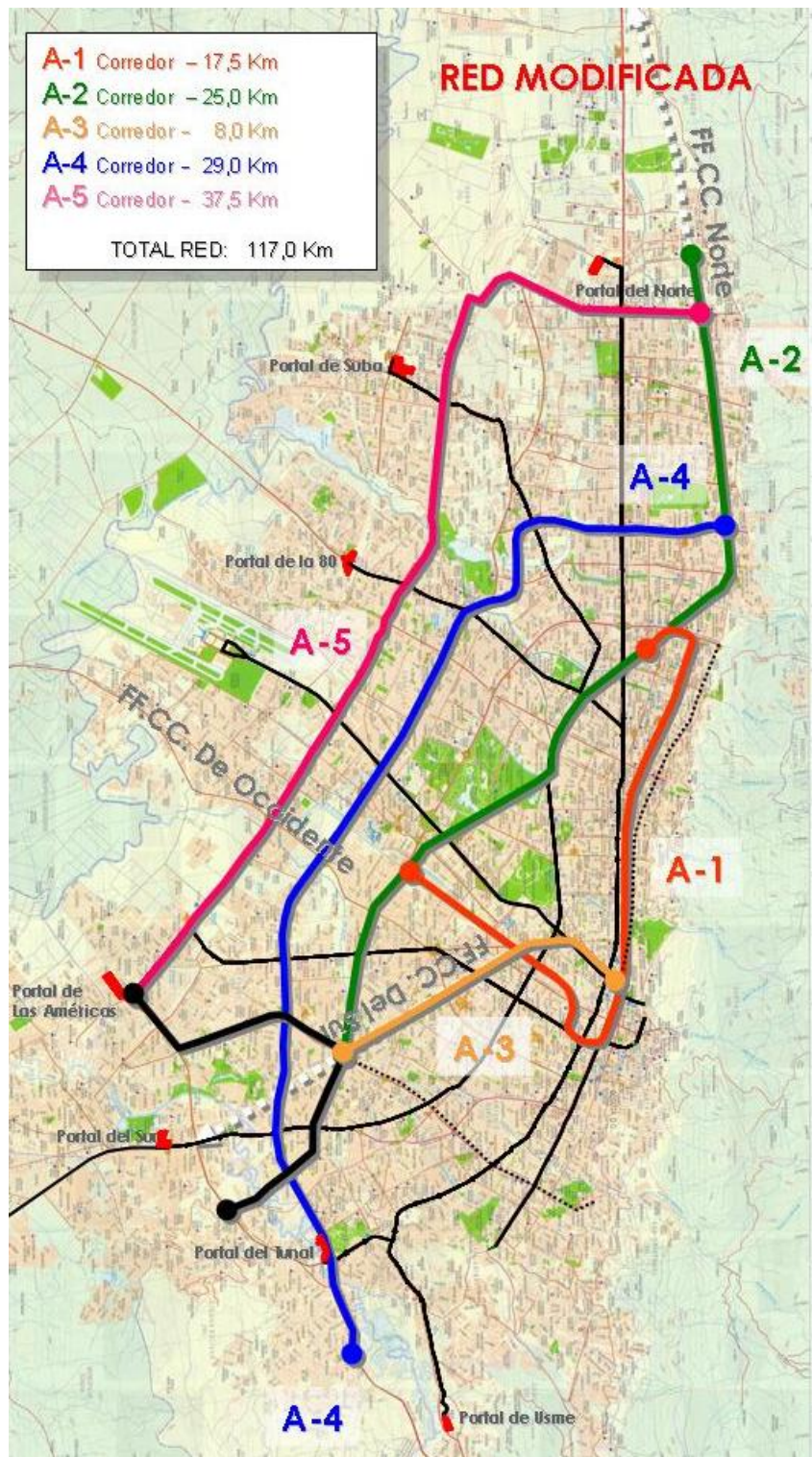
La red A modificada se diferencia de la red A inicial en los siguientes puntos:

- El corredor A1 o rojo se acorta en su parte occidental llegando únicamente hasta el cruce entre el corredor ferroviario del norte y la Avenida Congreso Eucarístico o AK 68. Con ello se reduce la afectación medioambiental de este corredor.
- El corredor A2 o verde se acorta en la zona de Ciudad Bolívar reduciendo la afectación a los estratos de menores recursos.
- El corredor A3 o amarillo llega hasta la glorieta de la Avenida 1º de Mayo en la intersección con la AK 68, reduciendo considerablemente la afectación medioambiental y de reasentamientos de menores estratos.
- El corredor A5 o morado se acorta y finaliza en el Portal de las Américas.

El corredor amarillo tiene dos alternativas desde la glorieta de la Avenida 1º de Mayo:

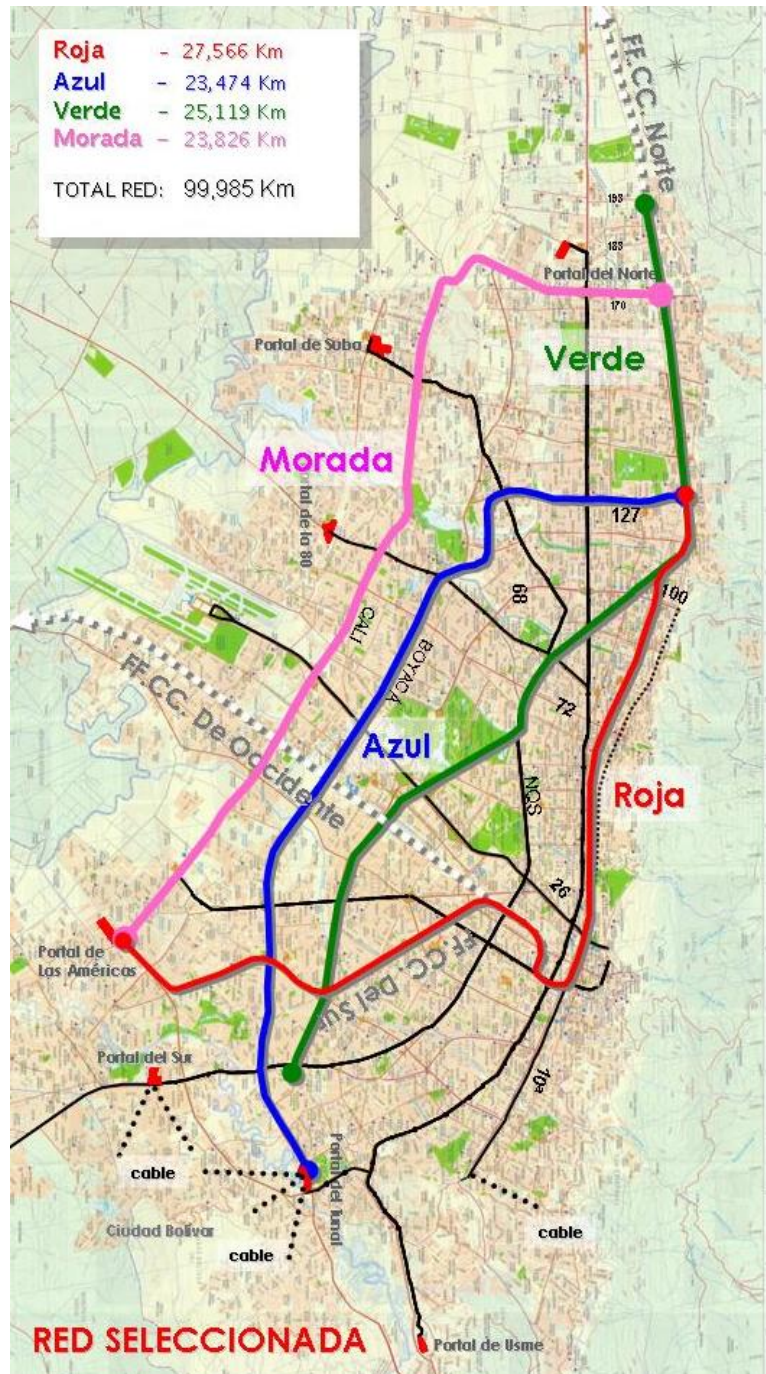
- Hacia Ciudad Bolívar
- Hacia el Portal de las Américas

Ver gráfico siguiente.



Analizando las dos posibles alternativas de la línea amarilla se analizaron ambas y resultó la más idónea la alternativa hacia el Portal de las Américas la que respondía mejor a todos los indicadores analizados.

La red modificada sufrió una última modificación uniendo en un solo corredor la A1 roja con la A3 amarilla definiendo la roja definitiva que se muestra en el siguiente gráfico.



- **Descripción general.**

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

En la red consta de 99,985 Km y 105 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 por tipologías oscila entre 0,800Km la más corta y 25,200 Km la más larga.

CORREDOR	PK (m)				ESTACIONES			
	Total	Superficie / Trinchera	túnel	viaducto	Total	Superficie / Trinchera	Túnel	Viaducto
<i>Roja</i>	27.566,00	7.946,00	19.620,00		33	9	24	
<i>Verde</i>	25.120,00	17.700,00	7.420,00		30	20	9	1
<i>Azul</i>	23.474,00		23.474,00		25		25	
<i>Morada</i>	23.826,00		23.826,00		25		25	
TOTAL	99.986,00	25.646,00	74.340,00	0,00	113	29	83	1

- **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.

Longitud y tipo de vía

VÍA	LONGITUD (km)			
	ROJA	VERDE	AZUL	MORADA
Superficie	5,346	17,000	-	-
Viaducto	-	-	-	-
Túnel	19,620	7,420	23,474	23,826
Trinchera o semienterrada	2,600	0,700	-	-
Total	27,566	25,120	23,474	23,826

TOTAL KM DE LA RED

99,985Km

TIPO DE VÍA (Km)	RED A*
Superficie	24,446
Viaducto	-
Túnel	75,539
Total	99,985

Numero de corredores	4,00
-----------------------------	-------------

Número de estaciones

ESTACIÓN TIPO	Red A*		
	P	T	E
Superficie	20	8	2
Viaducto			
Túnel	58	20	5
Total	78	28	7

TOTAL ESTACIONES: 113

Siendo:

P: estación de paso

T: estación de intercambio

E: estaciones especiales (intercambio entre varios modos de transporte y edificios de equipamientos)

4.4. Red del SITP

A partir de la red de metro seleccionada la RED del SITP para el escenario 2038 propuesta por el Grupo Consultor es la que se muestra en el siguiente gráfico pudiendo alcanzar una longitud total de los modos de transporte masivo (Metro, TransMilenio y Cercanías) de aproximadamente 300Km.

