



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° 19

**RESUMEN EJECUTIVO DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE LA RED
DE METRO Y DE LA PRIMERA LÍNEA DE METRO**

MB-GC-ME-0019
Rev. 2.



TITULO DEL DOCUMENTO: *RESUMEN EJECUTIVO DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE LA RED DE METRO Y DE LA PRIMERA LÍNEA DE METRO EN EL MARCO DEL SITP*

DOCUMENTO N°: MB-GC-ME-0019

Referencia:

Fichero: MB-P19 rev2.doc

Revisión número: 2 Fecha revisión: 30/09/2009

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

REGISTRO DE CAMBIOS

REV.	FECHA	SECCIÓN / PÁRRAFO AFECTADO	INICIO DEL DOCUMENTO/ RAZONES DEL CAMBIO
0	28/08/2009	TODOS	DOCUMENTO INICIAL
1	07/09/2009	TODOS	REVISIÓN GENERAL
2	30/09/2009	INTRODUCCIÓN Y CONCLUSIONES	INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN Y CONCLUSIONES.....	6
2	SITUACIÓN ACTUAL	13
3	SELECCIÓN DE CORREDORES.....	14
4	ESTRUCTURACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE RED	17
4.1	Red A.....	19
4.2	Red B.....	21
4.3	Red C.....	23
4.4	Red D.....	25
5	EVALUACIÓN DE LAS REDES Y LAS LÍNEAS.....	27
5.1	Metodología de evaluación.....	27
5.2	Ejes de análisis	28
5.3	Evaluación de las redes.....	30
5.3.1	Ejes, Objetivos e Indicadores	30
5.3.2	Evaluación lineal	31
5.3.3	Análisis de Robustez	31
5.3.4	Análisis de Sensibilidad	32
5.3.5	Métodos de contraste	32
5.3.6	Alternativa de red seleccionada	33
5.3.7	Red del SITP.....	40
5.3.8	Evaluación de las líneas	41
5.3.9	Ejes, Objetivos e Indicadores	45
5.3.10	Evaluación lineal	47
5.3.11	Análisis de Robustez	48



5.3.12 Análisis de Sensibilidad	48
5.3.13 Métodos de contraste	49
5.3.14 Primera línea de Metro	49

1 INTRODUCCIÓN Y CONCLUSIONES.

El Diseño conceptual de la red de transporte masivo Metro, y el diseño operacional, dimensionamiento legal y financiero de de la primera línea de Metro, en el Marco del SITP para la ciudad de Bogotá es el trabajo que está desarrollando, para la Secretaría de Movilidad del Distrito Capital de Bogotá, el Grupo Consultor de la Primera Línea de Metro.

El trabajo consta de cuatro Etapas:

ETAPA 1: línea base de diagnóstico y definición de escenarios

ETAPA 2: Evaluación de alternativas y prioridad de implementación

ETAPA 3: Diseño operacional de la Primera Línea

ETAPA 4: Ajustes al Diseño Operacional y Dimensionamiento Legal y Financiero.

A la fecha de la edición del presente documento (Sept.2M9), se han finalizado, prácticamente, la totalidad de los productos de la Etapa 2.

La Etapa 1 abarcó los trabajos de diagnóstico; la calibración y puesta a punto del modelo de demanda; la definición de los escenarios de modelación; el análisis de la normatividad vigente así como el de las alternativas viables de financiación.

En la Etapa 2 se han estudiado las tecnologías posibles de ser aplicadas en el Metro de Bogotá, tanto constructivas, arquitectónicas, como ferroviarias, que quedaron recogidas en el Documento técnico - económico de tecnologías. (prod. 13) Además de ello, en esta Etapa el trabajo fundamental que se ha desarrollado, es el que se relaciona con la definición, dentro del sistema SITP, de los corredores de tránsito masivo posibles de ser incluidos como tales en un escenario para el año 2038, y la selección de una red para tal objeto. A partir de esta malla, se han definido en esta Etapa tres líneas posibles de Metro, asignándosele una priorización, definiéndose, por tanto, la propuesta para Primera línea de Metro (PLM).

El objeto del presente resumen ejecutivo es describir los procesos de selección de la Red de corredores y de la priorización de la Primera Línea de Metro de la ciudad de Bogotá.

La selección de la red y de la primera línea del metro (PLM), constituye uno de los aspectos más relevantes del proyecto, en donde se juntan aspectos urbanísticos, técnicos, ambientales, socioeconómicos y financieros. Aspectos relevantes como la demanda y la oferta, también son tenidos en cuenta en los procesos de selección y de priorización.

Para la selección de los corredores se han considerado otros aspectos, que son relevantes:

- Por un lado, las características geotécnicas de Bogotá hacen que no sea recomendable proponer sistemas de túneles en que el propio terreno sea utilizado como material estructural, sino túneles construidos con tuneladoras que dejan inserto en el terreno una tubería compuesta de paneles de hormigón. Pues bien, para el propio funcionamiento de estas máquinas de tunelación, no es aconsejable trabajar en el terreno clasificado en Bogotá como "pié de monte",

ya que es posible encontrar en él macizos de roca que impediría un trabajo continuo de excavación.

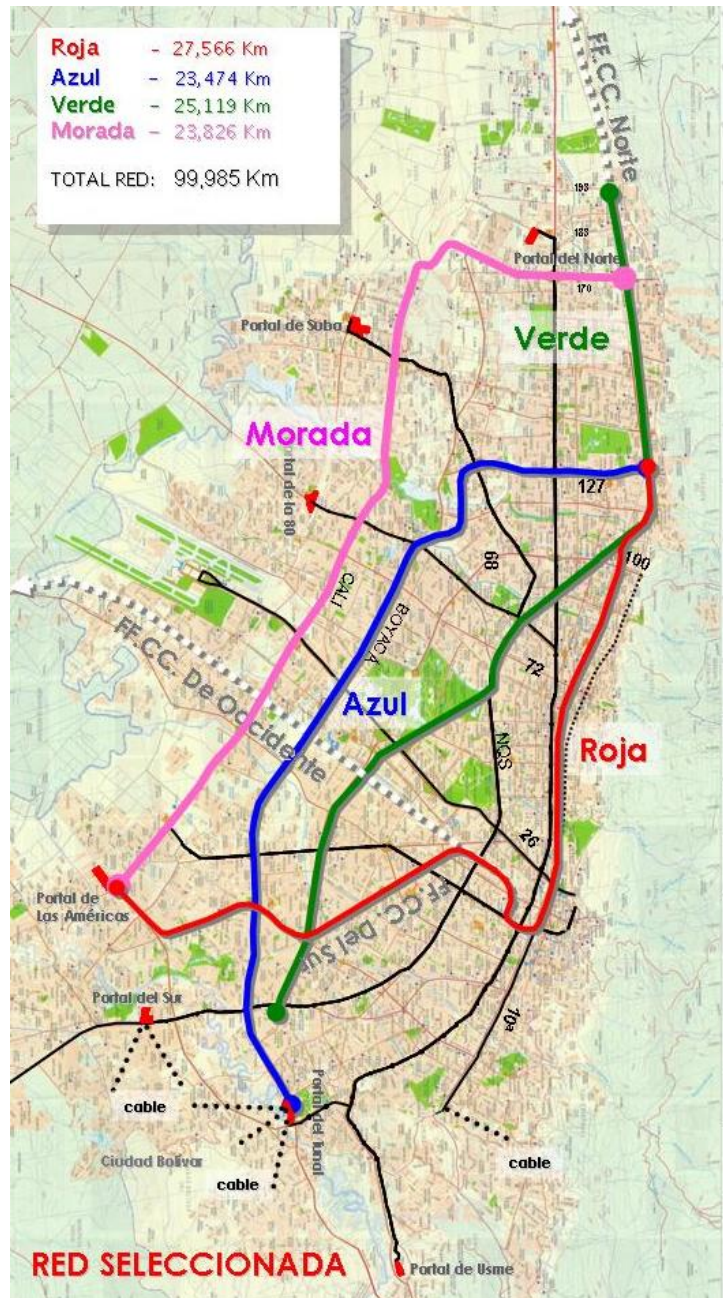
- Asimismo, las características geológicas de Bogotá obligan a que las cimentaciones de las edificaciones se resuelvan mediante la disposición de pilotes de longitud importante (se conocen piezas de este tipo de hasta 50m de longitud). Por esta razón, y previendo posibles interferencias, no es aconsejable disponer corredores bajo las edificaciones.
- Desde el punto de vista de la funcionalidad de la red, se ha considerado como pié forzado la inclusión en la malla general de las actuales redes de Transmilenio y las que están en construcción, ya que ellas deben ser parte de la malla de corredores masivos.
- Los corredores férreos existentes en Bogotá deben considerarse como parte de la malla de transporte masivo, ya sea que su utilización futura sea el propio ferroviario del tren de cercanías, o el del Metro.

Con los condicionantes ya establecidos, se propusieron diferentes alternativas para la selección de la red. Las propuestas se construyeron considerando diferentes aspectos: los más relevantes se basaron en las llamadas "líneas de deseo" en donde se recogen, en un escenario ideal, puramente peatonal- los viajes que se realizan en las horas definidas, entre las diferentes unidades de transporte del territorio de Bogotá. Por otro lado, se realizó un análisis urbanístico, tanto del suelo actual clasificado en el POT como del suelo con características para un potencial desarrollo futuro. El modelo de transporte, tanto el que se estaba desarrollando como el que se disponía ya en Transmilenio fueron determinantes a la hora de tener una primera aproximación de la demanda.

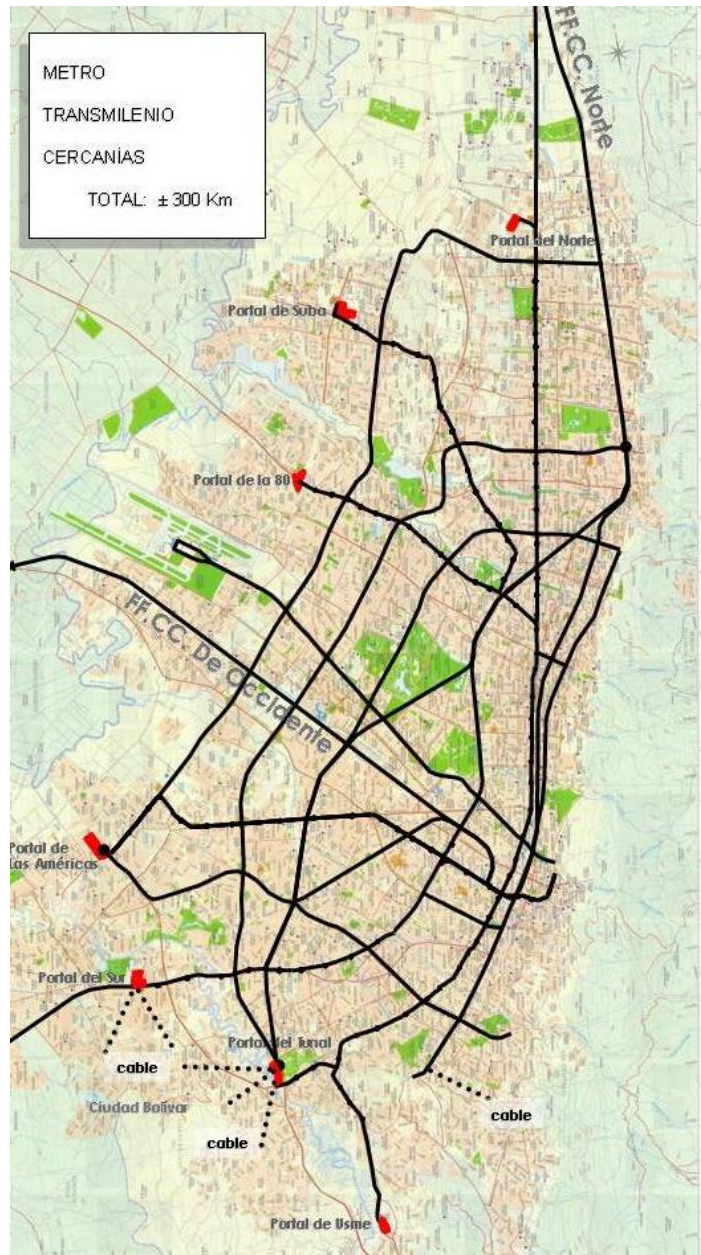
Una vez definidas cuatro redes, a partir de las 10 primeras que se establecieron, se aplicó un sistema de evaluación multicriterio. Esta metodología se basa en la definición de diferentes conceptos, agrupados en seis conjuntos, denominados "ejes". Para cada uno de estos ejes, se establecieron los objetivos que se pretenden cumplir, para lo cual se establecen los indicadores correspondientes. Para ello ha sido preciso elaborar las diferentes unidades con los aspectos de cada una de ellas, y las "calificaciones" que se han aplicado a cada uno de los indicadores. En el capítulo 3 de este documento resumen se recogen todos los indicadores y sus asignaciones tal y como se han desarrollado in extenso en el Producto 15. Cabe hacer notar que la modelización del tránsito se consideró en dos de los seis ejes propuestos: el del impacto sobre la oferta, y el del impacto sobre la demanda, por lo que el peso de estos aspectos en su conjunto es muy importante en el proceso de evaluación.

Una vez definidas y calificadas cada una de las redes de metro posibles, se procedió a la evaluación propiamente tal, que se denominó "evaluación lineal". Con posterioridad, se 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 paso siguiente de la evaluación, se procedió a una ponderación global. Finalmente se aplicaron diferentes evaluaciones por diferentes métodos, que permitieran confirmar la selección de la red.

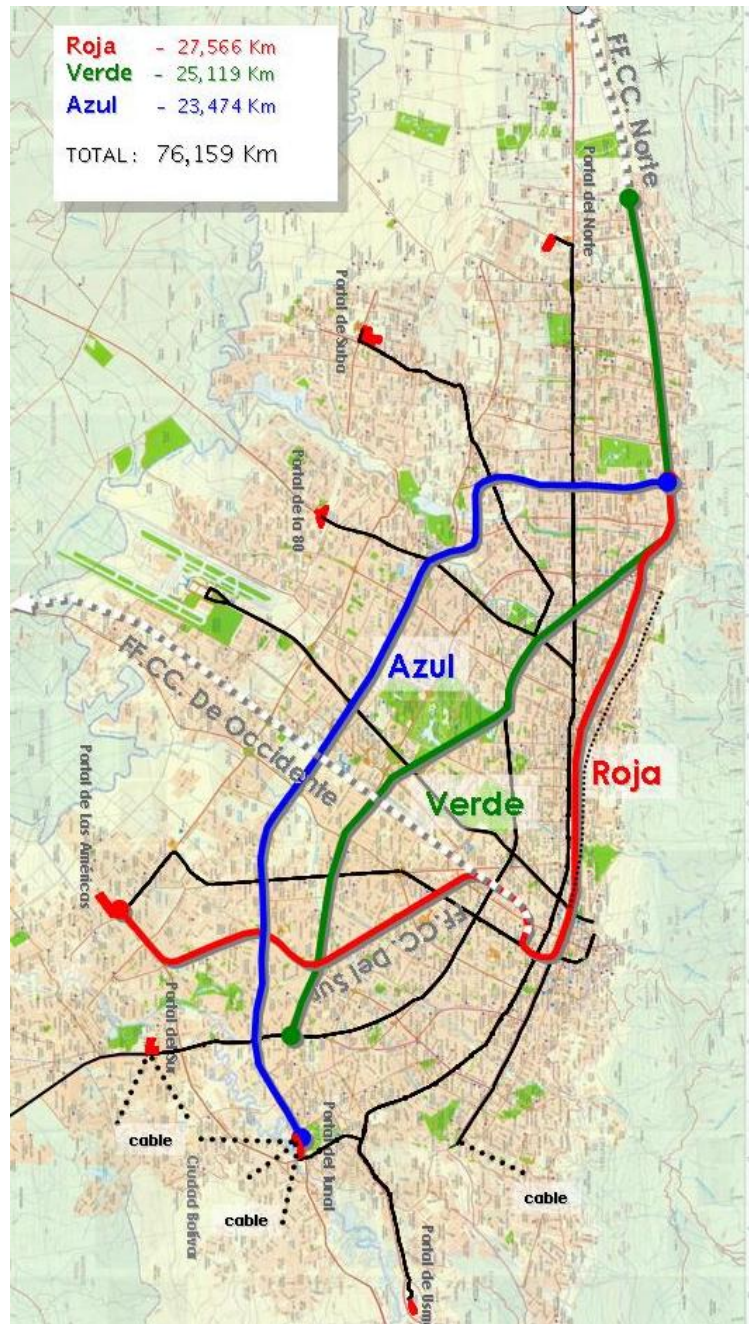
En este caso concreto, se comprobó que ninguna de las cuatro redes evaluadas logró una evaluación manifiestamente superior. Por ello, se optó por preparar una nueva red a partir de las dos mejormente evaluadas, de donde emergió la red propuesta.



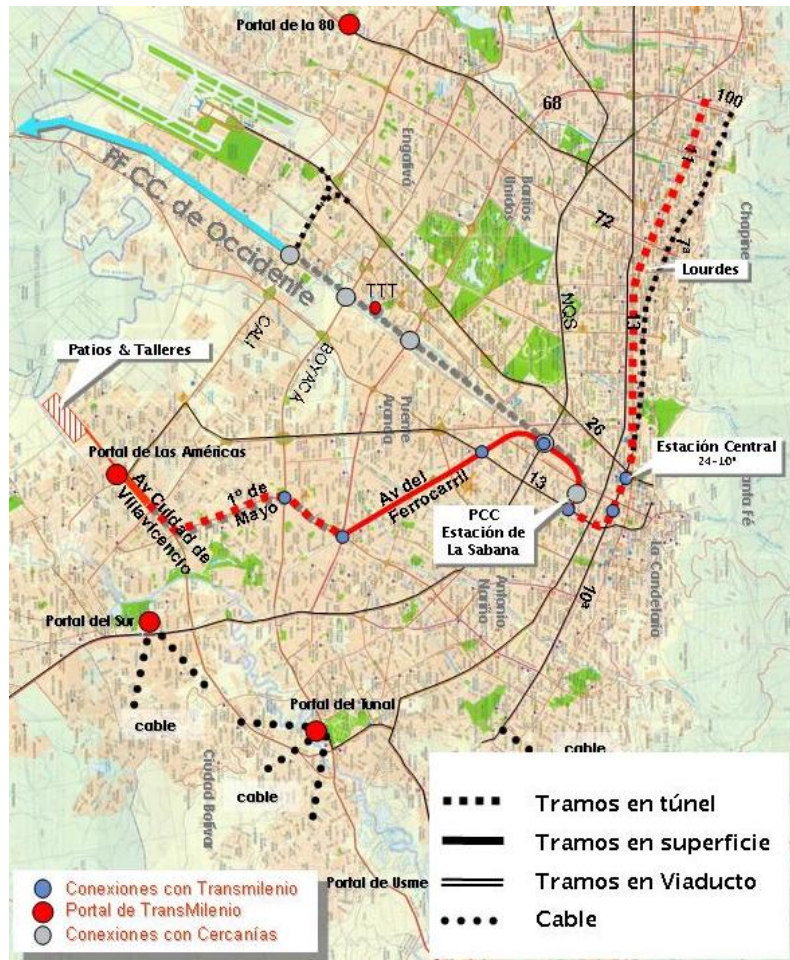
Con la red de metro seleccionada, se estableció la RED del SITP para el escenario 2038, con una longitud total de los modos de transporte masivo (Metro, TransMilenio y Cercanías) de aproximadamente 300Km.



Para la priorización de las líneas de Metro, se utilizó una metodología de evaluación similar. Cabe hacer notar que en los indicadores definidos se han considerado argumentos que quedaron establecidos en el Memorándum de acuerdo entre el Distrito y la Nación, siendo algunos coincidentes totalmente. Para resaltar este hecho, en la tabla donde se recogen estos indicadores, se han marcado, en rojo, estos indicadores coincidentes.



La metodología utilizada para la evaluación de las tres líneas propuestas, para establecer su priorización, con los diferentes pasos de análisis lineal, de sensibilidad y contrastándolas con cuatro sistemas de evaluación multicriterio, dio como resultado, claramente, la selección de la línea roja, debido a que era la que mejor desempeño tenía en los seis ejes de análisis evaluados. Por ello se determinó que esta debía proponerse como la PLM.



Las características de la PLM se describen pormenorizadamente en el texto, siendo las principales:

VÍA	LONGITUD (km)
	ROJA
Superficie	5,000
Viaducto	0,800
Túnel	16,800
Trinchera	1,800
Total	24,400

ESTACIÓN TIPO	ROJA		
	Paso	Transferencia	Especial
Superficie	5	3	1
Viaducto	-	-	-
Túnel	18	4	2
Total	23	7	3

Recorrido Básico: Principio por el SOeste: Junto al Portal de las Américas del Transmilenio, con la superficie para Talleres y Cocheras, tramo en túnel hasta llegar a la glorieta

Este documento Resumen, se estructura después de esta Introducción, en una descripción de la situación actual; más adelante se hace una presentación del proceso de Selección de los Corredores propuestos, estableciéndose las características (tipologías, costes, etc) así como los aspectos considerados para su elección. A continuación se procede a describir resumidamente el proceso de evaluación multicriterio, tanto para las redes de Metro seleccionadas como para la priorización de la PLM. Finalmente se describe en detalle la PLM.

2 SITUACIÓN ACTUAL

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 troncales adicionales en construcción.

El Grupo Consultor también tuvo en cuenta dentro de los escenarios futuros 2018 y 2038 la existencia de las líneas del ferrocarril de cercanías del norte y del occidente.



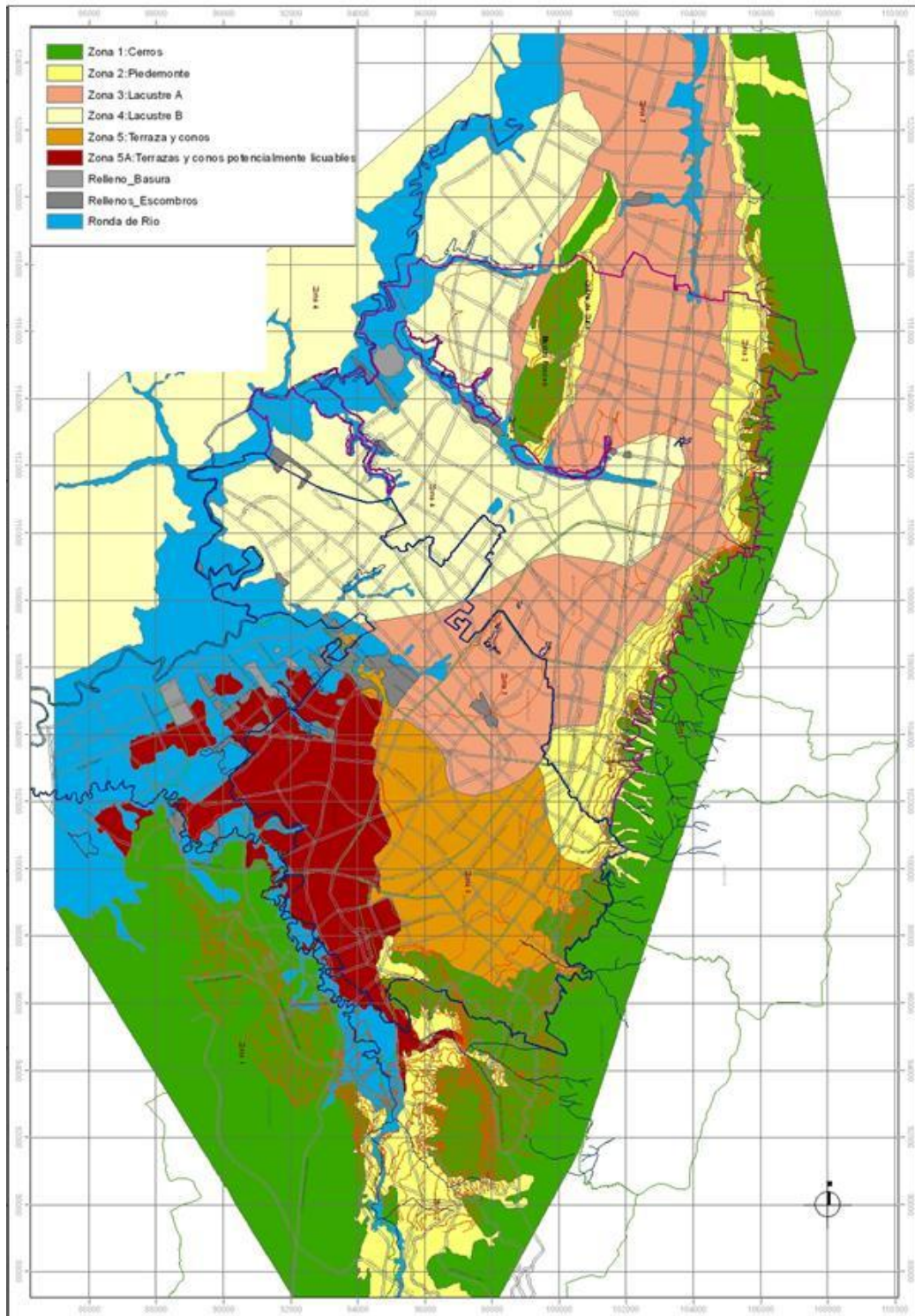
3 SELECCIÓN DE CORREDORES

Inicialmente, para la selección de los corredores se tuvieron en cuenta aspectos de demanda, urbanísticos y geotécnicos.

En general en los análisis previos se seleccionaron los corredores viales y férreos existentes, debido a que las tipologías constructivas para metro en viaducto y superficie así lo exigen. En el caso de líneas subterráneas, existía la premisa de las cimentaciones de las edificaciones de la ciudad de Bogotá, que debido a la naturaleza arcillosa de los suelos, requieren en su mayoría pilotes trabajando a fricción, con longitudes frecuentes de 50 m y en algunos casos hasta de 90 m, imposibilitando la construcción de túneles por debajo de éstas, con lo cual se consideró necesario, también para esta tipología, seleccionar corredores viales o férreos.

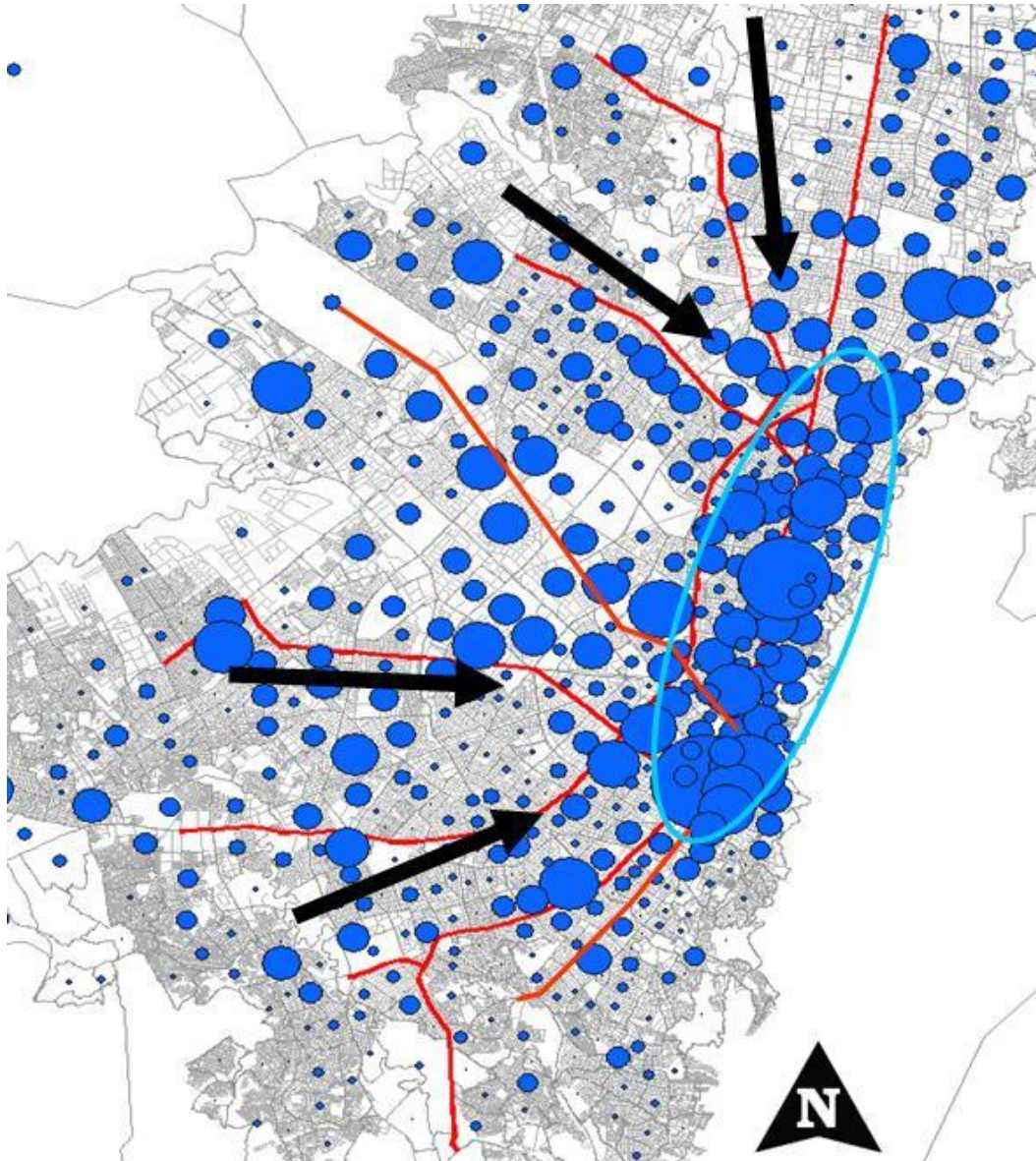
Desde el punto de vista geotécnico se tuvo en cuenta la caracterización de los suelos de Bogotá (véase mapa de microzonificación sísmica de Bogotá) para definir las posibilidades de ejecución de líneas en túnel, superficie y/o viaducto. Uno de los condicionantes importantes que se deriva del estudio de la caracterización de los suelos de la ciudad, es que no es deseable la selección de la carrera Séptima como corredor para ejecutar vía en túnel, debido a su cercanía con los cerros y a la alta posibilidad de encontrar fragmentos de roca de gran tamaño de origen coluvial, que dificultarían la utilización de tuneladoras.

Desde el punto de vista urbanístico se seleccionaron corredores de ancho generoso que permitieran la ejecución de las obras, y la ubicación de la infraestructura de las vías férreas con el menor impacto posible sobre las edificaciones existentes en los márgenes. Adicionalmente en los casos donde se propuso vía elevada o en superficie el ancho del corredor debía permitir la coexistencia del flujo vehicular y del metro, manteniendo una distancia entre fachadas de los edificios existentes de 30m como mínimo.



Mapa de Microzonificación sísmica de Bogotá.

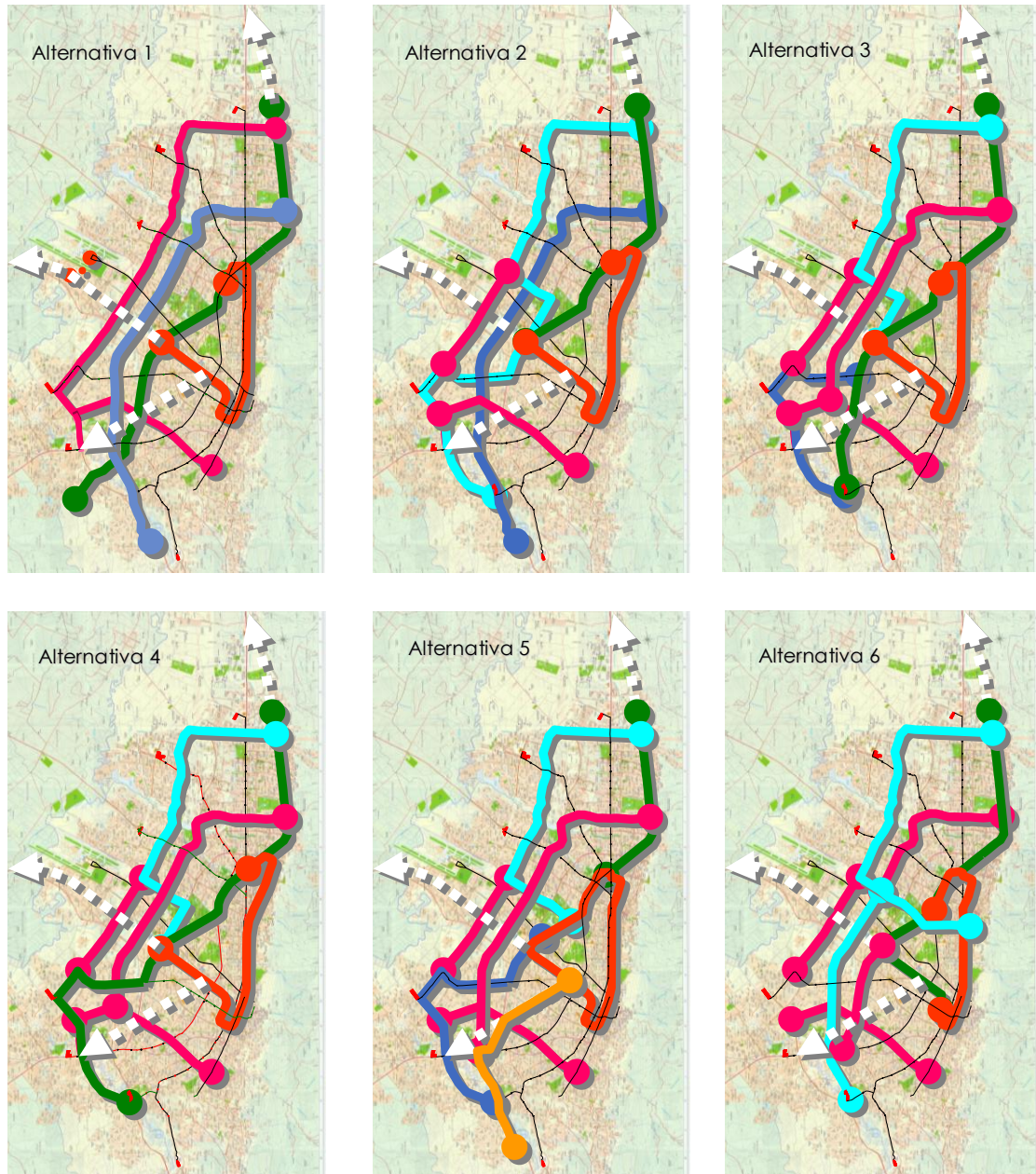
En relación con la demanda y apoyados en estudios anteriores, realizados por TransMilenio, se estudiaron los corredores que respondían mejor al comportamiento Origen-Destino de los viajes en la ciudad, así como la existencia de las troncales de TransMilenio existentes, en construcción y proyectadas, de modo a completar la Red del SITP.

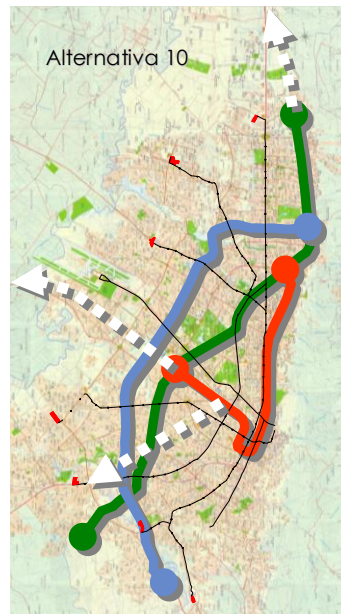
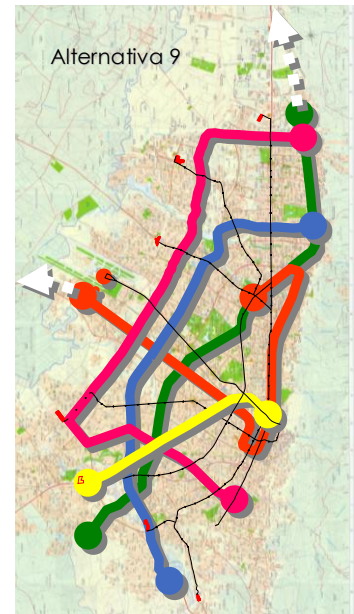
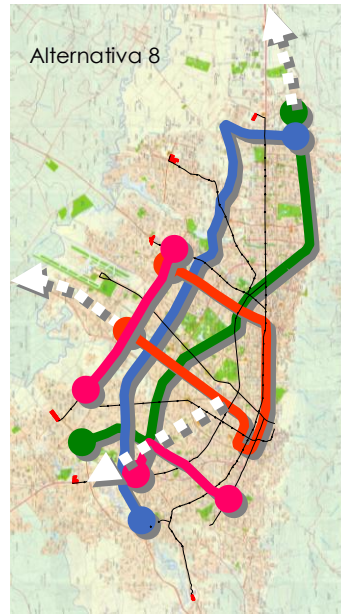
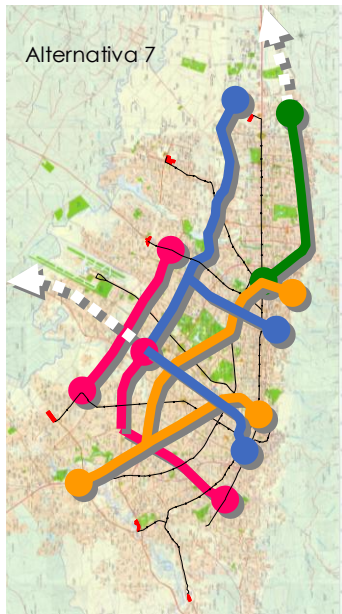


Origen – Destino de los viajes de la ciudad de Bogotá. 2009

4 ESTRUCTURACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE RED

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

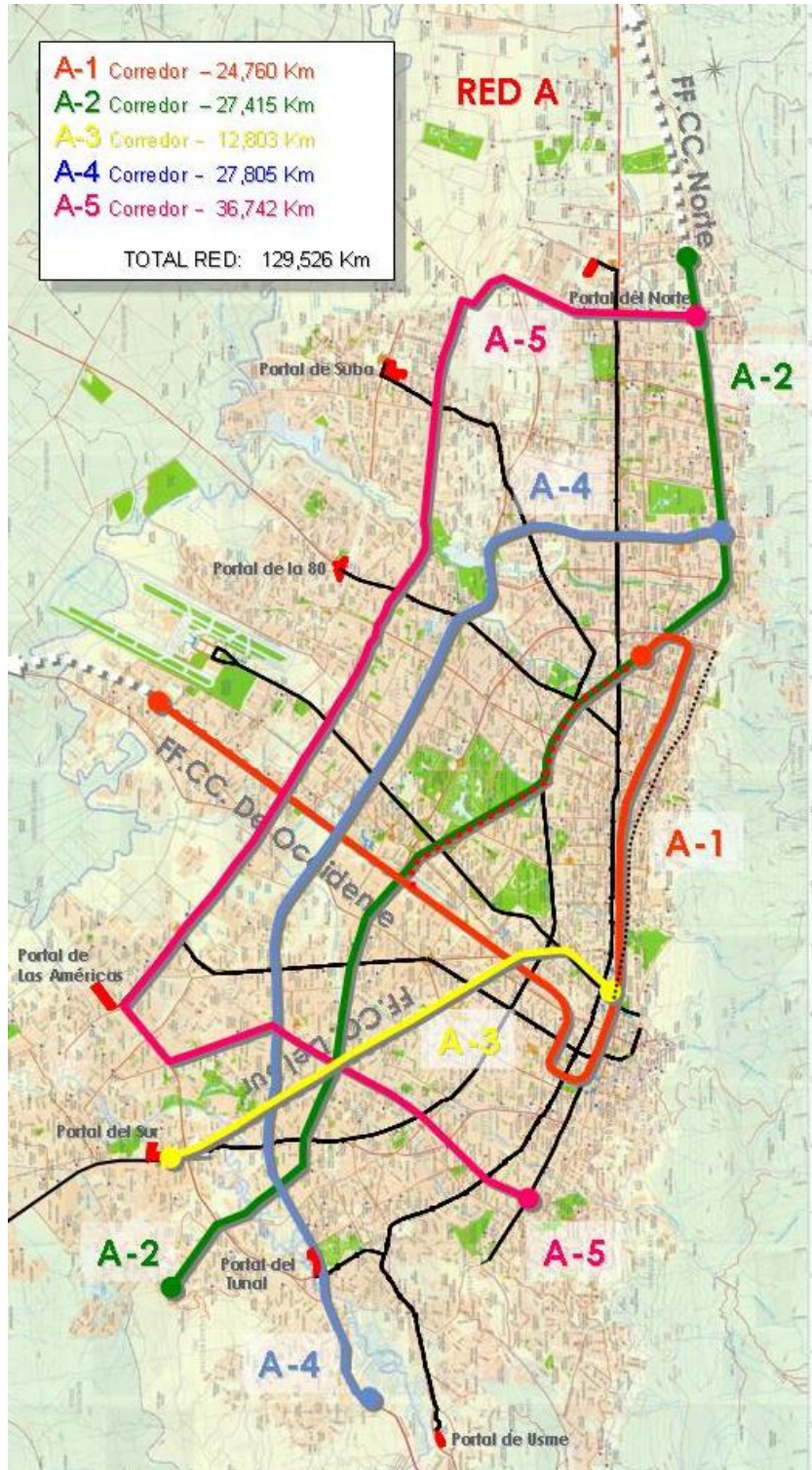




Posteriormente se seleccionaron las cuatro (4) propuestas que mejor respondían a las necesidades de la población y de trazado.

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

4.1 Red A



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

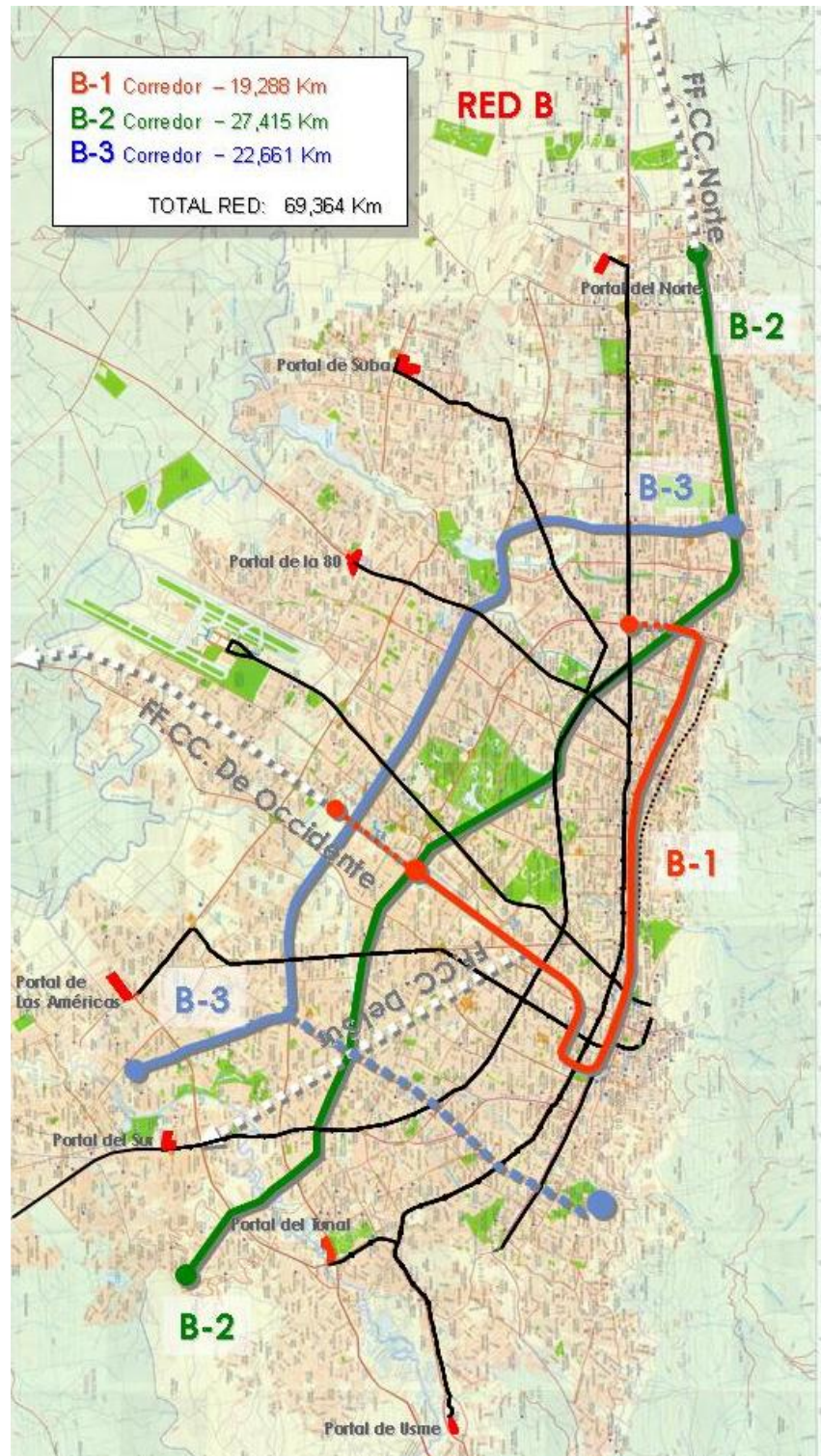
Siendo:

P: estación de paso

T: estación de intercambio

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

4.2 Red B



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

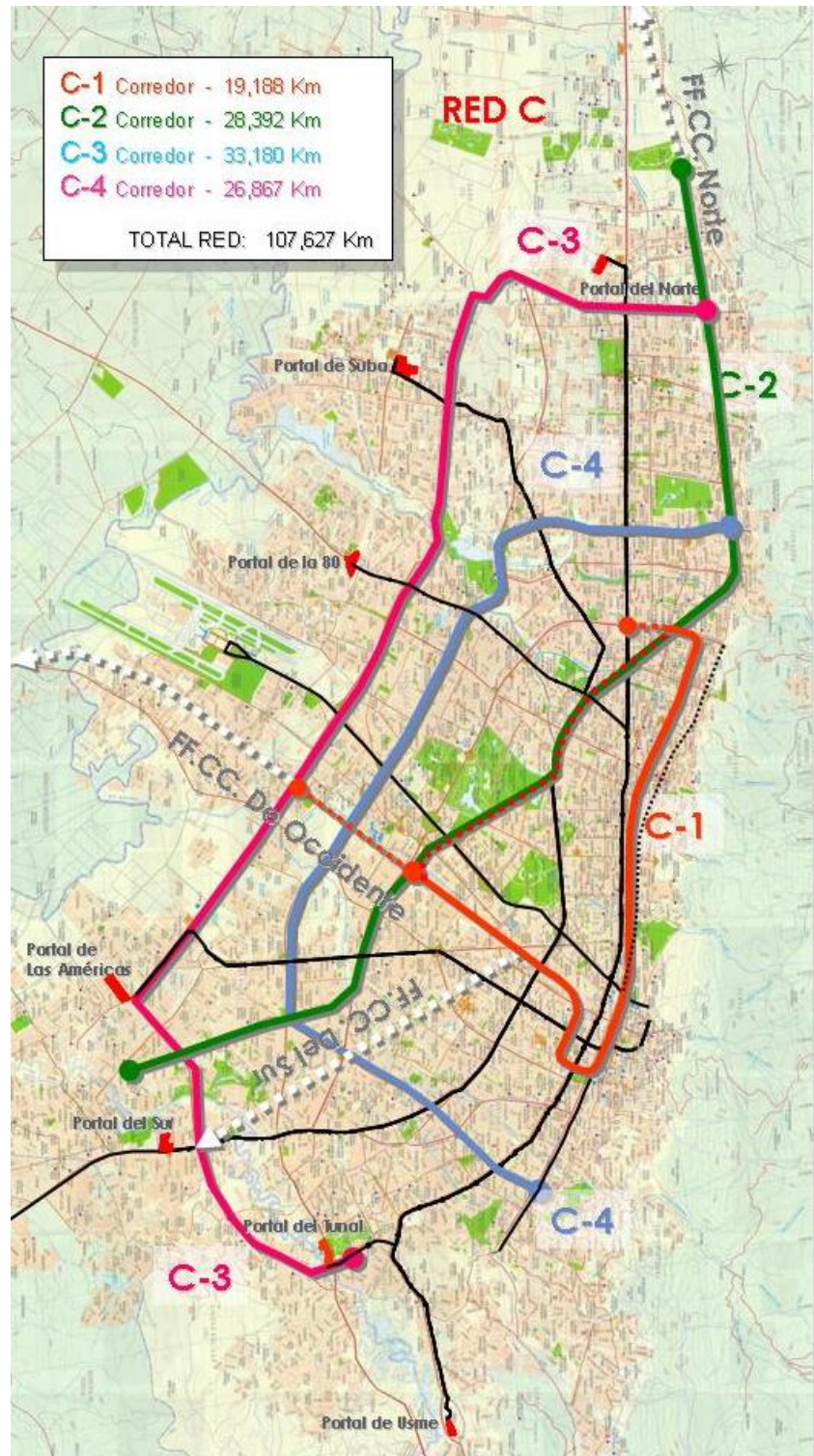
Siendo:

P: estación de paso

T: estación de intercambio

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

4.3 Red C



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

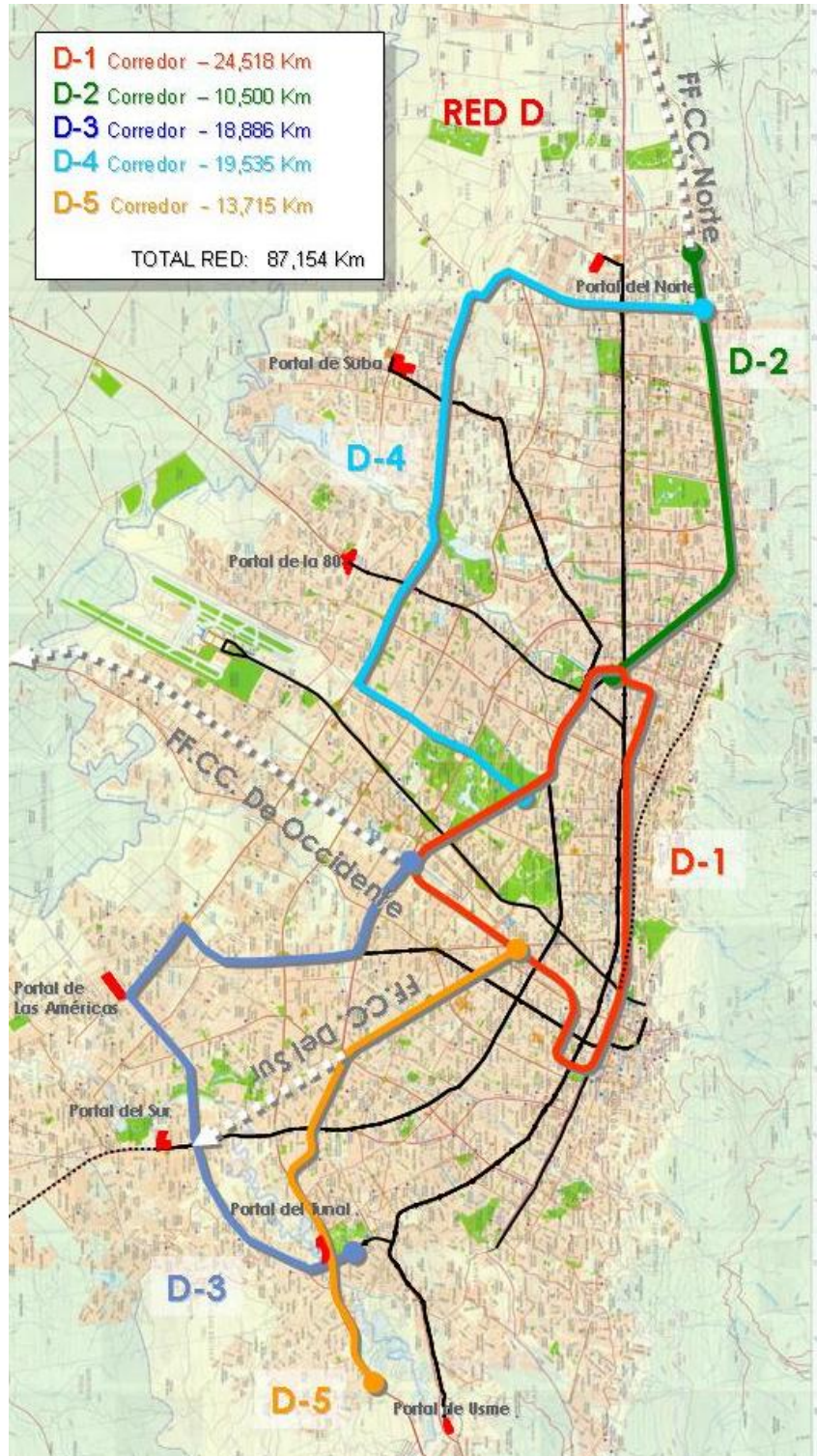
Siendo:

P: estación de paso

T: estación de intercambio

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

4.4 Red D



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

Siendo:

P: estación de paso

T: estación de intercambio

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

5 EVALUACIÓN DE LAS REDES Y LAS LÍNEAS

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

5.1 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”.

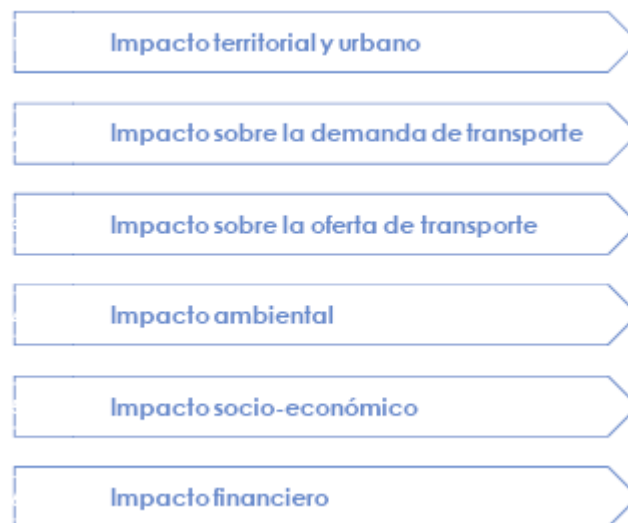
Posteriormente, el Grupo Consultor planteó un análisis de sensibilidad y robustez de las alternativas de metro evaluadas, con el objetivo de identificar la alternativa más robusta; es decir, la menos sensible a la ponderación de los ejes.

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.

5.2 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.

5.3 Evaluación de las redes

5.3.1 Ejes, Objetivos e Indicadores

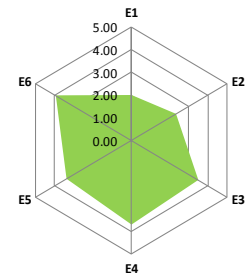
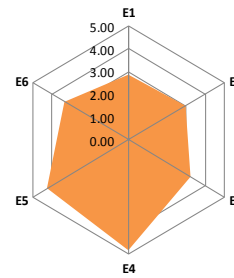
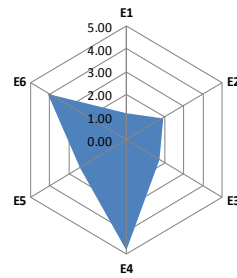
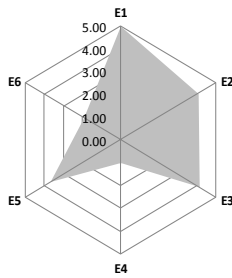
Para el análisis de las redes seleccionadas se establecieron los siguientes Ejes, Objetivos e Indicadores

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
				2.2.1.	Demanda captada del modo privado
	2.2	Introducir una modificación de los modos de transporte público y captar	2.2.2.	Demanda del sistema Metro	
			2.2.3.	Demanda de Transporte del Sistema Masivo	
			3.1.1.	IPK de Metro	
3	Impacto sobre la oferta	3.1	Diseñar una línea de metro de amplia cobertura y operacionalmente productiva	3.1.2.	Cobertura de la Red Metro
				3.2.1.	Nivel de integración con el sistema de transporte público convencional SITP
	3.2	Compatibilizar la línea metro con el sistema de transporte masivo	3.2.2.	Estaciones de intercambio de pasajeros en Transporte Masivo	
			4.1.1.	Potencial magnitud de impactos derivados de implantación y operación del Metro	
4	Impacto ambiental	4.1	Mitigar los impactos ambientales derivados de la construcción y operación del sistema	4.1.2.	Efecto barrera visual y urbano del Metro
				5.1.1.	Accesibilidad a los estratos de menores recursos
5	Impacto socio-económico	5.1	Favorecer la mejora de las condiciones de accesibilidad a la población de menores recursos	5.2.1.	Ahorros en costos operacionales
				5.2.2.	Reasentamientos derivados de la implementación del Metro
				6.1.1.	Capacidad de Financiación de la Inversión
6	Impacto financiero	6.1	Valorar la capacidad financiera del Distrito Capital vs inversión	6.2.1.	VPN de la inversión por Km
				6.3.1.	Inversión / Pasajero (Red de Metro)
		6.2	Minimizar el Valor Presente Neto de las inversiones	6.3.2.	Costos de operación y mantenimiento por pasajero del Metro
				6.4.1.	% de túnel respecto a la longitud total de Metro
		6.3	Maximizar el beneficio generado por el mayor valor del suelo	6.4.2.	% de redes de servicios afectadas respecto a la longitud total de Metro
				6.4	Mitigar los riesgos

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

5.3.2 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



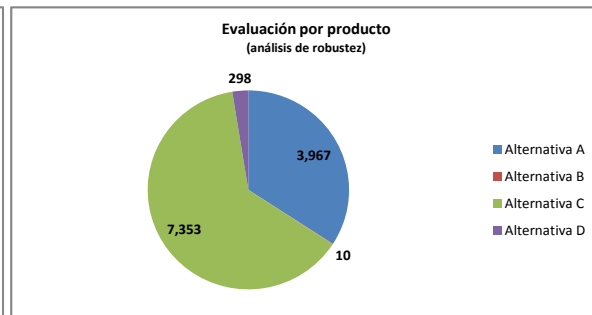
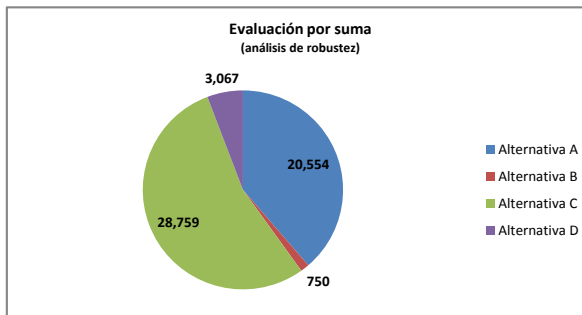
5.3.3 Análisis de Robustez

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%	



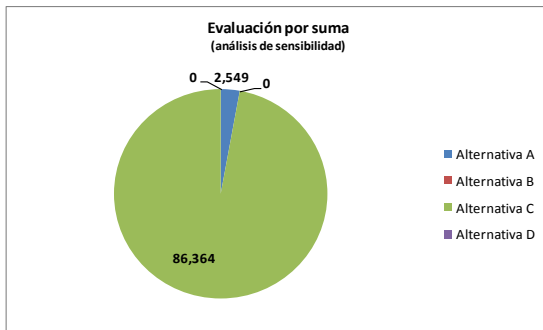
5.3.4 Análisis de Sensibilidad

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%	



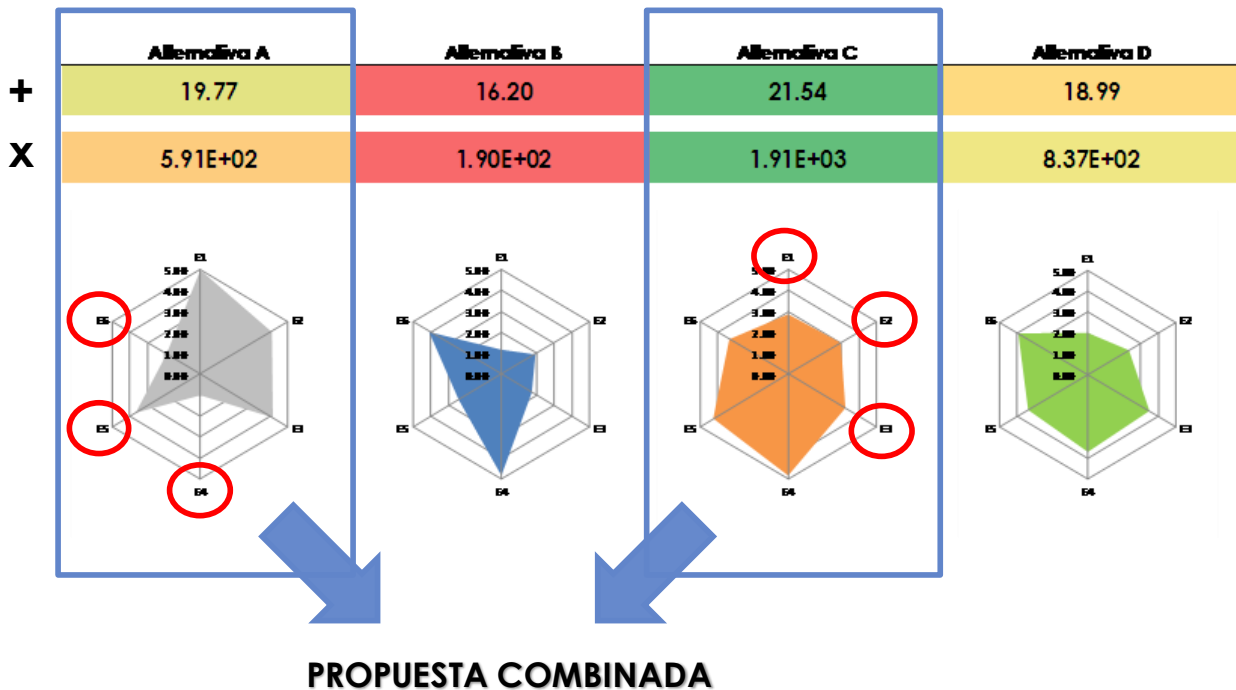
5.3.5 Métodos de contraste

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

5.3.6 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. Esta fue la causa por la que se optó por construir una nueva alternativa, que combinara los aspectos más positivos de ambas.



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.

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.

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

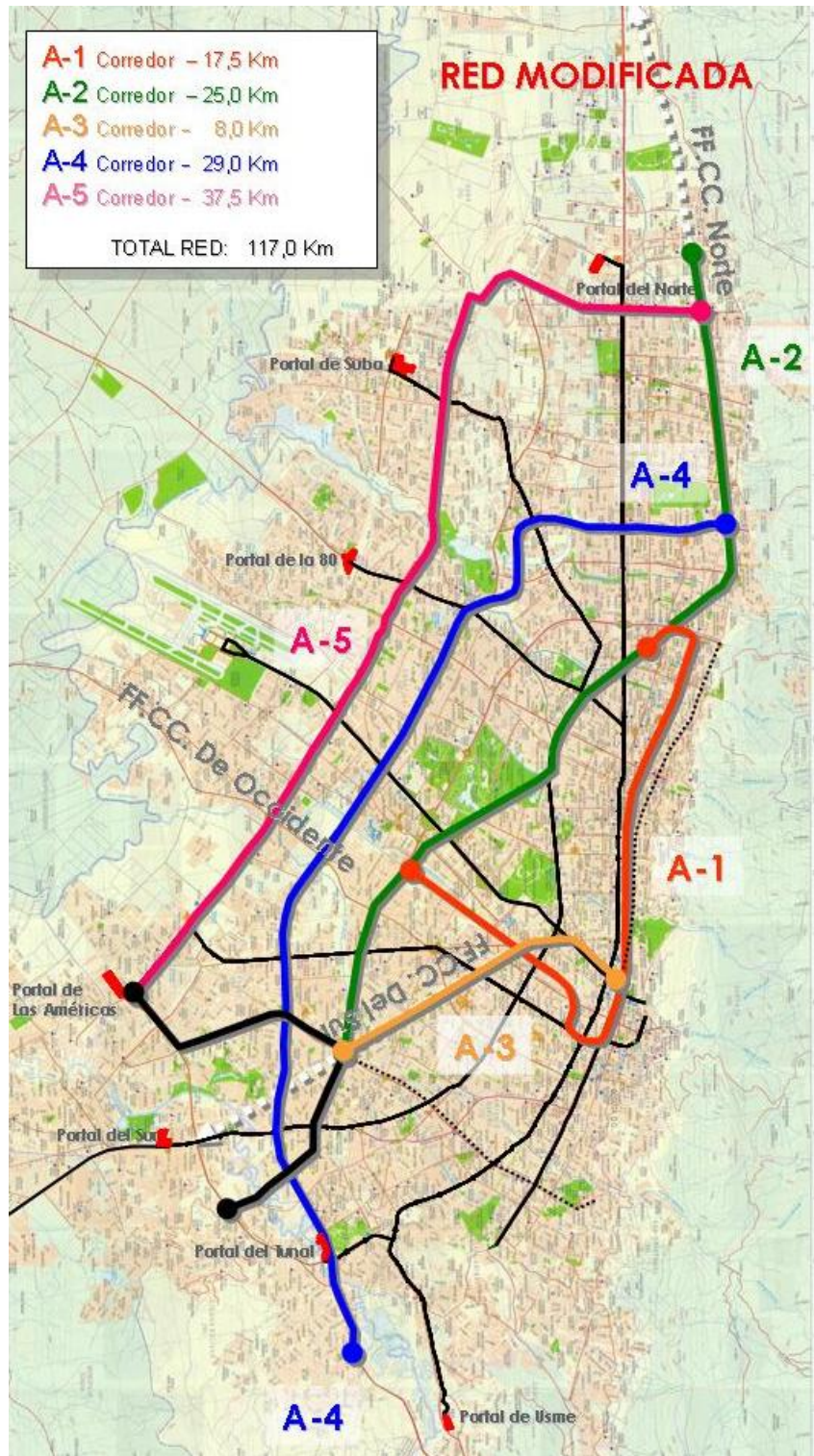
Fuente: Elaboración propia

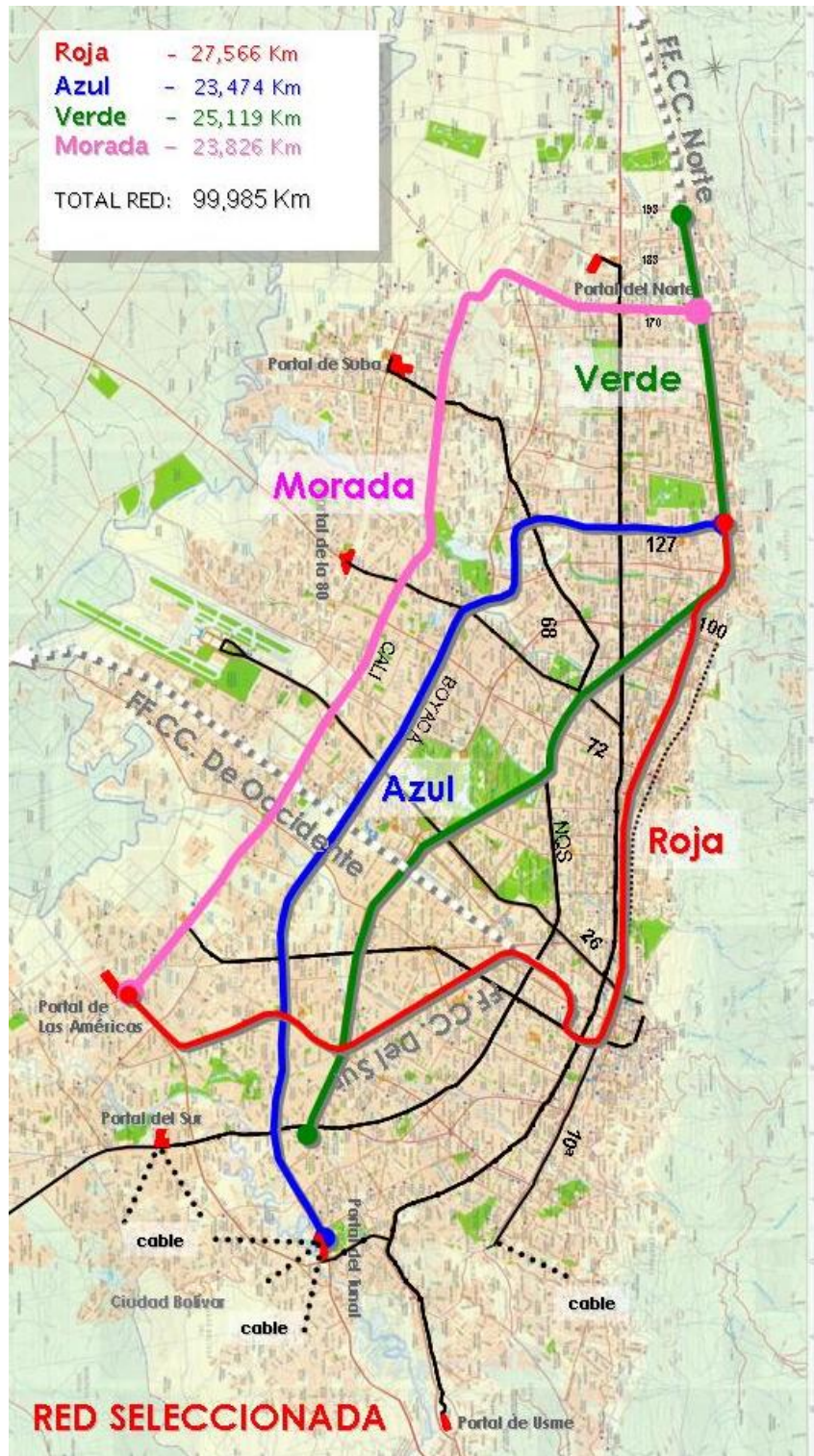
A tenor de los resultados obtenidos, la recomendación que realizó el Grupo Consultor fue adoptar la alternativa de red A tomando en consideración el mejor desempeño tanto ambiental como socio-económico ofrecido por la opción C ya que los impactos negativos más destacados de la alternativa A están relacionados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





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

TOTAL KM DE LA RED 99,985Km

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

TOTAL ESTACIONES 113

Siendo:

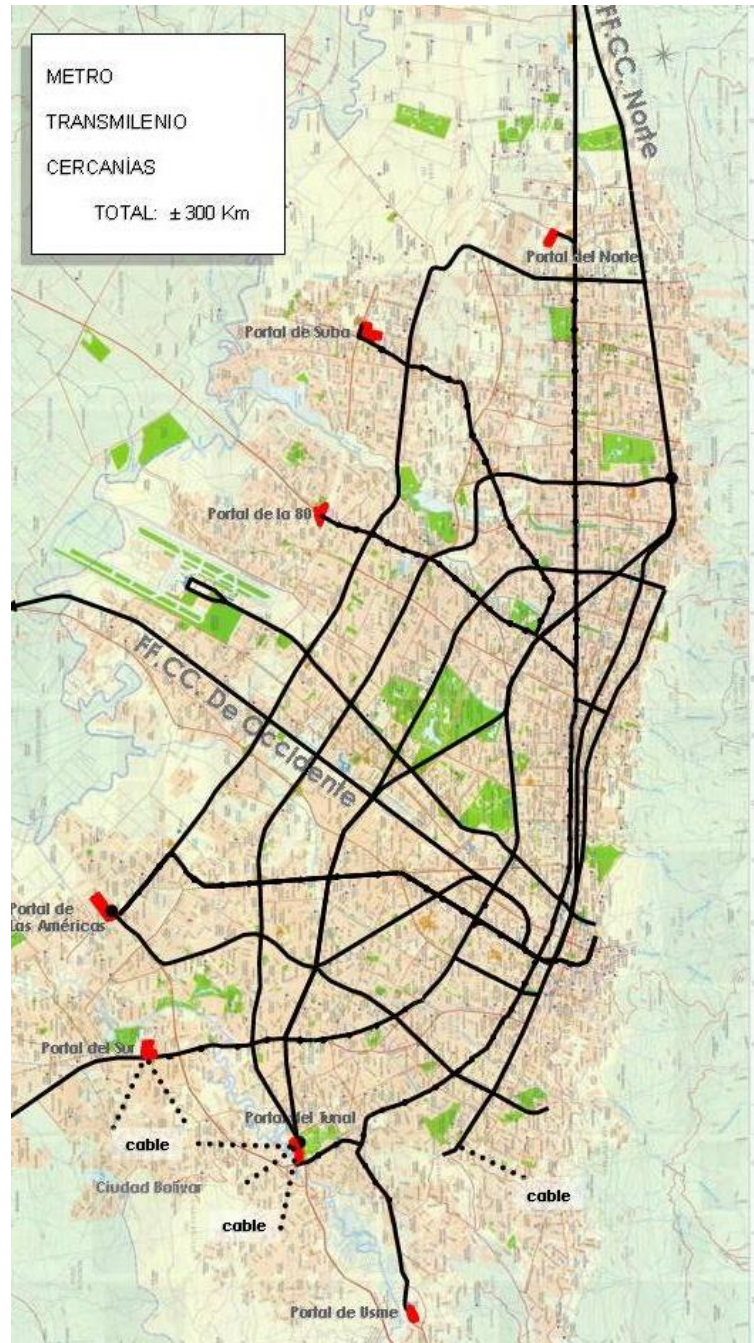
P: estación de paso

T: estación de intercambio

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

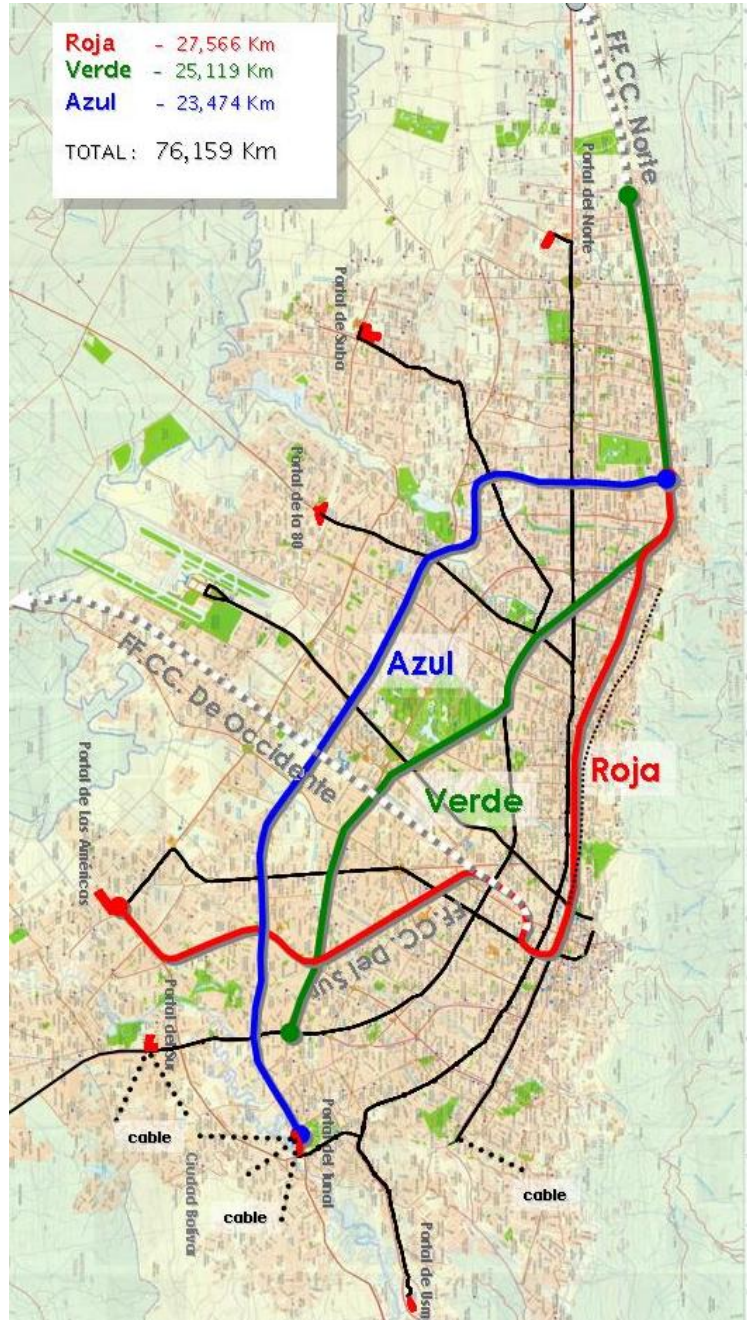
5.3.7 Red del SITP

Con la red de metro seleccionada la RED del SITP para el escenario 2038 propuesta fue 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.



5.3.8 Evaluación de las líneas

Con base a la red de metro seleccionada, el Grupo Consultor, propuso tres posibles líneas para ser elegidas como Primera Línea de Metro (PLM): Roja, Verde y Azul, dejando la línea Morada para construir en un futuro por ser la más alejada de la demanda para el año 2018.



A continuación se detallan algunos aspectos de las tres líneas que se estudiaron.

Para valorar cada una de ellas se hizo un prediseño de trazado determinando el tipo de sistema constructivo (Túnel, Viaducto o Superficie).

Número de estaciones

ESTACIÓN TIPO	ROJA		
	P	T	E
Superficie	5	3	1
Viaducto	-	-	-
Túnel	18	4	2
Total	23	7	3

Total estaciones 33

ESTACIÓN TIPO	VERDE		
	P	T	E
Superficie	15	5	1
Viaducto	-	-	-
Túnel	6	3	-
Total	21	8	1

Total estaciones 30

ESTACIÓN TIPO	AZUL		
	P	T	E
Superficie	-	-	-
Viaducto	-	-	-
Túnel	17	6	2
Total	17	6	2

Total estaciones 25

Siendo:

P: estación de paso

T: estación de intercambio

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

Longitud y tipo de vía

VÍA	LONGITUD (km)		
	ROJA	VERDE	AZUL
Superficie	5,346	17,000	-
Viaducto	-	-	-
Túnel	19,620	7,420	23,474
Trinchera	2,600	0,700	-
Total	27,220	25,120	23,474

Total Km 76,159Km

ESTACIÓN TIPO			
	P	T	E
ROJA	23	7	3
VERDE	21	8	1
AZUL	17	6	2
Total	61	21	6

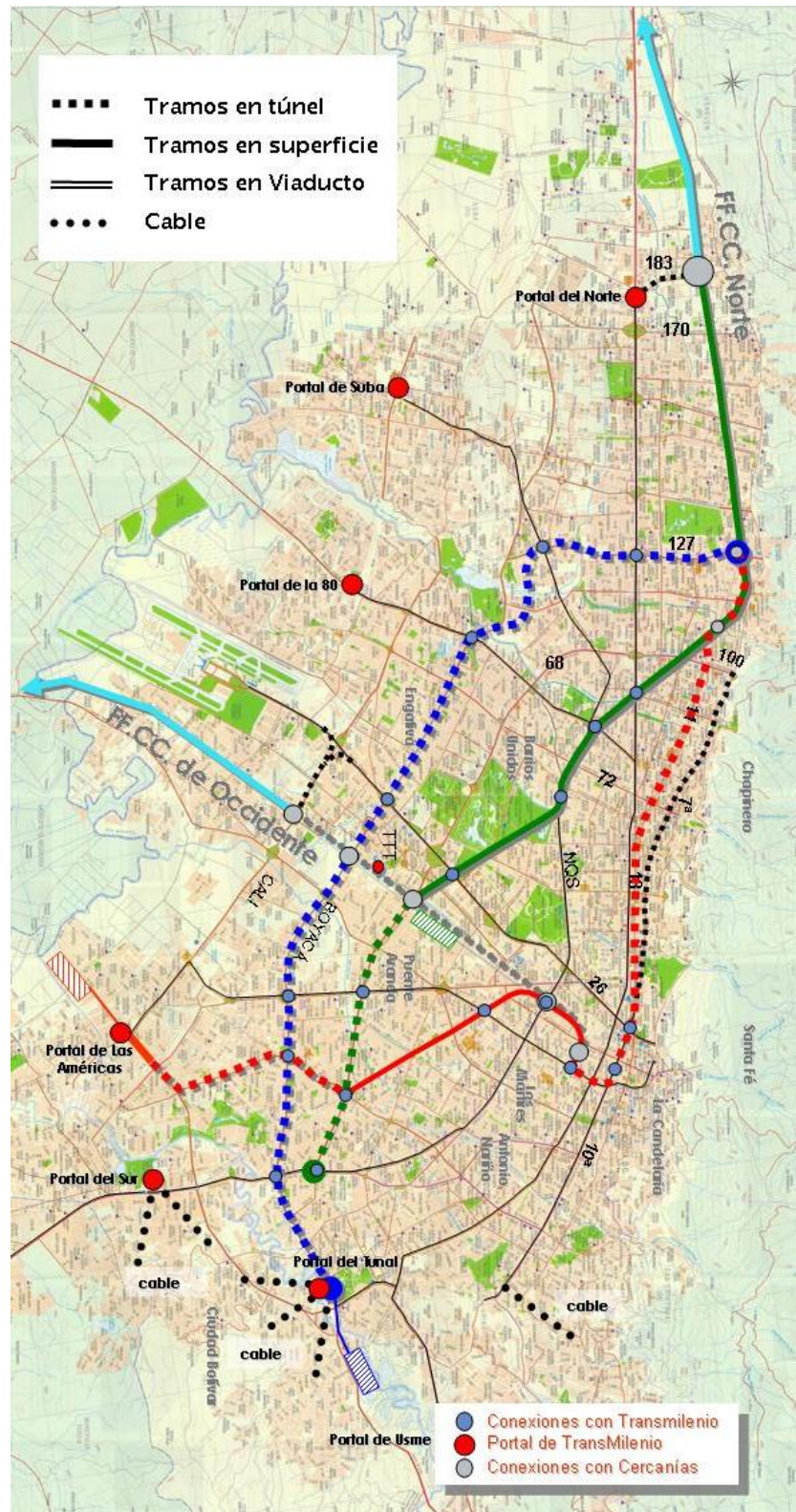
Total Estaciones 88

Siendo:

P: estación de paso

T: estación de intercambio

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



5.3.9 Ejes, Objetivos e Indicadores

Para el análisis de las líneas de metro propuestas para la priorización de la PLM se revisaron los puntos del Memorando de entendimiento del 5 de Mayo de 2009 y se propusieron objetivos e indicadores que valoraran los puntos del acuerdo (texto en rojo).

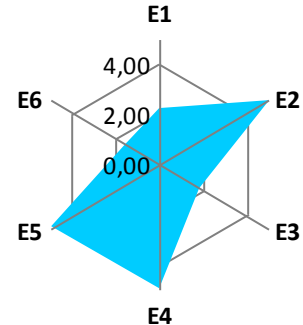
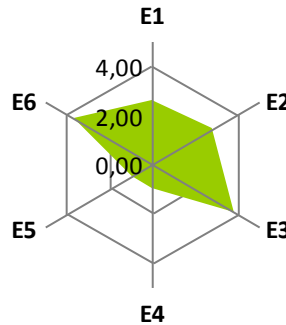
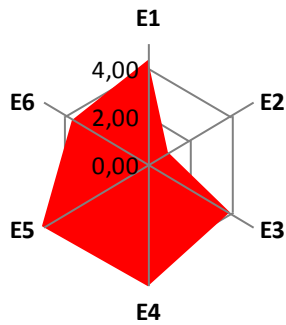
EJES		OBJETIVOS		Memorando de Entendimiento 05-05-09
1	Impacto territorial y urbano	1.1	Garantizar la coherencia con los instrumentos de planificación urbana	Fortalecer la integración Sostenible de la Región Capital Bogotá - Cundinamarca
		1.2	Impactar positivamente sobre la funcionalidad y dinámica urbana	
		1.3	Aprovechar las oportunidades de nuevos desarrollos	
2	Impacto sobre la demanda	2.1	Mejorar las condiciones de accesibilidad y movilidad de la demanda	
3	Impacto sobre la oferta	3.1	Diseñar una línea de metro de amplia cobertura y operacionalmente productiva	
		3.2	Compatibilizar la línea metro con el sistema de transporte masivo	
		3.3	Análisis del tiempo de construcción de la línea metro	
4	Impacto ambiental	4.1	Minimizar los impactos ambientales derivados de la construcción y operación del sistema	Minimizar los impactos ambientales
5	Impacto socio-económico	5.1	Acceso a la población de menores recursos y reasentamientos	Beneficiar de manera prioritaria a la población más vulnerable
6	Impacto financiero	6.1	Optimizar el uso de los recursos del Distrito y la Nación	Propender por la sostenibilidad fiscal de los proyectos, garantizando los aportes de cada una de las partes firmantes
		6.2	Mitigar los riesgos	
		6.3	Maximizar el beneficio generado por el mayor valor del suelo	Realizar una operación autosostenible, lo cual implica abstenerse de conceder subsidios a la operación

EJES		OBJETIVOS		INDICADORES	
1	Impacto territorial y urbano	1.1	Garantizar la coherencia con los instrumentos de planificación urbana	1.1.1.	Potenciación de las centralidades (2018)
				1.1.2.	Potenciación de la integración regional
				1.1.3.	Población dentro del área de influencia de la PLM en el 2018
		1.2	Impactar positivamente sobre la funcionalidad y dinámica urbana	1.2.1.	Accesibilidad a los principales equipamientos de la ciudad
				1.3.1.	Renovación del tejido urbano
					1.3.2.
1.3	Aprovechar las oportunidades de nuevos desarrollos	1.3.1.	Renovación del tejido urbano		
		1.3.2.	Potencial de construcción		
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 público
				2.1.2.	Demanda del sistema Metro 2018
3	Impacto sobre la oferta	3.1	Diseñar una línea de metro de amplia cobertura y operativamente productiva	3.1.1.	IPK de línea de metro
				3.1.2.	Número medio de transbordos
		3.2	Compatibilizar la línea metro con el sistema de transporte masivo	3.2.1.	Estaciones de intercambio de pasajeros en transporte masivo
				3.2.2.	Conectividad con el sistema de tren cercanías
		3.3	Análisis del tiempo de construcción de la línea metro	3.3.1.	Tiempo de construcción
4	Impacto ambiental	4.1	Minimizar los impactos ambientales derivados de la construcción y operación del sistema	4.1.1.	Potencial magnitud de impactos derivados de implantación
5	Impacto socio-económico	5.1	Acceso a la población de menores recursos y reasentamientos	5.1.1.	Accesibilidad a los estratos de menores recursos
				5.1.2.	Reasentamientos derivados de la implantación del Metro Hogares
				5.1.3.	Reasentamientos derivados de la implementación del Metro Unidades Económicas
6	Impacto financiero	6.1	Optimizar el uso de los recursos del Distrito y la Nación	6.1.1.	VPN de la inversión por Km
				6.1.2.	Capacidad de Financiación de la Inversión
				6.1.3.	Sostenibilidad de la Inversión
				6.1.4.	Eficiencia de la inversión
		6.2	Mitigar los riesgos	6.2.1.	Proporción de redes de servicios afectadas respecto la longitud total de la línea
				6.2.2.	Proporción de túnel respecto la longitud total de la PLM
		6.3	Maximizar el beneficio generado por el mayor valor del suelo	6.3.1.	Venta de edificabilidad y plusvalía generada por cambio de norma
				6.3.2.	Valorización generada por la PLM y sus estaciones

Al igual que en el caso de las redes se aplicaron los indicadores propuestos sobre cada una de las líneas, pero en este caso no se descartó ninguna sino que se hizo una jerarquización para determinar cual debería ser la primera y cual la segunda y tercera.

5.3.10 Evaluación lineal

	Roja	Verde	Azul
+	22,08	15,68	19,17
X	1,29E+03	1,85E+02	5,60E+02

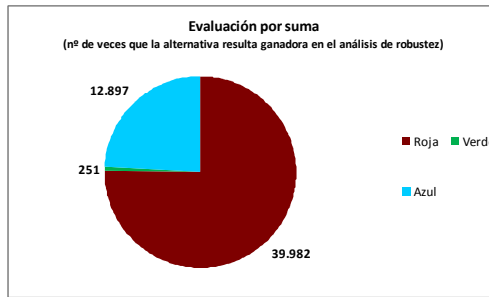


Según los gráficos anteriores se observa que la línea que responde mejor, en la mayoría de indicadores, es la roja, seguida de la línea verde y la azul. En cuanto a la demanda obtuvo mejor puntuación la azul y en lo referente al eje financiero fue la verde la mejor fundamentalmente ya que esta tiene un porcentaje de kilómetros en superficie mayor y la azul se proponía toda ella en túnel.

5.3.11 Análisis de Robustez

Análisis de Robustez Alternativas de Línea por Suma			
Roja	Verde	Azul	Total
39.982	251	12.897	53.130
75%	0%	24%	

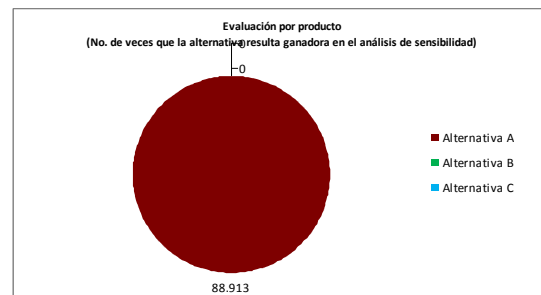
Análisis de Robustez Alternativas de Línea por Producto			
Roja	Verde	Azul	Total
9.372	-	2.256	11.628
81%	0%	19%	0%



5.3.12 Análisis de Sensibilidad

Análisis de Sensibilidad Alternativas de Línea por Suma			
Roja	Verde	Azul	Total
88.913	0	0	88.913
100%	0%	0%	

Análisis de Sensibilidad Alternativas de Línea por Producto			
Roja	Verde	Azul	Total
88.913	0	0	88.913
100%	0%	0%	



5.3.13 Métodos de contraste

Método de contraste	Roja	Verde	Azul
Pluralidad	14	6	7
Borda	61	49	42
Copeland	20	-3	-17
Simpson	16	8	6

En los distintos métodos aplicados, para hacer el análisis de contraste, se observa que la línea que respondió mejor seguía siendo la roja.

5.3.14 Primera línea de Metro

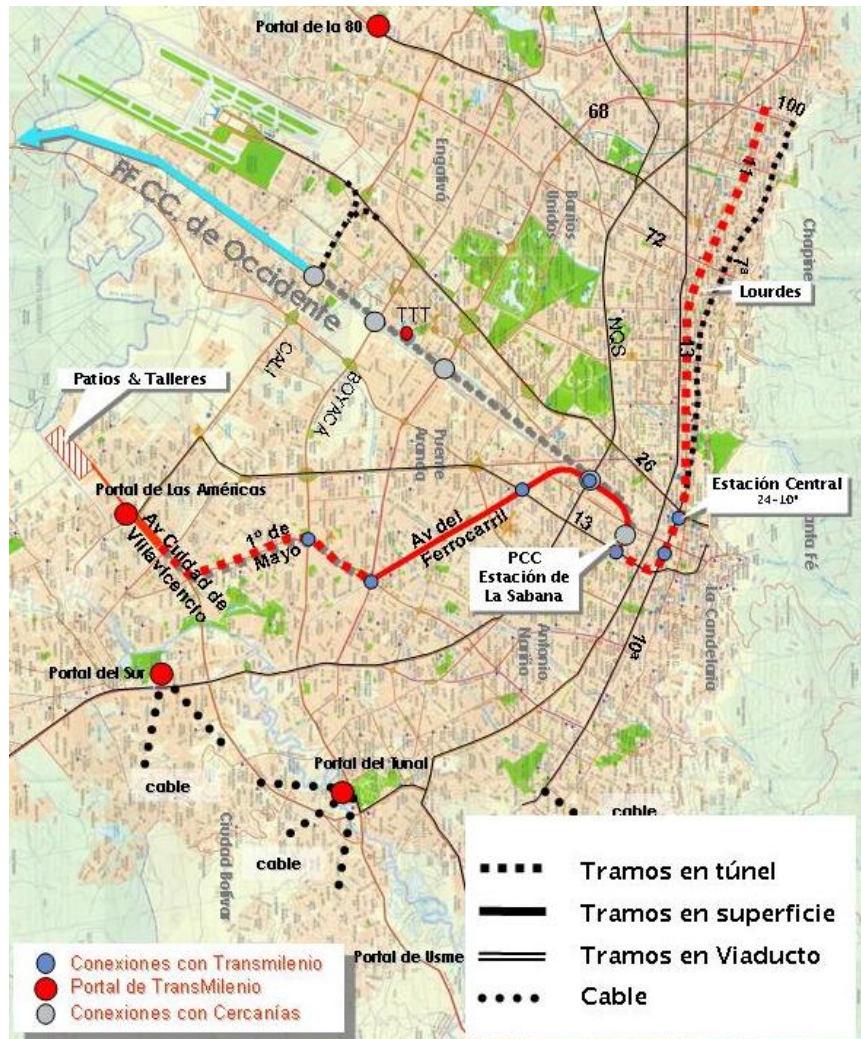
La metodología utilizada para la evaluación de las tres posibles primera línea de metro de Bogotá dio como resultado, claramente, la selección de la línea roja, debido a que era la que mejor desempeño tenía en los seis ejes de análisis evaluados. Por ello el Grupo Consultor determinó que esta debía ser la PLM.

En este apartado se hace una descripción del trazado clasificándolo según el sistema constructivo propuesto y la ubicación de las estaciones, separadas entre 500 y 800m en función de la ubicación más idónea y de la disponibilidad de predios para localizar los accesos y los vestíbulos.

Tal y como se observa en el plano siguiente la línea propuesta va **desde la calle 100** con la carrera 11 hasta la plaza de la Iglesia de la Virgen de Lourdes donde el trazado toma la carrera 13 llegando a la intersección con la calle 26 donde se localizará la futura Estación de intercambio del sistema TransMilenio denominada Estación Central. En este punto se plantea una estación de metro donde deberá plantearse una conexión de transferencia entre ambos sistemas de transporte masivo.

Desde la Estación Central el trazado sigue por la carrera 10ª hasta la calle 13 donde gira para llegar a la Estación de La Sabana, estación que se encuentra en el punto medio de la línea, por ello el proyecto conceptual propone localizar en este punto el Puesto Central de Control (PCC).

Desde la calle 100 hasta la estación de La Sabana el trazado propuesto es subterráneo, en túnel, debido fundamentalmente a la trama urbana existente, a las características geológicas de la zona que así lo aconsejan, al gran número de redes enterradas y al alto grado de tránsito vehicular en la zona. Únicamente las estaciones deberán ejecutarse a cielo abierto ya que estas se aconseja deben ser lo más superficiales posibles para facilitar el acceso a los usuarios del sistema, profundidad máxima 20m.



La estación de La Sabana se plantea en “trinchera”, es decir en superficie pero a un nivel inferior al del ferrocarril ya que en este punto es donde el trazado sale del túnel para ir adquiriendo cota para quedar semienterrado. A partir de aquí el trazado sigue por el corredor del ferrocarril de Cercanías del Occidente. El proyecto conceptual propone un trazado en trinchera para permitir el paso de del tránsito vehicular a un nivel superior de modo que a futuro esta parte del trazado pueda ser cubierta y no interferir con la trama urbana existente y futura. Por lo tanto las estaciones se diseñarán de modo que permitan estas actuaciones futuras.

Una vez se sobrepasa la NQS se localiza una estación de intercambio con la ruta de Transmilenio existente y saliendo de esta estación el trazado gira para retomar el corredor ferroviario fuera de servicio denominado Avenida del Ferrocarril.

Hasta el cruce con la AK 68 el trazado discurre en superficie ya que se dispone de espacio suficiente.

Poco antes de la glorieta y el viaducto existente en el cruce de la Avenida 1º de Mayo con la AK 68 el trazado se deprime para seguir en túnel por la Av. 1º de Mayo dirección sur, saliendo a la superficie

semienterrado (trinchera) poco antes de la Avenida Ciudad de Villavicencio cuyo paso se resolverá mediante un paso vehicular, llegando a la última estación, en superficie, en el Portal de las Américas de TransMilenio.

Desde esta última estación se accede a la zona propuesta para Patios y Talleres situados a 900m.

Las características generales de la línea son las que siguen:

VÍA	LONGITUD (km)
	ROJA
Superficie	5,000
Viaducto	-
Túnel	16,800
Trinchera	2,600
Total	24,400

Incluido el tramo de vía hasta patios y talleres la línea tiene una longitud total de 25,119 km

ESTACIÓN TIPO	ROJA		
	P	T	E
Superficie	4	3	1
Viaducto	1	-	-
Túnel	16	4	1
Total	21	7	2

En total la línea tiene 30 estaciones (24 de Paso, 4 de Intercambio y 2 denominadas Especiales debido a su complejidad).

Los Patios y Talleres deberán cumplir con lo establecido en la especificación correspondiente teniendo en cuenta el dimensionado de la flota prevista.

