



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**

NOTA TÉCNICA

Documento complementario de Aspectos técnicos para el DNP

Nota 5 de 5

MB-GC-NT-0036

Rev.1. Mayo de 2010





TITULO DEL DOCUMENTO: NOTA TÉCNICA:

Documento complementario de Aspectos técnicos para el DNP - Nota 5 de 5

DOCUMENTO N°: MB-GC-NT-0036

Referencia: P210C25

Fichero: MB-GC-NT036 - DOC COMPLEMENTARIO ASPECTOS TÉCNICOS-_CAP1

Revisión: Rev.1.

Fecha revisión : Mayo de 2010

	Nombre	Firma	Fecha
Elaborado por	Johanna M ^a . Lobo Gutiérrez		Mayo de 2010
	Susana Domingo		
Verificado por	Luis M. San Martín		Mayo de 2010
Aprobado por	Esteban Rodríguez		Mayo de 2010



REGISTRO DE CAMBIOS

REV.	FECHA	SECCIÓN / PÁRRAFO AFECTADO	INICIO DEL DOCUMENTO/ RAZONES DEL CAMBIO
0	Mayo de 2010	TODOS	DOCUMENTO INICIAL



ÍNDICE

0	INTRODUCCIÓN	5
1	SELECCIÓN DE RED Y METODOLOGÍA.....	6
1.1	Criterios para la definición de las alternativas de Red´	6
1.2	Análisis de la movilidad	7
1.3	Potenciales corredores	10
1.4	Aspectos territoriales y urbanos que inciden en la definición de las redes propuestas	11
1.5	Proyectos de renovación Urbana	13
1.6	Premisas de diseño	13
1.7	Alternativas de Redes de Corredores	15



0 INTRODUCCIÓN

El presente documento recopila los puntos que describen la evolución de los estudios y trabajos realizados por el Grupo Consultor (GC) en el proceso de selección de la Red más idónea para la ciudad de Bogotá y la posterior selección de la Primera Línea del Metro (PLM).

El proceso siguió las siguientes etapas:

1. Análisis de la situación actual del transporte público
2. Análisis urbanísticos y socioeconómicos
3. Análisis de la demanda: líneas de deseo
4. Análisis de posibles **Corredores**: Red SITP al horizonte 2038
5. Propuesta de Alternativas de **Corredores** para la Red de Metro al horizonte 2038 (10 propuestas)
6. Selección de las cuatro (4) Redes más idóneas
7. Valoración de las cuatro (4) Redes según el análisis multicriterio propuesto
8. Selección de la Red final por combinación de las dos mejor valoradas (alternativa A + alternativa C = alternativa A')
9. Modificaciones de diseño a la Red Seleccionada para mejorar los indicadores
10. Priorización de **Corredores** aplicando la metodología multicriterio de selección
11. Mejoras al **“Corredor”** seleccionado como idóneo
12. Diseño de la Primera **“Línea”** del Metro de Bogotá

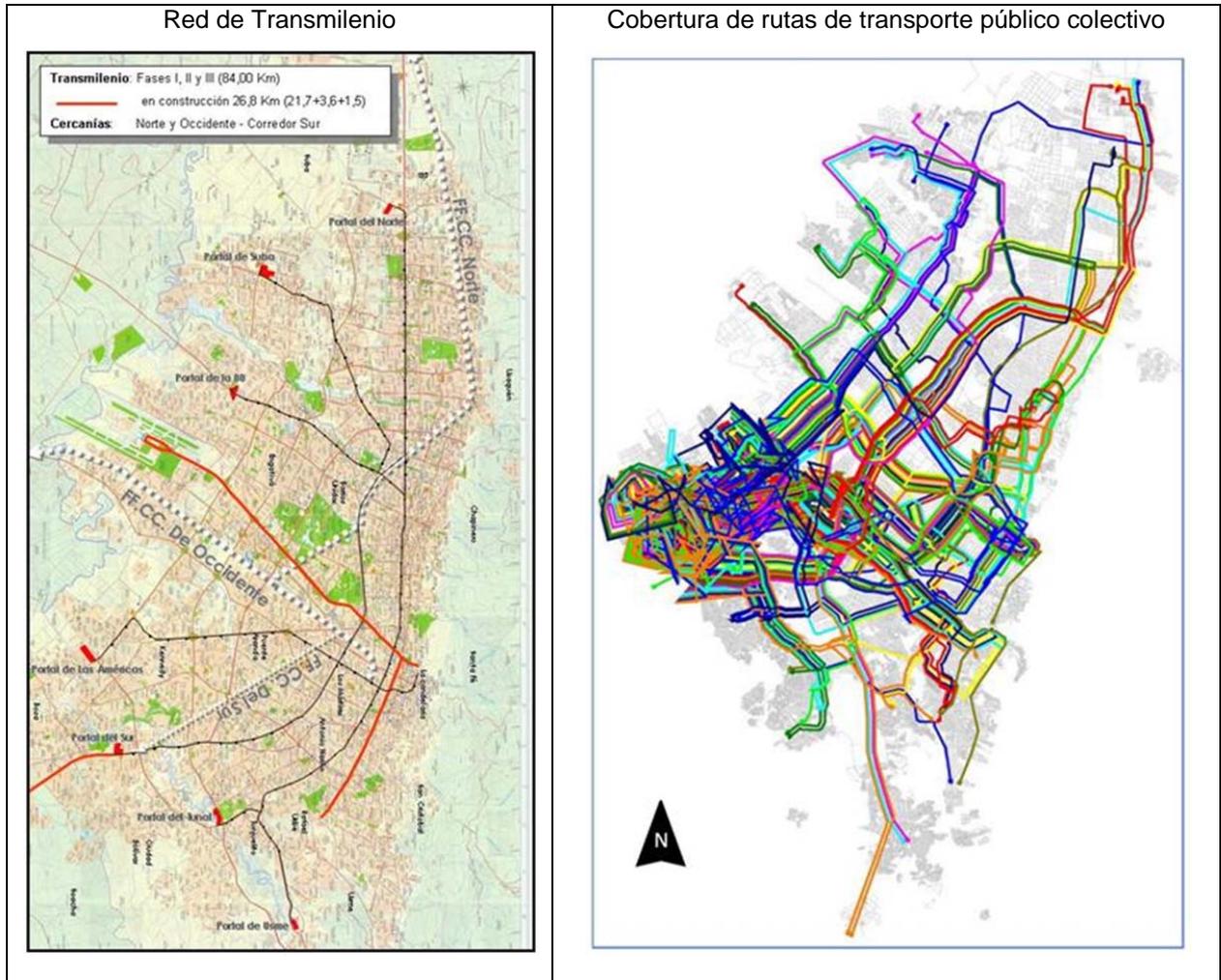
Esta nota técnica profundiza sobre los seis primeros puntos mencionados correspondientes al proceso de la definición, diseño y selección de las redes que posteriormente se someten a las evaluaciones previstas en la etapa 2 del estudio. Los puntos subsiguientes forman parte de la evaluación y selección de la red, incluidos en notas técnicas ya presentadas al Distrito y por tanto no se recogen en el presente informe.

1 SELECCIÓN DE RED Y METODOLOGÍA

1.1 Criterios para la definición de las alternativas de Red´

Como punto de partida el GC realizó el análisis de la situación actual de la ciudad de Bogotá obteniendo los siguientes resultados.

- En la actualidad una parte del Transporte público 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.
- Esta Red se estructura por dos corredores en sentido Norte-Sur pasando por el centro y próximos a la cordillera (Portal del Sur con Portal de Suba y Portal Usme-Tunal con Portal del Norte) y tres corredores Oeste-Este (Portal de las Américas, Portal Aeropuerto en construcción y Portal de la 80) que conectan la periferia con el centro.
- Por otro lado el transporte colectivo de la ciudad se encuentra distribuido tal y como se aprecia en el esquema siguiente. En la figura siguiente se observa que existe una concentración importante de rutas en la zona Suroeste de la ciudad. En la dirección Norte-Sur se observa que las rutas siguen las vías principales de la red vial vehicular.
- Se observa que en la zona de Las Américas, El Tintal y hacia Soacha existe una gran cantidad de rutas que favorecen la congestión y el caos circulatorio. Figura 1-1. Situación de la Red de Transporte público a Junio de 2009

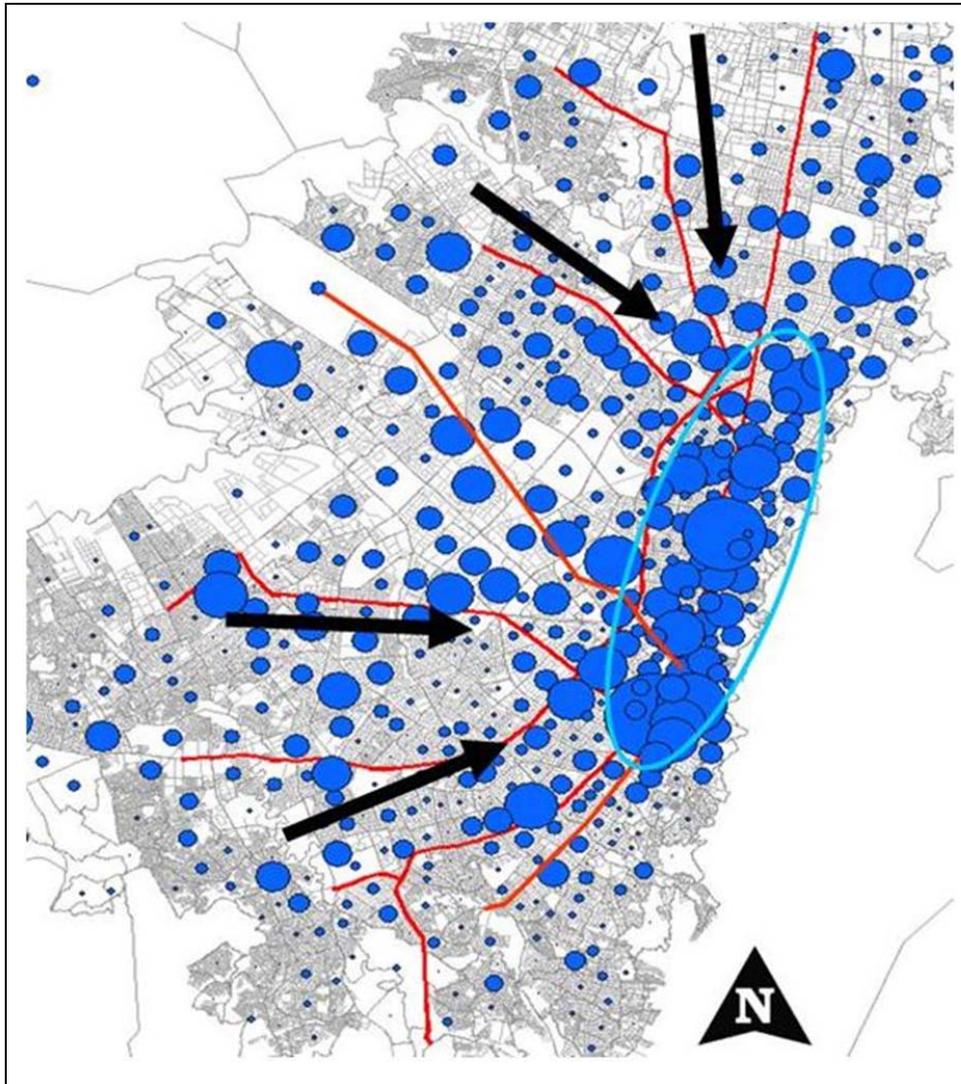


Fuente: Elaboración propia

1.2 Análisis de la movilidad

En relación con la demanda y apoyados en estudios anteriores, realizados por TransMilenio y por el grupo para el SITP, 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.

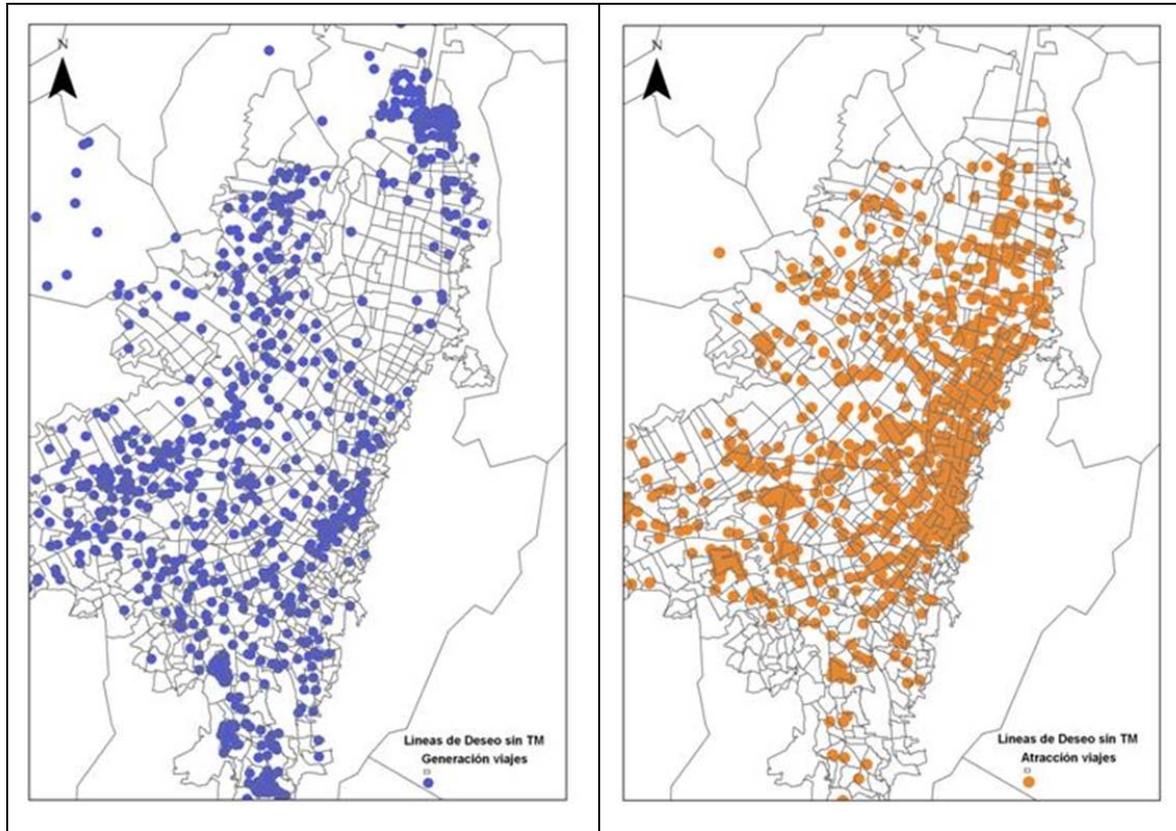
Figura 1-2–Origen - Destino de los viajes de la ciudad de Bogotá. 2009



Fuente: Elaboración propia a partir de la EDM05

Tomando como herramienta el modelo de transporte calibrado y una vez realizada la estimación de demanda para el año 2018, se asigna la matriz de demanda en dicho escenario, para determinar el comportamiento de la población en términos de movilidad. Los resultados gráficos de esas pautas de movilidad se pueden observar en las siguientes figuras.

Figura 1-3. Generación – Atracción de viajes



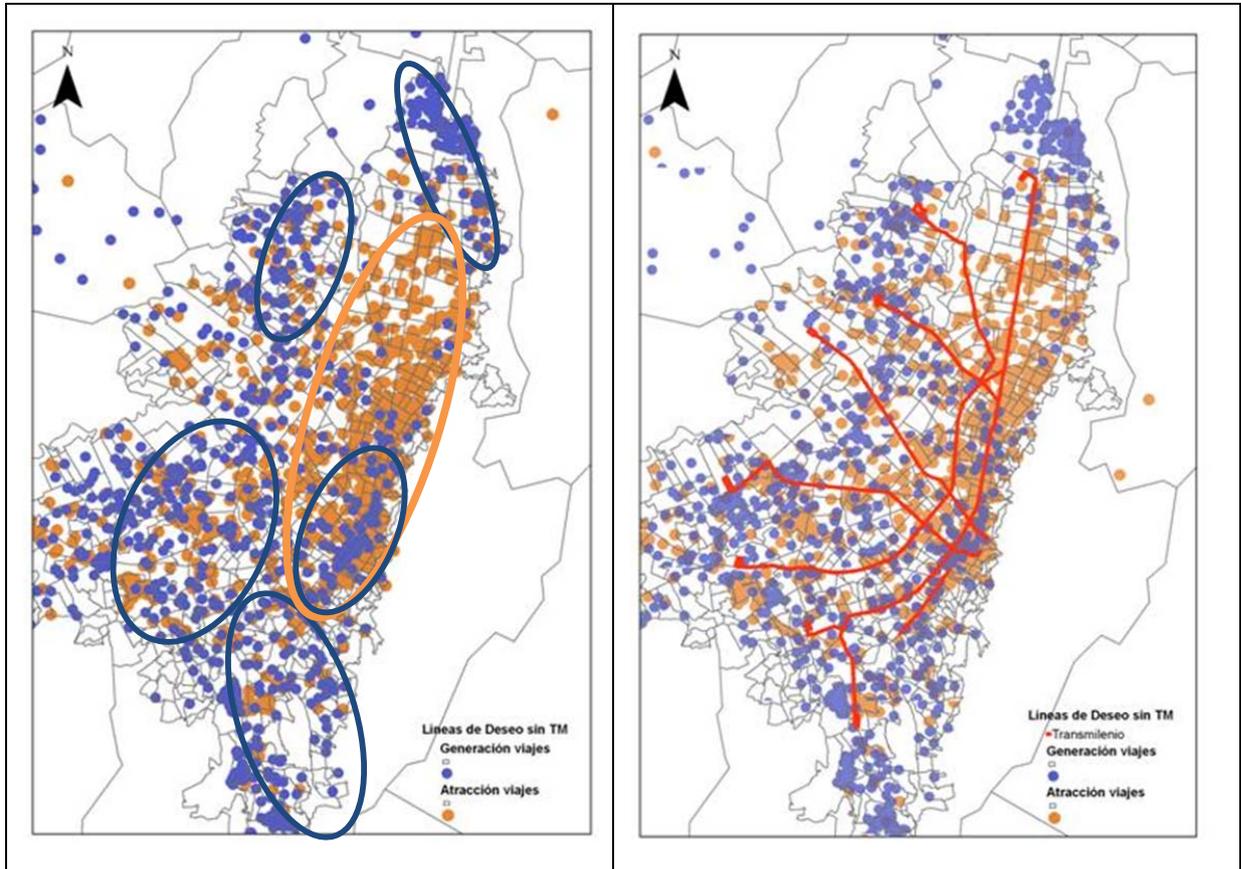
Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo de EMME

Como se puede apreciar, se diferencia claramente que los grandes centros de generación de viajes se distribuyen de forma dispersa por la ciudad, encontrando importantes sectores como los situados en el sur occidente, el centro expandido y en localidades del noroccidente como Suba. La atracción de viajes por su parte está localizada en los sectores del centro expandido, el centro internacional, y la parte norte de la ciudad, principalmente en el área de influencia de la autopista norte.

Si se superponen los viajes origen y los viajes destino se obtiene una nueva figura, donde se observa que la mayor demanda se localiza al Sur-Oeste de la ciudad, sin menospreciar los viajes que se generan al Norte. Los destinos, por otro lado se concentran al Este de Bogotá, en la zona centro.

Tal y como se presenta en la figura adjunta, los corredores de TM cubren parte de los grandes centros de generación - atracción de la demanda, pero existen otros grandes centros concentradores de viajes que deben ser considerados.

Figura 1-4. Generación- Atracción Vs Corredores de TM



Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo de EMME

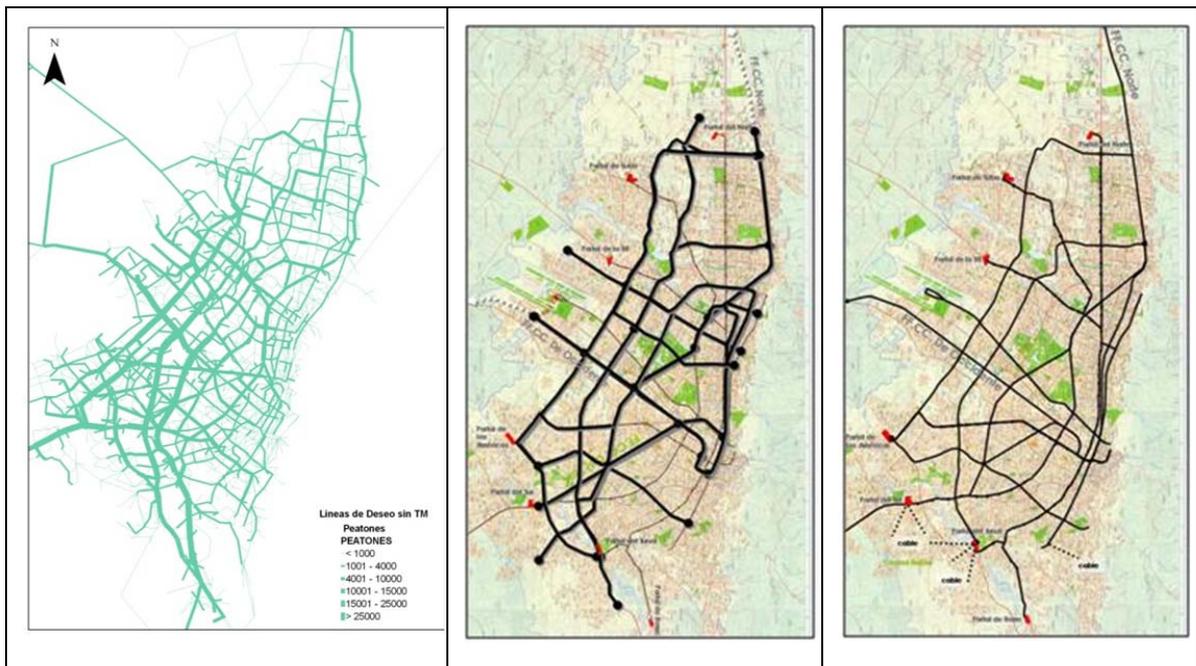
El gráfico de la izquierda representa de manera conjunta las pautas de movilidad de la población concentradas principalmente hacia el centro expandido y siguiendo un eje longitudinal de norte a sur. Esto se debe a la existencia de una infraestructura ya consolidada como lo es el Sistema Transmilenio. A la derecha se puede observar cómo se superponen las líneas del sistema masivo a los ya señalados centros de Origen y destino de la demanda.

1.3 Potenciales corredores

Para definir sistemas alternativos y complementarios a Transmilenio, se asigna sobre la red vial existente la demanda no atendida por el sistema TM. Una vez analizada la situación actual de la ciudad y tomando en cuenta la infraestructura vial existente y el posible desarrollo de vías futuras, así como las líneas de

deseo generadas por las intenciones de viaje, se identificaron los potenciales corredores de transporte que fueran capaces de albergar una línea de transporte masivo (Metro, Transmilenio, autobuses, tranvía).

. **Figura 1-5. – Líneas de deseo, Corredores analizados y Corredores seleccionados**



Fuente: *Elaboración propia a partir del Modelo de EMME*

Detectados los posibles corredores se seleccionaron aquellos que mejor cumplían con los requisitos para un sistema masivo Metro haciendo alguna modificación en aquellas zonas de la ciudad donde la topografía era más accidentada (al Sur de Bogotá) y sustituyendo el posible corredor de metro por un sistema de cable tal y como se puede apreciar en la Figura. A partir de esta selección se propusieron 10 alternativas de red las cuales se detallan más adelante.

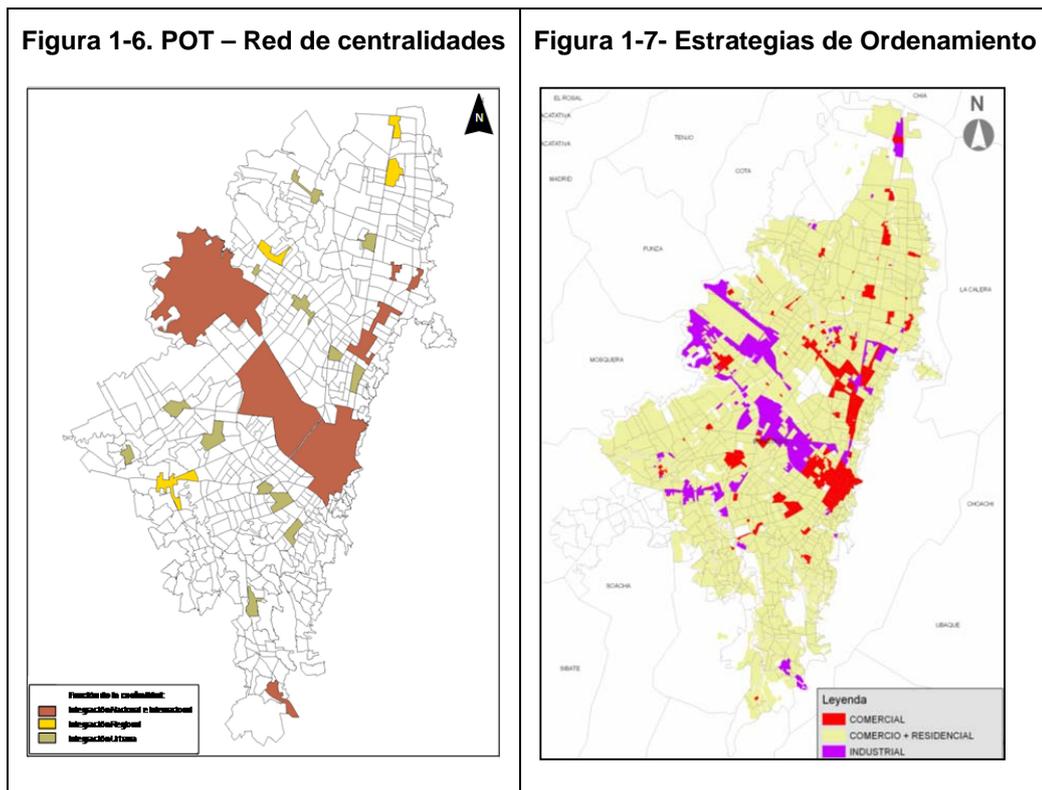
1.4 Aspectos territoriales y urbanos que inciden en la definición de las redes propuestas

Se parte de la concepción en donde se concibe el sistema de movilidad como el elemento articulador del desarrollo urbanístico y económico de la región, por lo que es determinante que la propuesta de Metro que se desarrolle quede inserta en los lineamientos que define el Plan Maestro de Movilidad (PMM) y

que se articule coherentemente con el Plan de Ordenamiento de Territorio (POT). El SITP, y por lo tanto el Metro, se consideran parte del sistema de movilidad, y por ello como una herramienta necesaria para alcanzar los niveles de equilibrio y crecimiento urbano esperados. En este sentido, su relación con los otros sectores, sistemas y estructuras del POT debe ser tal que la propuesta de PLM que se desarrolle debe colaborar en la consolidación de la actual estructura urbana y optimizar el uso y aprovechamiento del territorio.

Para ello, se establecen los siguientes objetivos:

- Establecer la coherencia con los instrumentos de planificación urbana
- Impactar y coadyuvar positivamente sobre la funcionalidad urbana
- Favorecer las oportunidades que da el planeamiento con nuevos desarrollos



Fuente: POT

El modelo del POT fortalece las zonas de la ciudad que significan mayor actividad económica como áreas con gran potencial para consolidar la vivienda y los servicios para la población que más los requiere.

Las zonas estructurantes de la ciudad deben contemplar la implementación de sistemas de movilidad como Proyectos Urbanos Integrales

1.5 Proyectos de renovación Urbana

Se analizaron los proyectos de mayor repercusión en renovación urbana y de influencia en la selección de la Red y el trazado seleccionado para ser la Primera Línea del Metro de Bogotá. La tabla adjunta muestra una parte de los proyectos que se consideraron en el análisis.

Figura 1-8 Proyectos de Renovación urbana

	PROYECTO DE RENOVACIÓN URBANA	LOCALIDAD	AREA DE PLANIFICACIÓN
1	ALMIRANTE COLON	CHAPINERO	5.1 Ha
2	CONQUISTADOR	CHAPINERO	8.6 Ha
3	NODO NORTE CALLE 72	CHAPINERO	3.4 Ha
4	PROSCENIO	CHAPINERO	7.9 Ha
5	SAN BERNARDO	SANTA FE	33.2 Ha
6	SAN VICTORINO	SANTA FE	14.5 Ha
7	ALAMEDA-ESTACION CENTRAL	SAN DIEGO	6.4 Ha

Fuente: POT

1.6 Premisas de diseño

El GC planteó que la red de metro debía fundamentarse conceptualmente en los siguientes aspectos:

- Aspectos funcionales
 - La red de metro se constituye como un elemento más del SITP de la ciudad y como tal responde, en términos de complementariedad, a la integración deseada entre modos de transporte público.
 - La red de metro responde a un esquema en MALLA, en el cual se tejen de modo complementario los trazados de las líneas del metro con los propios de Transmilenio y resto del TP que opera en la ciudad, de manera de ampliar la cobertura y versatilidad del sistema en función de las características de transporte de cada uno de los modos integrados.

- **La red de metro aprovecha** la localización de los corredores viales a la fecha no ocupados por Transmilenio los cuales son de gran utilidad para interconectar los polí-centros urbanos sin necesidad de pasar por el centro tradicional de la ciudad.
 - **La red de metro se desarrolla**, desde su inicio, integrando las rutas de TransMilenio y líneas de Cercanías, con la finalidad de cumplir con el principio de complementariedad deseado.
 - **La red de metro contribuye** desde su inicio a reducir la sobre saturación de TransMilenio en sus trayectos por el centro de la ciudad de manera de ofrecer un mejor servicio a los usuarios de ambos modos de transporte.
 - La red de metro no debe utilizar, en la medida de lo posible, los corredores ya utilizados por el sistema TransMilenio.
- Aspectos urbanísticos
- La red de metro contribuye desde su inicio a la mejora de la calidad de vida, introduciendo planes y proyectos de recuperación urbanística en el entorno directo de influencia.
 - La red de metro responde al **concepto de pluri-centralidad** previsto en los planes de desarrollo urbano de la ciudad, estableciendo conexiones de transporte público fuertes y directas entre dichos pluri-centros.
 - La red de metro responde a la existencia, o la planificación a futuro, de **Nodos de intercambio de transporte público**, como los ya existentes al norte y sur del área central, en Escuela Militar y La Candelaria, o los CIM previstos (Centros de Intercambio Modal).
- Aspectos temporales
- La red de metro se desarrolla **por etapas de longitud de entre 10 y 20km** suficientes para que despierten el interés internacional en su ejecución, al tiempo lo suficientemente cortas para facilitar los procesos de diseño, licitación y financiación, y siempre con la dimensión adecuada y oportuna para responder a las necesidades de transporte y a la evolución de la movilidad en la ciudad.
- Aspectos medioambientales
- La red de metro contribuye desde su inicio a **reducir la contaminación ambiental** en la ciudad promoviendo cambios en los hábitos de movilidad e introduciendo planes y proyectos de recuperación medioambiental.
- Tipologías constructivas y trazado.
- Desde un punto de vista urbano y tecnológico, la definición de los corredores tuvo como pies forzados consideraciones geológicas y de las construcciones existentes. De las tres tipologías posibles para recibir un trazado de Metro, (túnel, en superficie y en

viaducto), se consideró el túnel y en superficie, desestimando el sistema de viaducto, por el impacto urbano (visual y acústico) y el elevado coste de las cimentaciones.

- El trazado en superficie se propuso exclusivamente en aquellas zonas donde ya existe un trazado ferroviario antiguo, de modo de no producir un nuevo impacto en la trama urbana. El resto del trazado propuesto se desplaza en túnel.
- En general el suelo de Bogotá se basa en un antiguo gran lago con islas y penínsulas, rodeado de montañas en cuyo fondo se acumularon sedimentos de arena, gravilla y arcilla provenientes de la erosión de las montañas circundantes, así como ciertos restos de carbón. El desecamiento del Gran Lago dio paso a la formación del sistema fluvial del Río Bogotá. Los humedales bogotanos son remanentes del Gran Lago, perpetuados por las inundaciones cíclicas del río Bogotá y sus afluentes. Otros movimientos tectónicos esporádicos de compresión plegaron los sedimentos, formando los cerros bajos de Bogotá. En síntesis, puede decirse que en el subsuelo de Bogotá no es posible contar con un sustrato rocoso a una profundidad accesible, que sirva como base de sustentación a edificaciones u obras de ingeniería importantes. En la costra de suelo superficial, de un espesor medio de unos 5 m. es donde se cimentaron las edificaciones primeras de la ciudad. Pero las construcciones más ambiciosas desarrolladas a partir de la 2ª mitad del s. XX, donde normalmente se ha excavado para obtener sótanos, destruyendo la costra citada, los sistemas de cimentación se han basado en pilotes de concreto u hormigón que trabajan, no a compresión como los típicos que están en contacto con rocas capaces de recibir solicitaciones, sino por rozamiento. Estos elementos tienen una longitud de unos 30 m., llegando en algunos casos a tener alrededor de 50 m. Esto significa que en el subsuelo de las zonas edificables no se puede considerar la disposición de túneles a una profundidad típica de metro, lo que hace recomendable que el trazado de túneles se haga bajo los viales, para no comprometer tanto los pilotajes actuales como los futuros. El sistema de túnel posible de construir en un suelo como el descrito, es el construido mediante tuneladoras. Existe un exitoso ejemplo del uso de esta tecnología en el reciente túnel sanitario del Tinjuelo. Pero en la zona de Piedemonte, es decir en la intersección de la cordillera con el plano de la ciudad, es posible la afloración de macizos de areniscas, que interrumpirían el trabajo de estas máquinas. Por ello, en general, no es recomendable el trazado en estas zonas.

1.7 Alternativas de Redes de Corredores

Analizados, entre otros documentos, los proyectos anteriores para el metro de Bogotá, el Informe de JICA, el PMM, redactado por Cal y Mayor y Duarte, Guterman, para la entonces Secretaria de Tránsito y Transporte de la Alcaldía MAYOR DE BOGOTÁ D.C. , el POT, el Sistema Transmilenio, el anteproyecto para el tren de cercanías, estudios geológicos de la ciudad, incluso proyectos de cimentación de edificios singulares, incluso el túnel sanitario del Tunjuelo; los esquemas generales de las infraestructuras hídricas, de energía, los informes de empleo de la Cámara de Comercio, las memorias de la Empresa de

Renovación Urbana, etc. A partir de la información recogida en estos y otros documentos, el equipo redactor pudo tener la información básica de la ciudad, en especial de

- La infraestructura vial jerarquizada de la ciudad
- La estrategia para la movilidad urbana
- La estrategia de desarrollo urbano
- Las localizaciones de grandes equipamientos (educacionales, de salud, comerciales..)
- Los centros urbanos de negocio
- Los polos de Renovación urbana en ejecución y proyectados
- La red de Transmilenio en explotación, y las nuevas líneas contratadas
- El Tren de Cercanías proyectado
- La demanda genérica de transporte
- Los polos de origen-destino del transporte público
- Aspectos de la densidad de población y las zonas libres para nuevos asentamientos.

En el momento de realizar unas primeras propuestas para la definición de varias redes, que después serían contrastadas con la evaluación multicriterio, con indicadores detallados y específicos, se estaban calibrando los modelos, realizando los estudios de costes, legales, etc., y no se contaba con la información detallada que permitiera medir paramétricamente las redes propuestas. En esta etapa, se trataba de seleccionar las redes que, posteriormente serían objeto de la evaluación multicriterio para la selección de una de ellas, con el objeto de obtener no sólo una red para el modo Metro, sino para definir la malla de Corredores de Transporte Masivo del Sistema Integrado de Transporte Público.

A partir de la información de los mencionados documentos y de numerosas visitas a diferentes zonas de la ciudad, viajando en diferentes medios de transporte, etc., el Grupo Consultor desarrolló una serie de esquemas de red, que se fueron depurando, a medida que se incorporaban diferentes requisitos. Las propuestas se basaron fundamentalmente en aspectos cualitativos. Se consideraron diferentes argumentos:

- Considerar, como base, la red del TransMilenio en funcionamiento y sus ampliaciones.
- El aprovechamiento de los corredores ferroviarios existentes en la ciudad.

- Que el trazado se definiera en zonas libres de edificaciones, considerando también los inconvenientes que presenta el suelo denominado de “pie de monte”
- Considerar viales no utilizados por Transmilenio
- Que la longitud total de la red estuviera entre 70 y 130 Km para acotar su longitud y evitar una dispersión en este sentido.
- Que se estructurara una malla o trama, con múltiples puntos de interconexión, coadyuvando a la formación de Nodos de intercambio de transporte público en los denominados CIM o nuevos.
- Posibilitar de que se estructurara –aunque fuera a futuro- una línea circular.
- Que la red sirviera a las centralidades: urbanas, de renovación, de equipamientos, etc.
- Que reforzara el concepto de pluricentralidades que define el POT.
- Que la red posibilitara la conexión con áreas libres, susceptibles de ser utilizados en Patios y Talleres.
- Que la malla abarcara territorios de diferentes estratos.
- Que la red propuesta constara de tres corredores como mínimo, y un máximo de seis.
- Que la red propuesta fuera compatible, al irse consolidando, con las diferentes etapas del TM y con otros modos de transporte, como Tren de Cercanías y otras líneas de transporte público.

A partir de estas premisas, se esbozaron diferentes trazados de red. Como estos trazados previos coincidían en muchos aspectos, hubo un primer descarte y finalmente se definieron diez trazados de red diferentes que se presentan a continuación.

Figura 1-9 Alternativa 1

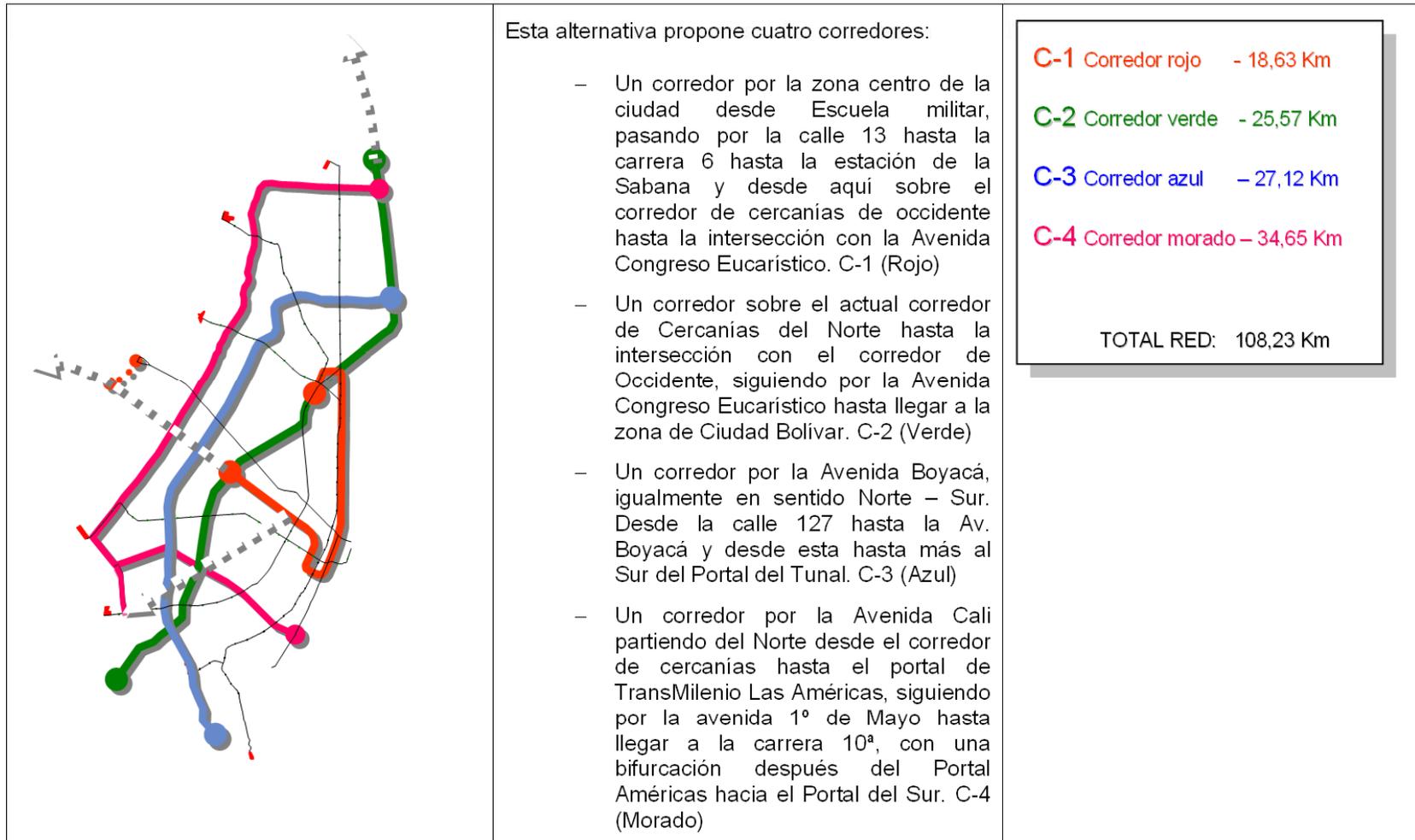


Figura 1-10 Alternativa 2

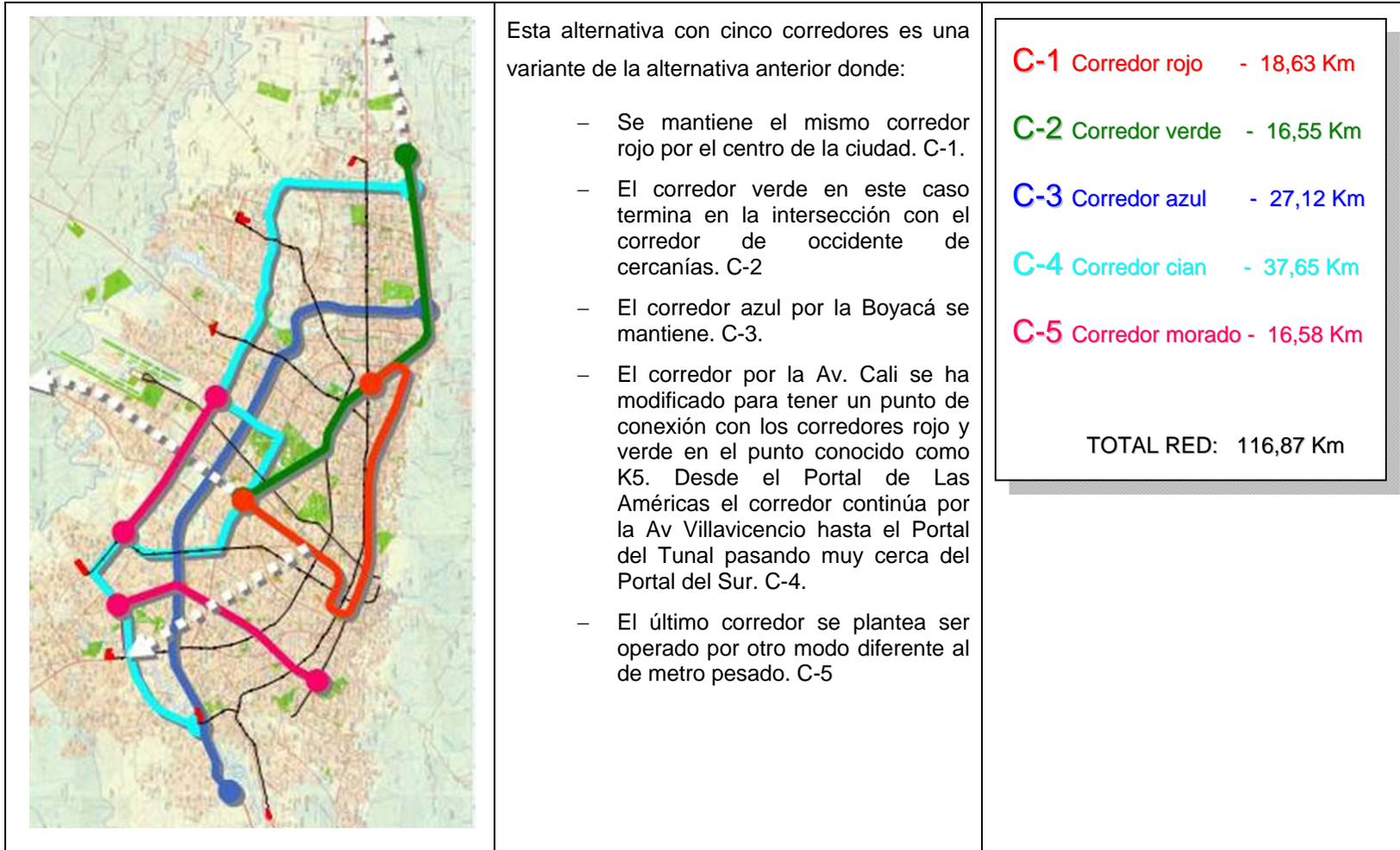


Figura 1-11 Alternativa 3

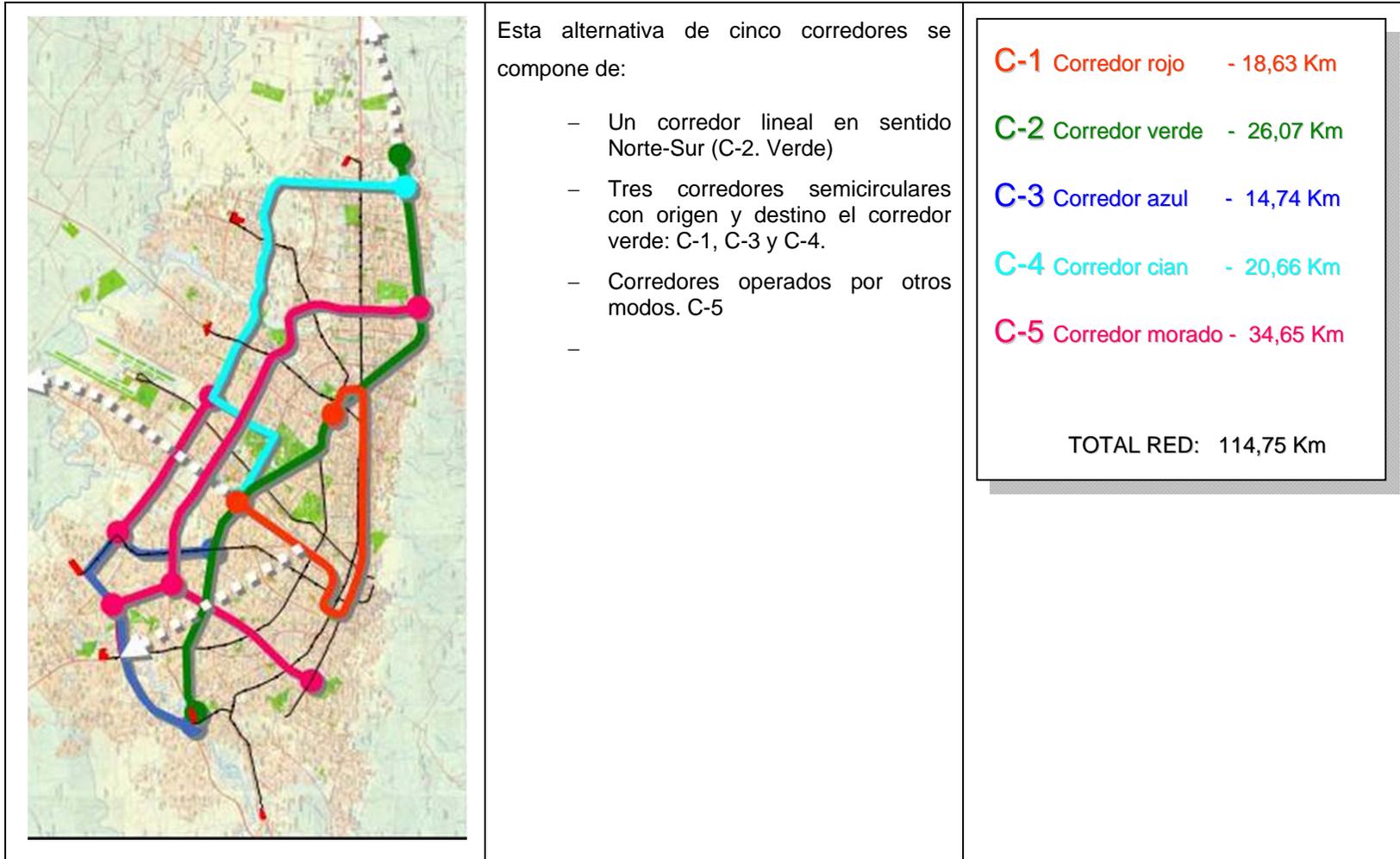


Figura 1-12 Alternativa 4

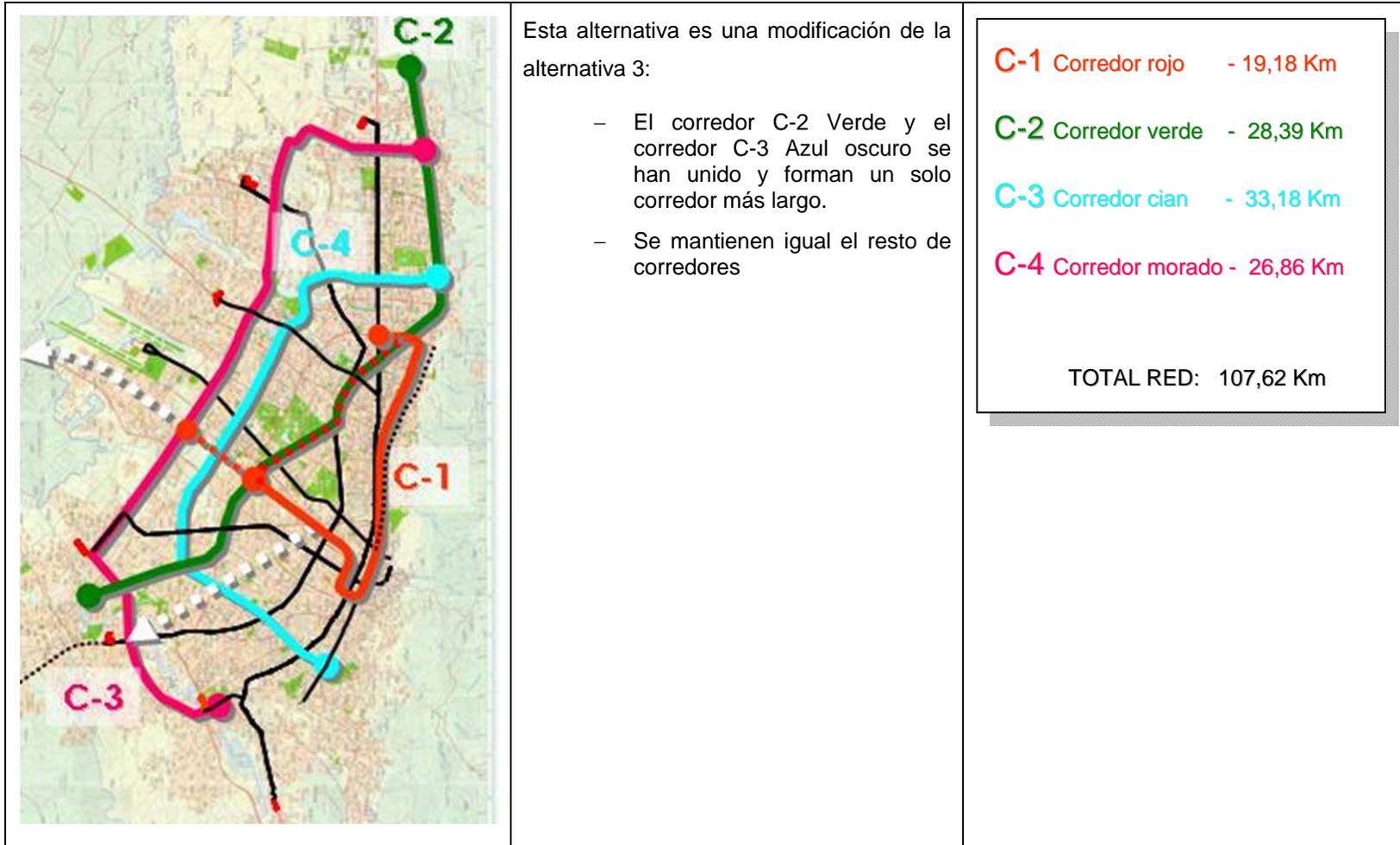


Figura 1-13 Alternativa 5

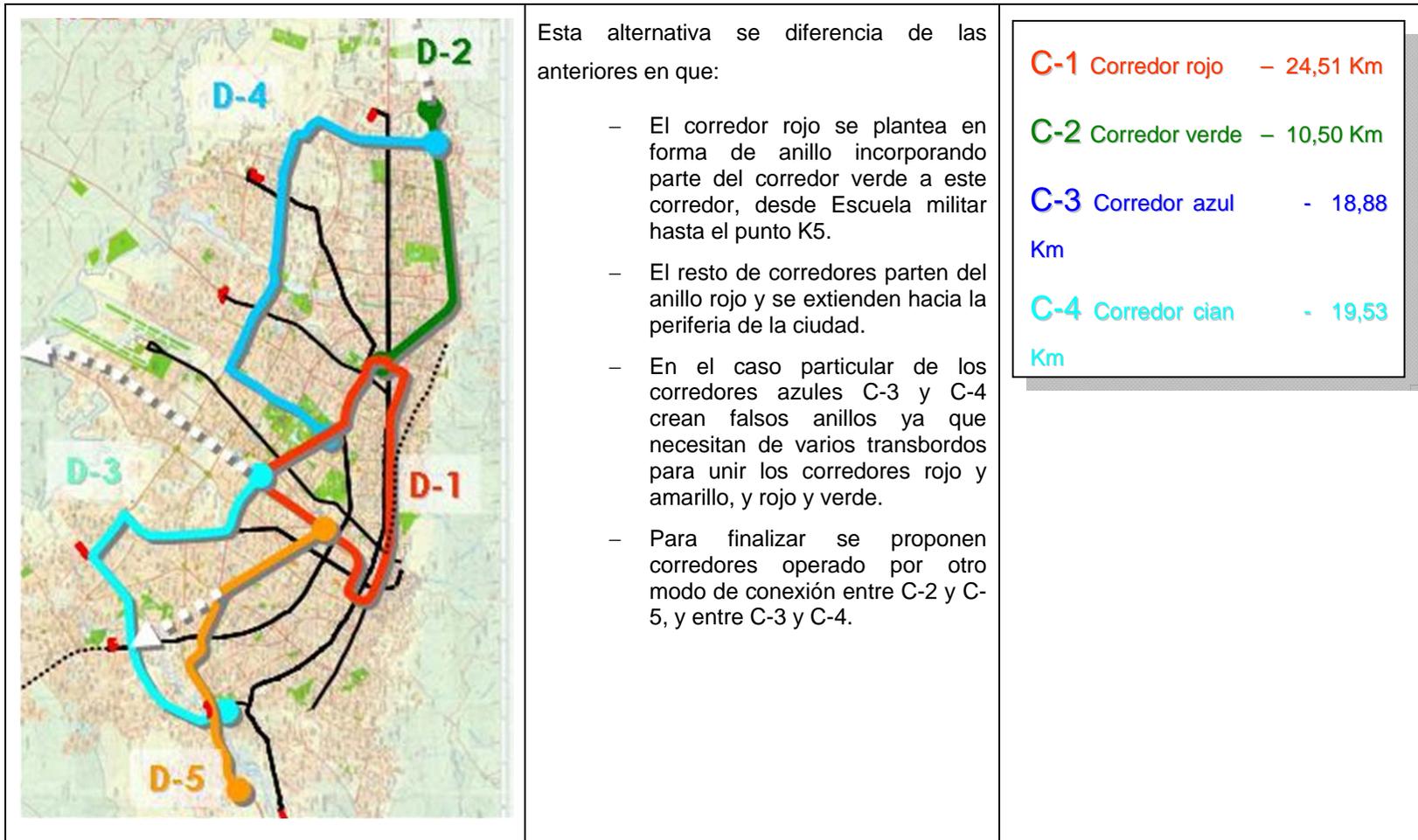


Figura 1-14 Alternativa 6

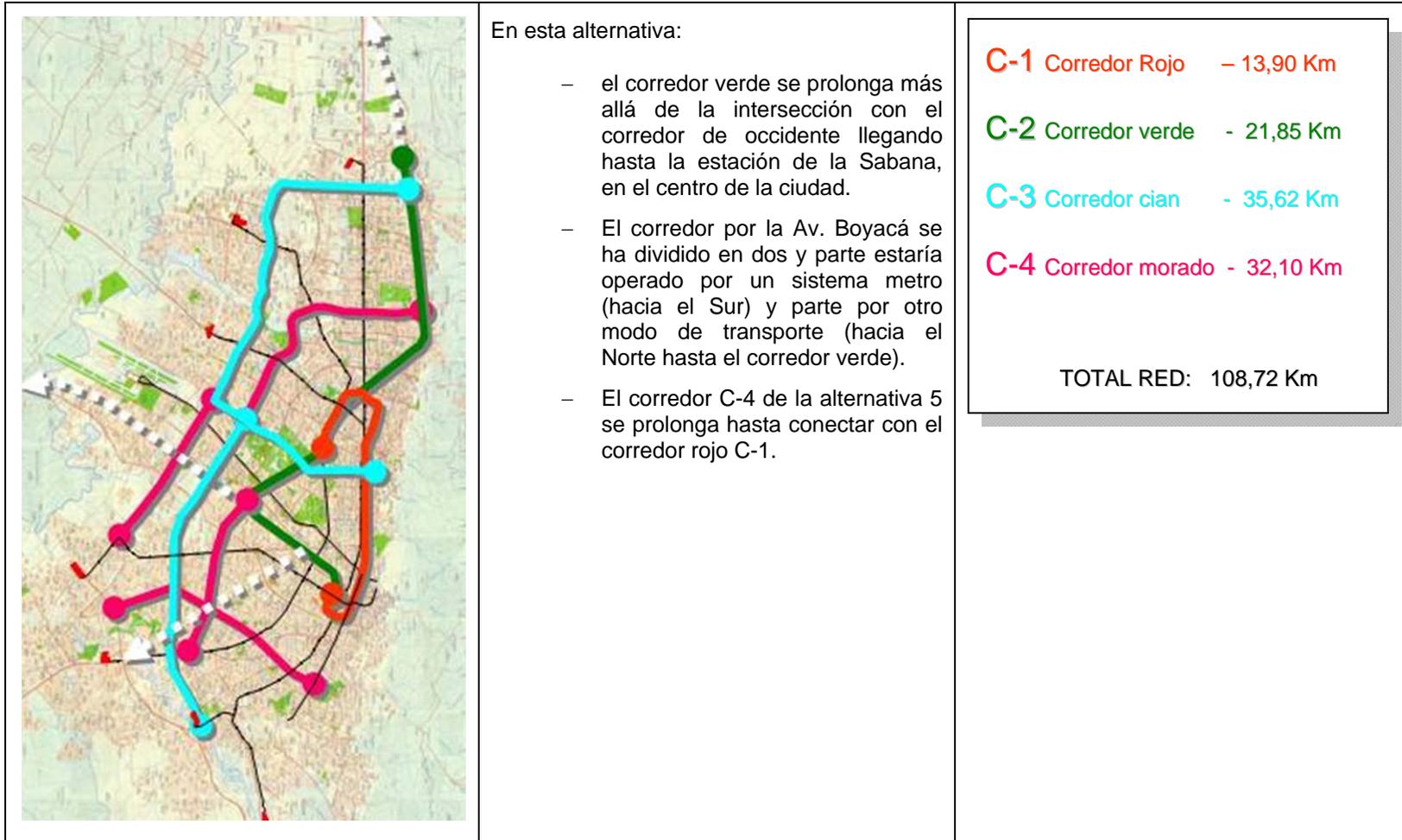


Figura 1-15 Alternativa 7

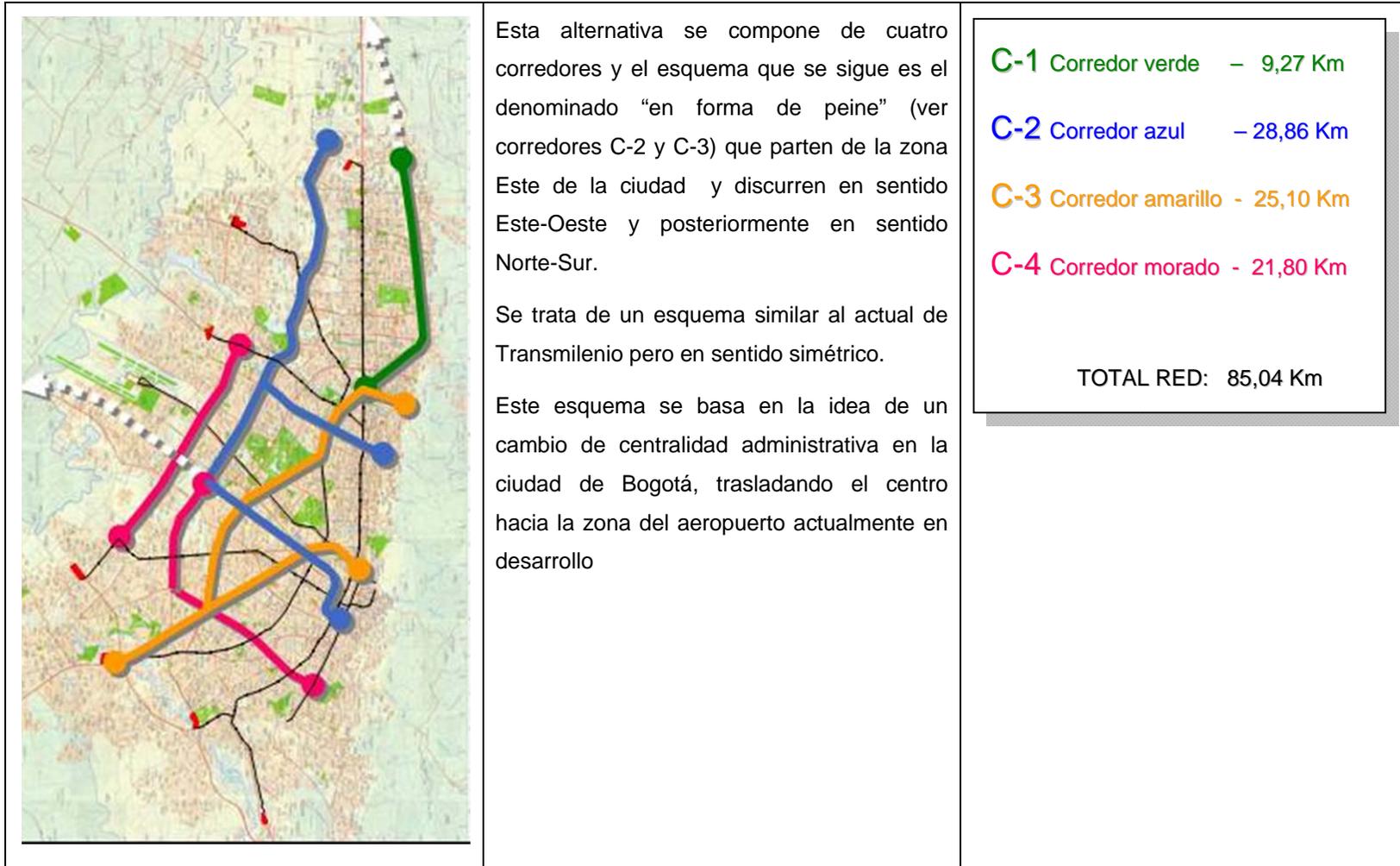


Figura 1-16 Alternativa 8

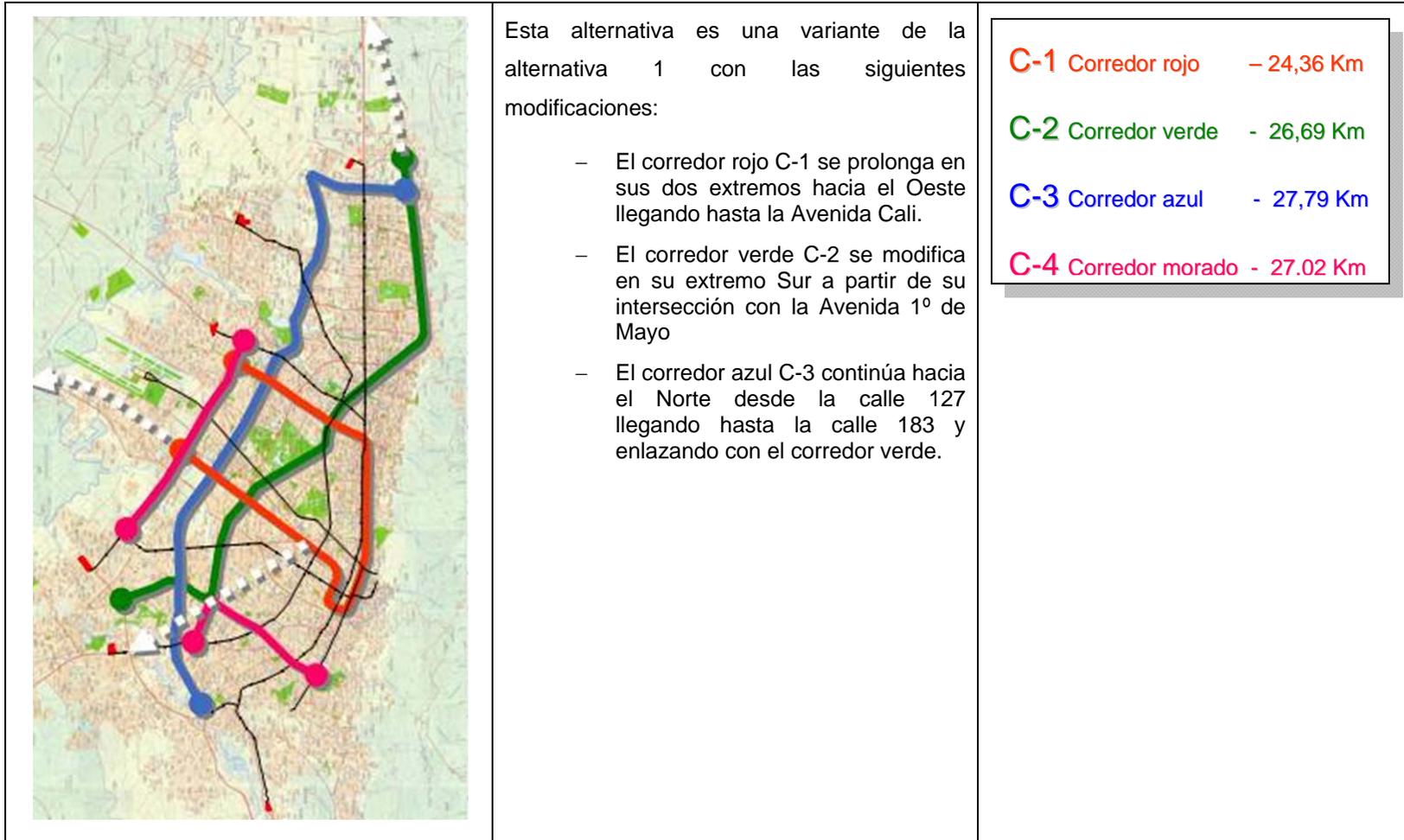


Figura 1-17 Alternativa 9

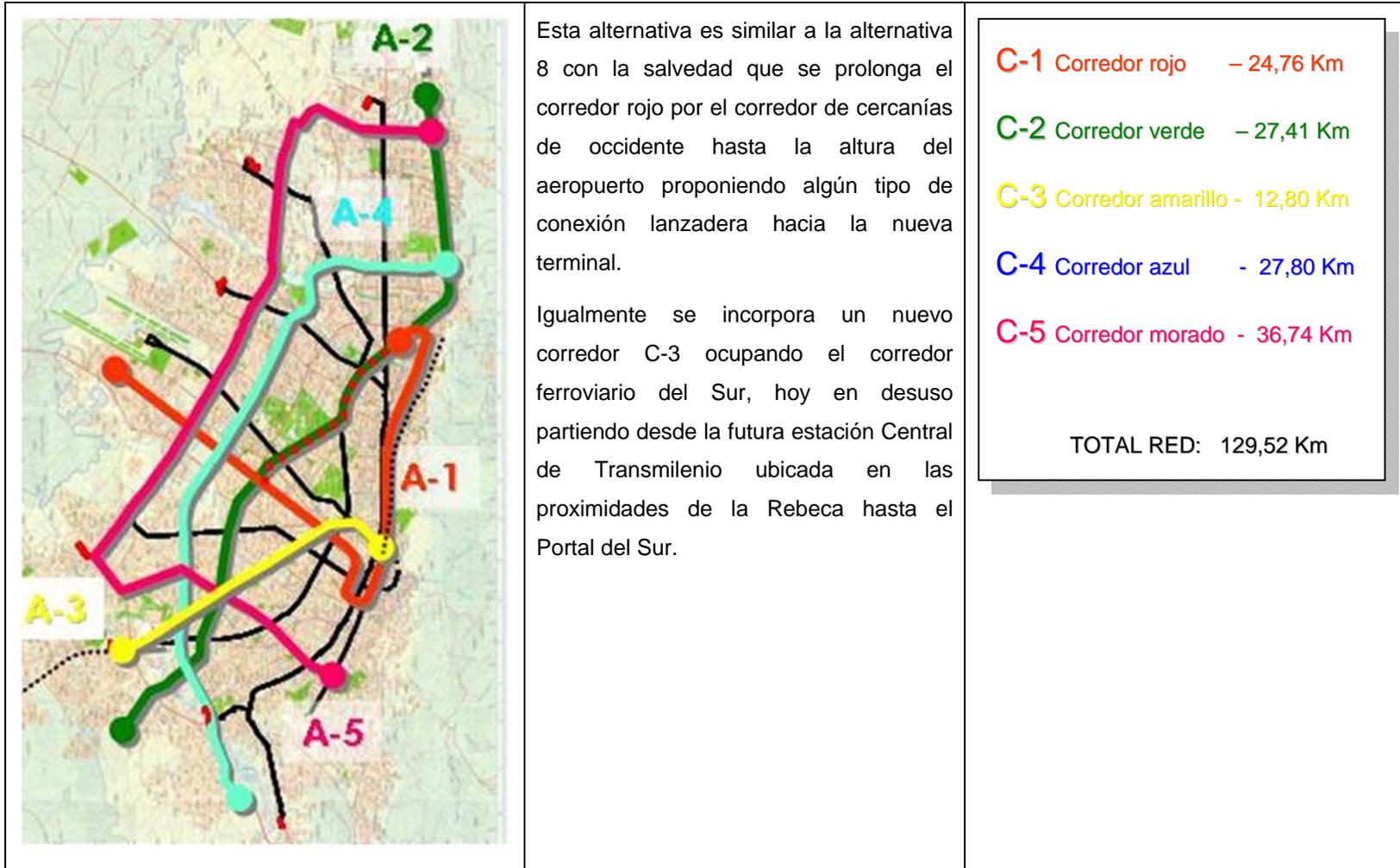
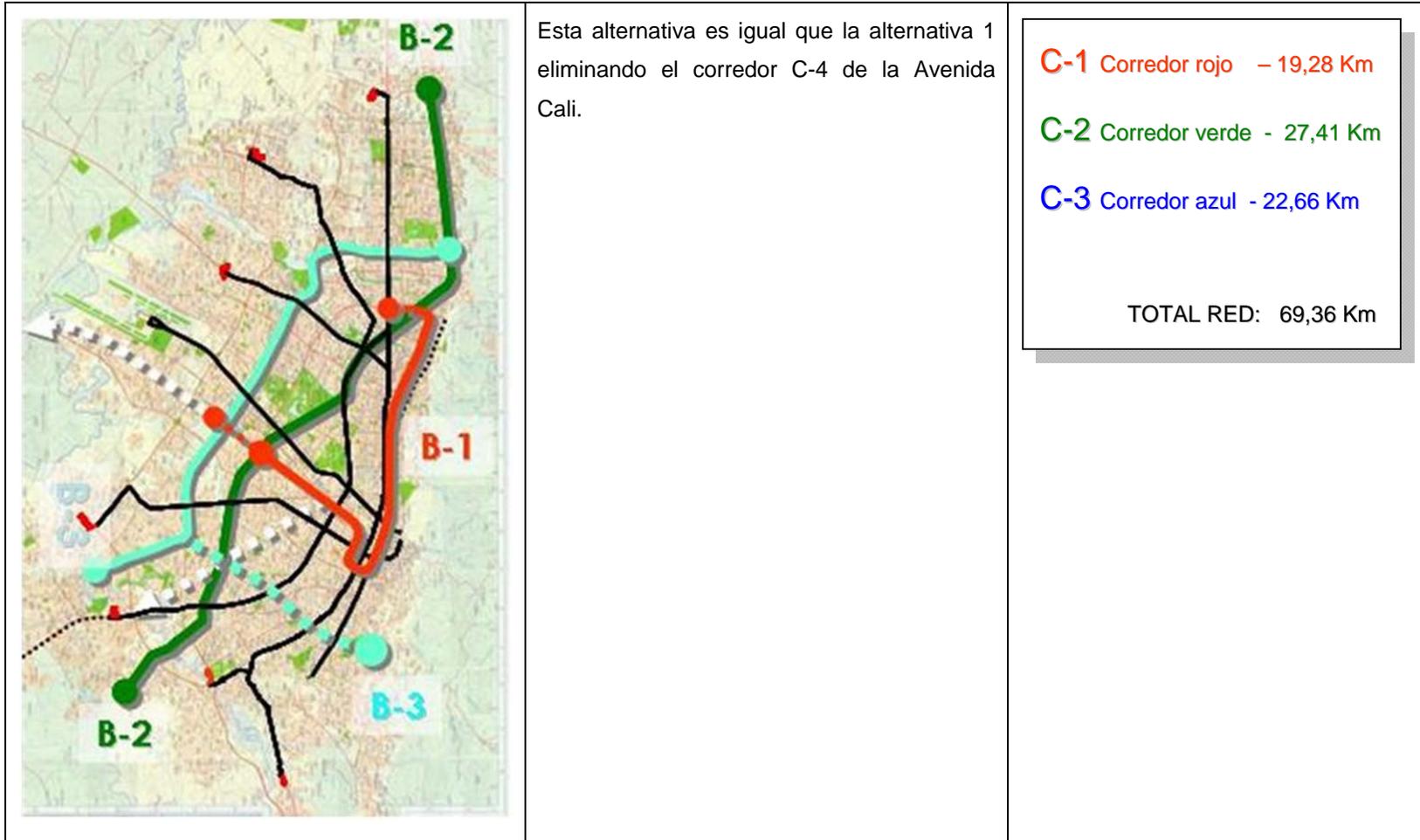


Figura 1-18 Alternativa 10





¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

MB-GC-NT-0036
Rev.1. Pág. 28 de 30

Los diferentes trazados (10) fueron analizados en conjunto por los diferentes integrantes del grupo, apreciándose que, a pesar de la selección previa, ciertos aspectos se repetían en más de uno de los propuestos. Se analizaron mediante una simple calificación, para apreciar cuáles de ellos cumplían en mejor forma con las premisas definidas anteriormente. De los 10 trazados, se descartaron seis, obteniéndose, por tanto las cuatro alternativas de redes que se someterían posteriormente a la evaluación multicriterio.

Las Alternativas de Red seleccionadas fueron en su orden:

- Alternativa 9 = RED A
- Alternativa 10 = RED B
- Alternativa 4 = RED C
- Alternativa 5 = RED D

Figura 1-19 Redes seleccionadas para evaluación

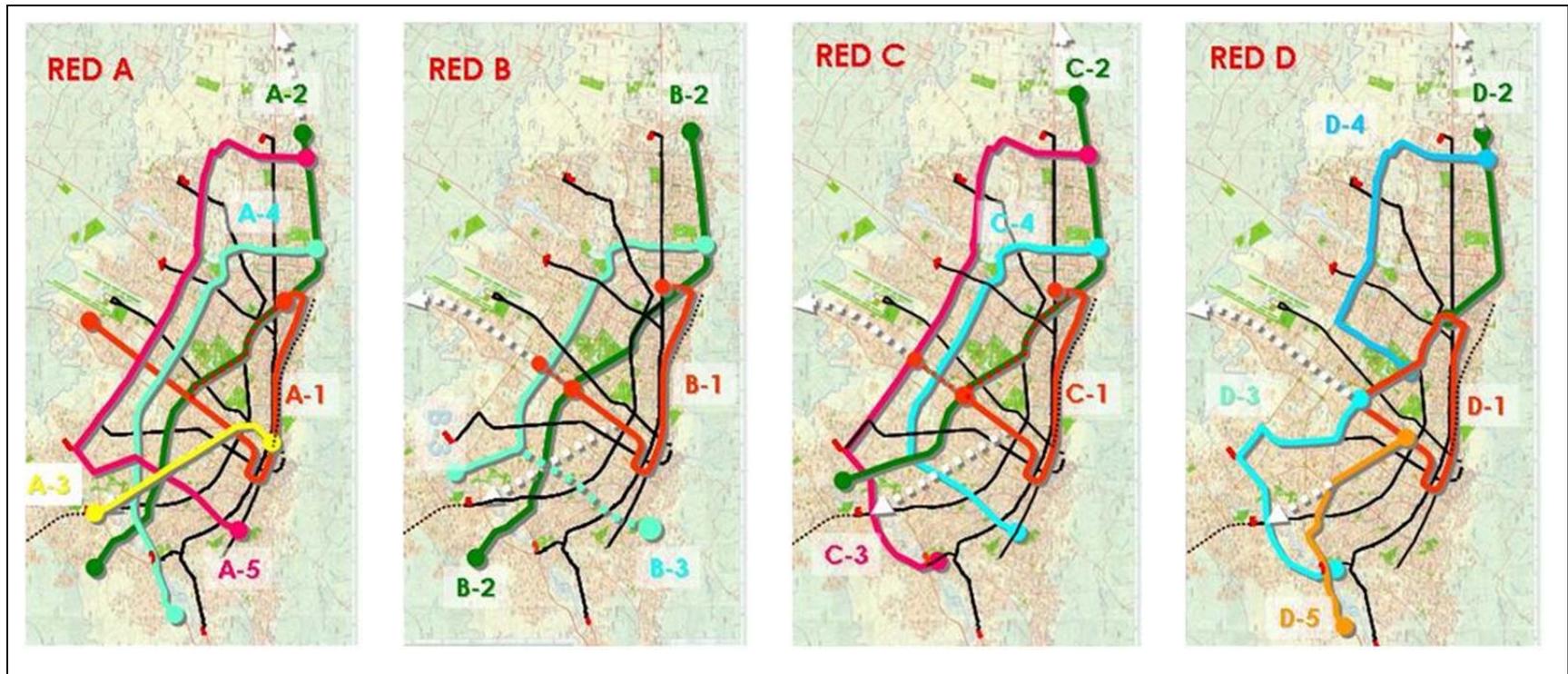


Figura 1-20 Esquema de explotación

<ul style="list-style-type: none"> - Dos corredores lineales en sentido Norte-Sur (Verde y azul) conectados en ambos extremos. - Un corredor semicircular por el oriente o zona centro (rojo) con prolongación hacia occidente. - Un corredor semicircular por la periferia Oeste (Morado) - Un corredor desde el centro hacia el Suroeste (amarillo) 	<ul style="list-style-type: none"> - Dos corredores lineales en sentido Norte-Sur (Verde y azul) coincidentes solo en el Norte - Un corredor semicircular por el oriente o zona centro (rojo) 	<ul style="list-style-type: none"> - Un corredor lineal de Norte a Sur (Corredor verde). - Tres corredores semicirculares: rojo al oriente y, azul y morado al occidente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Explotación en anillo en el centro (Corredor rojo). - Dos corredores hacia la periferia: al Norte: corredor verde, y al Sur corredor amarillo - Dos corredores semicirculares sirviendo a la zona Oeste de la ciudad (azules)

Estas redes seleccionadas fueron sometidas al análisis multicriterio, cuyos resultados quedaron reflejados en los Productos 15 y 16 de la Consultoría