

CAPÍTULO 4
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS



ÍNDICE DE CONTENIDO

4. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	4-2
4.1. INTRODUCCIÓN	4-2
4.2. ANTECEDENTES	4-2
4.3. CONDICIONANTES	4-2
4.3.1. Condicionantes debidos a los criterios de diseño	4-2
4.4. CONDICIONANTES EXTERNOS	4-3
4.4.1. Condicionantes de demanda.....	4-3
4.4.2. Condicionantes de geoingeniería.....	4-4
4.4.1 Condicionantes de infraestructuras existentes.....	4-6
4.4.2 Condicionantes del espacio urbano	4-6
4.4.3 Condicionantes ambientales	4-6
4.5. TRAZADOS PRELIMINARES	4-7
4.6. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ALTERNATIVAS DE TRAZADO PROPUESTAS	4-7
4.6.1. Alternativa 1 (Centro).....	4-7
4.6.2. Alternativa 2 (Occidental).....	4-9
4.6.3. Alternativa 3 (Oriental)	4-10
4.7. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	4-10
4.8. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	4-11
4.8.1. Criterios considerados.....	4-12
4.8.2. Análisis multicriterio	4-12
4.8.3. Matriz de criterios.....	4-13
4.8.4. Matriz de alternativas	4-14
4.8.5. PONDERACIONES.....	4-15
4.9. ALTERNATIVA SELECCIONADA	4-16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1: Modelo digital del terreno en el DMQ	4-5
Figura 4.2: Alternativas de trazado del Metro	4-8
Figura 4.3 Representación de la estructura jerárquica del problema dentro del enfoque de Thomas Saaty	4-13
Figura 4.4: Trazado de la alternativa seleccionada y métodos constructivos a emplear	4-18



4. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

4.1. INTRODUCCIÓN

El Estudio de Viabilidad Técnica realizado por la empresa Metro Madrid incluyó la definición de una serie de alternativas de trazado que fueran técnicamente viables, desde múltiples puntos de vista (geométrico, geotécnico, constructivo, de demanda, operacional, ambiental, etc.), y la selección de la más adecuada a nivel global. Para ello, fue necesario trazar una batería inicial de ejes, que en las fases posteriores de diseño, se desarrolló el trazado viable y definitivo.

4.2. ANTECEDENTES

Existen dos antecedentes de trazado previos para la ruta del Metro de Quito: el TRAQ y el Eje Central de la ciudad de Quito). Luego, en los primeros meses de 2010 se realizó un trazado preliminar, por parte del Equipo Asesor de Proyectos Especiales del Instituto Metropolitano de Urbanismo del DMQ. Con posterioridad, en octubre de 2010, la Unidad de Negocios Metro de Quito (UNMQ) desarrolló un Estudio de Prefactibilidad sobre la Primera Línea del Metro de Quito en el cual se definió un trazado en forma de Y, con un único eje en la zona centro y norte, planteando dos alternativas en el sur a partir de la estación de El Recreo. En total, la Alternativa 1 tenía una longitud de 21,5 km y la Alternativa 2 de 22,8 km.

4.3. CONDICIONANTES

Para definir el trazado actual propuesto, se consideraron 2 tipos de condicionantes: los condicionantes de diseño y externos de los que se contó con información suficiente al momento de la definición del trazado y, los condicionantes debidos a la movilidad innata de las personas y los centros generadores y atractores de viajes.

En cuanto a los condicionantes debidos a criterios de diseño, se consideraron parámetros geométricos y cinemáticos de diseño, así como también los posibles emplazamientos propuestos para los aparatos de vía asociados a las estaciones.

Las estaciones se procuró situar lo más superficiales posibles dentro de los mínimos recomendados por seguridad constructiva, facilitando así la accesibilidad de los usuarios.

A continuación se señalan los condicionantes considerados para la definición de las distintas alternativas de trazado.

4.3.1. Condicionantes debidos a los criterios de diseño

Para el diseño geométrico y cinemático de las distintas alternativas desarrolladas, se fijaron una serie de parámetros de diseño para el trazado en planta y en alzado, habituales en la definición de una obra ferroviaria tipo Metro.

La velocidad de diseño adoptada fue de 110 km/h, velocidad cuya consecución vendrá condicionada no sólo por los parámetros del trazado sino también por las paradas que deberán producirse en las estaciones y por la capacidad de aceleración – desaceleración del material móvil. De la conjunción de esos tres aspectos resultarán los gráficos de marcha definitivos.

Parámetros considerados

Los parámetros considerados se indican a continuación:

v : velocidad (m/s)

R : radio de la curva (m)

h : peralte real de la curva (mm)

i : insuficiencia de peralte (mm)

e : exceso de peralte (mm)

w : distancia entre ejes de carriles (mm)

a_{ncr} : aceleración no compensada real que sufre el viajero (m/s^2)

s : coeficiente de flexibilidad del material rodante

j : variación máxima de la aceleración transversal no compensada (m/s^3)

$$a_t = \frac{v^2}{R} : \text{aceleración transversal (m/s}^2\text{)}$$

$$a_{tc} = \frac{h \cdot g}{w} : \text{aceleración transversal compensada (m/s}^2\text{)}$$

$$a_{mc} = \frac{i \cdot g}{w} : \text{aceleración transversal no compensada debido a la insuficiencia de peralte (m/s}^2\text{)}$$

$$a_{mc} = \frac{e \cdot g}{w} : \text{aceleración transversal o compensada debido al exceso de peralte (m/s}^2\text{)}$$

L_{ct} : longitud mínima de la curva de transición (m)

L_{tp} : longitud mínima de transición del peralte (m)

$(vv)_{max}$: velocidad máxima vertical (mm/s)

$(rh)_{max}$: rampa máxima de peralte (mm/m)



r : rampa ficticia (‰)

p : pendiente real en el tramo en curva (‰)

a_{cv} : aceleración centrífuga vertical (m/s^2)

R_{cv} : radio del acuerdo vertical (m)

K_v : radio de la circunferencia oscultriz de la parábola del acuerdo vertical

Relación entre la planta y el alzado

- No es aconsejable hacer coincidir los acuerdos verticales con curvas de transición en planta, ya que dificulta el montaje de vía.
- En tramos en rampa coincidentes con curvas en planta, se considerará una pendiente ficticia a efectos de pendiente máxima. Esta pendiente ficticia resulta de sumar a la pendiente real, en tanto por mil (‰), la relación 500/RADIO:

$$p_f = \frac{500}{R} + p_r$$

- No se colocarán aparatos de vía en tramos en los que se realice un acuerdo vertical o curvas de transición en planta.
- En general, los aparatos de vía se colocarán en tramos rectos, horizontales o no. Se limitará la rasante máxima en desvíos a 2 milésimas.

El gálibo del material móvil considerado ha sido el correspondiente a un coche de ancho 2,80 m, habitual en muchos metros del mundo. Este gálibo es además un producto de “catálogo” en los fabricantes de material que no requerirá de diseños específicos, por lo que el producto es más económico.

Las estaciones se procuró situar lo más superficiales posibles dentro de los mínimos recomendados por seguridad constructiva, facilitando así la accesibilidad de viajeros. En las estaciones, se consideraron alineaciones rectas y horizontales de longitud tal que permita albergar andenes, resto de estación y posibles aparatos de vía.

4.4. CONDICIONANTES EXTERNOS

Los condicionantes externos considerados para la definición de las distintas alternativas de trazado han sido los siguientes:

4.4.1. Condicionantes de demanda

En este grupo se han considerado todas las centralidades, concentraciones de población, administración o servicios, nodos de demanda de transporte actuales o futuros, etc. En el desarrollo de las distintas alternativas se procuró dar servicio al mayor número posible de estos puntos de paso recomendados, planteando en ellos la ubicación de estaciones.

Dentro de estos condicionantes de demanda se consideraron los siguientes:

- Configuración de la ciudad (42 km de largo y 6 km de ancho).
- Las densidades de población tanto durante el día como la noche según la Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda.
- El Plan de Proyectos Estratégicos de Quito recibido del Instituto Metropolitano de Urbanismo de Quito.
- Las macro-centralidades correspondientes a La Mariscal, Centro Histórico y La Carolina, más las cinco centralidades urbanas de los sectores de Carapungo, Cotocollao, Kennedy, Solanda y Quitumbe, según definición recibida de la Secretaria de Territorio, Hábitat y Vivienda.
- Los puntos específicos de atracción de demanda como son universidades, colegios, hospitales, sectores comerciales, sectores financieros y bancarios, centros de entretenimiento y turismo, oficinas públicas y centros empresariales.
- Los estudios de demanda de movilidad realizados en años anteriores como el de UNMQ en el año 2008.
- La distribución del actual sistema de transporte público y del viario de la ciudad según la EPMMOP.

En el análisis realizado, se identificaron aquellos puntos fundamentales recomendables de servir:

- Terminal terrestre de Quitumbe
- La avenida Morán Valverde
- Las parroquias de Solanda y San Bartolo
- La terminal de El Recreo y Villaflores
- El entorno del Cuerpo de Ingenieros del Ejército
- El Centro Histórico de Quito
- El entorno del Banco Central de Ecuador
- La zona de El Ejido y La Mariscal



- La Universidad Central de Quito
- El sector de servicios médicos en la Av. Eloy Alfaro
- La zona comercial de La Carolina
- La avenida Amazonas y Naciones Unidas
- El entorno de Jipijapa
- La zona de El Labrador

4.4.2. Condicionantes de geoingeniería

De forma general, se consideraron dos grandes subgrupos de condicionantes: los topográficos y los geológico-geotécnicos. Dentro de los topográficos, el principal condicionante, que en algún caso puede llegar a invalidar una alternativa, es el paso de las múltiples quebradas que atraviesan el DMQ. El otro condicionante es la orografía natural del DMQ, en alguna zona especialmente abrupta. Ambos condicionantes han de compatibilizarse con el criterio básico de que las estaciones sean lo más superficiales posibles para que los recorridos verticales calle – andén sean mínimos.

- Paso de quebradas: el paso de quebradas debe realizarse prioritariamente por debajo de las mismas, dejando un resguardo mínimo entre la cota de cauce y la clave del túnel. Este paso bajo la quebrada debe ser compatible con la pendiente máxima de una obra tipo Metro (35 milésimas) y con una profundidad de andenes en las estaciones razonable (no más de 20 m).

En el caso de que la quebrada fuera estrecha y poco profunda, las condiciones geométricas del trazado no fueran compatibles con el paso bajo la misma, y el sistema constructivo a emplear fuera compatible (entre pantallas o excavación manual; no tuneladoras) se podría pasar sobre la quebrada, canalizando la misma, rellenando la zona y emboquillando adecuadamente la canalización aguas arriba y aguas abajo del cruce.

Entre otras, se han identificado las siguientes quebradas: Ortega, Shanshanyacu, El Tránsito, Caupichu, San Bartolo, Machángara, Grande, Clemencia, Pucanacha, Navarro, Alcantarilla, La Raya, Jerusalén, Manosalvas, Miraflores, Ascazubi, Vasconez, de la Comunidad, Rumipamba, San Isidro, Caicedo, El Rosario, de la Granja, etc. La afectación por cruce de quebradas es mucho mayor en la zona sur del trazado, en la que gran parte de las quebradas son visibles. En el norte muchas de ellas están canalizadas y rellenas, por lo que la afectación probablemente sea menor. De todas ellas, las más problemática sin duda es la correspondiente al río Machángara, el punto más bajo de la zona por la que discurrirá el metro.

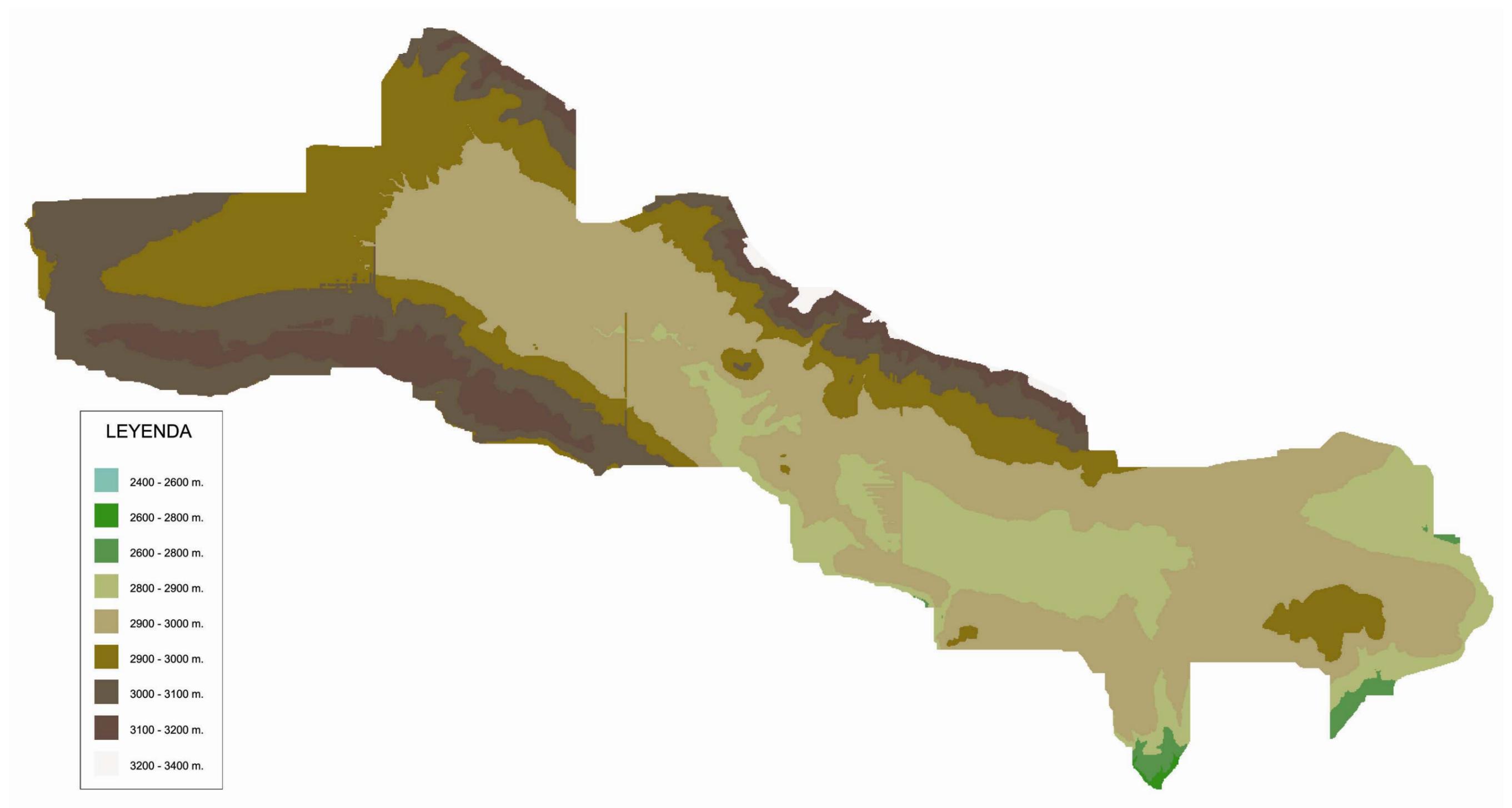
- Topografía general de Quito: Como se puede observar en el modelo digital del terreno del DMQ: (Figura 4.1), éste presenta una orografía bastante abrupta, condicionada por los volcanes Pichincha y el Ilaló, los valles orientales, las lomas del Panecillo e Itchimbia y el río Machángara. El Machángara divide la ciudad en dos: al sur, la cota va subiendo paulatinamente desde el Machángara hasta Quitumbe, con una diferencia media de cota de unos 150 m en una longitud de 9 km, lo que supone una pendiente media de 1,67%. No obstante, en algunas calles se supera dicha pendiente, por lo que el trazado en alzado (cuya pendiente máxima es el 3,5%) puede exigir estaciones profundas.

En cambio, hacia el norte, la cota tiene un ascenso rápido en la zona del Centro Histórico, para llegar al entorno de los 2800 msnm y mantenerse sobre esta cota toda la zona. Con este perfil, el trazado del Metro será más suave, las pendientes menores y las estaciones menos profundas

En cuanto a los condicionantes geológicos y geotécnicos, con base en la información disponible hasta la fecha, se concluye que los principales condicionantes a encontrar son:

- Presencia de agua: tanto en el norte como en el sur la presencia de agua es muy probable. Aunque es un condicionante más fuerte para las estaciones, tanto por el empuje hidrostático sobre los elementos verticales de contención como por la subpresión sobre la losa de fondo, en el túnel puede generar problemas de filtraciones y, sobre todo, inestabilidades frontales durante el proceso constructivo.

Figura 4.1: Modelo digital del terreno en el DMQ



Fuente: Estudio de Viabilidad Técnica. Metro Madrid, 2010



- **Terrenos fluvio-lacustres:** también podrán aparecer tanto en el norte como en el sur, que podrían generar problemas de subsidencias en superficie, lo que obligaría a que el alzado del túnel fuera más profundo. De igual manera, podrían presentar problemas de colapsabilidad o asiento inmediato. No obstante, hasta que no se tenga un perfil más detallado del terreno no se podrá precisar más este hecho, y ya la UNMQ ha contratado estos estudios.

Este tipo de terrenos, en combinación con bolsas de agua a presión podría dar lugar a problemas de inestabilidad en los frentes de los túneles. Este fenómeno se concretará en la fase de diseño de detalle, la cual ya ha comenzado.

- **Región sísmica:** al encontrarse Quito en zona sísmica, el trazado del túnel puede verse condicionado por este hecho. Los principales problemas que se presentan en estructuras enterradas radica en la diferencia de comportamiento ante terrenos de diferentes propiedades geotécnicas y la licuefacción de suelos. Para que se produzca tal efecto es necesario la presencia de un nivel freático muy superficial, de escasa resistencia (suelos generalmente recientes) y con un escaso contenido en fracción arenosa o limosa.

4.4.3. Condicionantes de infraestructuras existentes

Dentro de las infraestructuras urbanas existentes que pueden condicionar el desarrollo de las distintas alternativas de trazado, se distinguen:

- **Infraestructuras de servicios:** alcantarillado, agua potable, energía, comunicaciones. De éstas, parte son enterradas (alcantarillado y agua potable, parte de la electrificación, y algún oleoducto en la zona sur) y el resto son aéreas.

Las infraestructuras aéreas son muy poco restrictivas para el trazado, puesto que sólo afectarán en las zonas de implantación de estaciones, y su desvío es fácil y económico. Solamente las líneas aéreas de alta tensión podrían complicar la ubicación de alguna estación, puesto que el cambio de posición de una torre es complejo. No obstante, con la posición actual de las estaciones no se ha identificado interferencia.

De las infraestructuras subterráneas, las más conflictivas son las que discurren a una mayor profundidad, fundamentalmente colectores de saneamiento, un oleoducto en el sur (SOTE) y quizá alguna arteria principal de suministro de agua. Estas infraestructuras pueden interferir directamente con los túneles o las estaciones, y por la profundidad a la que discurren su desvío es difícil y caro, por lo que en algunos casos llevará a retocar la solución de trazado.

- **Obras públicas y viales:** En este grupo de condicionantes hay que distinguir entre las estaciones y tramos de túnel ejecutados desde superficie y los túneles profundos, ejecutados como obra subterránea.

En el caso de las estaciones y falsos túneles, la ejecución desde superficie exige la disponibilidad de espacio, por lo que habrá que buscar zonas públicas (parques, instalaciones deportivas, viario público) suficientemente amplias para su desarrollo y ejecución. Una vez terminada la ejecución estas zonas serán repuestas a su estado original. En caso de que la disponibilidad de espacio sea menor, se puede plantear la ejecución en dos mitades, reduciendo así la ocupación.

En el caso de los túneles, los condicionantes de obras públicas existentes se limitan a estructuras enterradas que puedan interferir con la cota del túnel, fundamentalmente pasos inferiores, aparcamientos subterráneos y cimentaciones profundas de edificios y estructuras. En el trazado de las alternativas habrá que intentar evitar estas obras, o pasar suficientemente lejos (unos 10 m) para que la influencia sea inapreciable.

En cuanto a los viales existentes sobre los que circulan los grandes sistemas de transporte actuales (Trole y BRT), son en la actualidad las grandes avenidas de Quito, sobre las que se podrían ubicar las estaciones. Esta opción generaría durante la fase de construcción de las obras una importante perturbación en el servicio, por lo que con independencia de las recomendaciones que a nivel de ordenación del transporte vigente se hagan, se ha procurará evitar estas arterias para minimizar un empeoramiento en la calidad el transporte público ofertado durante la fase de construcción.

4.4.4. Condicionantes del espacio urbano

Las alternativas de trazado deben ser compatibles con los usos del suelo presentes y futuros definidos en los planes de desarrollo urbanístico existente. Dado que como premisa básica todo el trazado es subterráneo, incluidas las estaciones, la incidencia del Metro sobre el planeamiento urbanístico se reduce notablemente, limitándose a las bocas de acceso de las estaciones.

Sí tiene una mayor incidencia el diseño y construcción de las cocheras y talleres, que se diseñarán en superficie y exigirán una importante ocupación de suelo.

Los planes de desarrollo sectoriales (plan de infraestructuras viales, plan de transporte, etc.) se consideran para compatibilizar los trazados con los futuros desarrollos del DMQ. En este caso, hay que contemplar la posibilidad de que la primera línea de transporte masivo crezca hacia los valles orientales y el nuevo aeropuerto, hacia el sur aprovechando el derecho de vía de la línea de ferrocarril a Guayaquil, o hacia el norte-noreste para llegar a Carcelén, Comité del Pueblo, Mitad del Mundo, etc.

4.4.5. Condicionantes ambientales

Los trazados procuran minimizar los impactos en los ámbitos ambiental, social y patrimonial. En este sentido, el hecho de que el trazado del Metro vaya a ser subterráneo disminuirá los impactos con relación a una obra lineal



superficial, centrándose en los excedentes de tierras, y a los impactos que se deriven de los trabajos en pozos y estaciones. No obstante, se considera que estos condicionantes son de segundo nivel frente a los anteriores, dado que se limitan al periodo de construcción de las obras.

Los impactos sobre el patrimonio son los principales a cuidar. Es necesario evitar pasar por zonas patrimoniales, y en caso de decidirse que, por los condicionantes de demanda, se haya de pasar por ellas (Centro Histórico) habrá que intentar minimizarlos (por ejemplo, buscar trazados que eviten pasar bajo edificios protegidos o que vayan a mucha profundidad).

4.5. TRAZADOS PRELIMINARES

El primer paso realizado fue plantear puntos de paso recomendados para cualquiera de las alternativas que se fueran a desarrollar y corredores principales sobre los que desarrollarse. En un primer análisis se identificaron los siguientes puntos de paso (de sur a norte):

- Terminal Terrestre de Quitumbe
- Parroquia de Solanda
- Estación de transferencia de El Recreo
- Centro Histórico
- Estación de La Marín
- Parque de La Alameda
- Terminal Norte del Trole
- Estación de Transferencia de La Ofelia
- Terminal Terrestre de Carcelén

Los corredores principales identificados fueron los siguientes:

SUR	NORTE
Av. Antonio José de Sucre	Av. Amazonas
Av. Rumichaca	Av. 10 de Agosto
Av. Quitumbe Ñan	Av. América
Av. Pedro Vicente Maldonado	Av. De la Prensa
Av. Teniente Hugo Ortiz	Av. De los Shyris
Av. Cardenal de la Torre	Av. Eloy Alfaro
Av. Alonso de Angulo	Av. Galo Plaza Lasso
Av. 5 de Junio	Actual Aeropuerto

Con estas premisas, y los condicionantes externos identificados, se trazaron un total de 12 alternativas de trazado. Estas alternativas daban variantes a las zonas del sur por las que transitar, al paso por el Centro Histórico y al cruce del río Machángara. En el norte, parecía mucho más claro que cualquier alternativa debería pasar o por la Av. 10 de Agosto o por la Av. Amazonas y evitar así afectaciones al Trole durante la fase de construcción.

Sucesivos análisis permitieron afinar estas alternativas y reducirlas tres, que se muestran en la Figura 4.2 y se describen a continuación.

4.6. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ALTERNATIVAS DE TRAZADO PROPUESTAS

El diseño de las distintas alternativas de trazado se realizó utilizando el software comercial de diseño de obras lineales ISTRAM/ISPOL, desarrollado por Buhodra Ingeniería, SA.

Los trazados de las tres alternativas seleccionadas se resumen a continuación.

4.6.1. Alternativa 1 (Centro)

Esta primera alternativa parte de la terminal terrestre de Quitumbe, donde se ubica la Estación 1, que se orienta en dirección Sur – Norte, junto al edificio de la terminal terrestre de Quitumbe, en la parcela vacía sobre la que se prevé la ampliación de la terminal. Toma la calle Pumapungo para cruzar la quebrada Ortega y alcanzar la avenida Rumichaca. En el cruce de ésta con la Av. Amaru Ñan se realiza una reserva de trazado (alineación recta y horizontal) para una posible futura estación. Siguiendo por Rumichaca, se llega al cruce con la Av. Morán Valverde, donde se ubica la Estación 2.

El trazado sigue por Rumichaca hacia Solanda, cruzando bajo una zona de edificaciones hasta llegar a una zona deportiva junto a la calle Venancio Estandoque, donde se ubicaría la Estación 3.

Figura 4.2: Alternativas de trazado del Metro



Fuente: UNMQ-Metro Madrid, 2011



Desde aquí gira al Oeste para alcanzar la avenida Cardenal de la Torre. Un poco antes del cruce de esta calle con Teniente Hugo Ortiz se ubica la Estación 4 El Calzado, bajo la zona de instalaciones deportivas existentes entre las dos calzadas de la avenida.

Al salir de esta estación gira al Este, atraviesa el barrio 1 de Mayo y cruza bajo el río Machángara para llegar a la terminal de El Recreo por el este, situando la Estación 5 bajo las vías del ferrocarril a Guayaquil y la zona de talleres del Trole.

Siguiendo por la vía, el trazado llega a la parada del Trole de Villaflora (pasando por debajo) y coge la Av. Rodrigo de Chávez. Siguiendo por ésta, llega a la altura del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, donde se sitúa la Estación 6 en las instalaciones deportivas del Cuerpo de Ingenieros del Ejército. Desde aquí gira al norte para pasar El Panecillo por el Oeste y llegar a la plaza de San Francisco, donde se ubica la Estación 7 que se sitúa bajo la plaza de San Francisco, a unos 20 m al oeste del eje de la calle Benalcázar.

Esta estación es la que sirve a todo el Centro Histórico. De ella, el trazado va en dirección norte hasta la calle Manabí (esta alineación procura evitar los principales edificios históricos del centro de Quito: San Francisco, La Compañía, la Catedral Carondelet, el Palacio Arzobispal, el convento de La Merced), girando al Este al pasar ésta para llegar a la zona del parque de La Alameda, donde se ubicaría la Estación 8 (justo detrás de la estatua a Simón Bolívar), alineada con la av. Gran Colombia.

Sin embargo, hay una variante actualmente en estudio hacia la plaza del Teatro Sucre, en virtud de la expansión turística, por las modificaciones de ampliación de la plaza hacia el occidente (derribo del edificio de parqueaderos Gran Pasaje en las calles Manabí, Vargas y Guayaquil) y, por el plan de peatonalización y movilidad del Centro Histórico de Quito que se encuentra en ejecución.

Siguiendo por la Gran Colombia el trazado gira al oeste para llegar al parque El Arbolito en El Ejido, donde se ubica la Estación 9 que está orientada hacia la av. Alfredo Pérez y sirve a La Mariscal y al entorno de la Casa de la Cultura. Esta estación se concibe como una estación de doble vestíbulo, uno que satisfaga la demanda de la zona de La Mariscal desde la av. La Patria, y otro que permita la entrada de viajeros desde la 6 de Diciembre, ya sea de gente que vaya a la Casa de la Cultura, a la Asamblea Nacional o al Hospital Eugenio Espejo, como de gente que intercambie al metro desde autobuses convencionales o sistemas masivos. Además, en un futuro, podría servir de intercambio con las líneas de autobuses que se dirigen a los valles.

El trazado sale de la Estación 9, sube por la av. Alfredo Pérez y gira al norte para tomar la av. América donde se situaría la Estación 10 para servir a la Universidad Central, y que también permitiría el intercambio con el Corredor Central Norte (CCN) del Trole, que tiene parada junto al Seminario Mayor San José. El desplazamiento del eje se ha considerado para minimizar la ocupación temporal de una calle con importante tráfico rodado durante la

construcción de dicha estación, siempre y cuando se pueda ocupar parte del jardín de la Universidad (que al acabar las obras se repondría a su estado original).

Tras pasar la av. La Gasca el trazado gira al este, pasando bajo la zona de “Las Casas Bajo” hasta alcanzar la av. Eloy Alfaro, por la que discurre hasta llegar a la Estación 11, a la altura de la calle Inglaterra. Se ha preferido el paso bajo el barrio de Las Casas Bajo al ser edificaciones no muy altas, que entrar más “directos” en Eloy Alfaro y toparse con dos altos edificios que hay en la calle General Vicente Aguirre esquina 10 de Agosto, así como con el gran nudo, a 3 niveles, que conecta la 10 de Agosto, Eloy Alfaro y Francisco de Orellana.

Saliendo de la Estación 11, el eje sigue por la Av. Eloy Alfaro y cruza la av. La República para entrar en el parque de La Carolina, donde se sitúa la Estación 12. Al salir de ésta, el trazado gira al noroeste para buscar la calle Japón, y entre el parque, el parqueadero anexo al centro comercial Ñaquito y antes de llegar a la av. Naciones Unidas, se sitúa la Estación 13.

Saliendo de ésta, el trazado sigue por Japón, comenzando a la altura de José Villalengua una “S” para poder situarse en dirección sur-norte, paralelo a la Amazonas (lo que permite evadir los edificios más altos de la zona: Banco Pichincha, Banco Amazonas, etc) y la 10 de Agosto, entrando entre la Plaza de Toros y la terminal Norte del Trole. Esta zona, de talleres y estacionamiento del trole, permite la ubicación de la Estación 14. Este emplazamiento de la estación es el más ventajoso desde el punto de vista constructivo, de afectación a la ciudad y de intermodalidad con la terminal norte del Trole.

Desde esta estación el trazado gira al noroeste para entrar en la zona del aeropuerto, donde se ubicarían cuatro estaciones. Obviamente, esto sólo se podrá realizar una vez haya quedado totalmente liberado la superficie del aeropuerto. Una de ellas en la cabecera sur del Aeropuerto Mariscal Sucre (Estación 15), otra junto a la actual terminal (se prevé que el edificio se convierta en un Centro de Exposiciones), la Estación 16, otra a la altura de la av. Emperador Carlos V (Estación 17) y una cuarta en la cabecera norte del Aeropuerto, junto a los barrios de Betania y El Rosario (Estación 18). En cualquier caso, la ubicación definitiva de estas 3 estaciones, e incluso su número, dependerá del planeamiento urbano de la zona del aeropuerto una vez éste haya sido trasladado a su nueva ubicación.

Desde la Estación 18 en El Rosario, el trazado se orienta en dirección nor-noreste para dirigirse a la terminal de La Ofelia, donde se sitúa la última estación, La Ofelia, la Estación 19.

4.6.2. Alternativa 2 (Occidental)

La Alternativa 2 discurre al occidente de la Alternativa 1 por el sur, hasta llegar a San Francisco, que coincide en ubicación con la Estación 7 San Francisco de la Alternativa 1. A partir de esta estación el trazado de la Alternativa 2 es el mismo que el de la Alternativa 1.



La Alternativa 2 arranca también en la terminal de Quitumbe, orientándose la Estación 1 en dirección sureste-noroeste, bajo las dársenas del Trolebús y la Ecovía (corredor suroriental). Desde esta estación, el trazado gira al norte para tomar la Av. Antonio José de Sucre, bajo la que discurre. Justo antes del cruce con la Av. Morán Valverde se sitúa la Estación 2.

Tras salir de la Estación 2, el trazado sigue por Antonio José de Sucre y a la altura de la calle Aloag gira al noreste para alinearse con la calle Sozoranga, donde se ubicaría la Estación 3 (a la altura de la calle Pilaló). Sale de la estación, continúa por Sozoranga y gira al norte para seguir con la Av. Cardenal de la Torre. En esta avenida el trazado coincide unos 400 m con el trazado de la Alternativa 1 (son paralelas), compartiendo también con ésta la ubicación de la Estación 4 (también la 4 de la Alternativa 1) en la zona de El Calzado.

Tras la Estación 4, el trazado de la Alternativa 2 gira al norte para seguir por la Av. Teniente Ortiz. Siguiendo por ésta, y después del cruce con Alonso de Angulo, se sitúa la Estación 5, justo tras la rotonda que conecta la Hugo Ortiz con Alonso de Angulo.

Se sale de esta estación y gira al noreste para tomar la calle General Epiclachima y su continuación, la 5 de Junio y la zona de La Magdalena y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército. A la altura del cruce de la 5 de Junio con la Av. Rodrigo de Chávez se situaría la Estación 6, justo después de las instalaciones deportivas del Ejército.

Tras pasar ésta, el trazado se dirige hacia El Panecillo, pasando bajo éste por su lado oriental, y haciendo una «S» de dirección oeste-este se sitúa paralelo a Benalcázar, para llegar a la Plaza de San Francisco, la Estación 7. Desde aquí el trazado es idéntico a la Alternativa 1.

4.6.3. Alternativa 3 (Oriental)

La Alternativa 3 arranca como las anteriores en la terminal terrestre de Quitumbe, con una Estación 1 cuya configuración es idéntica a la de la Alternativa 1, en dirección perpendicular a la Av. Quitumbe Ñan. Cruza por la quebrada Ortega (por encima para no penalizar en demasía la cota de andén de la siguiente estación y en este cruce, habría que canalizar la quebrada y rellenar la zona de paso), la Av. Amaru Ñan, la zona de Las Cuadras y llega a la parada del Trolebús de Morán Valverde, junto al Quicentro Sur. Aquí se ubica la Estación 2, siendo necesario para ello el desmantelamiento de la actual parada del Trole.

Desde ésta, el trazado continúa por la Av. Teniente Hugo Ortiz (y toda la que se desarrolla en esta avenida) aprovecharía el derecho de vía del Trole, hasta llegar a la altura del mercado Mayorista, donde se ubica la Estación 3. Tras salir de ésta, sigue por Hugo Ortiz, cruza bajo la Av. Ajaví, el río Machángara y Av. Manglaralto, por la zona de San Agustín hasta llegar a la calle Teodoro Gómez de la Torre, en Clemente Ballén. Aquí se ubica la Estación 4, entre las calles Alonso de la Fuente y Pinllopatá. Continúa por Teodoro Gómez de la Torre, cruza

bajo la Av. Pedro Vicente Maldonado, y llega a la estación de transferencia de El Recreo, donde se ubica la Estación 5. La ubicación de esta estación es la misma que la de la Alternativa 1.

A partir de El Recreo el alzado es coincidente con el de la Alternativa 1.

El resumen de las tres alternativas inicialmente consideradas es como sigue:

ALTERNATIVA	LONGITUD	Nº ESTACIONES	INTERCAMBIOS
1 CENTRO	26,65 km	19	8
2 OCCIDENTAL	25,59 km	19	6-7
3 ORIENTAL	26,23 km	19	8-9

4.7. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

El factor escala es otra de las variables a considerar. Métodos de ejecución válidos para tramos cortos con pocas estaciones quedan invalidados al afrontar un programa de ejecución más ambicioso. Unos pocos frentes de trabajo que pueden acometer equipos humanos reducidos y experimentados pueden no ser válidos al incrementarse sensiblemente su número y, por tanto, escasear la mano de obra calificada.

La elección adecuada de los métodos constructivos en una obra subterránea de la envergadura de la presente es, sin duda, uno de los aspectos de mayor importancia para cumplir con los objetivos. Dos son los elementos básicos que constituyen la obra civil: el túnel de línea y las estaciones. Ambos elementos no son independientes sino que la disposición en planta y la profundidad de éstas condicionan totalmente el perfil longitudinal del túnel. A su vez, la ejecución del túnel, de acuerdo con los métodos seleccionados, puede condicionar la geometría de las estaciones. Es de un análisis conjunto del que debe resultar el trazado definitivo de la línea.

Las estaciones en subterráneo no dejan de tener afectaciones en la superficie por la ejecución de rampas, vestíbulos, ventilación, etc, provocando en ocasiones ocupaciones similares a las de las estaciones a cielo abierto. En este caso, todas las estaciones se ejecutarán mediante el método de cut & cover.

De otra parte, tanto las grandes ampliaciones de Metro como las más importantes infraestructuras ferroviarias que se están llevando a cabo o se han realizado en los últimos años en el mundo se caracterizan porque los túneles, incluso los de corta longitud, se realizan con el empleo de máquinas tuneladoras. Este método constructivo, le confiere a la obra garantías en el cumplimiento de los plazos, de los costos y, sobre todo, seguridad para el entorno y para los trabajadores que ejecutan el túnel y lo independiza, hasta cierto punto, de los cambios del terreno que se atraviesa.



El terreno de la ciudad de Quito es un suelo competente y por tanto idóneo para el empleo de este método constructivo. Las máquinas más adecuadas son las EPB's (Earth Pressure Balanced Machines: Escudos de Presión de Tierras).

Los métodos constructivos que fueron analizados, y que se detallan en el Capítulo 5 Descripción del Proyecto, permiten altos rendimientos y reducen las incertidumbres en la construcción de una obra que, por su amplitud, requiere procedimientos de construcción sistemáticos y que garanticen su éxito.

Estos otros procedimientos constructivos aplican para situaciones particulares, como pueden ser tramos de túnel excesivamente cortos que hacen inviable el empleo de la tuneladora (esta se recomienda en longitudes no inferiores a los 2.000 m), en fondos de saco de fin de línea, en galerías de accesos a estaciones, en desvíos de servicio y, en general, aquellas situaciones singulares en que puedan ser la mejor o, incluso, la única opción.

Estos métodos, además del empleo de la tuneladora que fueron analizados son: el Método Tradicional Madrileño, el túnel a cielo abierto ascendente y descendente y el Nuevo Método Austríaco (NATM).

Analizados los diferentes métodos constructivos a lo largo del trazado de la ruta, dio como resultado la siguiente evaluación:

FASE I Tramo 2 Solanda-La Magdalena. Dicho tramo incluye las estaciones de Solanda, El Calzado y El Recreo y 4.237 m de túnel. El túnel sería ejecutado mediante tuneladora, cuyo pozo de ataque es la estación de Solanda y cuyo pozo de salida se sitúa en la estación de La Magdalena. La tuneladora deberá ser arrastrada en El Calzado y El Recreo.

Dependiendo de los resultados del estudio geotécnico en la zona de El Panecillo, podría plantearse la alternativa de que en este tramo se ejecutara también la estación de La Magdalena y el tramo de túnel desde esta estación y un pozo de extracción que se situaría en la av. 24 de Mayo, antes de entrar al Centro Histórico. Esto incrementaría la longitud a ejecutar con la tuneladora en 2.315,5 m (6.552,5 m en total).

FASE I Tramo 3 La Magdalena-El Ejido. Dicho tramo incluye las cuatro estaciones de La Magdalena, San Francisco, La Alameda y El Ejido y los 5.040 m de túnel. El túnel se ejecutaría mediante método tradicional en mina (o belga), con frentes de ataque en cada una de las estaciones. En el caso del tramo La Magdalena-San Francisco, habrá que añadir ataques intermedios desde el pozo de ventilación, sensiblemente centrado en el trazado. De esta forma, resulta:

- Tramo La Magdalena-San Francisco (2.565 m), con 4 frentes de ataque: uno de La Magdalena hacia el pozo de ventilación, otros dos de dicho pozo a ambas estaciones, y un cuarto de San Francisco al pozo.

- Tramo San Francisco-La Alameda (1.396 m) con un frente de ataque en cada estación.
- Tramo La Alameda-El Ejido (1.079 m), con un frente de ataque desde cada estación.

En caso de que el tramo 2 se ejecute con tuneladora hasta la 24 de Mayo, este tramo 3 se reduciría notablemente (el tramo largo desaparecería y sólo incluiría un túnel del pozo de 24 de Mayo a San Francisco, de 249,5 m).

FASE I Tramo 4 El Ejido-Jipijapa. Dicho tramo incluye las cinco estaciones de Universidad Central, La Pradera, La Carolina, Ñaquito y Jipijapa, los 5.755 m de túnel que se construye entre El Ejido y Jipijapa y los 700 m de túnel de fondo de saco. El primer túnel se ejecutaría mediante tuneladora, cuyo pozo de ataque es la estación de Jipijapa y cuyo pozo de salida se sitúa en la estación de El Ejido. La tuneladora deberá ser arrastrada en Ñaquito, La Carolina, La Pradera y Universidad Central. El segundo túnel se ejecutará mediante método belga con tres frentes de ataque y finalizará en un espejo situado a 211 m del piñón de entrada de la estación de El Labrador, que se incluirá en la segunda fase del proyecto.

Se ha procurado que los cuatro tramos sean equivalentes, aunque el cuarto es más largo y tiene una estación más y el primer tramo es algo más corto aunque queda compensado con la cochera de Quitumbe, siendo mayor en este tramo el peso de trabajos "convencionales" que en los otros tres. El tramo 2 también es algo más largo que los tramos 3 y 4. En la Fase I por tanto va a ser necesario utilizar dos tuneladoras, siendo los nodos de actividad Solanda y Jipijapa.

La **FASE II** de construcción de la Primera Línea del Metro de Quito transcurre en su mayor parte bajo los terrenos del actual aeropuerto del Mariscal Sucre, por lo que mientras no esté plenamente operativo el nuevo aeropuerto internacional de Quito no podrá comenzar. Esta fase cuenta con 5,34 km de longitud y cinco nuevas estaciones por lo que se plantea sea ejecutada en un único tramo. Al ser el trazado longitudinal menos profundo se recomienda que en su mayor parte se ejecute mediante carro deslizante o mediante pantallas en una longitud de 4.875 m con ocho ataques (o cuatro, uno desde cada estación, con un plazo de ejecución doble) también se cuenta con 250 m de túnel a ejecutar mediante método belga, que se ejecutaría con un solo frente de ataque. En el extremo final de la Línea, tras la estación de La Ofelia se plantea un estacionamiento subterráneo capaz para doce trenes, que se ejecutaría mediante cut & cover.

4.8. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

El análisis de las tres alternativas se desarrolló a través de una metodología cualitativa y cuantitativa de probada validez, que incorporó aspectos técnicos económicos, ambientales, sociales y culturales. Se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Consideraciones de demanda



- Características del trazado
- Impactos ambientales
- Dificultad de construcción
- Costos de construcción
- Posibilidades de conflicto
- Bienes patrimoniales y/o culturales
- Beneficios sociales

De forma separada se realizó el análisis de alternativas para la ubicación de la/las escombreras, para lo cual, la caracterización de línea base de cada una de las áreas posibles fue fundamental.

En dicho análisis la participación del grupo de expertos fue de primordial importancia, así como el conocimiento técnico de las rutas y metodologías constructivas.

Como ya se indicado, el hecho de optar por una sola alternativa a partir de San Francisco se fundamenta en los siguientes puntos:

- Se considera imprescindible dar servicio en el Centro Histórico
- Se considera también muy importante pasar por El Ejido y la Universidad
- La terminal Norte-La Y del Trole es otro punto de paso obligado
- La oportunidad que ofrece la salida del aeropuerto debe ser tenida en cuenta
- Se considera que el desarrollo por el hipercentro de la línea debe hacerse por la Av. Amazonas y no por la 10 de Agosto, de forma que durante las obras el servicio del Trole no se vea afectado.

4.8.1. Criterios considerados

Se trata de elegir una de las tres alternativas preseleccionadas, las cuales fueron evaluadas con base en los siguientes criterios:

Características de la demanda:

- Ubicación de las centralidades y concentraciones de administración/ servicios.
- Nodos de generación actual y futura de movilidad de las personas y demanda de transporte.
- Geoingeniería:

- Seguridad y factibilidad geomorfológica, geológica / geotécnica/ geotectónica del subsuelo y su condición sísmica e hidrogeológica.
- Limitaciones topográficas y accidentes geográficos de efecto geométrico y constructivo.

Infraestructura:

- Redes de telecomunicaciones, agua potable y alcantarillado
- Construcciones civiles, obra pública existente y proyectada.
- Vialidad y articulación de la red actual del transporte de la ciudad.

Espacio Urbano:

- Equipamiento, desarrollo urbanístico y tendencia de crecimiento habitacional.
- Limitaciones de diseño como radios mínimos, clotoides, longitudes mínimas de recta, etc.
- Disponibilidad de espacios físicos para la ubicación y construcción de estaciones, talleres y cocheras de la Primera Línea del Metro de Quito.
- Requerimientos de interconectividad de futuras ampliaciones de la Primera Línea del Metro de Quito.

Aspectos Ambientales, Sociales y Patrimoniales:

- Identificación y evaluación de los posibles impactos al ambiente, sociales y al patrimonio de la ciudad.
- Áreas de posible expropiación.

4.8.2. Análisis multicriterio

Para realizar el análisis multicriterio, se optó por el método AHP (The Analytical Hierarchy Process) de Thomas Saaty.

Este método está diseñado para cuantificar juicios u opiniones gerenciales (elementos cualitativos o subjetivos) sobre la importancia relativa de cada uno de los criterios que intervienen en un proceso de decisión. De forma genérica, las etapas del método AHP son las siguientes:

1. Descomponer el problema de decisión en una jerarquía de elementos interrelaciones, identificando: OBJETIVO O META, CRITERIOS que intervienen en la decisión, y ALTERNATIVAS sobre las que decidir

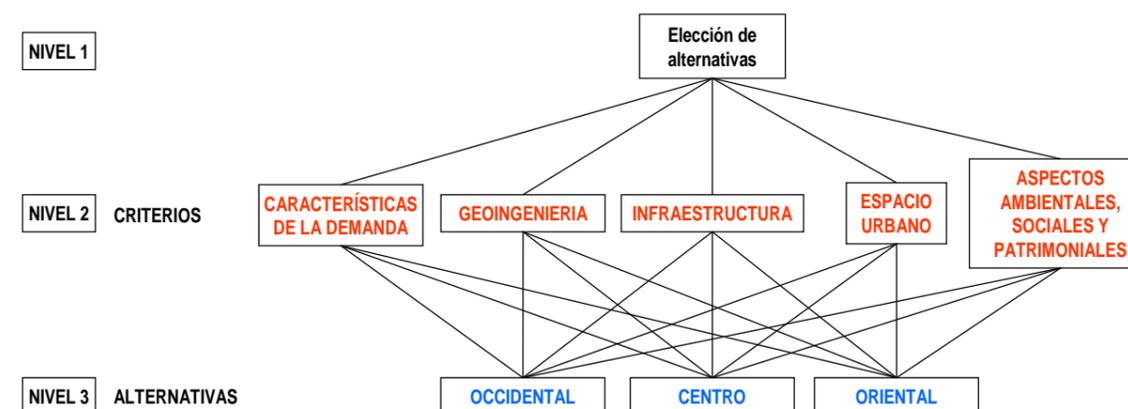


2. Desarrollar una MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS por pares, estableciendo un rating de importancia relativa de un criterio con otro. Dicho rating se establece usando la siguiente escala cualitativa:

- 1 = igualmente preferida
- 2 = moderadamente preferida
- 3 = fuertemente preferida
- 4 = muy fuertemente preferida
- 5 = extremadamente preferida

3. Obtener la matriz de comparación de criterios NORMALIZADA, dividiendo cada celda de una columna por la suma de esa columna
4. Desarrollar el VECTOR DE PESOS para cada CRITERIO, obtenido como el promedio de cada fila de la matriz de criterios normalizada
5. Para cada CRITERIO, desarrollar una MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES de Alternativas, al igual que se hace con los criterios
6. Para cada CRITERIO, desarrollar la matriz de comparación por pares NORMALIZADA
7. Para cada CRITERIO, obtener un VECTOR DE PESOS o PRIORIDAD por Alternativas
8. Desarrollar una matriz de PRIORIDAD de CRITERIOS por ALTERNATIVAS
9. Por último, multiplicando esta matriz por el vector de pesos de cada criterio (paso 4) se obtiene la PONDERACIÓN GLOBAL de cada alternativa

Figura 4.3 Representación de la estructura jerárquica del problema dentro del enfoque de Thomas Saaty



Fuente: Thomas Saaty

Se observa que el primer nivel o jerarquía de la estructura corresponde al propósito del problema, el segundo nivel a los criterios adoptados y el tercer nivel a las alternativas o elecciones posibles.

4.8.3. Matriz de criterios

A continuación se expone los valores subjetivos que ha emitido el centro decisor para la conformación de la matriz de preferencias sobre los criterios adoptados.

Al tratarse (el proceso de decisión) de la construcción de una infraestructura de transporte público urbana, el criterio de demanda es claramente el más importante frente a cualquier otro criterio. El objetivo de la línea es llegar al mayor número posible de potenciales viajeros. Una demanda baja inutilizaría el sistema, frente a la actual oferta de los sistemas BRT.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS	CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA	GEOINGENIERÍA	INFRAESTRUCTURA	ESPACIO URBANO	ASPECTOS AMBIENTALES, SOCIALES Y PATRIMONIALES
CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA	1	5	2	3	4
GEOINGENIERÍA	1/5	1	1/4	1/3	1/2
INFRAESTRUCTURA	1/2	4	1	2	5
ESPACIO URBANO	1/3	3	1/2	1	2
ASPECTOS AMBIENTALES, SOCIALES Y PATRIMONIALES	1/4	2	1/5	1/2	1



El criterio de infraestructura es, jerárquicamente, el segundo más importante, especialmente por lo que se refiere a la integración física con la red actual de transporte (cómo resolver la intermodalidad) y la afectación a los grandes sistemas de colectores de la ciudad. La intermodalidad está íntimamente relacionada con la capacidad de captar demanda, puesto que el comportamiento de la movilidad de la ciudad de Quito tiene en las grandes estaciones de intercambio un pilar fundamental (El Recreo, La Y, La Marín, La Alameda).

En tercer lugar se ha considerado el criterio de espacio urbano, en cuanto a la disponibilidad física de espacio para ejecutar las obras (que las estaciones previstas se puedan ubicar geométricamente en espacios disponibles), que los ejes recomendados puedan desarrollarse geométricamente cumpliendo parámetros de trazado ferroviario, etc.

En cuarto lugar, se ha considerado el criterio ambiental, social y patrimonial. En general, sobre todo en fase de funcionamiento, muchos de los impactos serán positivos puesto que permitirán reducir las emisiones de gases, ruido, tiempos de viaje, etc. Aunque también hay impactos negativos durante la construcción, fundamentalmente debidos al posible impacto sobre el tráfico y a los excedentes de tierras debido a la excavación.

Los criterios de geingeniería se han considerado los últimos. A pesar de que a priori tienen gran importancia en una obra subterránea, sobre todo para la ejecución, se ha determinado que puede supeditarse al resto de criterios, puesto que de forma preliminar no va a condicionar la viabilidad del proyecto, algo que sí puede ocurrir con el resto de factores.

Una vez evaluados por pares los criterios, hay que obtener la matriz normalizada:

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS	CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA	GEOINGENIERÍA	INFRAESTRUCTURA	ESPACIO URBANO	ASPECTOS AMBIENTALES, SOCIALES Y PATRIMONIALES
CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA	0,438	0,333	0,506	0,439	0,320
GEOINGENIERÍA	0,088	0,067	0,063	0,049	0,040
INFRAESTRUCTURA	0,219	0,267	0,253	0,293	0,400
ESPACIO URBANO	0,146	0,200	0,127	0,146	0,160
ASPECTOS AMBIENTALES, SOCIALES Y PATRIMONIALES	0,109	0,133	0,051	0,073	0,080

Se calculan a continuación los pesos que cada criterio va a adquirir para la ponderación de las alternativas, consistentes con las preferencias subjetivas mostradas por el centro decisor en la matriz anterior:

VECTOR DE PESOS	W _i
CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA	0,4073
GEOINGENIERÍA	0,0613
INFRAESTRUCTURA	0,2863
ESPACIO URBANO	0,1558
ASPECTOS AMBIENTALES, SOCIALES Y PATRIMONIALES	0,0893

4.8.4. Matriz de alternativas

Determinados los ponderadores del nivel jerárquico 2, el paso siguiente consiste en interaccionar nuevamente con el centro decisor, pero ahora en el nivel jerárquico 3. Para ello el centro decisor muestra sus juicios de valor cuando se confronte cada alternativa con cada criterio. Las cinco matrices de comparación resultantes para el tercer nivel son:

Criterio: Características de la demanda

DEMANDA	OCCIDENTAL	CENTRO	ORIENTAL
OCCIDENTAL	1	1/3	1/2
CENTRO	3	1	1
ORIENTAL	2	1	1

La alternativa centro es claramente mejor que la occidental, puesto que penetra mejor en Solanda, y además la Occidental no pasa por El Recreo. La oriental (que sigue más o menos El Trole) y la Centro son igualmente preferidas, y la Oriental es mejor que la Occidental por pasar por El Recreo.

Criterio: Geingeniería

GEOINGENIERÍA	OCCIDENTAL	CENTRO	ORIENTAL
OCCIDENTAL	1	1	1
CENTRO	1	1	2
ORIENTAL	1	1/2	1



Desde el punto de vista de la geoingeniería, todas las alternativas son igualmente preferibles entre sí, salvo la centro con la oriental, prefiriendo aquella por poder acometer mejor el cruce del río Machángara entre Solanda y El Calzado.

Criterio: Infraestructura

INFRAESTRUCTURA	OCCIDENTAL	CENTRO	ORIENTAL
OCCIDENTAL	1	1/3	1/2
CENTRO	3	1	2/3
ORIENTAL	2	3/2	1

Respecto a la infraestructura, la Occidental es la peor porque gran parte de su desarrollo interfiere con la infraestructura del corredor sur-occidental, que debería abandonarse en ese tramo. La oriental es algo mejor que la centro por la menor afectación a colectores y quebradas.

Criterio: Espacio urbano

ESP. URBANO	OCCIDENTAL	CENTRO	ORIENTAL
OCCIDENTAL	1	1/3	1
CENTRO	3	1	2
ORIENTAL	1	1/2	1

La oriental y la occidental son similares, presentando similares trazados y similares dificultades en el encaje de estaciones. La centro es mucho mejor que la occidental por la mejor disposición para ejecutar la estación de La Magdalena y Solanda, y algo mejor que la oriental por la mejor disposición para ejecutar la estación de El Calzado.

Criterio: Aspectos ambientales, sociales y patrimoniales

AMBIENTAL	OCCIDENTAL	CENTRO	ORIENTAL
OCCIDENTAL	1	1	1
CENTRO	1	1	2/3
ORIENTAL	1	3/2	1

Desde el punto de vista ambiental, la alternativa oriental y la occidental son similares, así como la centro y la occidental. La oriental se considera algo mejor que la centro por generar menores áreas de expropiación.

A continuación, criterio a criterio, hay que normalizar las matrices de comparación para obtener los vectores de prioridad:

DEMANDA	OCCIDENTAL	CENTRO	ORIENTAL	PESOS
OCCIDENTAL	0,16667	0,14286	0,20000	0,1698
CENTRO	0,50000	0,42857	0,40000	0,4429
ORIENTAL	0,33333	0,42857	0,40000	0,3873
GEOINGENIERÍA	OCCIDENTAL	CENTRO	ORIENTAL	PESOS
OCCIDENTAL	0,16667	0,42857	0,20000	0,2651
CENTRO	0,16667	0,42857	0,80000	0,4651
ORIENTAL	0,16667	0,21429	0,40000	0,2603
INFRAESTRUCTURA	OCCIDENTAL	CENTRO	ORIENTAL	PESOS
OCCIDENTAL	0,16667	0,14286	0,20000	0,1698
CENTRO	0,50000	0,42857	0,26667	0,3984
ORIENTAL	0,33333	0,64286	0,40000	0,4587
ESP. URBANO	OCCIDENTAL	CENTRO	ORIENTAL	PESOS
OCCIDENTAL	0,16667	0,14286	0,40000	0,2365
CENTRO	0,50000	0,42857	0,80000	0,5762
ORIENTAL	0,16667	0,21429	0,40000	0,2603
AMBIENTAL	OCCIDENTAL	CENTRO	ORIENTAL	PESOS
OCCIDENTAL	0,16667	0,42857	0,40000	0,3317
CENTRO	0,16667	0,42857	0,26667	0,2873
ORIENTAL	0,16667	0,64286	0,40000	0,4032

4.8.5. Ponderaciones

El paso siguiente consiste en obtener un sistema de ponderaciones para cada una de las alternativas según cada criterio, que resulte consistente con las preferencias subjetivas mostradas por el centro decisor y recogida en la matriz de comparación "por parejas" de los cuadros anteriores, obteniéndose lo siguiente:



ALTERNATIVAS	CRITERIOS				
	CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA	GEOINGENIERÍA	INFRAESTRUCTURA	ESPACIO URBANO	ASPECTOS AMBIENTALES, SOCIALES Y PATRIMONIALES
OCCIDENTAL	0,1698	0,2651	0,1698	0,2365	0,3317
CENTRO	0,4429	0,4651	0,3984	0,5762	0,2873
ORIENTAL	0,3873	0,2603	0,4587	0,2603	0,4032
PONDERACIONES DE CADA CRITERIO	0,4073	0,0613	0,2863	0,1558	0,0893

La descripción detallada de esta Alternativa 1 seleccionada se presenta en el siguiente Capítulo 5 Descripción del Proyecto.

A continuación se incluyen fotos tomadas de la página web Google Earth donde se muestra el trazado de esta alternativa seleccionada. De igual manera, en la Figura 4.3 se muestra el trazado definitivo y los métodos constructivos a utilizar.

Una vez obtenidos los estimadores de los ponderadores para los niveles jerárquicos 2 y 3, el paso siguiente (y último) consiste en obtener unos ponderadores globales para ambos niveles de jerarquía. Esta tarea se aborda por medio de una agregación multiplicativa entre niveles jerárquicos, recogiendo el resultado final de los ponderadores globales en el siguiente cuadro:

ALTERNATIVAS	Agregación multiplicativa	PONDERADORES GLOBALES
OCCIDENTAL	$0,1698 \cdot 0,4073 + 0,2651 \cdot 0,0613 + 0,1698 \cdot 0,2863 + 0,2365 \cdot 0,1558 + 0,3317 \cdot 0,0893 =$	0,2005
CENTRO	$0,4429 \cdot 0,4073 + 0,4651 \cdot 0,0613 + 0,3984 \cdot 0,2863 + 0,5762 \cdot 0,1558 + 0,2873 \cdot 0,0893 =$	0,4384
ORIENTAL	$0,3873 \cdot 0,4073 + 0,2603 \cdot 0,0613 + 0,4587 \cdot 0,2863 + 0,2603 \cdot 0,1558 + 0,4032 \cdot 0,0893 =$	0,3816

En conclusión, la instrumentalización de las preferencias del centro decisor por medio del método AHP (Thomas Saaty) conduce a considerar la alternativa CENTRO como la mejor solución.

4.9. ALTERNATIVA SELECCIONADA

Luego de estudiadas y analizadas cada una de las alternativas en función de las características físicas, bióticas y socio culturales del proyecto, de los métodos constructivos y utilizando el método AHP, se eligió la Alternativa 1 (Centro) por ser la más viable tanto actualmente como a futuro, considerando la demanda de servicio de transporte masivo y la reestructuración del sistema de transporte actual en la ciudad de Quito, así como también por la posibilidad de la construcción de futuras líneas del Metro que complementen y mejoren aún más el transporte masivo.



Figura 4.4: Trazado de la alternativa seleccionada y métodos constructivos a emplear



Fuente: Metro Quito