



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

IDENTIFICACIÓN DE TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS ÓPTIMAS PARA EXCAVACIONES
SUBTERRÁNEAS EN CIUDADES CON ACCIDENTES GEOGRÁFICOS COMO QUITO.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Tecnólogo en Construcciones y Domótica.

Profesor Guía
Ing. Richard Zurita

Autor
Marcelo Guachamín Chiguano

Año
2016

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Richard Zurita
Ingeniero Topógrafo
C.I. 170932831-2

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes

Marcelo Guachamín Chiguano
C.I. 171025295-6

AGRADECIMIENTOS

Sincero agradecimiento a mi profesor guía, Ing. Richard Zurita por la paciencia y sabiduría, que han permitido plasmar el presente trabajo de titulación.

DEDICATORIA

A mi esposa Cecilia, a mis hijos Belén, Heidi y Joel (+), quienes han sido la parte sacrificada de ésta aventura, por no haber podido darles mi tiempo y esfuerzo, y por creer en mí, constituyéndose en el puntal para continuar esta etapa de mi vida universitaria que quedó inconcluso durante muchos años.

A mis padres, Segundo y Elena, quienes la Divina Misericordia, me ha permitido tenerlos todavía conmigo, por sus consejos y permanente apoyo.

RESUMEN

Los proyectos de construcción de túneles y de obras subterráneas ocasionalmente se repiten, a pesar de que todos tengan principios genéricos comunes, pueden ser diferentes uno del otro; por lo que el riesgo a generalizar en ésta clase de construcciones puede llevarnos a fallos de graves consecuencias.

El Ecuador de los últimos años vive un cambio de época, donde la estabilidad económica y política y basada en el Plan Nacional del Buen Vivir que promueve la Constitución del año 2008, pretende ser un modelo de vida o de desarrollo más justo, más sustentable, más ecológico, originado por el Estado y la sociedad en general. Es así como los GAD's (Gobiernos Autónomos Descentralizados) enfrentan los grandes problemas locales y buscan soluciones técnicas y permanentes a los mismos, independientemente de que sus administraciones se mantengan.

El Distrito Metropolitano de Quito desde el año 2009, inició una serie de estudios a fin de buscar las mejores alternativas para la caótica movilidad que enfrenta la Capital de la República, por tener una particularidad de ciudad longitudinal asentada en la cuenca del mismo nombre, de difícil topografía, dividida por el río Machángara y transversalmente diferenciada por El Panecillo, y cuyo suelo predominante es la cangahua, producto de arcillas, arenas, cenizas y más sedimentos propios de erupciones de sus volcanes colindantes. Los estudios determinaron el trazado más óptimo para la mejor solución vial: el tren rápido subterráneo.

El presente proyecto de titulación, describe las principales técnicas de excavación subterráneas conocidas y aplicadas en el mundo, y propone aquellas que puedan utilizarse a futuro en la ciudad de Quito estableciendo conclusiones y recomendaciones para la ejecución un proyecto vial que solucione su movilidad, reduzca la contaminación ambiental, y garantice la no afectación de su Centro Histórico, proclamado Patrimonio de la Humanidad por la Unesco, en 1978.

ABSTRACT

The construction of tunnels and underground works projects occasionally are repetitive, although everyone generic principles, they may be different from each other; by what the risk of generalizing in this class of buildings can lead us to failure of serious consequences.

In recent years Ecuador lives an epochal change, where the economic and political and stability based on the National Plan of the “Good Living” promoting the Constitution of 2008, aims to be a model of life or more sustainable, greener, fairer development caused by the State and society in general. This is how the GAD’s (Decentralized Autonomous Governments) face the big local problems and seek technical and permanent solutions about them, regardless of their administrations are maintained.

The Metropolitan District of Quito city, since 2009, started many studies in order to find the best alternatives for chaotic mobility facing the Capital of the Republic, by having a special feature of longitudinal city, settled in the basin of the same name, of difficult topography, divided by the Machángara River and transversely differentiated by El Panecillo, and the predominant soil is the “cangahua” product of clays, sands, ashes and more sediments of eruptions of nearby volcanoes. Studies determined the most optimal layout for the best road solution: the underground train.

This present degree project, describes the main underground excavation techniques known and applied in the world, and offers conclusions and recommendations for the implementation which can be used in the future in the Quito city, establishing a road project that solve your mobility, reduce environmental pollution, and ensuring non-involvement of its Historic Center, proclaimed Word Heritage Site by Unesco, in 1978.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo I MARCO TEÓRICO Y DEFINICIONES.....	3
1.1. CARTOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA SUBTERRÁNEA.....	3
1.1.1. CARTOGRAFÍA.....	3
1.1.1.a) DEFINICIÓN.....	3
1.1.2. TOPOGRAFÍA SUBTERRÁNEA.....	6
1. 2. SISTEMAS DE EXCAVACIÓN.....	7
1.2.1. VÍAS DE PENETRACIÓN EN EL SUBSUELO.....	7
1.2.2. MÉTODOS TOPOGRÁFICOS SUBTERRÁNEOS. DISPOSICIÓN DE LAS REDES.....	14
1.3. ELEMENTOS INVOLUCRADOS EN UNA EXCAVACIÓN....	16
1.4. PROCESOS DE EXCAVACIÓN.....	17
1.4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES.....	18
CAPÍTULO II: OBSERVACIONES DE CAMPO.....	19
2.1. INTRODUCCIÓN.....	19
2.2. GEOLOGÍA LOCAL.....	19
2.2.1. ANTECEDENTES.....	19
2.2.3. GEOLOGÍA EN QUITO.....	24
2.3. TRÁFICO VIAL SUBTERRÁNEO PARA QUITO.....	32
2.3.1. ANTECEDENTES.....	32
2.3.2. DESCRIPCIÓN ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO.....	33
2.4. REQUERIMIENTOS PARA UNA SOLUCIÓN ÓPTIMA.....	35
CAPÍTULO III: ENFOQUE DE SOLUCIÓN.....	37
3.1. DESCRIPCIÓN DEL TRAZADO VIAL.....	37
3.1.1. ANTECEDENTES.....	37
3.1.2. CONDICIONANTES.....	37

3.1.3. IDENTIFICACIÓN DE LA MEJOR OPCIÓN PARA EL TRAZADO VIAL.....	40
3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL METRO DE QUITO.....	43
3. 2.1. GENERALIDADES SOBRE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES.	43
3.2.2. FASES CONSTRUCTIVAS DE UN TÚNEL.....	46
3.3. ESTABLECIMIENTO DE LAS MEJORES CONDICIONES DE TRABAJO.....	63
3.3.1. INTRODUCCIÓN.....	63
3.3.2. REQUERIMIENTOS LEGALES.....	64
3.3.3. IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS A LA SALUD OCUPACIONAL.....	64
3.3.4. POLÍTICA DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO.....	66
3.3.5. PROTECCIÓN COLECTIVA E INDIVIDUAL.....	67
CAPÍTULO IV.COMPARACIÓN ENTRE LAS TÉCNICAS DE EXCAVACIÓN.....	71
4.1. PARÁMETROS DE COMPARACIÓN.....	71
4. 2. ELABORACIÓN DE UNA MATRIZ DE SELECCIÓN.....	73
4.2.1. ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.....	74
4.3. IDENTIFICACIÓN DE LA MEJOR OPCIÓN.....	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
CONCLUSIONES.....	98
RECOMENDACIONES.....	100
REFERENCIAS.....	102
ANEXOS	104

INTRODUCCIÓN.

El elaborado proyecto de titulación es un ensayo descriptivo de los aspectos competentes obligatorios en el proceso constructivo de una obra subterránea requerida en la ciudad de Quito-Ecuador; el mismo que siendo registrado en una memoria técnica aspira ser considerado como un medio de referencia y consulta para profesionales con formación técnica en construcciones civiles y que deseen tener un punto de vista sobre los métodos constructivos que se pueden utilizar en una excavación subterránea en una ciudad como Quito, de variada topografía y de condiciones geotécnicas muy particulares.

Fundamentalmente se ha basado en una recopilación y análisis de estudios ya realizados tanto por la Municipalidad y entidades privadas, y que están disponibles en revistas, publicaciones, libros y otros. Pasa por una modesta participación de campo debido a inaccesibilidad en la fuente, y por tener la ciudad y el país en general una limitada experiencia en éste campo.

Definido el trazado vial subterráneo terminante, el presente documento llega a analizar las diferentes alternativas para el o los métodos constructivos adecuados para la ejecución de una solución vial diferente para la particularidad de Quito, utilizando el método de análisis multicriterios (AHP) de Thomas Saaty.

OBJETIVOS:**OBJETIVO GENERAL:**

Identificar las mejores técnicas de excavación subterránea que pueden ser aplicadas para la construcción de soluciones viales en la ciudad de Quito.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ❖ Describir las principales técnicas de excavación subterránea que se pueden usar en ciudad de Quito.
- ❖ Proponer las mejores opciones para proyectos futuros de excavación subterránea aplicados a proyectos viales dentro de la ciudad de Quito.
- ❖ Comparar las diferentes técnicas de excavación subterráneas que son aplicables a obras de construcción de vías en la ciudad de Quito.
- ❖ Establecer conclusiones y recomendaciones para un proyecto vial subterráneo para la ciudad de Quito.

ALCANCE:

El presente proyecto de titulación es un ensayo planificado y descriptivo de los aspectos técnicos necesarios en el proceso constructivo de una obra subterránea de ingeniería civil requerida para la ciudad de Quito-Ecuador, el mismo que quedará registrado en una memoria técnica y que puede ser usado como un documento de consulta y referencia para profesionales con formación técnica en construcciones civiles.

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Canalizar a los profesionales de las construcciones civiles información estandarizada que describen de forma amplia las técnicas de excavación subterránea.

JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Identificar de manera práctica las técnicas de excavación subterráneas que pueden ser utilizadas en proyectos de soluciones viales dentro de la ciudad de Quito.

Capítulo I MARCO TEÓRICO Y DEFINICIONES.

1.1. CARTOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA SUBTERRÁNEA.

1.1.1. CARTOGRAFÍA.

1.1.1.a) DEFINICIÓN.

Cartografía, viene de los vocablos griegos *Chartis* y *graphein* que significan mapa y escrito respectivamente, por lo que se entiende que es la ciencia del estudio y el desarrollo de mapas geográficos.

Los adelantos tecnológicos conseguidos en la cartografía como la brújula, la imprenta, el telescopio, el sextante, los satélites, escáneres, las computadoras y software; han permitido que los mapas comerciales tengan actualmente una altísima calidad, definiéndose tres vías principales de ejecución: Diseño asistido por ordenador (DAO), Software de ilustración especializada; y, Método o Sistema de información geográfica (SIG).

1.1.1.b) TIPOS DE MAPAS.

A la Cartografía se la puede dividir en dos grandes grupos:

- ❖ Cartografía general, encargada de la preparación de mapas para una audiencia general con varias referencias o características. Ej.: mapamundis, mapas de un país, etc.

- ❖ Cartografía temática, encargada de elaborar mapas geográficos específicos para audiencias delimitadas. Ej.: mapas con cultivos de papa en la provincia del Carchi, o barrios de Quito donde predomina la población afro descendiente.

Otra distinción adicional puede realizarse entre los mapas topográficos que tratan sobre la descripción topográfica de un territorio, ej.: mapa físico de Quito; y, mapas topológicos que desestiman las escalas o los detalles geográficos para centralizarse en la información que difunden, ej.: mapa del metro de Londres, considerado como uno de los mejores diseños de mapas funcionales,

que maneja un diagrama esquemático para instruir las redes de transporte, predominando la comprensión frente a la realidad geográfica).

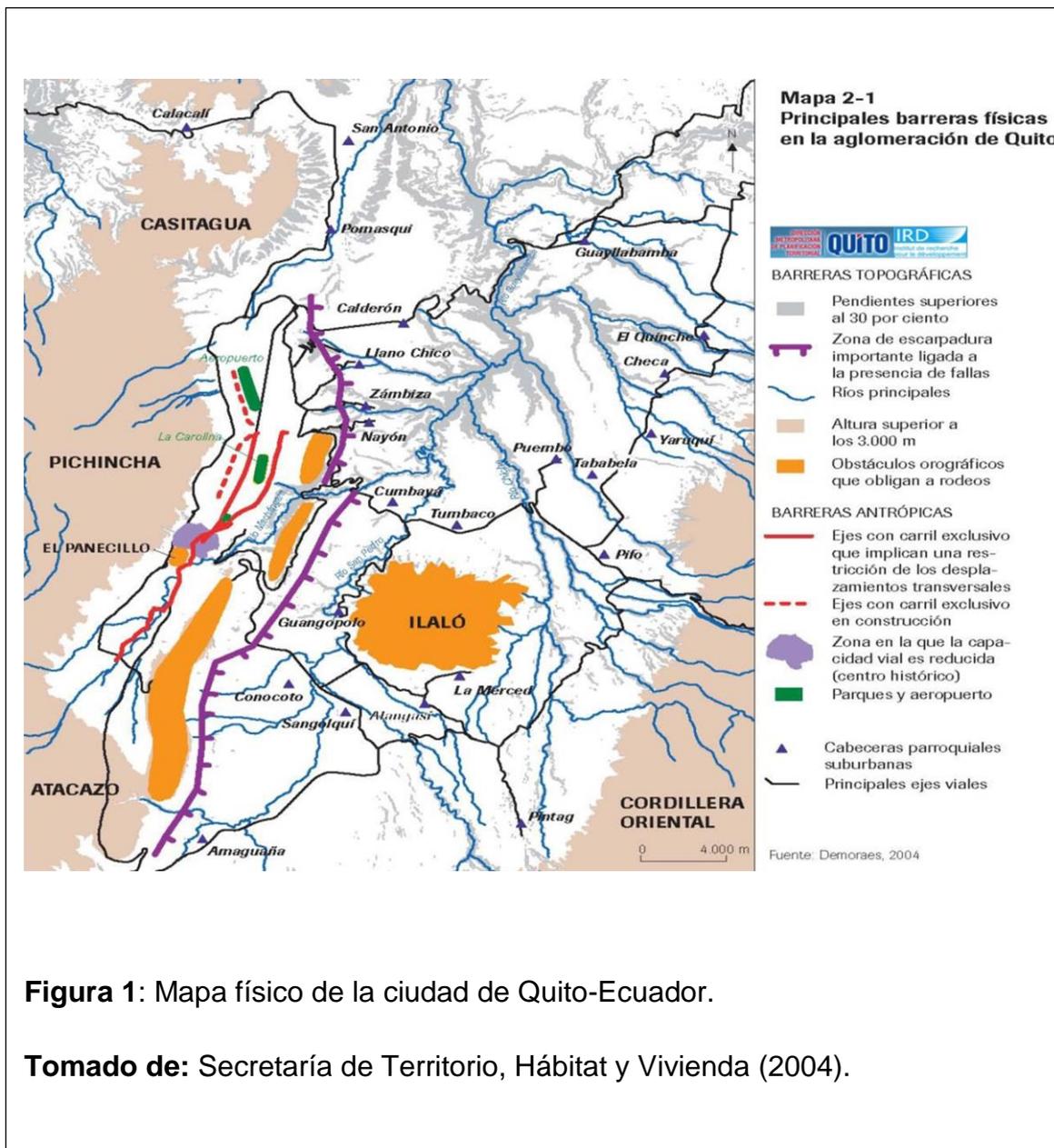


Figura 1: Mapa físico de la ciudad de Quito-Ecuador.

Tomado de: Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda (2004).



Figura 2: Mapa topológico Tren de Madrid-España.

Tomado de: EMT Madrid (2010).

1.1.2. TOPOGRAFÍA SUBTERRÁNEA.

”En el interior de las minas es muy fácil desorientarse cuando no se ha adquirido una práctica en trabajos de interior y está demostrado que un técnico no especializado en levantamientos topográficos subterráneos se desorienta con suma facilidad y le resulta muy difícil la realización de las operaciones topográficas en galerías, túneles o en las explotaciones del interior de las minas. Es por ello que resulta indispensable dotar a los técnicos que han de realizar estos trabajos de unos conocimientos y de una especialización en las técnicas modernas que les permitan realizar, con facilidad y eficacia, cualquier trabajo topográfico en el subsuelo”... (Estruch y Tapia, 2003, p. 19).

Entonces, a la topografía subterránea se la razona como una aplicación práctica de la topografía habitual sobre superficie desplegada en un medio físico distinto de trabajo, por lo que los procedimientos, maquinarias e instrumentos utilizados en superficie son utilizados con una aplicación especial. Los aparatos topográficos utilizados bajo superficie deben tolerar golpes y sacudidas, ser resistentes a la corrosión y deterioro por el ambiente húmedo de trabajo, fáciles de manejo y manipulación, así como ser confiables e invulnerables.

Las oposiciones de las construcciones subterráneas con relación a las obras sobre superficie, desde el punto de vista de la topografía son:

Iluminación. Habitualmente en las construcciones subterráneas se trabaja con luz artificial que usualmente es deficiente; por lo que es obligatorio añadir luminaria específica y adaptable para los dispositivos topográficos y el entorno en general.

Temperatura. Asociada a la humedad, genera situaciones de trabajo adversas para los trabajadores y operarios de máquinas y puede afectar a los equipos provocando su deterioro y mal funcionamiento.

Espacios reducidos. En donde existen maquinaria y vehículos en movimiento, por lo que los puntos de estación habitualmente se colocan de forma atípica incrustados en los hastiales, colgando de la bóveda o sobre rieles elevados.

Polvo y gases nocivos. Generan condiciones adversas y a veces peligrosas para la salud de los trabajadores y operarios, por lo que es necesaria una adecuada ventilación.

Levantamiento y replanteo de puntos. Generalmente de difícil accesibilidad, por la estrechez de la galería o porque la estación no se puede ubicar sobre el eje en rasante de excavación.

Comunicación desde el exterior al interior. Los trabajos topográficos de enlace entre las labores mencionadas pueden verse afectadas, en especial la transmisión de orientación y datos al interior. El uso de radioteléfonos es de gran ayuda.

La complejidad de las labores de interior. Dificultan la ejecución de los trabajos topográficos, como el replanteo de nuevas labores.

1. 2. SISTEMAS DE EXCAVACIÓN.

1.2.1. VÍAS DE PENETRACIÓN EN EL SUBSUELO.

El establecimiento de una red subterránea planificada permitirá el acceso y movilidad del personal, maquinaria y material, así como una adecuada ventilación e iluminación creando una atmósfera segura para el trabajo, con medios para eliminar los contaminantes.

Según la inclinación y la dirección de avance del frente de excavación, las vías de penetración subterráneas pueden clasificarse en pozos, galerías, chimeneas y rampas.

a) POZOS.

Son excavaciones generalmente verticales, cuya función principal es la comunicación entre el exterior y el interior, o entre las distintas plantas dentro del subsuelo. El pozo se utiliza para la extracción de rocas y minerales, el descenso o subida de personal y material de trabajo, ventilación, etc.

Las formas más usuales los pozos son circulares, rectangulares y elípticas. En Europa, la sección más utilizada es la circular, por ser la sección que mejor resiste a las presiones del terreno, su diámetro es muy variable, desde 1 ó 2 metros, hasta 8 ó 10 metros en minas importantes. En América, las secciones rectangulares tienen mejor aprovechamiento, siendo las dimensiones más comunes de 5 por 4 metros, aunque el lado mayor puede llegar hasta los 12 metros. La forma elíptica es menos usual y utilizada para la ejecución de pozos interiores y en su zona más reducida resiste las máximas presiones.

Los pozos pueden alcanzar decenas y centenas de metros de profundidad.

Para asegurar la conservación de los pozos se revisten con diferentes materiales como el hormigón y el acero, denominándose sostenimiento o entibación. Si es con dovelas (pieza para formar arcos o círculos) de hormigón prefabricado que se unen entre sí y al anillo posterior y siguiente; y si el sostenimiento es con acero será en tramos de cilindro soldados entre sí.

Sobre la entibación se anclan unas guías metálicas para el ascenso y bajada de las jaulas. Junto a las guías se bajan tuberías de agua potable, aire comprimido y líneas de cables eléctricos. Ver figura 3.



b) GALERÍAS

Son pasos subterráneos que permiten la preparación de los túneles, el acceso del personal al frente de trabajo, el transporte del material, del mineral, etc. En las galerías se sitúan las vías, bandas transportadoras, cables eléctricos, tuberías de aire comprimido, etc. El tamaño de la sección de una galería es variable, pues depende de la finalidad a la que se destine.

Cuando las presiones del terreno lo exigen las galerías son fortificadas mediante sostenimiento o entibación. Aquellas galerías principales que deben ser conservadas permanentemente se enmarcan con cerchas metálicas (delgadas vigas metálicas con forma curva) colocadas a pocos metros y reforzadas con hormigón. El arco superior o corona, se une a los marcos laterales llamados pies de arco por medio de pernos especiales. (Figura 4).

La evacuación de las aguas se realiza por medio de cunetas de anchura adecuada y pendiente regular para que haga su trabajo la gravedad.

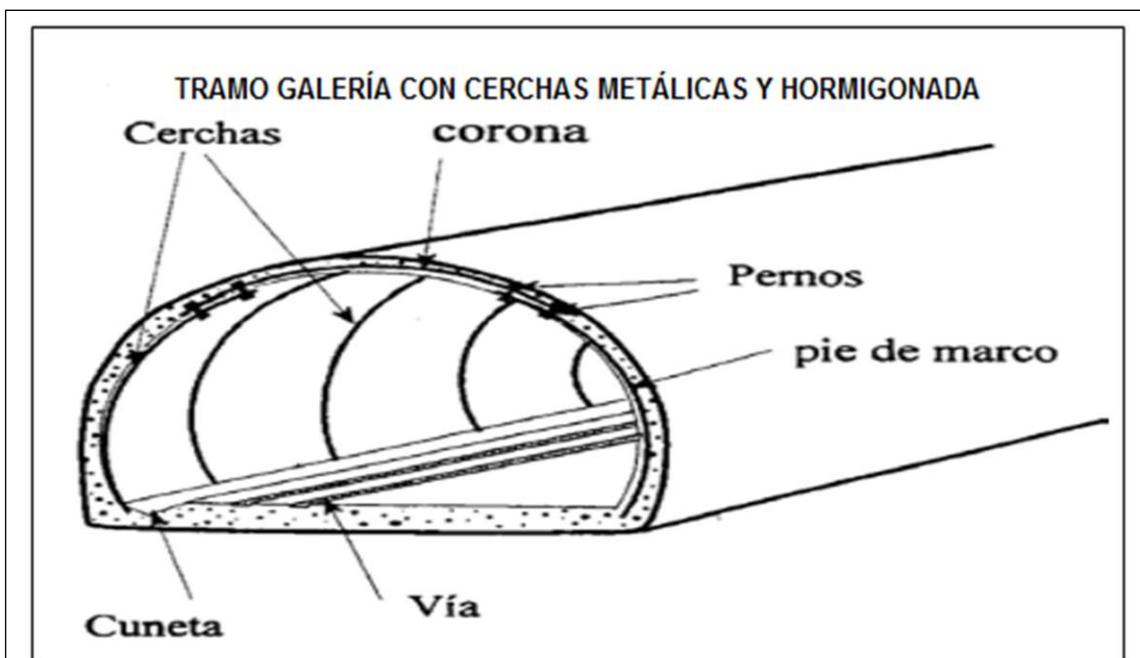


Figura 4: Galería con cercha metálica y hormigonada.

Tomado de: Estruch, M. y Tapia, A. (2003).

Otra forma de sostenimiento es el empernado o bulonado, consistente en aplicar unos taladros en las zonas requeridas e introduciendo unos pernos de 1 a 4 metros de profundidad, según la resistencia de la roca, y cuya punta del perno se abre al apretar, lo que se produce al enroscar una tuerca en el otro extremo, separada de la bóveda de la galería por una placa inmovilizadora. Para una correcta fijación se utilizan unas cargas de resina en el fondo del taladro que se rompen al introducir el perno y rellenan la zona disponible fraguando en pocos minutos. (Ver figura 5).

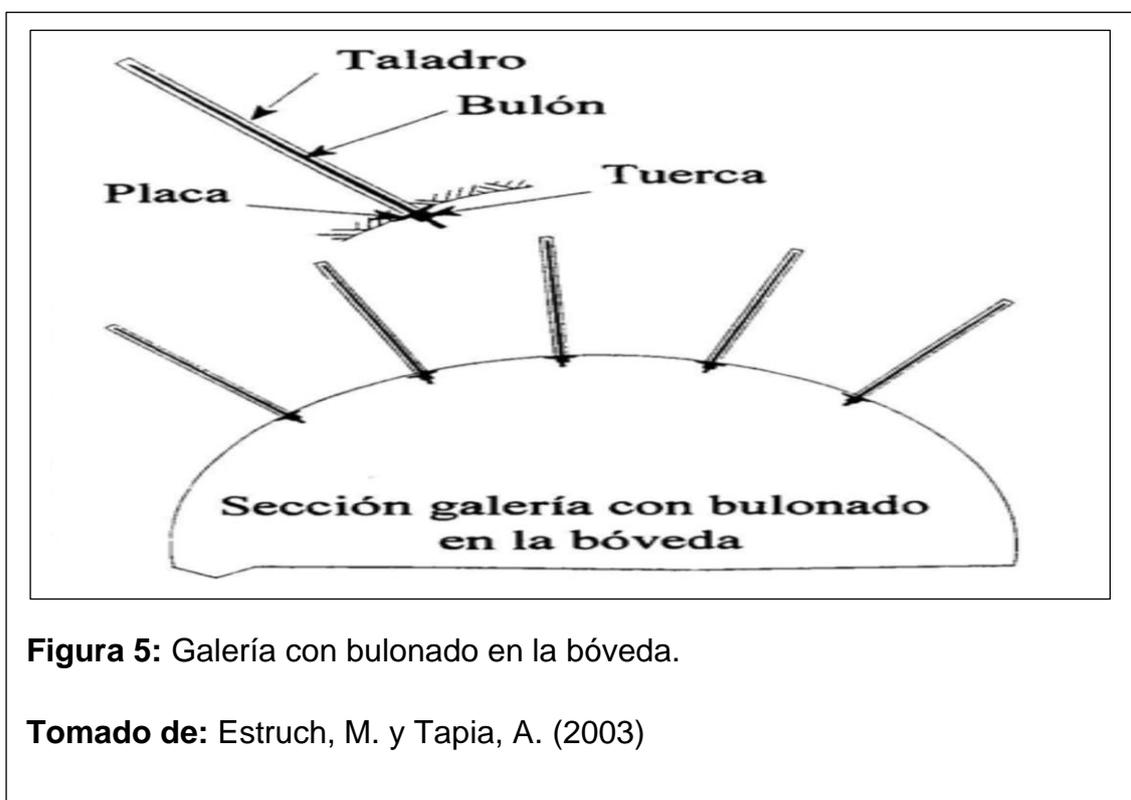


Figura 5: Galería con bulonado en la bóveda.

Tomado de: Estruch, M. y Tapia, A. (2003)

Las técnicas de excavación dependen del tipo de terreno; para ello se utiliza maquinaria rotativa (rozadoras), o por percusión (máquina que con el extremo de su brazo golpea la roca), por explosivos introducidos por máquinas que perforan los taladros y otras que los cargan, tuneladoras o por métodos convencionales.

Entonces, se puede afirmar que los túneles subterráneos, no son más que amplias galerías.

c) CHIMENEAS Y COLADEROS.

Las chimeneas son excavaciones subterráneas estrechas que sirven como conexión entre niveles horizontales y cuyas funciones son acceder el transporte de materiales, trabajadores y maquinaria, para dotar de ventilación al interior por tubería, cableado para electricidad, etc., etc.

Las chimeneas no son necesariamente verticales, una inclinación máxima aceptable para la evacuación de la roca suele ser de unos 30° respecto a la vertical. La sección adecuada ronda los 5 m², de forma cuadrada, rectangular o circular.

La excavación de las chimeneas suele realizarse de abajo para arriba para lo cual existen varios métodos. El método más simple es el mismo para la ampliación de pozos (combinación de manual y mecanizado).

Un método totalmente mecanizado, es con un montacargas o jaula trepadora denominada JORA y el empleo de un taladro aplicado a los dos niveles. El avance ascendente es realizado por Jora, que es sujeta y ascendida por medio de un cable pasado a través del taladro piloto.

Un tercer procedimiento para la ejecución de chimeneas o pozos subiendo es el ALIMAK.

En la figura 6 puede verse el ciclo de avance:

En A se realiza la perforación.

En B la plataforma se refugia en la galería de base permitiendo la voladura.

En C aplica la ventilación y limpieza con agua a presión; y

D aplica la nueva fase de perforación.

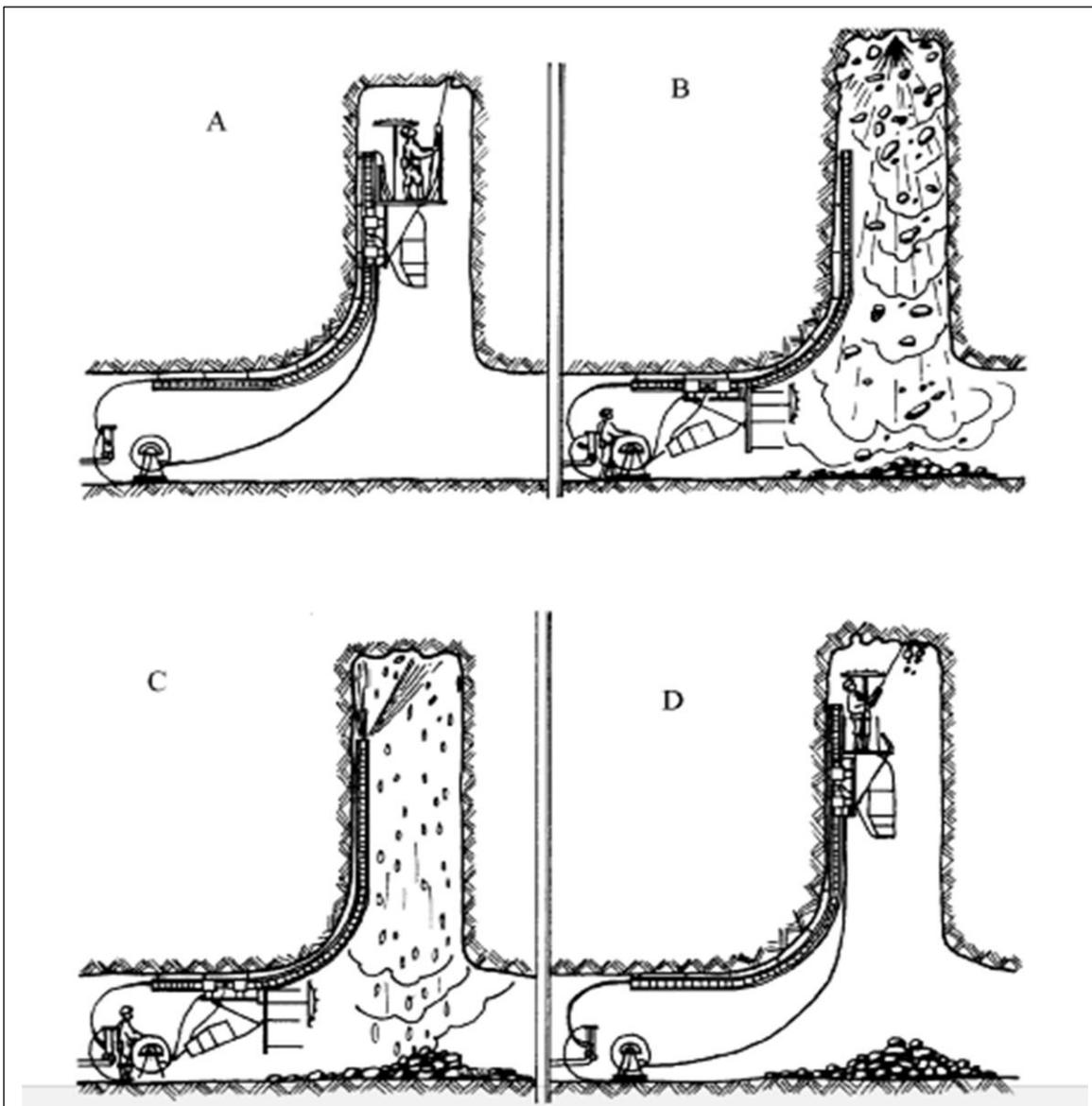


Figura 6: Perforación de chimeneas y pozos de abajo arriba (PROCEDIMIENTO ALIMAK)

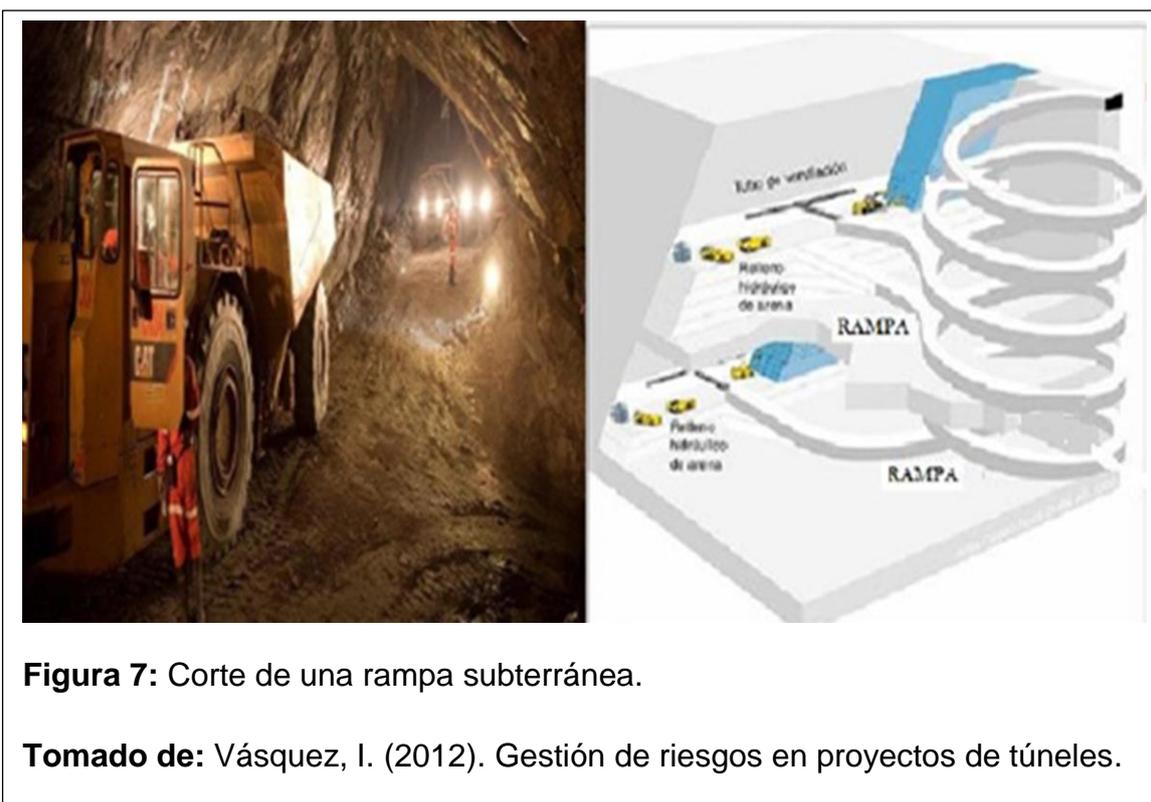
Tomado de: Estruch, M. (2002). Topografía para minería subterránea.

La abertura que se deja en el entrepiso de una mina para echar por él las rocas al piso inferior y desde allí sacarlos afuera se denomina coladero o pocillos de comunicación. Se excavan efectuando un taladro en sentido ascendente de unos 0,30 m de diámetro, para posteriormente ampliarlo en sentido descendente por medio de perforadoras o explosivos.

d) RAMPAS.

Las rampas son planos inclinados que funcionan igual que las chimeneas como medios de comunicación entre niveles horizontales. La inclinación es inferior al 15 % permitiendo la circulación de maquinaria rodante autopropulsada, destinadas tanto a la excavación (taladradoras, rozadoras) como a la carga (palas cargadoras) e inclusive para el transporte del personal y material facilitando la movilidad.

Los sistemas de excavación para rampas son los mismos utilizados para la excavación de galerías, con la diferencia que se realizan en sentido ascendente. Las grandes ventajas de las rampas hacen que en la actualidad sean los sistemas de transporte subterráneo más utilizados.



Las posibles vías de penetración del subsuelo detalladas anteriormente deben ser dirigidas y controladas por un topógrafo o un técnico calificado, relacionando los pisos a comunicar en forma eficaz y eficiente; pues los costos financieros en una obra subterránea son excesivamente altos.

1.2.2. MÉTODOS TOPOGRÁFICOS SUBTERRÁNEOS. DISPOSICIÓN DE LAS REDES.

La topografía subterránea se realiza en dos campos de la ingeniería, que son la minería y las construcciones civiles.

Como Estruch y Tapia (2003, p. 35-37) ya lo dijeron, hay que describir las condiciones para la disposición de las redes en una topografía subterránea. Antes de iniciar la excavación será prioritario iniciar con un levantamiento topográfico de superficie en el sector involucrado para un trabajo subterráneo determinado, utilizando una escala adecuada como 1:5000 en el cual se elaborará el plano de superficie correspondiente, en el cual se establecerá las redes planimétricas y altimétricas habituales y se utilizarán los métodos e instrumental propios de una topografía de exterior. Un levantamiento fotogramétrico también es solución.

Las redes planimétricas como las altimétricas se distribuyen en los levantamientos realizados en el exterior, en el interior y en el enlace entre las dos, y su forma y distribución dependerán de la topografía del terreno en cuestión. Por lo que, las redes planimétricas externas requerirán de una red de apoyo,alzada mediante un GPS o por triangulación de una poligonación, para establecer las coordenadas de los puntos vitales de la excavación, y de la red de relleno que, usualmente es levantada por procesos taquimétricos, para ubicar todos las referencias necesarias para el proyecto. La red altimétrica habitualmente se desarrolla mediante la técnica de nivelación geométrica, para proporcionar altitudes a los puntos importantes, y mediante el procedimiento altimétrico se ubican todos los puntos que especifican los detalles.

Las redes internas se apoyan en los puntos generados desde superficie. Los trabajos de relación o enlace de los levantamientos del exterior con los del interior radican en rotular en el techo de la galería, los puntos que sirven de soporte a todos los trabajos internos y vincularlos a través del o los pozos, con los puntos externos mediante la transferencia de las coordenadas y de la disposición del exterior. La conexión altimétrica de la red interna con la externa

radica en medir la profundidad del pozo o galería para obtener su nivel o altura.

Como mención especial se debe indicar que en la red planimétrica interna no se puede utilizar la triangulación, que será exclusiva de los trabajos del exterior, por las dificultades que presenta al interior y que no pueden dar certeza real de los resultados.

Tabla 1: Esquema de la disposición de redes en la topografía subterránea.

Disposición de las redes en la topografía subterránea	Planimétricas	de exterior	Red de apoyo principal: Triangulación GPS Poligonación Relleno de detalles que se precisen por taquimetría
		<i>de interior (se apoya en los puntos transmitidos desde la superficie)</i>	Poligonación.- Continuación de la de superficie Itinerarios de relleno Levantamiento de detalles
		de enlace entre el exterior y el interior	a) Señalar, generalmente en el techo de la galería en su unión con los pozos, los puntos que servirán de apoyo a los trabajos y enlazarlos a través de los pozos con la red exterior para calcular sus coordenadas b) Transmitir las orientaciones al interior
	Altimétricas	de exterior	Nivelación por alturas
		de interior	Nivelación por alturas Nivelación por pendientes
		de enlace entre el exterior y el interior	a) Señalar, generalmente en las paredes (hastiales) o en el techo de cada galería, en su unión con los pozos, los puntos que han de servir de apoyo a los trabajos y enlazarlos a través de los pozos, con la red exterior b) Medida de la profundidad del pozo o galería como enlace de la red exterior con la del interior.

Tomado de: Estruch, M. y Tapia, A. (2003).

1.3. ELEMENTOS INVOLUCRADOS EN UNA EXCAVACIÓN.

La presente tabla resume operaciones de proyectos subterráneos, específicamente al sector de excavaciones y desalojo de material realizadas con equipos y maquinarias.

Tabla 2. Máquinas, equipos, materiales implicados en una excavación.

ACTIVIDAD	MÁQUINAS Y EQUIPOS
Topografía subterránea	-Plomadas de gravedad, plomadas ópticas, cinta métrica, brújulas, emisores láser -Estación total laser (sin prisma), teodolito digital, nivel digital. -Medios auxiliares (martillo perforador, clavos acero, mazos; elementos para marcado y escritura; elementos para iluminación focalizada, etc.)
Excavación y carga	Tuneladoras TBM (de ser el caso) Retroexcavadora hidráulica Cargador frontal
Transporte horizontal y vertical	Volquetas Maquinaria tipo grúa.
Hormigonado	Camión mixer Planta de hormigón Máquina para aplicación de hormigón proyectado
Compactación	Rodillo vibratorio Plataforma vibratoria
Auxiliares	Plataforma móvil Generadores (iluminación y potencia) Compresor y elementos ventilación Perforador neumático.
ACTIVIDAD	MATERIALES
Preparación shotcrete	Shotcrete (hormigón proyectado)
Preparación dovelas	Dovelas metálicas y de hormigón (Recubrimiento).

Adoptado de: Bustos, J.; Olmos, R. y Solas, A. (2006). Revista de la Construcción. Vol. 5 (2006), pp.04.

1.4. PROCESOS DE EXCAVACIÓN.

La figura 8 muestra la secuencia de las técnicas ejecutadas en una excavación subterránea.

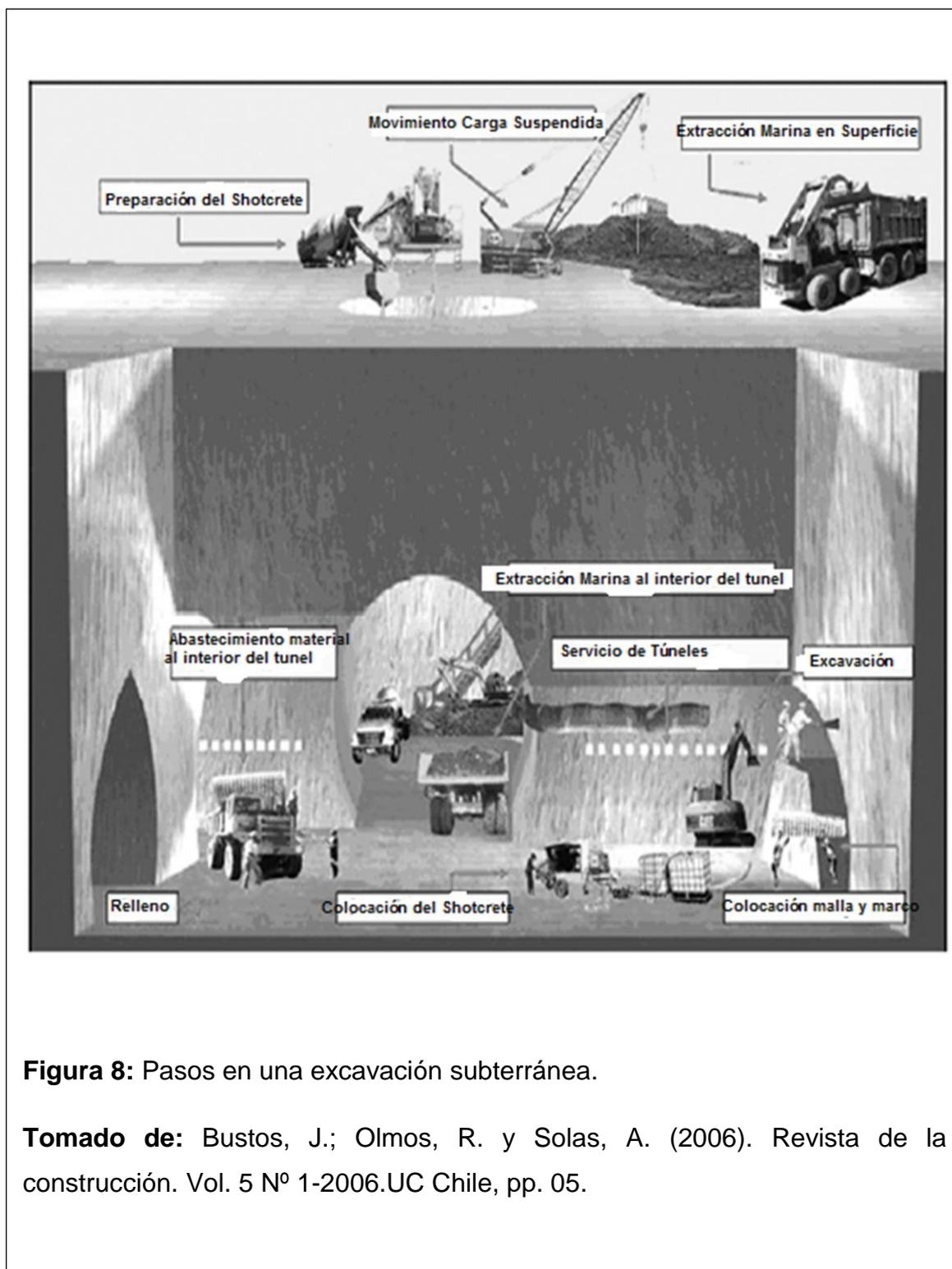


Figura 8: Pasos en una excavación subterránea.

Tomado de: Bustos, J.; Olmos, R. y Solas, A. (2006). Revista de la construcción. Vol. 5 N° 1-2006.UC Chile, pp. 05.

1.4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES.

La presente tabla es una recopilación básica de las zonas donde se ejecutan los procesos, los materiales, equipos, maquinarias utilizadas y los trabajos ejecutados en una excavación subterránea.

Tabla 3: Actividades y maquinaria participantes en una excavación.

PROCESO	ACTIVIDAD	EQUIPO Y MAQUINARIA
Movimiento de carga	Instalación Carga y descarga (materiales, marina (material de excavación) y/o equipos) Traslado, incluye ingreso y salida de maquinarias y equipos al interior de túnel. Traslado de marina en capacho o banda desde el interior al exterior Mantenimiento deficiente	Grúa torre Grúa móvil Puente grúa Tuneladora
Extracción de material de excavación en superficie	Carga de material de excavación en volquetas Sujeción de capacho (accesorio recolector de hormigón que utiliza una grúa). Mantenimiento deficiente	Cargador frontal Volquetas
Abastecimiento de material al interior del túnel	Carga de material a la volqueta desde el interior del túnel Traslado de material en volqueta al frente de trabajo Descarga de material Mantenimiento deficiente	Volquetas
Excavación	Excavación y sostenimiento de bóveda Excavación de contrabóveda Excavación de contrafuerte (estribo tipo pilar). Excavación de banco Mantenimiento deficiente	Retroexcavadora
Preparación de shotcrete u hormigón proyectado	Alimentación de áridos, aditivos y cemento a planta de hormigón Traslado de hormigón mediante manga desde superficie al mixer en interior del túnel Traslado de hormigón al interior del túnel desde mixer a tolva para ser proyectado Mantenimiento deficiente	Planta de hormigón y Hormigonera o mixer
Colocación de shotcrete	Alimentación del buzón Preparación de maquinaria, culebrones y pitones Fabricación de shotcrete Limpieza de pared para posterior proyección Proyección de shotcrete en la zona de aplicación Mantenimiento deficiente	Brazo robot Shotcretera Plataforma
Colocación malla, marco y refuerzo	Colocación de malla y afianzamiento (banco y bóveda) Apernado de marco y afianzamiento a la malla Instalación de dovelas (si el sistema lo requiere) Instalación de gatas para marco Instalación de armaduras entre marcos	Plataforma móvil Tuneladora
Extracción de marina al interior del túnel	Traslado de material desde el frente al lugar de acopio Carga de volqueta al interior del túnel y descarga de la volqueta en el túnel. Carga del material desde el acopio al capacho	Volquetas Retroexcavadora
Servicio túneles	Iluminación, ventilación Mantenimiento deficiente	Plataforma móvil
Relleno	Relleno de contrabóveda con material de excavación	Equipo de compactación

Adoptado de: Bustos, J.; Olmos, R. y Solas, A. (2006). Revista de la construcción. Vol. 5 N° 1-2006. PUC Chile, pp. 06.

CAPÍTULO II: OBSERVACIONES DE CAMPO.

2.1. INTRODUCCIÓN.

Es necesario resaltar que en los últimos años el Distrito Metropolitano de Quito, se ha encargado de recopilar estudios preliminares anteriores de Geología, Geotecnia, Hidrología y toda documentación relevante para constituir una base para llegar a estudios definitivos que den certeza para desarrollar una solución a la movilidad de la ciudad.

El presente proyecto de titulación sin ser un plagio, pretende ser un sencillo puntal más en tal objetivo; por lo que la metodología principal utilizada es la recopilación de información teórica y bibliográfica de trabajos previos como libros, tesis de grado, revistas especializadas, folletos, publicaciones sobre el tema, realizados por instituciones públicas y privadas como Ministerio de Ambiente, Municipio de Quito, Empresa Metro de Quito, EPMAPS, EPMOP; Cuerpo de Bomberos, Secretaria de Seguridad y Gobernabilidad, Instituto Metropolitano de Patrimonio Universidades, Instituto Geográfico Militar, empresas y profesionales privados.

De la campaña de recolección de información y con el fin de validar los datos obtenidos se realizan recorridos de campo con reconocimiento manual y visual de los mismos. Luego se procede a ordenar, procesar e interpretar los datos e información obtenidos.

2.2. GEOLOGÍA LOCAL.

2.2.1. ANTECEDENTES.

Durante el período Cretácico, el avance de la Cordillera de los Andes fue producto de la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, generando el replegamiento de la corteza terrestre y el desarrollo de la cordillera mencionada y además es partida de incubación de la energía sísmica en el territorio ecuatoriano, como lo afirman las NEC-2015, Capítulo 2 NEC-SE-DS Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente, pp.27.

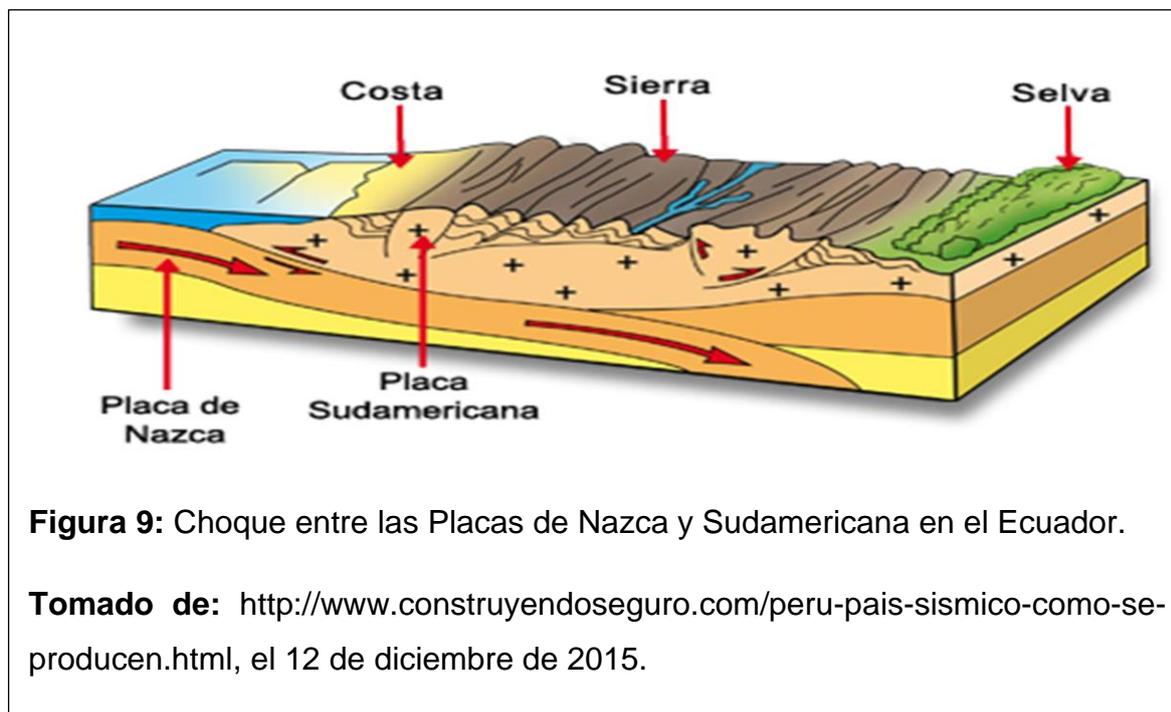


Figura 9: Choque entre las Placas de Nazca y Sudamericana en el Ecuador.

Tomado de: <http://www.construyendoseguro.com/peru-pais-sismico-como-se-producen.html>, el 12 de diciembre de 2015.

El permanente levantamiento de la Cordillera Andes y los esfuerzos originados del choque de Nazca y la placa Sudamericana, dieron origen a sistemas montañosos transversales denominadas hoyas, que en el caso de Quito fueron rellenas por materiales sedimentarios-piroclásticos y flujos de lava preferentemente de volcanes cercanos a la ciudad como el Pichincha y Atacazo, y por productos del desgaste y expulsión en masa que formaron a los sistemas montañosos. (Atlas de Amenazas Naturales en el DMQ, 2010).

Villagómez (2003) dice, que la formación de la cuenca de Quito está vinculada con la gestión del sistema de fallas inversas de Quito, cuya evidencia es una sucesión de colinas prolongadas en dirección N-NNE, situadas al Este de la capital y dividida en tres secciones: Lomas Calderón-Catequilla, Lomas Batán-La Bota y Lomas Ilumbisí-Puengasí. Estas fracciones bajan hacia el Oeste y se presume comenzaron a radiar en una cadena de pulsos desde el Norte (Informe final EIA, capítulo 9 Riesgos. Metro de Quito, 2012, pp. 07).

El Mapa Tectónico del Valle de Quito elaborado por Villagómez, demuestra la presencia de grandes estructuras trascendentales: La Falla de Quito (FQ) y la Falla Botadero (FB).

La estructura primera (FQ) inicia en Tambillo al Sur de Quito y sigue hacia el Norte con una dirección hacia el Este, y termina en la estructura (FB) designada Falla Botadero (Informe final EIA, capítulo 6 Línea Base. Empresa Metro de Quito, 2012, pp. 71,80, 81, 83, 84, 85,86).

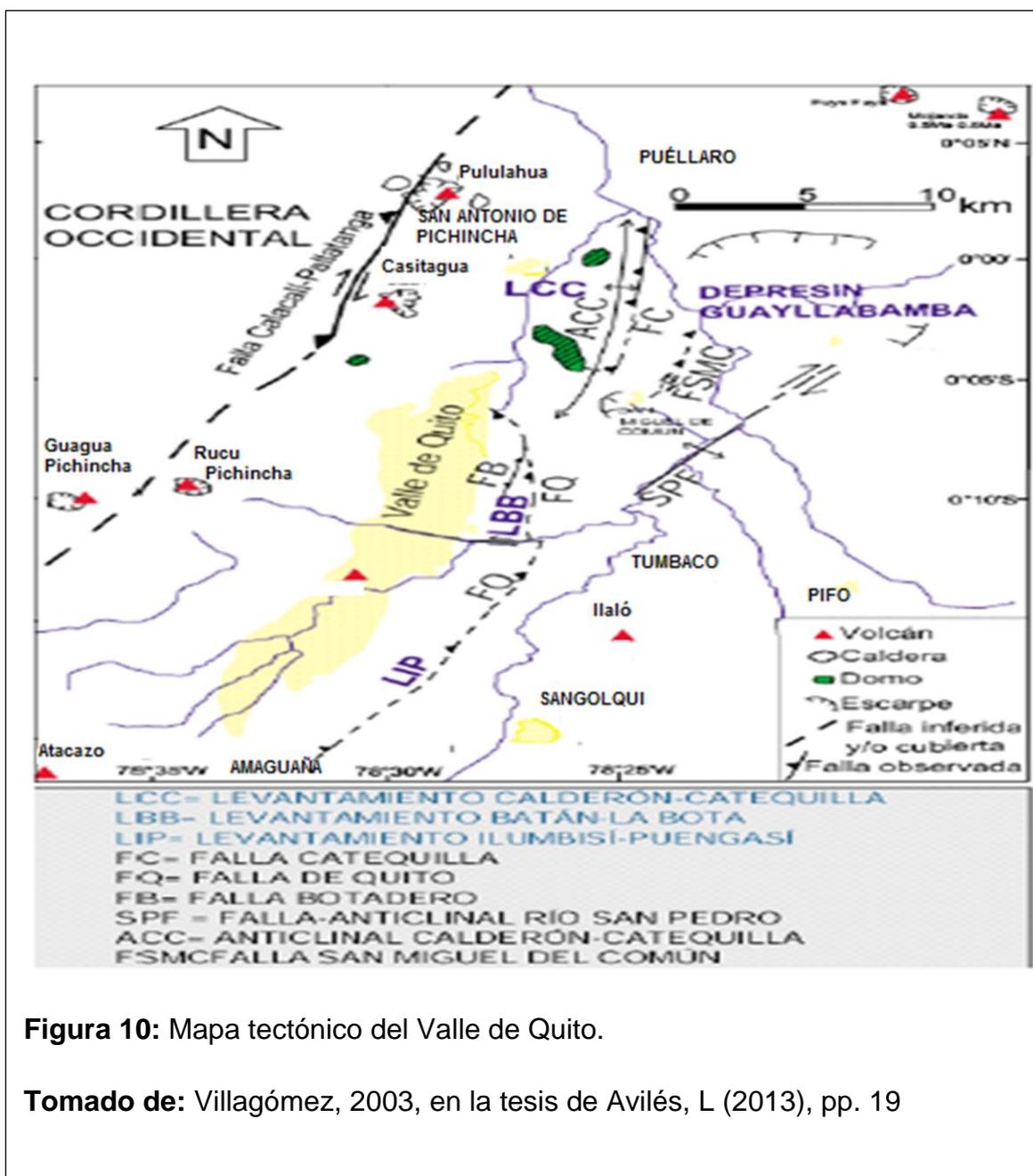


Figura 10: Mapa tectónico del Valle de Quito.

Tomado de: Villagómez, 2003, en la tesis de Avilés, L (2013), pp. 19

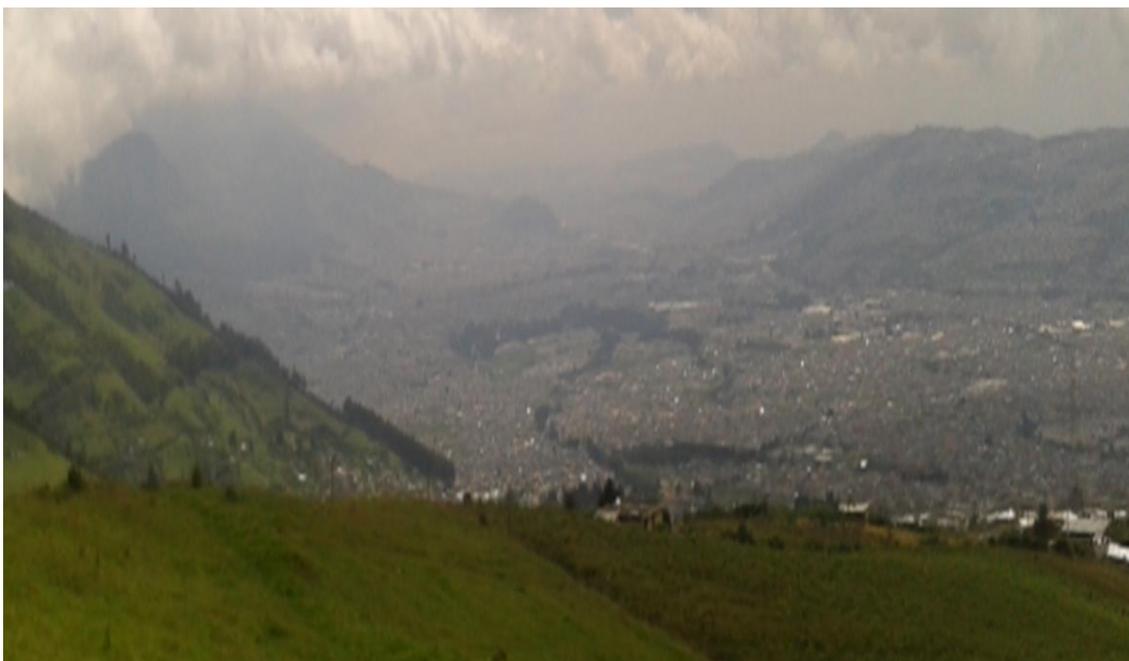


Figura 11: Panorámica de Quito desde el sur.

Nota: Coordenadas 9962159,50 N 491637,67 E; altitud 3330m; Vértice geográfico P.015. Visualmente se aprecia contaminación del aire en el hipercentro de la ciudad, tomada el 05 de abril de 2015 a las 10h40min.

2.2.2. VOLCANISMO LOCAL.

En el Ecuador continental existe un total de 68 volcanes, de los cuales 50 se consideran extintos y 18 como activos durante el Holoceno. Estos 18 han producido erupciones importantes en las épocas pre-incaica, histórica y en la actualidad (Hall et al. 2008).

Entre las varias amenazas que tiene el Distrito Metropolitano de Quito son los volcanes activos situados en o cerca de la circunscripción.

Las erupciones del Guagua Pichincha han marcado a Quito como las de los años 1560, 1575, 1582, 1660 (erupción que depositó enormes cantidades de ceniza en la capital), 1843, 1868 y en 1999 luego de una inactividad prolongada. (Informe final EIA, capítulo 9 Riesgos. Empresa Metro de Quito EPMMQ, 2012, pp. 16).

Complejo Volcánico Pichincha**Figura 12:** Complejo Volcánico Pichincha enfocado desde el sur de Quito.

El Cotopaxi situado a 60 km del sur del Distrito, experimentó erupciones en 1742, 1744, 1768 y 1877, algunas de las cuales acarrearón cenizas hasta la capital y al valle de Los Chillos, y en menor cuantía a Cumbayá y Tumbaco con flujos de lodo, producto del derretimiento parcial del glaciar que viste al volcán. (Informe final EIA, capítulo 9 Riesgos. Empresa Metro de Quito, 2012, pp. 16).

El volcán Cayambe, a 50 km al noreste del Distrito, con erupciones en 1785-1786. El Antisana ubicado a 50 km al sureste de la capital, con erupciones históricas (1728, 1773 y tal vez 1801). El Pululahua que expulsa material volcánico hace 2300 años aproximadamente, un tanto antes el Atacazo-Ninahuilca, así como el Quilotoa hace aproximadamente 2800 años con caída de cenizas. Algunos más alejados, como el volcán Reventador con caída de cenizas como en el año 2002 que llegaron a la ciudad. (Informe final EIA, capítulo 9 Riesgos. Empresa Metro de Quito EPMMQ 2012, pp. 16).

Complejo Volcánico Atacazo-Ninahuilca



Figura 13: Complejo volcánico Atacazo-Ninahuilca enfocado desde el sur de la ciudad.

2.2.3. GEOLOGÍA EN QUITO.

“Desde la revisión geológica según Sauer (1965), la Hoya de Quito es una región de origen volcánico, por estar entre la Cordillera Occidental y Real, las cuales presentan fuerte actividad volcánica, entre las diferentes épocas y en especial, al inicio y fin del Pleistoceno. Sauer (1965) identificó variaciones climáticas, y describe cuatro épocas de glaciación, en donde las nieves perpetúas descendieron hasta 3000 msnm por lo que los valles interandinos se tornan ambientes de páramo lo cual provoca descenso de la temperatura y periodos pluviales que provocan y favorecen un proceso de erosión en el material volcánico (Sauer, 1965:260). Sauer afirma, que en la zona de Pichincha un ejemplo de esta actividad pleistocénica se puede observar claramente en el perfil del río Chiche al Este de Quito, aquí se presentan, en los estratos, acumulaciones de material piroclásticos y acumulaciones de lava, estos materiales volcánicos finos se depositan para formar la Cangahua Eolítica y fluvio-lacustre crenado, una semejanza con el loess la cual es un estrato guía del segundo y tercer interglaciar en el Pleistoceno, ya que dentro

de este estrato se tiene evidencia de fósiles e icnofósiles denominadas “bolas de Cangahua”; estas han sido estudiadas por Spillman (1931), Hoffstettler (1949), Sauer (1965/1956), Vera (1977), Román (2007), entre otros investigadores”. (Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito –EPMMQ- Capítulo 6 Línea Base. 2012, pp. 309).

2.2.3.1. LA CANGAHUA.

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se encuentra rodeado de: macizo volcánico del Pichincha –Guagua y Rucu-, nevado Antisana, Sincholagua, Pasochoa, Atacazo, además puede ser afectado por la actividad volcánica del Cayambe, Reventador y Cotopaxi.

El Quilotoa fue uno de los volcanes que aportó con ceniza al suelo del DMQ, se habla de una sola erupción, 810 a AP (años Antes del Presente – en geología y arqueología se toma desde 1950 del calendario gregoriano- por uso de la datación por radiocarbono en ese año), Hall y Mothes (1998:27) quienes citan a Knapp y Ryder (1983) y Villalba y Alvarado (1998); también está presente ceniza del Cotopaxi y Pululahua.

De esta acción volcánica, y en perfiles expuestos, evidencia de lahares, estratos y lentes de ceniza volcánica, piedra pómez y un gran estrato que caracteriza al norte Andino, este estrato geológico se denomina cangahua (Aguilera, 2004:4).

Se considera que, el período de formación de la cangahua está íntimamente vinculado a las glaciaciones en las cordilleras de clima frío, seco y ventoso. (Op. Cit. En: Aguilera, 2004:4).

Al establecer el origen de la cangahua (Vera y López; 1992:1) señalan cinco procedencias: caída de ceniza volcánica, flujo de ceniza y piedra pómez, flujo de piroclásticos, material de origen pedogenético, retrabajamiento de material.

Al describir la cangahua, (Op. Cit.), consideran que es “...una roca blanda, Castillo (1982) y Álvarez (1984), porosa, producto de la diagénesis parcial del material volcánico explosivo fino, menor al tamaño de ceniza (<2mm), cementada primariamente por material arcilloso amorfo, sílice, óxidos de hierro y secundariamente por calcita”. (EPMMQ Capítulo 6 Línea Base: 2012, pp. 86, 310).



Fig. N° 14: Cangahua en la quebrada Shansayacu, Quicentro Sur

Tomado de: Avilés, L. (2013).



Figura 15: Cangahua en la Av. Simón Bolívar, sector Hormigonera Quito.

La cangahua es, un material heterogéneo, poco plástico, altamente acreditado por su resistencia al corte, impermeable tanto en estado inalterado como remoldeado y compactado, pero puede ser fácilmente erosionable por el agua, el viento y la intemperización.

Con datos del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) elaborados por la empresa Higgeco para la unidad de Negocios Metro de Quito (UNMQ, 2012), y según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se desprende que: Al norte de Quito predomina la cangahua de tipo limo arenosa y areno limosa correspondientes a suelos limosos de baja plasticidad (ML) y suelos arenoso limosos (SM). Al sur de la ciudad en cambio predomina la cangahua de tipo limo arenosa y areno limosa de un suelo limoso de baja plasticidad (ML).



Figura 16: Foto túnel para encauzamiento del río Machángara.

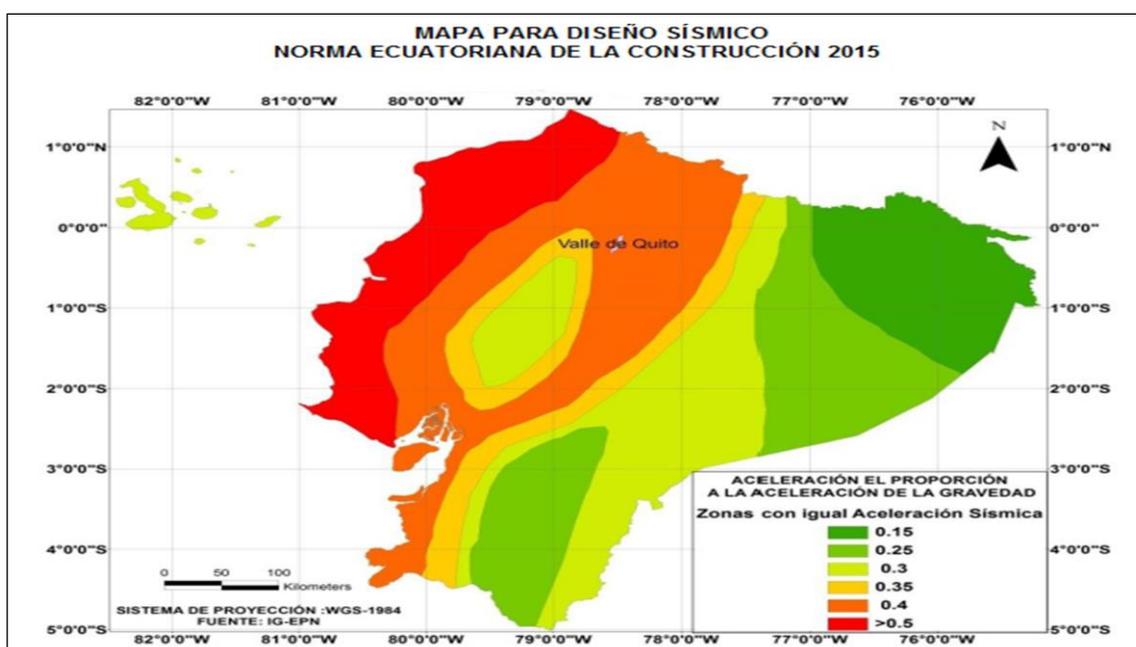
Tomado de: Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha; Ing. Játiva, V. (2010).

Nota: Excavación en suelo volcánico tipo Cangahua, sector El Trébol, en fase de estructuración.

2.2.3.2. SISMICIDAD.

Los conocimientos actuales nacionales sobre el origen sísmico son limitados y actualizables por lo que recomiendan especificaciones como exigencias básicas a emplear en el cálculo de las fuerzas sísmicas de diseño que mitiguen los efectos de terremotos que podrían presentar las edificaciones en algún momento de su vida útil.

El sitio donde se construirá la estructura determinará los procedimientos y requisitos según una tabla de zonas sísmicas aplicables para el Ecuador. (NEC-15 Cap. 2 NEC-SE-DS, Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente, pág. 27).



Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización de la amenaza sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Figura 17: Mapa para diseño sísmico NEC 2015; y, tabla de zonas sísmicas aplicables para el Ecuador.

Adaptado de: NEC-15 Cap.2 NEC-SE-DS, y el Instituto Geofísico EPN.

Según el mapa y la tabla de la figura 17, todo el Ecuador es considerado como de amenaza sísmica alta; el nororiente muestra una amenaza sísmica media y

la costa ecuatoriana presenta una amenaza sísmica muy alta. (NEC 2015, NEC-SE-DS, pp. 13).

En cuanto al Distrito Metropolitano, el denominado Sistema de fallas activas inversas de Quito se localiza hacia el oriente de la ciudad atravesándola en el sur desde la población de Tambillo a Calderón y desde Calderón a San Antonio de Pichincha, con un trazado aproximado de 50 km; se estima que su velocidad de desplazamiento varía hasta 1 mm/año (Soulas et, al. 1991) y se esperarían sismos superficiales de magnitud 7 grados en la escala de Richter.(EPMMQ, EIA Informe Final 2012, capítulo 9 Riesgos, pp. 07).

2.2.3.3. HIDROGEOLOGÍA EN QUITO.

La recopilación y análisis de información toma como base los datos existentes en la EPMAPS y la investigación geotécnica realizada por Higgeco para el Proyecto Metro de Quito.

La bibliografía consultada distingue dos sectores en el Acuífero de Quito:

A) SECTOR SUR.- El Acuífero Sur se desarrolla dentro de la cuenca del río Machángara; sus límites son: al Norte las estribaciones del Panecillo, al Sur La Joya (cantón Mejía), al Este el horst (pilar tectónico) que divide la Cubeta de Quito con el valle de Los Chillos, y al Oeste las faldas orientales del cerro Unguí, El Cinto y el volcán Atacazo.

El sector sur puede subdividirse a su vez en yacimiento El Pintado y yacimiento Guamaní; y se ha establecido que el espesor del yacimiento está comprendido entre los 150 y 60 m de profundidad adelgazándose hacia El Panecillo.

B) SECTOR CENTRO NORTE.- El Acuífero Centro está ubicado dentro de la cuenca del río Machángara en la subcuenca de la quebrada El Batán. Sus límites son: al Norte con un levantamiento estructural alineado a la quebrada de Zámbriza con el antiguo aeropuerto, sin embargo la EPMAPS considera que existe continuidad de flujo con el Acuífero Norte, por lo que se considera como

un todo. Al Sur limita con El Panecillo, al Este con las elevaciones Ilumbisí-Batán-La Bota, y al Oeste con las laderas del volcán Rucu Pichincha. El espesor de los materiales acuíferos es de unos 172 metros.

El límite entre los dos sectores es El Panecillo, que es una elevación de sustrato impermeable cubierta por la formación Cangahua, por lo que en la zona la potencia del acuífero disminuye y la permeabilidad del mismo también.

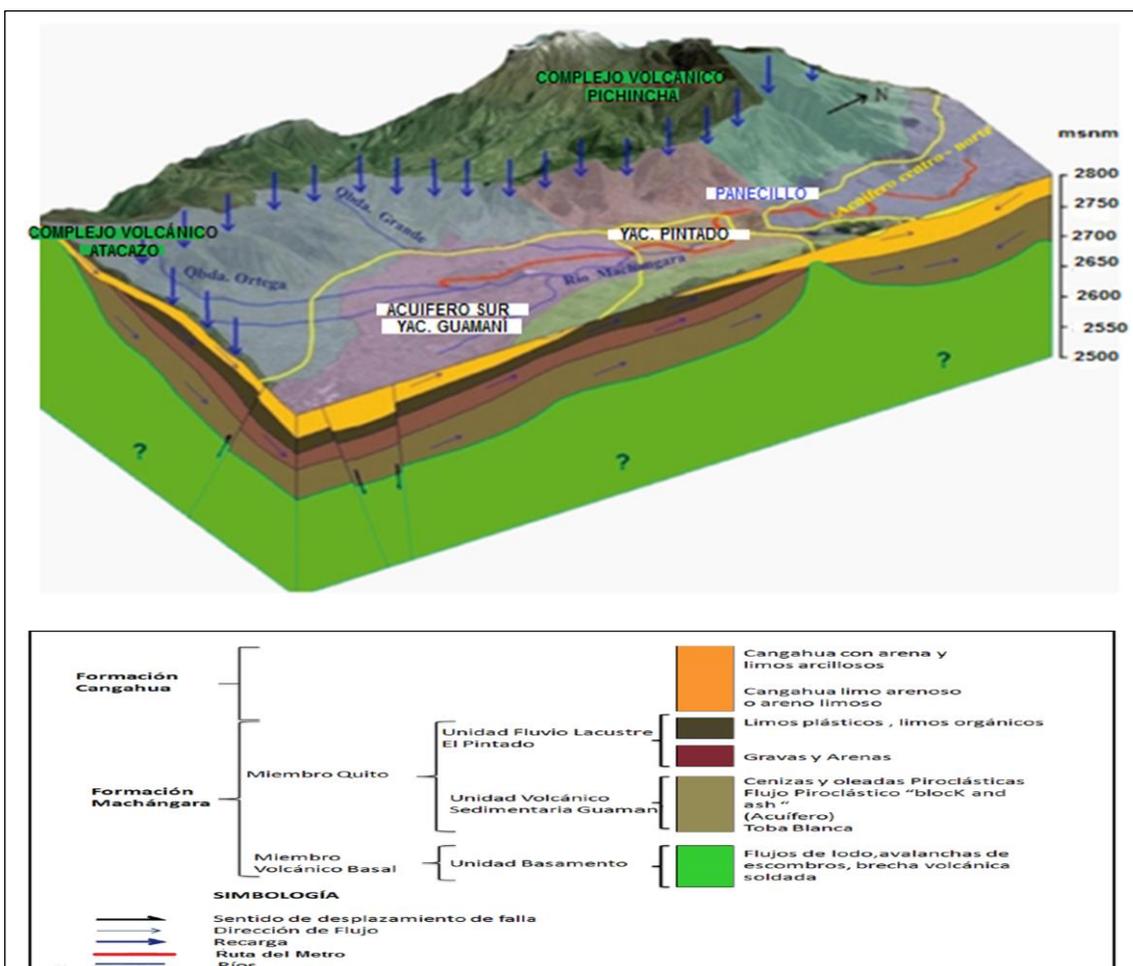


Figura 18: Modelo Conceptual Acuífero de Quito.

Adaptado de: Informe final, capítulo 6, Empresa Metro de Quito (2012), pp.

121

Superficialmente las quebradas y ríos que podrían ser afectados por una eventual realización de un proyecto subterráneo son las quebradas Ortega,

Shansayacu, Rumichaca y El Batán, entre otras; y los ríos Grande y Machángara.

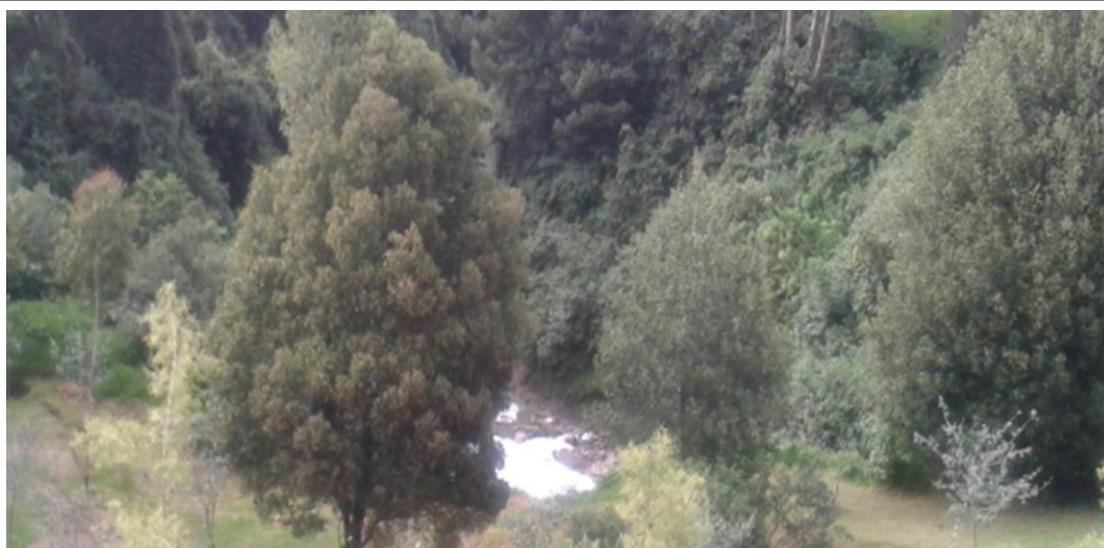


Figura 19: Quebrada Shansayacu, sector Parque Las Cuadras (sur de Quito).

2.2.3.4. CLIMA DE QUITO.

La ciudad de Quito tiene un clima de tipo ecuatorial pero debido a su particular topografía presenta también microclimas zonales.

La ciudad se encuentra rodeada por elevaciones que estabilizan los efectos de la temperatura. La temperatura media anual es de 14,6 °C, pero con una fuerte variación durante el día que pueden llegar desde 4°C hasta 25°C especialmente entre los meses de Agosto y Septiembre, en tanto que los valores menores no tienen ocurrencia en un mes concreto.

En cuanto a las precipitaciones, Quito tiene una distribución espacial muy variable influenciada en gran medida a su particular orografía. En general, la estación lluviosa inicia en el mes de octubre hasta mayo, con dos picos máximos de precipitaciones que se producen en octubre y en los meses de marzo-abril con valores de hasta 126 mm (Quito INAMHI); y, la estación seca

ejecutarlas a pie o en bicicleta. Por lo que, un deficiente servicio de transporte público ocasiona más problemas a los usuarios de servicios que están fuera de las su inmediato alcance provocando congestión, contaminación, pérdida de tiempo en el traslado y muchas veces peligros; teniéndose como resultado un servicio de transporte público nada rápido ni confiable.

La red actual de transporte masivo de la capital abarca dos tipos:

- ❖ Metrobús-Q: transporte público compuesto de cinco corredores: Trolebuses, Corredor Central Norte, Ecovía, Corredor Sur Oriental y Corredor Sur Occidental, siendo cada uno eje troncal y disponiendo de buses alimentadores.
- ❖ Buses convencionales: transporte privado atendido por operadores históricos de buses en rutas urbanas, interparroquiales e intraparroquiales autorizadas por el Municipio.

La solución individual de los quiteños para la deficiente movilidad de la ciudad, ha sido la adquisición de vehículos particulares; lo que ha sido contraproducente para una ciudad longitudinal encerrada en su particular topografía generando congestión vehicular, contaminación visual, auditiva y ambiental y consecuentemente una disminución sustancial en la calidad de vida de sus habitantes.

2.3.2. DESCRIPCIÓN ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO.

El Municipio de Quito, durante los últimos años ha buscado dar una solución a la problemática de la movilidad de la ciudad, pero las diferencias políticas al interior del Concejo Metropolitano unido a escasos y extemporáneos estudios de demanda y factibilidad técnica y financiera han determinado poca gestión real sobre el tema.

En el año 2010 la demanda de transporte para la capital fue de aproximadamente 28000 pasajeros por hora y sentido, y para el año 2030 el requerimiento será de 48000 pasajeros por hora y sentido; según un estudio del Banco Mundial del año 2002 para la ciudad de Quito.

Teniendo como inicio dichos estudios, el 21 de octubre de 2009, el Municipio de Quito con la Comunidad Autónoma de Madrid, firman la ejecución de un estudio de pre factibilidad para el desarrollo de un Sistema de Transporte Masivo de Pasajeros para la capital. (Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito EPMMQ, EIA. 2013, Información adicional al respecto de aspectos ambientales y sociales, pp. 02).

Para definir qué sistema de transporte masivo es el apropiado para satisfacer esta demanda de pasajeros, la EPMMQ (2013) expone en el Anexo 1 de la Información Adicional al Respecto de Aspectos Ambientales y Sociales, pp.06 y 07 las siguientes alternativas:

1) Alternativa Cero: propone continuar la misma modalidad de transporte masivo que opera en Quito.

2) Buses Convencionales: exhiben como ventajas un requerimiento financiero inicial muy bajo y la maleabilidad en la circulación. Y como desventajas, el sistema presenta alta incompatibilidad para acoplarse a un mega sistema planificado y centralizado, la poca preparación profesional de sus conductores y una baja capacidad operativa para atender el creciente flujo de pasajeros, pues Quito actualmente posee una flota de 2800 unidades convencionales con una capacidad aproximada por unidad de 50 pasajeros

3) Autobuses Rápidos sobre Vías Apartadas: llamado también BRT (Bus Rapid Transit) es la opción actual utilizada por el Municipio como eje articulador de cinco líneas que integran el sistema: Trolebús, Ecovía, Corredor Sur Oriental, Corredor Sur Occidental y Corredor Central Norte. Una de las ventajas del sistema BRT es la adecuada relación costo-beneficio, ejemplo el Trole de Quito costó cerca de 5 millones de dólares por km construido y equipado. (Arias, C. 2005). A pesar de la exclusividad de vías segregadas del

tráfico que aplica el sistema, el inconveniente principal es la invasión de la vía en ciertos sectores haciendo que el BRT compita con el tráfico normal, reduciendo la velocidad de operación. Adicionalmente, el rango operacional se ubica entre 10000 y 32000 pasajeros por hora, sentido y número de carriles segregados para la operatividad del BRT.

4) Los Trenes Ligeros y Tranvías: llamado LRT (Light Rail Transit) es un sistema de transporte masivo muy utilizado en ciudades pequeñas de Europa con un número de habitantes menor a dos millones, o en ciudades más grandes pero como complemento de metros o sistemas de alimentación de los metros; y su rango operacional se ubica entre 10000 y 20000 pasajeros por hora y sentido. El sistema LRT guarda mucha similitud operativa y de carga que los BRT, con la diferencia de que su inversión es muy elevada, pues fluctúa entre los 10 y 30 millones de dólares por km. (Halcrow Fox, 2000).

5) Sistema de Tránsito Rápido o Tipo Metro: sistema de transporte capaz de llevar hasta 80000 pasajeros por hora y sentido; además puede desplazarse por líneas subterráneas y en superficie por vías exclusivas posibilitando velocidades promedio de movilización entre 40 y 110 km/h. Según la Agencia Alemana de Colaboración Técnica (GTZ, 2002) los montos de inversión son muy variables yendo desde los 20 a los 180 millones de dólares por kilómetro, anexado a factores como sistema constructivo utilizado, tipologías geológicas y geotécnicas del suelo, tipo de tren rodante, características de las instalaciones, etc. (Banco Mundial, 2002).

2.4. REQUERIMIENTOS PARA UNA SOLUCIÓN ÓPTIMA.

Por ser sistemas obsoletos, poco o nada planificados y con una capacidad limitada para satisfacer alta demanda de pasajeros en la actualidad y en el próximo inmediato, las alternativas 1 (la alternativa cero) y 2 (los buses convencionales) quedan descartados desde el inicio.

La siguiente tabla resume la factibilidad o no de los tres sistemas restantes para el transporte masivo de la capital.

Tabla 4: Resumen de alternativas de transporte masivo para Quito en los años 2010 y 2030

CONDICIONANTES	BRT	LRT	METRO	CONDICIONES IDEALES
<i>Capacidad del sistema (pasajeros por hora y sentido)</i>	10000 a 32000	10000 a 20000	30000 a 80000	Año 2010:28000 Año 2030:40000
<i>Velocidad comercial (km/h)</i>	17 a 20	20	30 a 50	Mínimo 25
<i>¿Se requiere tomar espacio de vías actuales?</i>	SI, 4 carriles	SI, 2 carriles	NO	Ideal que NO use espacio actual.
<i>¿Construcción paralizaría tráfico en determinadas zonas?</i>	SI	SI	NO	Ideal que construcción NO paralice tráfico.

Tomado de: Elaboración UNMQ y EPMMQ (2013).

En atención a estos condicionantes y bajo el razonamiento de equilibrar la oferta con la demanda, que la única opción de transporte masivo para enfrentar la movilidad en una ciudad con las tipologías de Quito, en el presente, en el futuro inmediato y que se convierta en la columna vertebral de un sistema integrado de transporte masivo, con eficacia y sostenibilidad es, el Sistema de Tren Rápido tipo Metro.

CAPÍTULO III: ENFOQUE DE SOLUCIÓN.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL TRAZADO VIAL.

3.1.1. ANTECEDENTES.

Existen dos antecedentes de estudios previos para definir la ruta definitiva del Metro de Quito (el TRAQ y el Eje Central de la ciudad de Quito). Luego en los primeros meses del año 2010 el equipo asesor de Proyectos Especiales del Instituto Metropolitano de Urbanismo del DMQ desarrolló un trazado preliminar. Luego en octubre de 2010, la Unidad de Negocios Metro de Quito (UNMQ) desarrolló un Estudio de Vialidad Técnica realizado por la empresa Metro de Madrid que incluyó una serie de alternativas de trazado que fueran técnicamente viables, tomando en cuenta múltiples puntos de vista (geométrico, geotécnico, constructivo, de demanda, operacional, ambiental, etc.) y la selección más adecuada a nivel global para un trazado viable y definitivo.

3.1.2. CONDICIONANTES.

3.1.2.1. CANTIDAD Y UBICACIÓN DE ESTACIONES.

- ❖ A) Demanda. Sitios de mayor captación de pasajeros.
- ❖ B) Intermodalidad. Requerimientos del sistema para integrar los diferentes modos.
- ❖ C) Costo. Equilibrio entre número de estaciones y costo del proyecto.
- ❖ D) Ejecución. Facilidades constructivas de las estaciones, costo y grado de afectación.

Para éste grupo se ha tomado en cuenta todas las zonas con alta concentración humana, administrativas o de servicios, puntos de alta demanda de transporte actual o futura, etc. Por lo que el análisis del Estudio de Vialidad Técnica recomienda servir los siguientes puntos: terminal terrestre Quitumbe, Av. Morán Valverde, Solanda, San Bartolo, el actual terminal de El Recreo, el sector de la Villa Flora, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército en la Magdalena, el Centro Histórico, la zona del Banco Central del Ecuador, El Ejido, la zona

financiera y turística de La Mariscal, la Universidad Central del Ecuador, la zona de servicios médicos de la Av. Eloy Alfaro, la Carolina, la Av. Amazonas, el sector comercial de la Av. Naciones Unidas, Jipijapa; y, el sector de El Labrador.

3.1.2.2. CONDICIONANTES TOPOGRÁFICOS Y GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS.

- ❖ A) Condicionantes topográficos: La ciudad de Quito se encuentra en un valle alargado en dirección N-S y estrecho en dirección E-W. Está rodeada por los volcanes Guagua, Rucu Pichincha, Atacazo y las Lomas de Ilumbisí-Puengasí-Batán-La Bota. Destaca la presencia del relieve El Panecillo en la zona central de la traza. Quito presenta una configuración urbana muy densa, destacando la presencia del casco histórico y un patrimonio arquitectónico, cultural y arqueológico que es preservado.
- ❖ B) Condicionantes geológico-geotécnicos: Las características del suelo condiciona la ingeniería a utilizar, afortunadamente la ruta atraviesa la formación Cangahua con tipologías físicas y mecánicas propicias para la realización del proyecto. La existencia de agua subterránea, en el sur como en el norte es muy probable. Terrenos fluvio-lacustres en el sur como en el norte, generarían hundimientos en superficie lo que haría que la construcción del túnel sea más profunda. Aspectos sismo tectónicos pues Quito se encuentra en zona sísmica.

En cuanto al paso de quebradas la geometría de la traza se realizaría: Sobre ellas (quebrada Ortega), o bajo ellas (río Machángara, quebradas Shansayacu, Clemencia, El Tránsito, Grande, San Bartolo, Navarro, La Raya, Jerusalén, Miraflores, Ascázubi, Rumipamba, San Isidro, la Granja, entre otras). En el sur de la ciudad la mayor parte de quebradas son visibles, mientras que en el norte la mayoría están encauzadas y ocultas.

3.1.2.3. CONDICIONANTES HABIDOS POR RAZONES DE DISEÑO.

Para la descripción geométrica y cinemática de las opciones se establecieron una serie de medidas de diseño para el itinerario en planta y en alzado, frecuentes en una construcción subterránea prototipo Metro.

Como velocidad de diseño, el estudio determina los 110 km/h, condicionada a los parámetros del trazado vial, a las paradas en las estaciones y la facilidad de acelerar y desacelerar el material móvil que tendrá un ancho de 2,80 metros, que es lo común en los metros del mundo. Hay que considerar sobre todo la flexibilidad de ajustes en el trazado vial en el proyecto constructivo.

3.1.2.4. CONDICIONANTES DE INFRAESTRUCTURAS EXISTENTES.

- ❖ A) Infraestructuras de servicios. Alcantarillado, agua potable, una parte de la energía, comunicaciones y una parte del Sote (tubería del oleoducto son infraestructuras enterradas. Una parte de la energía, especialmente las de alta tensión son aéreas y son estructuras restrictivas para el trazado vial por la complejidad de reubicación. En cuanto a las infraestructuras subterráneas son las más conflictivas pues algunos colectores de saneamiento, alguna arteria principal de suministro de agua y una parte del Sote (en el sur) pueden obstaculizar el trazado del túnel o una estación por lo que en algunos casos será necesario retocar el trazado definitivo.

- ❖ B) Obras públicas y viales. Para el caso de estaciones y túneles falsos hay que buscar amplios espacios públicos como complejos deportivos o parques para su desarrollo y ejecución para luego reponerlos a su estado original.

3.1.2.5. CONDICIONANTES DEL ESPACIO URBANO.

Siendo la propuesta de trazado del metro para Quito un proyecto subterráneo, la proyección se limita a la ocupación del suelo para los accesos y ejecución de las estaciones, la construcción de bodegas, talleres y las cocheras por desarrollarse desde superficie.

En el caso de un eventual crecimiento al norte y al sur se pretenderá aprovechar el derecho de vía que tiene la línea férrea; para los valles y el nuevo aeropuerto se considerará estudios de desarrollo sectoriales posteriores.

3.1.2.6. CONDICIONANTES SOCIO AMBIENTALES Y PATRIMONIALES.

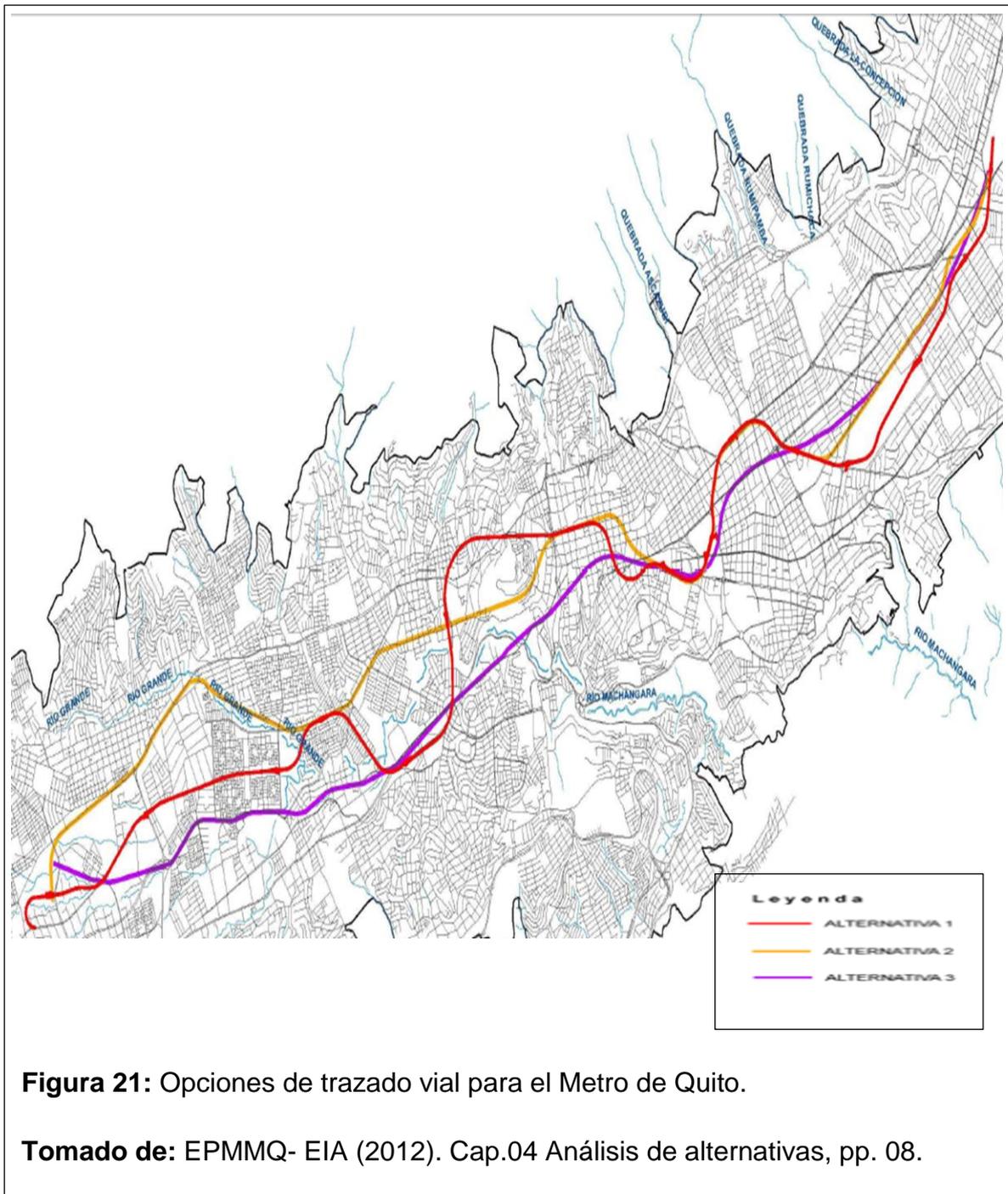
Siendo el trazado del metro de tipo subterráneo, los impactos ambientales disminuirán con respecto a una obra en superficie, concentrándose en los residuos de tierras del túnel en sí mismo así como de estaciones y pozos para ser ubicados en escombreras previamente autorizadas.

En cuanto al patrimonio deberá buscarse trazados viales que sorteen pasar bajo edificios y bienes protegidos (Centro histórico), cambiar el método constructivo más amigable y pasar a una profundidad que garantice la no afectación de bienes arqueológicos y patrimoniales.

3.1.3. IDENTIFICACIÓN DE LA MEJOR OPCIÓN PARA EL TRAZADO VIAL.

En el estudio de factibilidad de sur a norte se identifican puntos de paso recomendados y corredores principales así como los condicionantes externos en el estudio de la Primera Línea del Metro y que determinan 12 opciones de trazado vial. Estas opciones proporcionaban variantes en la zona sur, el acceso por un Centro histórico patrimonial y arqueológico protegido y el cruce con el río Machángara; y, en el norte la disyuntiva era pasar por las Av. 10 de agosto o Amazonas, y no afectar al Trolebús durante la ejecución del trazado vial.

Continuos estudios permiten perfeccionar estas opciones y disminuirlas a tres: Alternativa 1 (Centro), Alternativa 2 (Occidental) y Alternativa 3 (Oriental).



El resumen de las tres opciones inicialmente consideradas es:

Tabla 5: Resumen opciones de trazado vial para el Metro de Quito.

ALTERNATIVA	LONGITUD	Nº ESTACIONES	INTERCAMBIOS
1 CENTRO	21,63 km	15	8
2 OCCIDENTAL	25, 59 km	19	6-7
3 ORIENTAL	26,23 km	19	8-9

Adaptado de: EPMMQ- EIA (2012). Cap.04 Análisis de alternativas, pp. 10.

El análisis que realiza el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) sobre las tres alternativas de trazado para el metro de Quito se basó en el Método ATP (The Analytical Hierarchy Process) de Thomas Saaty que utiliza matrices para un análisis multicriterios.

Los resultados y conclusiones arrojados por el análisis completo a cada una de las alternativas determinaron que la alternativa más conveniente era la denominada 1 (Centro) por ser la más factible en el presente como a posterior, así como también por la flexibilidad de extensión a futuro.



3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL METRO DE QUITO.

3. 2.1. GENERALIDADES SOBRE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES.

3.2.1.1. INTRODUCCIÓN.

Un túnel es una construcción subterránea longitudinal, cuya finalidad es comunicar dos puntos diferentes para efectuar el transporte de seres humanos, ferrocarriles, vehículos, materiales, conducciones eléctricas, de agua u otros. La ejecución de un túnel puede estar determinada por la disposición topográfica del suelo: resulta más barato abrir un túnel que cercar un obstáculo, obligando a un trazado más largo y con mayores costes.

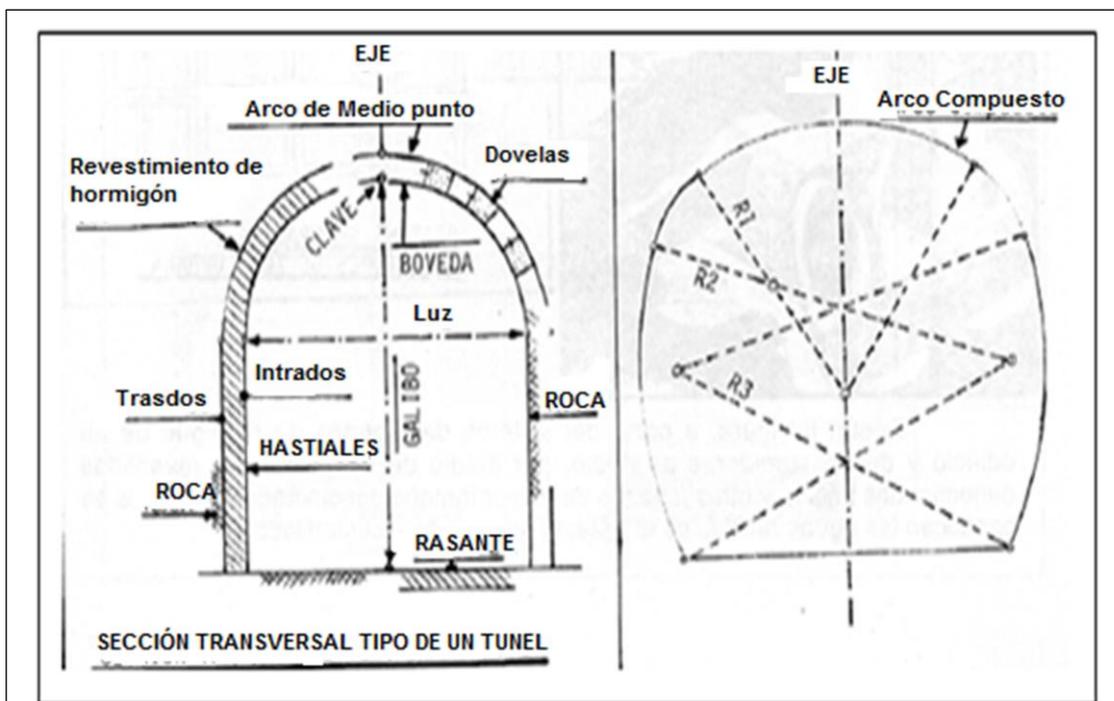


Figura 23: Sección transversal tipo de un túnel.

Tomado de: Salgueiro, G. Topografía de túneles, 2001.

A los túneles se los puede clasificar de acuerdo a sus usos y cargas:

A) TÚNELES CON PRESIÓN INTERIOR.

Son túneles reservados para transportar fluidos a presión, su sección es circular. Es fundamental que el suelo circundante posea propiedades geomecánicas excelentes, sino, debe mejorarse el terreno.

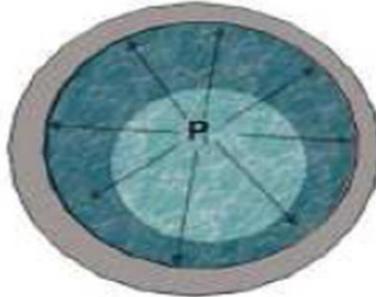


Figura 24: Esquema de túnel con presión interior.

Tomado de: Vázquez I. Gestión de riesgos en proyectos de túneles, 2012, pp. 07.

B) TÚNELES SIN PRESIÓN INTERNA.

Túnel hidráulico, para conducir agua en caída libre por gravedad. El túnel realiza trabajos de canal o también aloja redes de conducción.

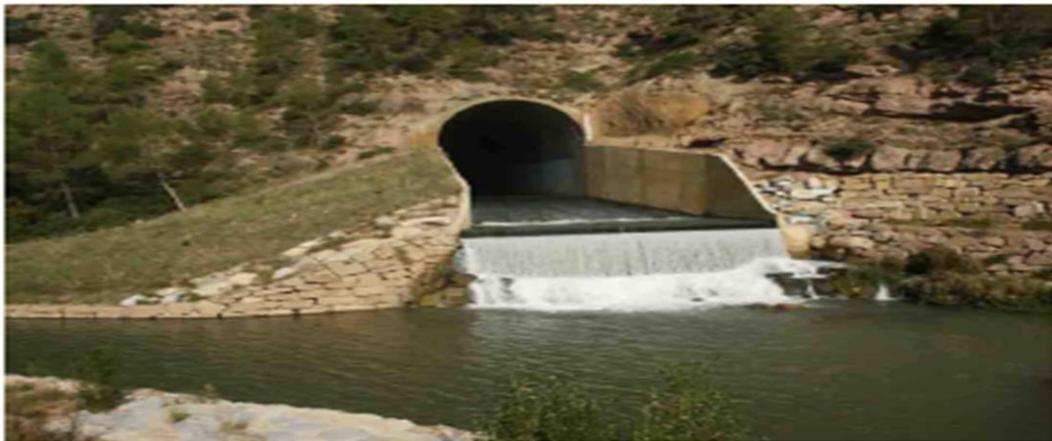
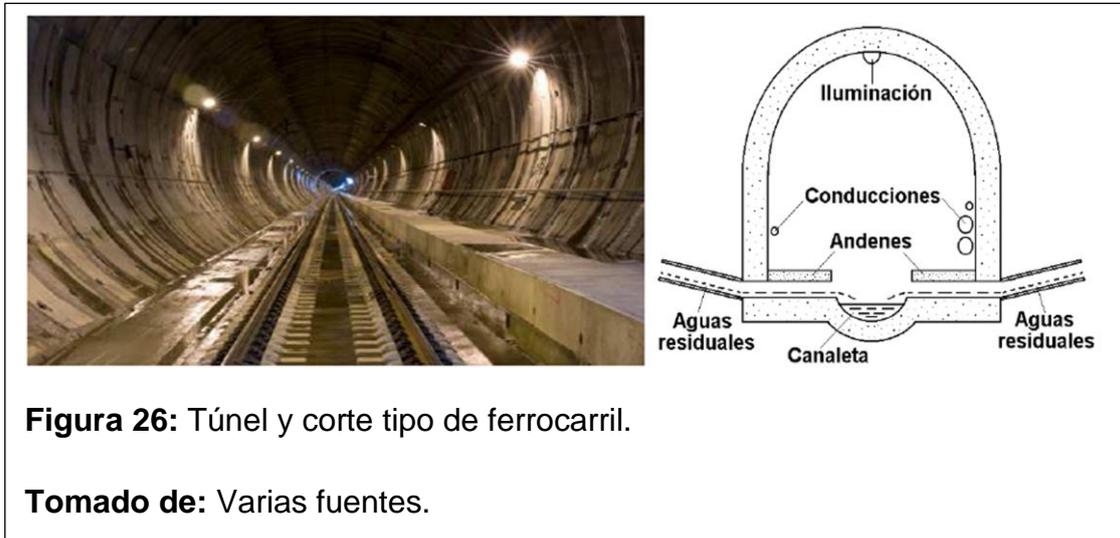


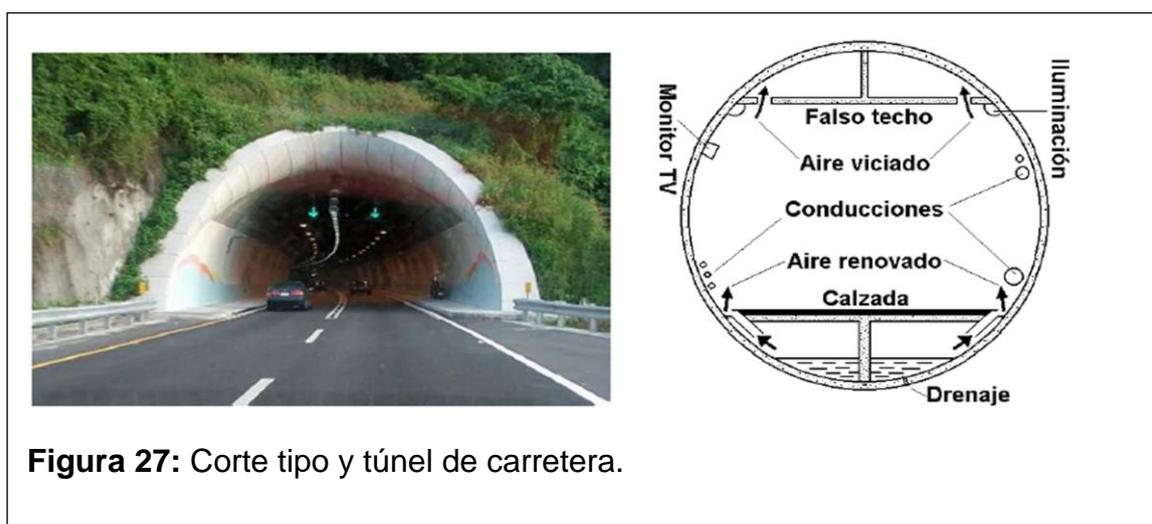
Figura 25: Corte tipo de túnel hidráulico.

Tomado de: Vázquez I. Gestión de riesgos en proyectos de túneles, 2012, pp. 07.

Túneles ferroviarios, tipo Metro, poseen superficies especiales según su funcionalidad única o doble, aunque el diseño de una vía de alta velocidad es complejo debido a la aerodinámica.



Túneles carreteros, generalmente de sección circular; suelen ser recubiertos y se instalan sistemas de ventilación, iluminación, desagüe y video vigilancia. De preferencia el trazado es lineal, debe tener una pendiente suficiente para evacuar por gravedad las aguas. Por lo que, la inclinación está determinada a la categoría de transporte destinado. Si la desigualdad de cota entre dos puntos es alta, puede ser necesario escoger un trazado vial en curva para ampliar el trayecto y disminuir la pendiente.



Otros tipos, túneles construidos para hospedar específicas instalaciones de orden científico o defensivo.



Figura 28: Túnel y búnker Drnov.

Tomado de: Archivo de museo de la Guerra Fría en Drnov, República Checa, 2003.

3.2.2. FASES CONSTRUCTIVAS DE UN TÚNEL.

En general, las fases constructivas para un túnel son:

- ❖ Excavación,
- ❖ Sostenimiento o entibamiento, y
- ❖ Recubrimiento o revestimiento.

En túneles realizados en roca, la etapa principal es la excavación. El entibamiento es prácticamente secundario, pues un terreno rocoso de buena o mediana calidad se sostiene prácticamente por sí mismo. Para proyectos de túneles en terrenos de mala calidad es fundamental el sostenimiento. No servirá la técnica de excavación si la bóveda o las paredes colapsan.

3.2.2.1. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS PARA TÚNELES.

Tabla 6: Resumen principales métodos constructivos para túneles.

PRINCIPALES MÉTODOS CONSTRUCTIVOS PARA TÚNELES	TERRENOS BLANDOS	MÉT. AUSTRIACO TRADICIONAL	
		TRADICIONAL (Belga o Madrid)	
		MÉTODO ALEMÁN	
		MÉTODO BERNOLD	
	TERRENOS MEDIOS Y DUROS	PERFORACIÓN Y VOLADURA	
		ROZADORAS	
		TUNELADORAS	TOPOS
			ESCUDOS
	CUT AND COVER	BOTTOM-UP	
		TOP-DOWN Ó MÉT. INVERSO	

3.2.2.1.1. CUT-AND-COVER.

Es un sistema de construcción para túneles superficiales (túneles falsos) que inicia desde superficie la excavación total o parcial del orificio que ocupará el túnel, se erige el túnel a cielo abierto y se lo cubre una vez ejecutado. Requiere de un método de sostenimiento robusto que soporte las presiones que soportará el túnel.

Se pueden ejecutar de dos modos:

a) **BOTTOM-UP o ASCENDENTE.**

El espacio es generado todo a cielo abierto y se arma la estructura desde el interior del hueco; puede ser de hormigón pretensado, hormigón in situ, arcos pretensados, entre otros.



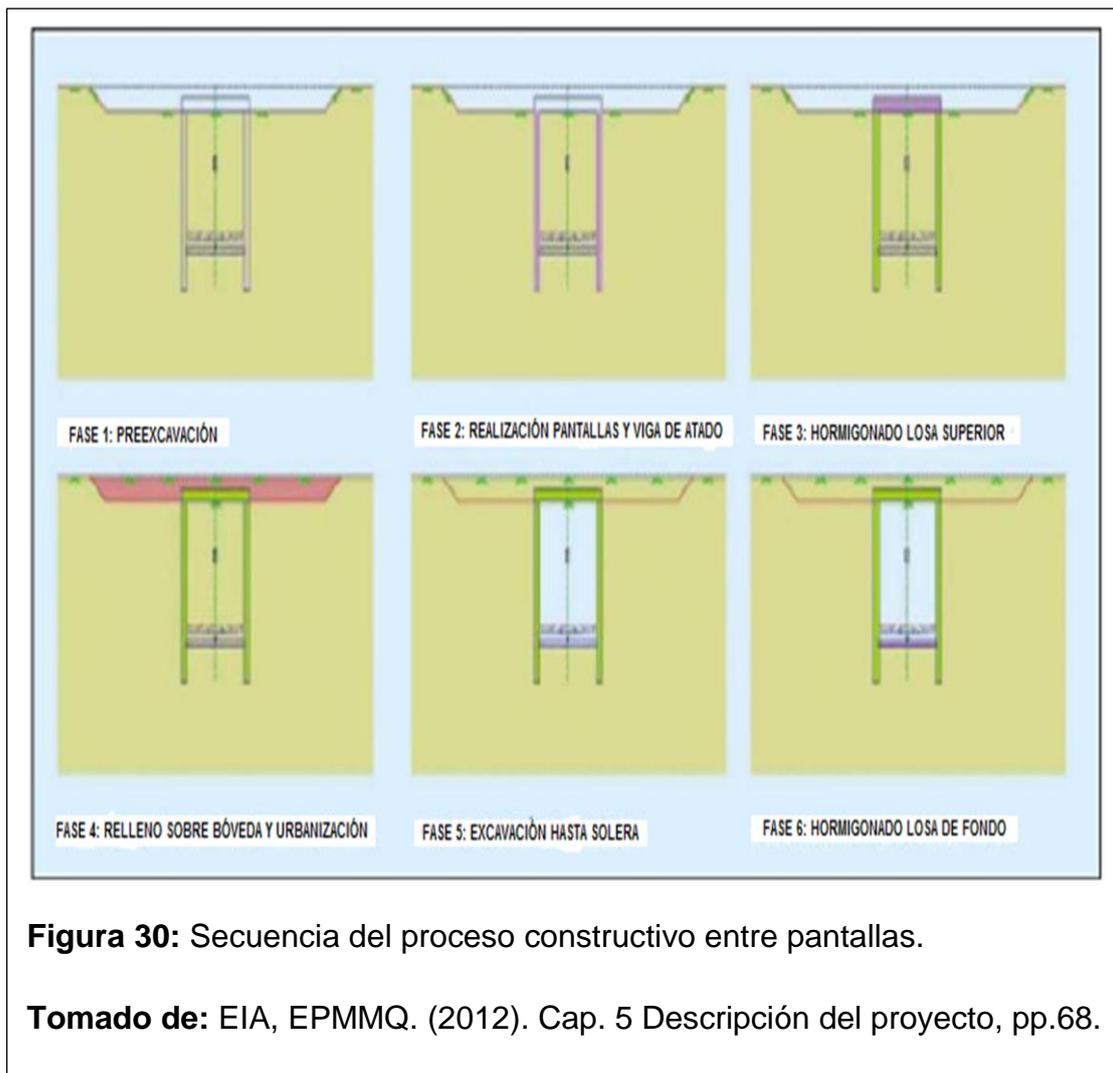
Figura 29: a) Molde y túnel para método de frente completo.

Nota: Túnel armado in situ Av. Simón Bolívar sector La Forestal, Quito.

b) TOP-DOWN o MÉTODO DESCENDENTE (ENTRE PANTALLAS).

Utilizado en zonas urbanas para evitar interrupciones de tráfico.

- ❖ Primero se ejecutan los hastiales o paredes del túnel mediante pilotes de hormigón armado o muros tipo pantalla, con profundidades que varían entre 10 y 30 m.
- ❖ Se elabora la losa superior con hormigón armado apoyada en las pantallas con un equipo de encofrado convencional.
- ❖ Terminada y fraguada la losa, la superficie exterior puede urbanizarse, mientras, por debajo, continúan los trabajos, extrayendo el material excavado con maquinaria convencional.
- ❖ Cuando se ha llegado al nivel de excavación se ejecuta la contrabóveda o losa inferior del túnel.
- ❖ Tiene un rendimiento entre 100-125 m/mes.



3.2.2.1.2. TERRENOS BLANDOS.

Habitualmente la excavación se ejecuta en etapas por la poca competencia del suelo. La teoría dice que mientras una sección sea más pequeña no se presentan problemas o por lo menos pueden mitigarse. Cada etapa de excavación es sostenida adecuadamente antes de ensancharla y continuar.

a) NUEVO MÉTODO AUSTRIACO TRADICIONAL (NTAM).

Éste método se ejecuta en dos ciclos de avance y uno de destroza. Se generan dos galerías de adelanto que posteriormente se enlazan creando la clave. Luego se elabora la destroza.

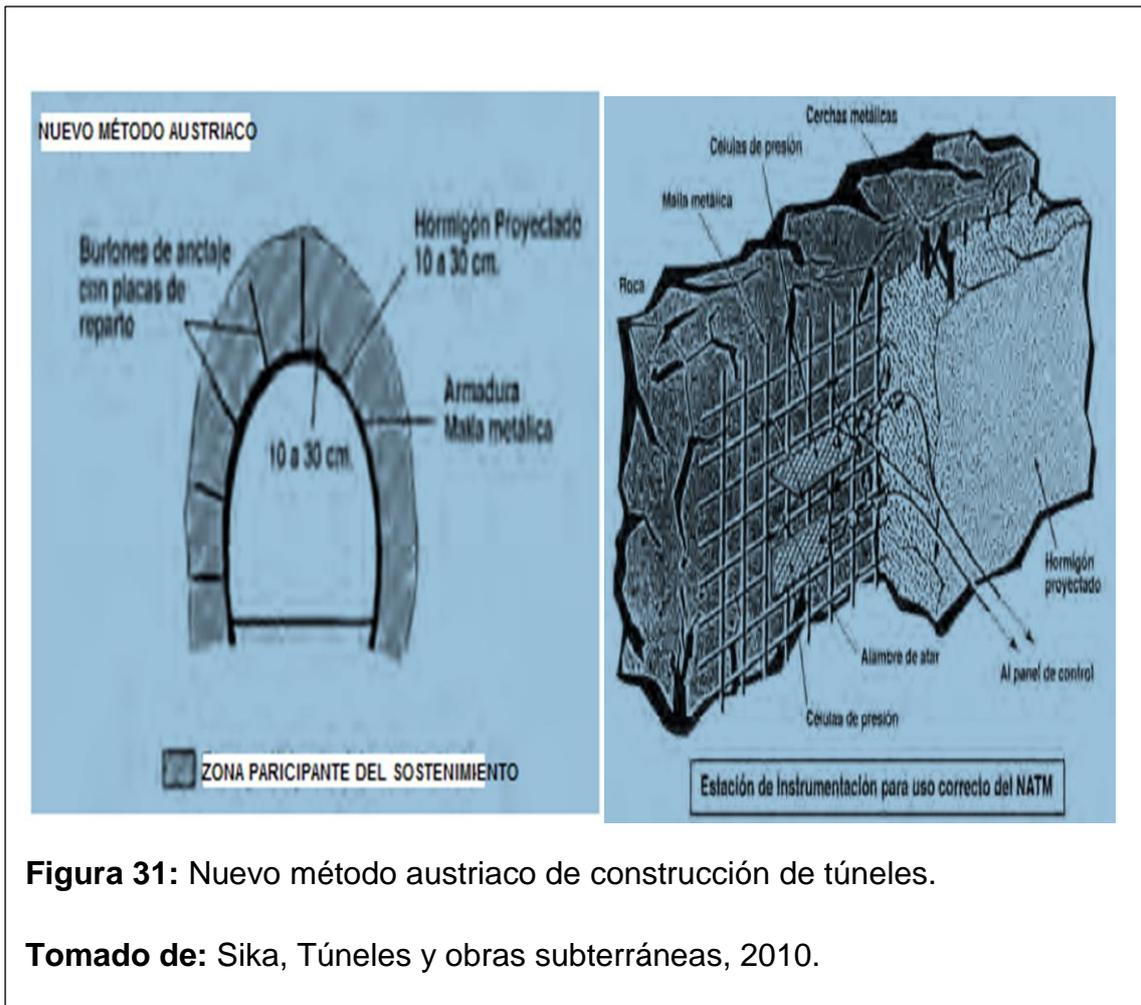


Figura 31: Nuevo método austriaco de construcción de túneles.

Tomado de: Sika, Túneles y obras subterráneas, 2010.

Al comenzar la excavación de un túnel, el terreno se encuentra en estado de equilibrio, como consecuencia de esa excavación, el equilibrio se pierde por lo que se hace necesario la ejecución de un sostenimiento apropiado para cada tipo de terreno para asegurarlo y limitar su descompresión al mínimo posible. Con ésta filosofía nace el NATM en 1958 por A. Brunner. El sistema está concebido como una estructura combinada, consistente en una formación del terreno alrededor de la excavación, y varios métodos de sostenimiento, como el hormigón proyectado, refuerzos y armados, bulones, cerchas, etc.

En todo momento, se debe tener en cuenta los valores geomecánicos del terreno “in situ” y laboratorio, debido a cambios de presión y filtraciones de agua para dimensionar el revestimiento definitivo.

b) MÉTODO TRADICIONAL (MÉTODO BELGA o MÉTODO MADRID).

El proceso constructivo por éste método ha sido aplicado en la ejecución de los túneles del metro en Madrid.

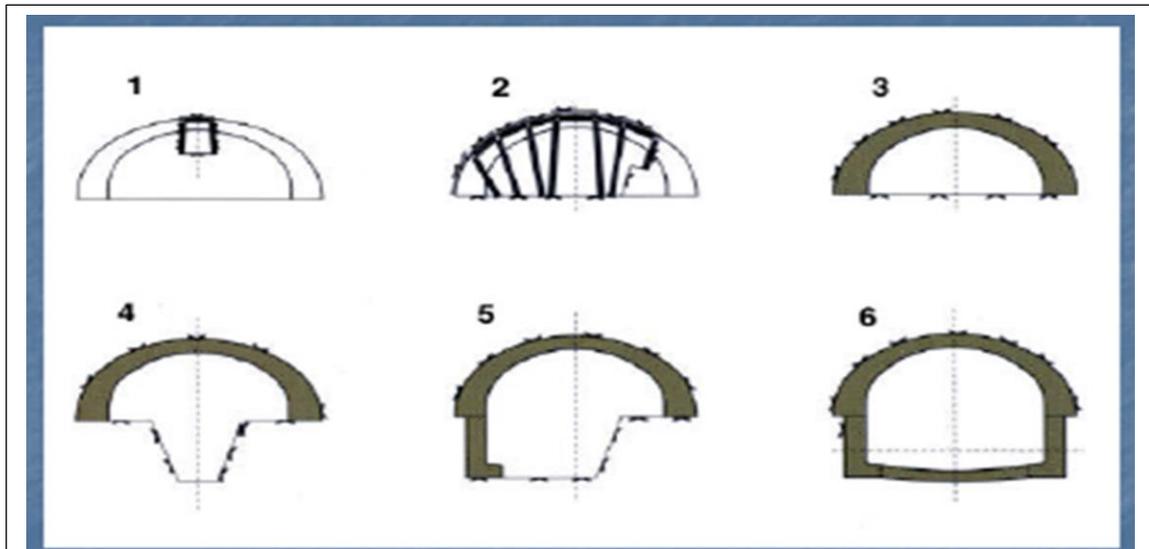


Figura 32: Sección tipo túnel método tradicional.

Tomado de: Estudios de diseño de ingeniería del Metro de Quito, 2012.

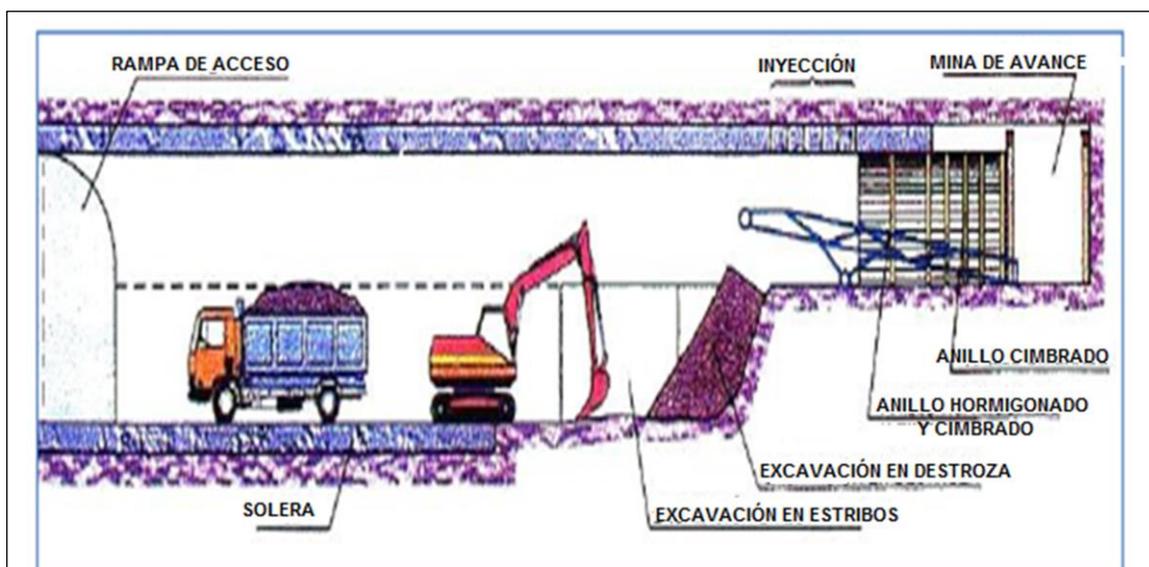


Figura 33: Esquema general avance por método tradicional.

Tomado de: Estudios de diseño de ingeniería del Metro de Quito, 2012.

1. Se inicia la excavación realizando la galería de avance (más o menos 1 m de ancho), en la línea eje del túnel apoyándose con entibación permanente.
2. Conforme avanza la excavación se van colocando tablas apuntaladas en el terreno revistiendo el segmento superior de la galería. Concluida ésta galería se colocan longarinas (perfiles metálicos) que sirven de soporte a las tablas y que se apoyan sobre pies derechos. Consumada la galería de adelanto se abre la excavación a ambos lados de ella en tramos, en forma análoga pasando tablas acuñadas contra los perfiles metálicos ya instalados y en el lado contrario apoyado en el suelo hasta concluir la excavación y colocar un nuevo perfil metálico.
3. Concluida la excavación de la bóveda se fortalece el encofrado y por bombeo hormigonado de la misma, impidiendo la deformación del terreno. Ésta excavación se ejecuta con martillo neumático y el abandono lo realiza la cinta transportadora hasta volquetas.
4. Hormigonada la bóveda y con desfase de varios anillos, se empieza la destroza, que consiste en excavar una arca central con un retiro mayor a 1 m de las paredes. La destroza se ejecuta con excavadora y las tierras se retiran con cinta transportadora.
5. Finiquitada la destroza, se hacen las paredes por bataches al tresbolillo, que es la excavación ejecutada bajo cimientos mediante pequeños tramos alternados formando triángulos equiláteros entre ellos en al menos dos filas paralelas. Debe considerarse no excavar dos bataches enfrentados.
6. Se excava la contra bóveda en una distancia de hasta cinco anillos, para luego hormigonarla.

Tenemos como ventajas del método tradicional las siguientes:

- ❖ Baja inversión inicial en las instalaciones,
- ❖ Pertinencia de arranques en algunos frentes
- ❖ Fijeza del frente
- ❖ Adaptación a un alto tipo de terrenos

- ❖ Excelente control de asentamientos
- ❖ Recuperación del material excavado en su estado natural
- ❖ El rendimiento promedio de avance es de 50 m/mes.

Las desventajas son:

- ❖ Requiere mano de obra especializada
- ❖ Alta proporción entre materiales y mano de obra.
- ❖ Presencia de muchas juntas de construcción.

c) MÉTODO ALEMÁN.

Éste método guarda similitudes con el método tradicional pero siendo más riguroso en la estabilidad de la excavación. Inicia con abrir dos galerías contiguas, se agrega hormigón en el sector de hastiales y luego aplica la misma técnica que el procedimiento tradicional. Es empleado preferentemente en excavaciones superficiales en suelos blandos.

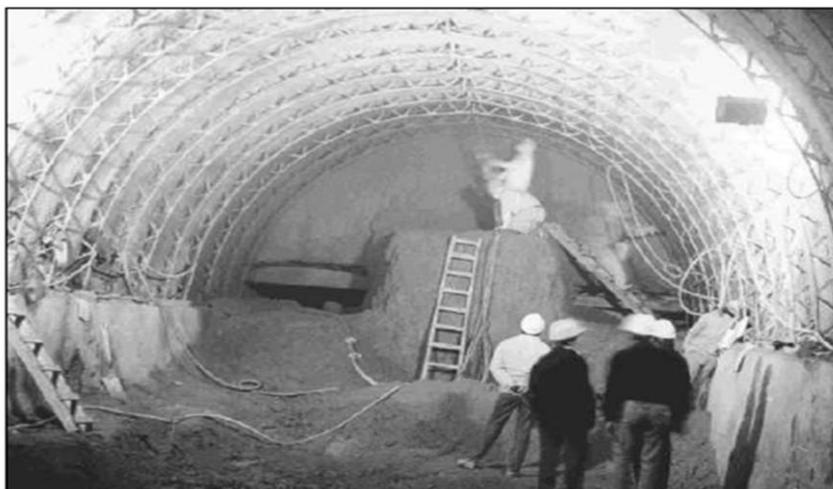


Figura 34: Túnel subterráneo Buenos Aires-Argentina.

Tomado de: Vázquez I. Gestión de riesgos en proyectos de túneles, 2012.

d) MÉTODO BERNOLD.

Después de la excavación, éste método aplica un sostenimiento inflexible combinado de cerchas metálicas cubierta en las que se acopla una chapa troquelada llamada chapa Bernold, llevándose hasta el área de excavación una longitud similar al grosor del revestimiento. Luego se inyecta hormigón atrás de la chapa, quedando ésta como revestimiento oculto y armadura.



Figura 35: Método Bernold.

Tomado de: Vázquez I. Gestión de riesgos en proyectos de túneles, 2012.

3.2.2.1.3. TERRENOS MEDIOS-DUROS.

Son métodos de excavación aplicados en roca; diferenciado de las fases constructivas por excavar el material por sobre el sostenimiento del túnel.

a) PERFORACIÓN Y VOLADURA (Explosivos).

El sistema más clásico para la excavación en roca para grandes túneles es mediante sucesivas voladuras, y consiste en dividir el túnel en dos segmentos: una fracción superior o avance y la fracción inferior o destroza. La parte superior se ejecuta como si se tratase de una galería y la parte inferior, que irá retardada, se desarrolla por rebajamiento o banqueo horizontal o vertical.



Figura 36: Excavación con perforación y voladura.

Tomado de: Guzmán, R. Perforación y tronadura en labores mineras subterráneas. (2009).

b) EXCAVACIÓN DEL TÚNEL CON ROZADORA.

Las rozadoras son maquinarias de ataque focalizado que rompe la roca mediante un apéndice seccionador en el cual se ubica la cabeza de corte integrada por picas, que se encargan de desgarrar el material.



Figura 37: Excavación del túnel con rozadora.

Tomado de: Vázquez I. Gestión de riesgos en proyectos de túneles, 2012.

Como ventajas de las rozadoras frente a la perforación y voladura tenemos:

- ❖ Acabado perfecto de la zona de excavación.
- ❖ Mínima afectación a la estructura y ausencia de temblores causados por los explosivos.
- ❖ Mínimos sostenimiento frente al método de perforación y voladura.
- ❖ Excelente acomodo a la edificación.



Figura 38: Cabezas de corte de eje axial de máquinas rozadoras.

Tomado de: Sfriso, Procedimientos constructivos para túneles urbanos, 2009.

c) TUNELADORAS.

Las máquinas tuneladoras son ideales para excavaciones a plena sección, colaboran en la instalación de un sostenimiento transitorio o en la colocación en obra de un revestimiento terminante. Se las denomina TBM (Tunnel Boring Machine). Se acepta un rendimiento entre 400-500 m/mes, que se define como de 10 a 15 veces superior a la excavación manual.

Se reconocen dos grandes conglomerados: Topos y escudos.

TOPOS.

Tuneladoras utilizadas para rocas medias y duras, en donde se requieren mínimas exigencias de sostenimiento primario.

El topo es una máquina fundamentalmente despojada, con escasa protección, cuyo avance se comprueba aplicando a la roca del frente los impulsos concertados del par de giro de la cabeza y el esfuerzo longitudinal en condición de la fuerza contra la roca mediante unos grippers o zapatas para el avance de la tuneladora tipo topo, propulsada por los cilindros de empuje (2 ó 4) y transmitida a las paredes de la excavación.



Figura 39: Ejecución de un topo.

Tomado de: Vázquez I. Gestión de riesgos en proyectos de túneles, 2012.

ESCUDOS.

Son máquinas tuneladoras creadas para excavar suelos o rocas blandas, y que necesitan la instalación ordenada de un sostenimiento definitivo.

Los escudos disponen de una armazón metálica externa que soporta interinamente el terreno desde el avance en donde la cabeza giratoria accionada por motores eléctricos avanza mediante una serie de gatos perimetrales que se apoyan sobre el revestimiento ya colocado para luego retraerse esos gatos e ir colocando el sostenimiento terminante, que son dovelas que abarcan recorrido entre 1,2 a 1,5 metros.

Cuando el anillo está completamente sellado se puede comenzar con un nuevo ciclo de excavación apuntalando los cilindros de empuje contra el nuevo anillo instalado. El espacio de sobre corte generado por la tuneladora con relación al diámetro externo de anillo se rellena con mortero inyectado, para impedir deslizamientos, fracturas en las dovelas y asentamientos, así queda garantizada la estabilidad del túnel.

La diferencia con los escudos es que un topo no está dotado de un cilindro de acero tras la rueda de corte de acero tras la rueda de corte que realiza la función de entibación provisional.



Figura 40: TBM con escudo simple, utilizada en el túnel de Madrid.

Tomado de: Vázquez I. Gestión de riesgos en proyectos de túneles, 2012.

DOBLE ESCUDO.

El doble escudo es una tuneladora con particularidades mixtas de máquinas tipo topo y máquinas tipo escudo en función del suelo a atravesar; por ello es la mejor opción cuando haya diversidad en el terreno. El sistema de la máquina está fraccionado en dos secciones: en la delantera se localiza la cabeza de corte y en la sección trasera se ejecuta el montaje de las dovelas y los cilindros para la propulsión en modalidad escudo normal, por lo que está garantizado el sostenimiento del terreno durante el avance de la excavación.



Figura 41: TBM doble escudo, Vigo-Das Maceiras, España.

Tomado de: Vázquez I. Gestión de riesgos en proyectos de túneles, 2012.

Existen algunas variables como los hidroescudos, máquinas adecuadas para trabajar en gravas y arenas u otros materiales blandos. Estabilizan el frente del túnel mediante lodos bentoníticos. Los escudos de presión de tierras EPB se utilizan en terrenos cohesivos, tienen alta rentabilidad en su funcionamiento y respeto al medio ambiente.

3.2.2.2. SOSTENIMIENTO.

Se entiende al sostenimiento de un túnel como al universo de componentes adecuadamente instalados, favorecen a la fijezza del mismo. Además, la razón de ser de un revestimiento no tiene que ser solo estructural, sino también puede inclinarse a la estética o a la impermeabilización.

Los componentes más usados para el sostenimiento de un túnel son:

a) BULONES.

Elementos de acero que actúan apuntalando las discontinuidades que traspasan. Aportan una presión radial al macizo, evitando de esta manera descompresiones que pueden originar desequilibrios.

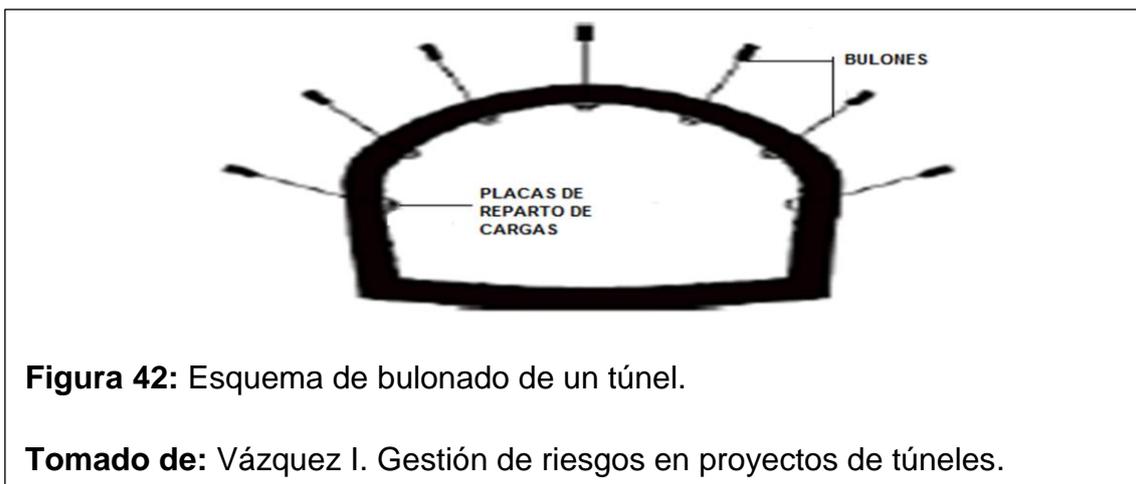


Figura 42: Esquema de bulonado de un túnel.

Tomado de: Vázquez I. Gestión de riesgos en proyectos de túneles.

b) HORMIGÓN PROYECTADO.

Mortero u hormigón puesto in situ con gran rapidez a través de la manguera de una shotcretera, eventualmente requiere una malla como refuerzo. El hormigón se incrusta adecuadamente al terreno, logrando que las presiones sean uniformes.



Figura 43: Hormigón proyectado mediante robot mecánico.

Tomado de: Vázquez I. Gestión de riesgos en proyectos de túneles.

c) CERCHAS METÁLICAS.

Son dispositivos en forma de arco que muestran óptimas cualidades mecánicas y que unido al hormigón proyectado forman un sólido elemento robusto. Generalmente son costillas tipo perfil TH o HEB que se instalan en contacto con el perímetro de la excavación fortaleciendo en la solera. Existen soluciones específicas de sostenimiento en la construcción de túneles como los paraguas de micropilotes, hincado de tubos o bulonado del frente.



Figura 44: Cerchas metálicas tipo arco y tipo paraguas de micropilotes.

Tomado de: Vázquez I. Gestión de riesgos en proyectos de túneles, 2012.

3.2.2.3. REVESTIMIENTO.

Para el revestimiento de túneles, los importantes elementos son:

a) HORMIGÓN BOMBEADO.

El hueco existente entre el encofrado y el terreno, es rellenado con hormigón consiguiendo que éste se fusione con el perímetro de la excavación, mientras que el perfil visible queda con un excelente acabado.



Figura 45: Carro de encofrado en un túnel de Guipúzcoa.

Tomado de: Vázquez I. Gestión de riesgos en proyectos de túneles, 2012.

b) DOVELAS PREFABRICADAS.

Es un sistema atado al uso de la máquina tuneladora con escudo. Las dovelas son dispositivos de hormigón armado elaboradas en un sitio externo al túnel y trasladadas al interior en plataformas.

Las dovelas se instalan en forma automática o semi-automática y se introduce el trasdós de la dovela para que tome contacto con el suelo.



Figura 46: Túnel revestido de dovelas prefabricadas.

Tomado de: Vázquez I. Gestión de riesgos en proyectos de túneles, 2012.

c) PANELES PREFABRICADOS.

Generalmente los paneles no tienen un fin resistente pues son estrictamente estéticos o de resguardo. Existe una amplia variedad de elementos.



Fig. 47: Túnel revestido con paneles prefabricados de hormigón.

Tomado de: Vázquez I. Gestión de riesgos en proyectos de túneles.

Cabe destacar que en el sostenimiento como en el revestimiento se procurará en todo momento impermeabilizar las paredes y contrabóveda del túnel, por cualquiera de los métodos conocidos, especialmente por medio de drenes, membranas plásticas y hormigón proyectado.

3.3. ESTABLECIMIENTO DE LAS MEJORES CONDICIONES DE TRABAJO.

3.3.1. INTRODUCCIÓN.

La edificación de túneles y obras subterráneas envuelve peligros para todos los miembros directamente vinculados así como para otras partes indirectamente relacionadas con el proyecto, por lo que es necesario:

- ❖ Identificar los peligros en la seguridad y salud de los trabajadores.
- ❖ Reconocer los riesgos para los patrimonios de terceros, principalmente edificios y estructuras ciertas.

- ❖ Identificar riesgos para las propiedades en forma de pérdidas financieras o gastos adicionales no planificados.

Identificados los peligros, se hace necesario clasificarlos, para luego detallar las medidas correctoras para cada peligro y registrarlos en un documento de política de riesgos del proyecto pues puede ser fundamental al decidir el proceso constructivo a implementar en la construcción del túnel.

3.3.2. REQUERIMIENTOS LEGALES.

Como Andrade(2010, pp. 34-38) ya lo dijo, la gestión de seguridad y salud en el Ecuador para la construcción de edificaciones debe cumplir con las políticas y normas ecuatorianas relativas a seguridad laboral basada en la Norma OHSAS 18001, ISO 14001 e ISO 9001; y en leyes generales como:

- ❖ Constitución Política del Ecuador, año 2008
- ❖ Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo
- ❖ Ministerio de Trabajo
- ❖ Reglamento de Seguridad para la construcción y obras públicas
- ❖ Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS)
- ❖ Ministerio de Salud Pública
- ❖ Comunidad Andina (CAN)
- ❖ Convenios Internacionales y otras Normas Específicas.

3.3.3. IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS A LA SALUD OCUPACIONAL.

El estudio presente se circunscribe a reconocer los riesgos referentes a la seguridad y salud de los trabajadores en la zona de las excavaciones, y frenar o disminuir los accidentes y efectos nocivos para la seguridad y salud de los mismos, y sugerir alternativas de solución en el corto, mediano y largo plazo detalladas en el Plan de Manejo Ambiental.

De acuerdo a éste procedimiento, la siguiente podría ser una lista de tipos de riesgos en excavaciones subterráneas.

Tabla 7: Tipos de riesgos.

PELIGROS	RIESGOS
FÍSICOS	Ruido Vibraciones Radiaciones ionizantes Radiaciones no ionizantes Temperaturas extremas Presión Electrocución Derrumbes
MECÁNICOS	Por golpe Por aprisionamiento Por contacto Por caída Por atropello Choque Derrumbe Volcamiento maquinaria
QUÍMICOS	Gases Vapores Polvos Nieblas
BIOLÓGICOS	Virus Bacterias Hongos
ERGONÓMICOS	Levantamiento de cargas Movimientos repentinos Posturas inadecuadas Monotonía Número de trabajadores por espacio
PSICOSOCIALES	Estrés Acoso Desórdenes Psicosomáticos Patologías Robos
AMBIENTALES	Generación de desechos Inversión térmica Cambio climático

Adaptado de: Bustos, J.; Olmos, R. y Solas, A. Gestión de riesgos operacionales en excavación subterránea (2006).

3.3.4. POLÍTICA DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO.

Una empresa constructora que ejecute labores de excavación subterránea desarrollará una gestión eficiente para la seguridad y salud de su personal, iniciando de la primicia de resguardar la vida, la integridad y la salud de todos sus colaboradores, directos e indirectos.

Dicha política deberá:

- ❖ Ser consecuente con la naturaleza y dimensión de los riesgos para la Seguridad y Salud en el Trabajo de la empresa,
- ❖ Contener un pacto de prevención de daños y deterioro en la salud, y de una permanente mejora a la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo,
- ❖ Determinar un compromiso de cumplimiento de los requisitos legales ajustables para la Seguridad y Salud en el Trabajo,
- ❖ Comunicar a todas las personas que trabajan para la empresa sus deberes propios en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo,
- ❖ Ser revisada periódicamente para asegurar la eficacia de la Política de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Como Andrade (2010, pp. 63) ya lo dijo, para la puesta en práctica de los manuales de una política de preparación, la empresa debe contar con la participación y asistencia de sus trabajadores, miembros de dirección y delegación, servicio de prevención foráneo, con el objetivo básico de que el nivel de seguridad y salud mejore permanentemente para todos los que trabajan en la misma. Reuniones continuas en talleres de formación e información con sus trabajadores y publicaciones en carteleras son los medios utilizados para difundir internamente la Política de Seguridad y Salud en el Trabajo y su mejora continua para lo cual la empresa debe contar con los recursos, funciones, responsabilidades y autoridades en los distintos niveles jerárquicos.

3.3.5. PROTECCIÓN COLECTIVA E INDIVIDUAL.

En forma general, para que funcione la Seguridad y Salud en el Trabajo se requiere adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual, por cuanto los Equipos de Protección Individual (EPI) no impiden que los peligros subsistan para el trabajador, ya que sigue sometido y expuesto a ellos.

3.3.5.1. PROTECCIÓN COLECTIVA.

Se define los medios de protección colectiva como: “aquellas medidas preventivas que se efectúan para varios trabajadores de forma simultánea y que están expuestos a un mismo riesgo”. (Grupo Interlab. 2008).

La diferencia entre un medio de protección colectiva con un equipo de protección individual radica no solo en la cantidad de trabajadores que involucra, sino también en que el medio de protección colectiva es una disposición tutelar que minimiza la ocurrencia de un riesgo, a diferencia de que el equipo de protección individual solo disminuye sus efectos.

También la protección colectiva es una técnica que trata al riesgo en el mismo terreno en que se produce, siendo más fácil controlarlo.

Modelos de protección colectiva son:

- ❖ Instalación de barandillas, escaleras
- ❖ Colocación y funcionamiento de sistemas de ventilación
- ❖ Montaje de barreras de resguardo acústico y térmico
- ❖ Cercado perimetral de áreas de labores
- ❖ Redes de seguridad para trabajos en altura
- ❖ Instalación de extintores de incendio
- ❖ Carcazas de protección en motores o piezas en movimiento
- ❖ Señalizaciones internas y externas de obra
- ❖ Orden y limpieza, etc.



Figura 48: Señalización de Seguridad y Salud en el Trabajo

Tomado de: Interlab G. Prevención de Riesgos Laborales. Módulo (2008).

3. 3.5.2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI).

Como norma fundamental se determina que los equipos de protección individual deben emplearse cuando los medios técnicos de protección colectiva se han limitado por las condiciones del lugar de trabajo y son insuficientes generando riesgos para la salud o seguridad de los trabajadores por lo que garantizan la eliminación o suficiente limitación de los riesgos correspondientes que amenacen la seguridad o salud personal.

Los EPI para el sector de la construcción pueden ser.

- ❖ Cascos protectores, de buena absorción de impactos, resistencia a la perforación y las llamas, con un buen aislamiento eléctrico.
- ❖ Calzado de seguridad y protección, que disponga de suela termoaislante y anatómica.

- ❖ Gafas de protección, pantallas faciales, para trabajos de soldadura, manipulación de pistolas grapadoras, trabajos eléctricos, químicos y de radiación óptica.
- ❖ Equipos de protección respiratoria, que minimicen riesgos por intoxicación de gas o por escasez de oxígeno, por ejecución de trabajos en túneles pozos, galerías, canales y cualquier obra subterránea.
- ❖ Protectores del oído, por trabajos de percusión o donde se utilicen dispositivos de aire comprimido.
- ❖ Ropa y prendas de seguridad, reflectantes de ser el caso, así como prendas de protección para el mal tiempo, o donde haya filtraciones de agua.
- ❖ Prendas para la protección del tronco, brazos y manos, ropa anti inflamable y mandiles de cuero para trabajos de soldadura. Guantes adecuados para cada actividad y que protejan permanentemente las manos.
- ❖ Dispositivos de sujeción al cuerpo y equipos para protección anti caídas, como cinturón anti caídas, arnés de seguridad, y demás dispositivos para trabajos en altura.
- ❖ Prendas y materiales para protección de la piel, para manejo de sustancias o productos que afecten la piel o penetren a través de ella.
- ❖ Otros, específicos por área de trabajo.



Figura 49: Señalización de la obligación de uso de EPI.

Tomado de: Andrade C. Gestión de Seguridad y Salud en la Construcción de Edificaciones. (2010).

Los equipos y elementos de protección individual protegen eficazmente al trabajador frente a los riesgos que originan su uso y responden a las condiciones existentes en el lugar de trabajo, por lo que deben ser elaborados o confeccionados aplicando la ergonomía y anatomía humanas.

Cada equipo de protección individual está reservado para un uso personal, sin embargo, si las situaciones exigen el uso de los mismos por algunas personas, se adoptarán las prevenciones necesarias de asepsia e higiene para no originar problemas de salud a los distintos usuarios.

La utilización, mantenimiento, almacenamiento y limpieza cuando proceda de los equipos de protección individual deben efectuarse de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Para complementar y asegurar el cumplimiento del proyecto en materia de salud y seguridad debe estar monitoreado por Autoridad Ambiental Competente quien deberá realizar una o varias Auditorías Externas, de ser el caso, para verificar el cumplimiento del mismo; aplicará rectificaciones o sanciones de ser necesario. La empresa constructora también contará con un Departamento Ambiental y de Seguridad Industrial, que realizará Auditorías Internas y establecerá normativas de seguridad industrial para la empresa, y velará por la observancia de normas nacionales e internacionales como la Oshas 18001, Oshas 18002, ISO 14001, entre otras. Finalmente elaborará el Reglamento Interno de Seguridad y Salud en el Trabajo, que deberá ser aprobado por el Ministerio de Trabajo.

CAPÍTULO IV.COMPARACIÓN ENTRE LAS TÉCNICAS DE EXCAVACIÓN.

4.1. PARÁMETROS DE COMPARACIÓN.

Una vez identificada la mejor opción para un trazado vial subterráneo de la línea del Metro para Quito, como la alternativa 1 (denominada Centro en el Cap.3.1.3.), se hace inevitable analizar las distintas opciones de los métodos constructivos para túneles (Cap.3.2.2.1.) y determinar cuál de ellos es el óptimo para cada uno de los tramos o fases del túnel de línea (los estudios de caracterización geotécnica del trazado vial recomiendan la ejecución en fases) y las estaciones.

Los criterios de geotecnia, el gran avance tecnológico en la excavación de túneles para metros, unidos a una limitada capacidad de avance en la construcción para a las condiciones topográficas del suelo de Quito por parte de algunos métodos constructivos hacen que cinco de los nueve métodos considerados sean descartados desde el inicio, y se reduzcan a tan solo tres: Pantallas, Tradicional y NTAM que en esencia son iguales y, tuneladoras EPB.

A continuación se exhiben los valores subjetivos condicionantes para los métodos constructivos a considerarse para la construcción del túnel del metro de Quito, tomados del Diseño del Proyecto hecho para la Secretaría de Movilidad del DMQ en el año 2010 y encomendados a la compañía Metro de Madrid:

1. **FACTIBILIDAD E INFRAESTRUCTURA.** La factibilidad geotécnica, geológica, la condición sísmica e hidrológica en relación a las aguas subterráneas y acuíferos; así como la capacidad del método constructivo de resolver las limitaciones topográficas y accidentes geográficos de la ciudad de Quito.

La forma en que el método constructivo minimiza afectaciones en las redes de telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado subterráneos y una parte del oleoducto Sote especialmente en el sur de la ciudad, así como las construcciones civiles, obras públicas y privadas existentes y proyectadas

dentro del trazado vial del Metro. La utilización de áreas libres para el establecimiento y construcción de las estaciones, talleres de mantenimiento, bodegas y cocheras o estacionamiento para el material rodante por desarrollarse desde superficie, pero sin afectar la movilidad de la ciudad.

2. **COSTOS.** Escoger el método que garantice el cumplimiento de los mínimos costos para la ejecución completa del proyecto.

Merece un tema aparte el análisis de costo de excavación para cada uno de los tres métodos constructivos a utilizarse para el Metro de Quito, y no es motivo del presente trabajo.

3. **TIEMPO.** El cumplimiento de los plazos es un condicionante principal para la elección del método constructivo más adecuado para la ejecución del proyecto Metro de Quito.

4. **FACTORES PATRIMONIALES.** Que método constructivo minimiza las vibraciones y posibles afectaciones al Centro Histórico de Quito, declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad por la Unesco en el año 1978, así como factores arqueológicos.

5. **SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO.** Todo el recorrido del trazado puede verse alterado de una u otra forma por condicionantes in situ, que influyan en su construcción, pero con mayor énfasis en el sur de la ciudad desde Quitumbe hasta Solanda, por lo que se requerirá que el trazado sea flexible para adaptarse al sistema constructivo más adecuado:

- ❖ Desde el punto de vista técnico y económico.
- ❖ Mínima afectación al entorno y máxima seguridad a los trabajadores.

Las obras subterráneas implican riesgos para todas las partes directa e indirectamente relacionadas en el proyecto, por las incertidumbres generadas en todo el terreno, las reales condiciones hidrológicas, las afectaciones al

medio ambiente, además del riesgo de afectación a terceras personas o sus bienes materiales cuando los túneles son ejecutados en zonas urbanas, generan retrasos en el tiempo de ejecución y sobrepuestos en el proyecto.

Al final, siempre existirá variabilidad y diferencia de interpretaciones de los parámetros geotécnicos que involucran a las obras subterráneas por investigaciones limitadas, errores de medida, estimaciones subjetivas, diferencia de resultados entre trabajos en campo y los correspondientes ensayos en laboratorio, validez y precisiones de los modelos geotécnicos de cálculo y errores humanos.

Para concluir, tratar con el medio subterráneo es todo un desafío, y las probabilidades a obtenerse deben evaluarse con precaución, pues un condicionante importante en un sector puede que sea irrelevante en otro. Karl Terzaghi, padre de la geotecnia, sugiere que los resultados obtenidos son solo presunciones de trabajo y que deben ser objeto de ratificación o reforma durante la ejecución de la obra.

4. 2. ELABORACIÓN DE UNA MATRIZ DE SELECCIÓN.

Para determinar la posibilidad de ejecución de un plan, se efectúa un estudio minucioso de sus objetivos y la forma más adecuada para cumplirlos. Con el análisis de alternativas se plasma el proyecto de manera técnica y confiable.

En la actualidad, existen muchos métodos para resolver una matriz de selección de alternativas. Para definir el mejor sistema constructivo que le conviene aplicar a Quito, para la construcción de su solución vial subterránea de tren rápido se escoge el método matricial multicriterios AHP (The Analytical Hierarchy Process) elaborado por Thomas Saaty, cuyos principales pasos son:

- ❖ Identificar diferentes tipos de objetivos o criterios que podrían ser estrategias del proyecto.
- ❖ Aplicar una matriz denominada de comparación y correlación de criterios por pares, usando una escala cualitativa (Tabla N° 8).

- ❖ Desarrollar una matriz de comparación de criterios normalizada.
- ❖ Obtener el vector de pesos para cada criterio condicionante.
- ❖ Por cada criterio, desplegar una matriz de comparación de alternativas por pares.
- ❖ Elegir para cada criterio una matriz de comparación de alternativas por pares, normalizada.
- ❖ Por cada criterio obtener el vector de pesos por alternativas.
- ❖ Aplicar una matriz de prioridad de criterios por alternativas.
- ❖ Obtener la ponderación global de cada alternativa, dando origen a la selección de la alternativa más viable.

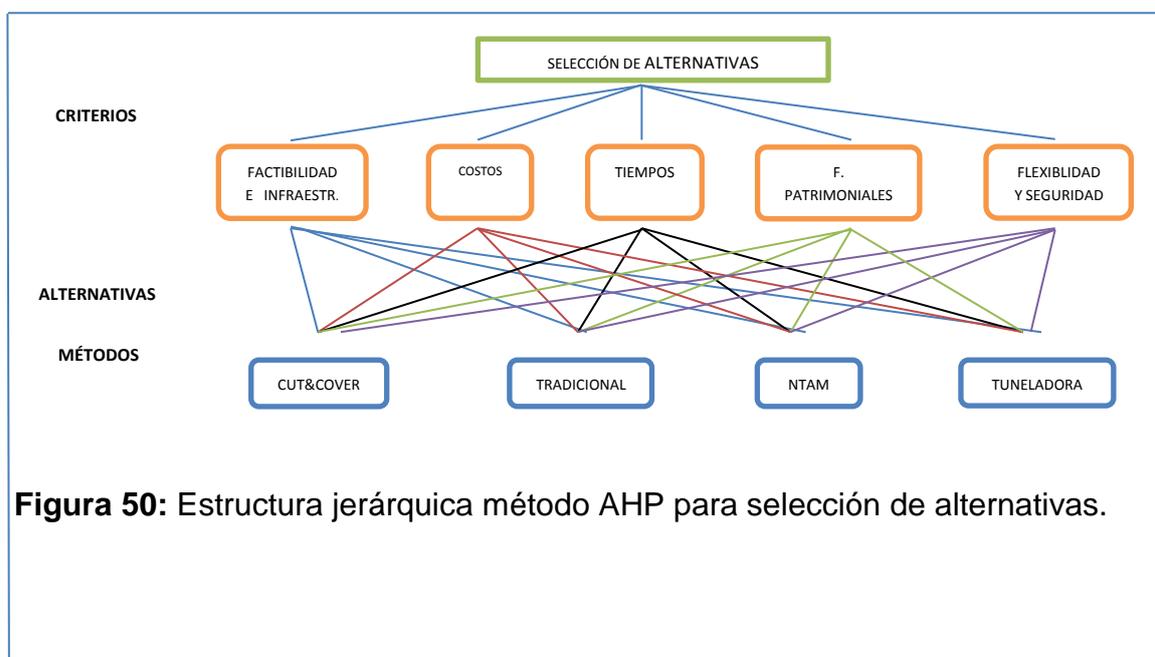


Figura 50: Estructura jerárquica método AHP para selección de alternativas.

4.2.1. ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.

Los estudios del Diseño del Proyecto hechos para la Secretaría de Movilidad del DMQ, sugieren fraccionar en tramos el trazado del Metro, por factores geotécnicos y por la alta sensibilidad patrimonial y arqueológica del Centro de Quito para el escogimiento de la mejor opción del sistema constructivo parcial para cada tramo, y son:

- ❖ Tramo 1: Quitumbe-Solanda
- ❖ Tramo2: Solanda- Solanda
- ❖ Tramo 3: Solanda- La Magdalena
- ❖ Tramo4: La Magdalena-El Ejido
- ❖ Tramo 5: El Ejido-El Labrador.

Tabla 8: ESCALA CUALITATIVA

DENOMINACIÓN	VALOR
EXTREMADAMENTE PREFERIDA	1
MODERADAMENTE PREFERIDA	2
MINIMAMENTE PREFERIDA	3

TRAMO 1. QUITUMBE SOLANDA

Éste tramo inicial toma como principal condicionante el hecho de que en el trazado propuesto el espacio físico a afectar sería mínimo pues no existe alta infraestructura pública o privada, gran parte del tramo seleccionado atraviesa sitios despejados, paso de quebradas como Ortega, Shansayacu, y afectación de una parte del Sote que es una infraestructura subterránea. Otro condicionante para escoger el mejor método de construcción para el tramo es el condicionante económico, pues se podría trabajar con un sistema alternativo diferente al de tuneladoras (costos, selección por ser eminentemente subterráneo sin afectación superficial mínima). No afecta ningún patrimonio protegido. Y de los cuatro métodos previamente seleccionados todos muestran altos índices de seguridad a los intervinientes del proceso.

Desarrollar una matriz de comparación de criterios por pares.

Tabla 9: Tramo Quitumbe-Solanda. Matriz de comparación de criterios por pares.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS	FACTIBILIDAD E INFRAESTRUCTURA	COSTOS	TIEMPOS
FACTIBILIDAD E INFRAESTRUCTURA	1	2	3
COSTOS	1/2	1	1/3
TIEMPOS	1/3	3	1
SUMA	1.83	6	4.33

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS	FACTIBILIDAD E INFRAESTRUCTURA	COSTOS	TIEMPOS	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
FACTIBILIDAD E INFRAESTRUCTURA	0.55	0.33	0.69	1.57	0.523
COSTOS	0.27	0.17	0.08	0.52	0.173
TIEMPOS	0.18	0.5	0.23	0.91	0.303

Por cada criterio desarrollar una matriz de comparación de alternativas por pares.

Tabla 10: Tramo Quitumbe-Solanda. Matriz de comparación de alternativas por pares.

Alternativa 1: Factibilidad e infraestructura.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	PANTALLAS	TRADICIONAL	TUNELADORA
PANTALLAS	1	2	3
TRADICIONAL	1/2	1	1/3
TUNELADORA	1/3	3	1
SUMA	1.83	6	4.33

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	PANTALLAS	TRADICIONAL	TUNELADORA	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
PANTALLAS	0.55	0.33	0.69	1.57	0.523
TRADICIONAL	0.27	0.17	0.08	0.52	0.173
TUNELADORA	0.18	0.5	0.23	0.91	0.303

Alternativa 2: Costos.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	PANTALLAS	TRADICIONAL	TUNELADORA
PANTALLAS	1	1	3
TRADICIONAL	1	1	1/3
TUNELADORA	1/3	3	1
SUMA	2.33	5	4.33

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	PANTALLAS	TRADICIONAL	TUNELADORA	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
PANTALLAS	0.43	0.2	0.69	1.32	0.440
TRADICIONAL	0.43	0.2	0.08	0.71	0.237
TUNELADORA	0.14	0.6	0.23	0.97	0.323

Alternativa 3: Tiempos.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	PANTALLAS	TRADICIONAL	TUNELADORA
PANTALLAS	1	2	2
TRADICIONAL	1/2	1	1/3
TUNELADORA	1/2	3	1
SUMA	2	6	3.33

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	PANTALLAS	TRADICIONAL	TUNELADORA	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
PANTALLAS	0.50	0.33	0.60	1.43	0.478
TRADICIONAL	0.25	0.17	0.10	0.52	0.172
TUNELADORA	0.25	0.50	0.30	1.05	0.350

Tabla 11: Tramo Quitumbe-Solanda. Matriz de prioridad de criterios por alternativas y ponderación global.

ALTERNATIVAS	FACT. E INFRAESTRUC.	COSTOS	TIEMPOS
PANTALLAS	0.523	0.440	0.478
TRADICIONAL	0.173	0.237	0.172
TUNELADORA	0.303	0.323	0.350
PONDERACIONES DE CADA CRITERIO	0.523	0.173	0.303

ALTERNATIVAS	AGREGACIÓN MULTIPLICATIVA	PONDERACIONES GLOBALES
PANTALLAS	$0.523 \cdot 0.523 + 0.440 \cdot 0.173 + 0.478 \cdot 0.303$	0.4944
TRADICIONAL	$0.173 \cdot 0.523 + 0.237 \cdot 0.173 + 0.172 \cdot 0.303$	0.1830
TUNELADORA	$0.303 \cdot 0.523 + 0.323 \cdot 0.173 + 0.350 \cdot 0.303$	0.3204

De donde, analizando cada una de las tres alternativas de métodos constructivos más viables para el tramo 1 del proyecto: Quitumbe-Solanda, se elige el sistema constructivo Cut-and-Cover, o llamado también Pantallas.

TRAMO 2: SOLANDA-SOLANDA.

Aquí, el condicionante más importante es la presencia ya de infraestructura existente y consolidada en superficie, por lo que es imposible eludirla para continuar aplicando el sistema entre pantallas o cut-and-cover, por lo que éste queda desde el inicio descartado; además de los estudios técnicos previos realizados por Metro Madrid se distinguen mínimos indicios de un suelo menos cohesivo, por lo que antes del recubrimiento se recomienda la aplicación de un método de sostenimiento. Continúa en importancia el tiempo de realización del tramo 2 del proyecto como segundo criterio a considerar, y en tercer lugar la seguridad y flexibilidad de adaptación del método constructivo seleccionado, pues sobre todo se pretende siempre dar seguridad integral al proyecto, por lo que el costo como condicionante es irrelevante. En el presente tramo tampoco tiene real importancia el factor patrimonial.

Desarrollar una matriz de comparación de criterios.

Tabla 12: Tramo Solanda-Solanda. Matriz de comparación de criterios por pares.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS	FACTIBILIDAD E INFRAESTRUCTURA	TIEMPOS	SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD
FACTIBILIDAD E INFRAESTRUCTURA	1	2	3
TIEMPOS	1/2	1	1/3
SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD	1/3	3	1
SUMA	1.83	6	4.33

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS	FACTIBILIDAD E INFRAESTRUCTURA	TIEMPO	SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
FACTIBILIDAD E INFRAESTRUCTURA	0.55	0.33	0.69	1.57	0.523
TIEMPOS	0.27	0.17	0.08	0.52	0.173
SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD	0.18	0.5	0.23	0.91	0.303

Por cada criterio desarrollar una matriz de comparación de alternativas por pares.

Tabla 13: Tramo Solanda-Solanda. Matriz de comparación de alternativas por pares.

Alternativa 1: Factibilidad e infraestructura.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TRADICIONAL	TUNELADORA	PANTALLAS
TRADICIONAL	1	1	2
TUNELADORA	1	1	1/2
PANTALLAS	1/2	2	1
SUMA	2.50	4	3.50

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TRADICIONAL	TUNELADORA	PANTALLAS	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
TRADICIONAL	0.40	0.25	0.57	1.22	0.407
TUNELADORA	0.40	0.25	0.14	0.79	0.263
PANTALLAS	0.20	0.50	0.29	0.99	0.330

Alternativa 2: Tiempos.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TRADICIONAL	TUNELADORA	PANTALLAS
TRADICIONAL	1	2	3
TUNELADORA	1/2	1	1/3
PANTALLAS	1/3	3	1
SUMA	1.83	6	4.33

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE	TRADICIONAL	TUNELADORA	PANTALLAS	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
TRADICIONAL	0.55	0.33	0.69	1.57	0.523
TUNELADORA	0.27	0.17	0.08	0.52	0.173
PANTALLAS	0.18	0.50	0.23	0.91	0.303

Alternativa 3: Seguridad y flexibilidad.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TRADICIONAL	TUNELADORA	PANTALLAS
TRADICIONAL	1	2	1
TUNELADORA	1/2	1	1
PANTALLAS	1	1	1
SUMA	2.50	4	3

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE	TRADICIONAL	TUNELADORA	PANTALLAS	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
TRADICIONAL	0.40	0.50	0.33	1.23	0.411
TUNELADORA	0.20	0.25	0.33	0.78	0.261
PANTALLAS	0.40	0.25	0.33	0.98	0.328

Tabla 14: Tramo Solanda-Solanda. Matriz de prioridad de criterios por alternativas y ponderación global.

ALTERNATIVAS	FACTIBILIDAD E INFRAESTRUCTURA	TIEMPOS	SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD
TRADICIONAL	0.407	0.523	0.411
TUNELADORA	0.263	0.173	0.261
PANTALLAS	0.330	0.303	0.328
PONDERACIONES DE CADA CRITERIO	0.523	0.173	0.303

ALTERNATIVAS	AGREGACIÓN MULTIPLICATIVA	PONDERACIONES GLOBALES
TRADICIONAL	$0.407 \cdot 0.523 + 0.523 \cdot 0.173 + 0.411 \cdot 0.303$	0.4279
TUNELADORA	$0.263 \cdot 0.523 + 0.173 \cdot 0.173 + 0.261 \cdot 0.303$	0.2465
NTAM	$0.330 \cdot 0.523 + 0.303 \cdot 0.173 + 0.328 \cdot 0.303$	0.3244

Revisando cada una de las tres alternativas de métodos constructivos más viables para el tramo 2 del proyecto: Solanda-Solanda, se elige el sistema constructivo denominado Tradicional (Belga o Madrid). Es un método que permite durante y después de la excavación del túnel aplicar sostenimiento y recubrimiento al mismo, requerimientos necesarios para un suelo blando o menos cohesivo y que a la vez mejora sustancialmente la seguridad tanto de los trabajadores como de la infraestructura existente sobre el tramo considerado.

Similares características posee el Nuevo Método Austriaco Tradicional (NTAM), con la diferencia que el método ganador para éste tramo, ya ha sido ampliamente probado como en el intercambiador de El Trébol y diferentes conductos de alcantarillado de toda la ciudad de Quito. Debe considerarse que la experiencia propia es un atenuante prioritario en la evaluación de dos sistemas constructivos de similitud cercana.

Marcan diferencia los dos sistemas constructivos mencionados anteriormente pues se aplican para situaciones particulares y generalmente para tramos cortos con relación al tercer método propuesto, pues siendo el empleo de la tuneladora el sistema constructivo más usado en el mundo y el que menor oposición presenta a los condicionantes particulares es utilizado generalmente para grandes tramos.

TRAMO 3. SOLANDA-LA MAGDALENA.

Para iniciar, es un tramo largo en donde los condicionantes serán la observancia de los tiempos establecidos, de los costes, así como también la seguridad integral entendiéndose a la seguridad de los trabajadores que ejecutan el túnel y de su entorno.

De menor importancia se consideran los condicionantes de infraestructura y factibilidad geotécnica, así como el factor patrimonial.

Desarrollar una matriz de comparación de criterios.

Tabla 15: Tramo Solanda-La Magdalena. Matriz de comparación de criterios por pares.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS	TIEMPOS	COSTOS	SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD
TIEMPOS	1	2	3
COSTOS	1/2	1	1/3
SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD	1/3	3	1
SUMA	1.83	6	4.33

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS	TIEMPOS	COSTOS	SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
TIEMPOS	0.55	0.33	0.69	1.57	0.523
COSTOS	0.27	0.17	0.08	0.52	0.173
SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD	0.18	0.5	0.23	0.91	0.303

Por cada criterio determinante se desarrolla una matriz de comparación de alternativas por pares.

Tabla 16: Tramo Solanda-La Magdalena. Matriz de comparación de alternativas por pares.

Alternativa 1: Tiempos.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TUNELADORA	TRADICIONAL	PANTALLAS
TUNELADORA	1	2	2
TRADICIONAL	1/2	1	1/2
PANTALLAS	1/2	2	1
SUMA	2.00	5	3.50

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TUNELADORA	TRADICIONAL	PANTALLAS	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
TUNELADORA	0.50	0.40	0.57	1.47	0.490
TRADICIONAL	0.25	0.20	0.14	0.59	0.197
PANTALLAS	0.25	0.40	0.29	0.94	0.313

Alternativa 2: Costos.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TUNELADORA	TRADICIONAL	PANTALLAS
TUNELADORA	1	2	3
TRADICIONAL	1/2	1	1/3
NTAM	1/3	3	1
SUMA	1.83	6	4.33

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TUNELADORA	TRADICIONAL	PANTALLAS	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
TUNELADORA	0.55	0.33	0.69	1.57	0.523
TRADICIONAL	0.27	0.17	0.08	0.52	0.173
PANTALLAS	0.18	0.50	0.23	0.91	0.303

Alternativa 3: Seguridad y flexibilidad.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TUNELADORA	TRADICIONAL	PANTALLAS
TUNELADORA	1	2	1
TRADICIONAL	1/2	1	1
PANTALLAS	1	1	1
SUMA	2.50	4	3

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TUNELADORA	TRADICIONAL	NTAM	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
TUNELADORA	0.40	0.50	0.33	1.23	0.411
TRADICIONAL	0.20	0.25	0.33	0.78	0.261
NTAM	0.40	0.25	0.33	0.98	0.328

Tabla 17: Tramo Solanda-La Magdalena. Matriz de prioridad de criterios por alternativas y ponderación global.

ALTERNATIVAS	TIEMPOS	COSTOS	SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD
TUNELADORA	0.490	0.523	0.411
TRADICIONAL	0.197	0.173	0.261
PANTALLAS	0.313	0.303	0.328
PONDERACIONES DE CADA CRITERIO	0.523	0.173	0.303

ALTERNATIVAS	AGREGACIÓN MULTIPLICATIVA	PONDERACIONES GLOBALES
TUNELADORA	$0.490*0.523 + 0.523*0.173 + 0.411*0.303$	0.4713
TRADICIONAL	$0.197*0.523 + 0.173*0.173 + 0.261*0.303$	0.2120
NTAM	$0.313*0.523 + 0.303*0.173 + 0.328*0.303$	0.3155

Por lo que, para el tramo 3 del trazado del tren rápido para la ciudad de Quito, es seleccionado el sistema constructivo denominado tuneladora TBM en forma general; pero en forma particular la experiencia de la firma consultora Metro Madrid recomienda la TBM en modo EPB (Escudo de presión de tierras), que no es sino una variedad de la primera, que se diferencia por ser recomendado para suelos cohesivos, utiliza la tierra excavada para sostener el frente de la excavación y poseen altos rendimientos de extracción con la consiguiente reducción de tiempo garantizando el cumplimiento de plazos en la ejecución del proyecto; alta rentabilidad de su funcionamiento y además respeto al entorno.

TRAMO 4. LA MAGDALENA- EL EJIDO.

Tramo extremadamente sensible de todo el trazado del tren rápido para la ciudad de Quito, por ser la misma Patrimonio Cultural de la Humanidad por la Unesco en el año 1978, por tener un Centro Histórico protegido por el Fondo de Salvamento, además de considerarse poseedora de un patrimonio arqueológico no descubierto de los primeros habitantes de lo que hoy en día es la ciudad incluso antes de la conquista inca.

Aquí, los criterios condicionantes para descubrir el mejor método constructivo arrancan desde el factor patrimonial y arqueológico, la factibilidad e infraestructura, y la seguridad y flexibilidad del sistema constructivo a utilizar pues se debe analizar in situ la posibilidad de sortear el domo de El Panecillo.

No tienen razón de ser considerar el tiempo que se utilice para ejecutar la construcción del tramo ni el costo económico que ello represente, pues prioritario será preservar el Centro Histórico de la ciudad.

Desarrollar una matriz de comparación de criterios.

Tabla 18: Tramo La Magdalena-El Ejido. Matriz de comparación de criterios por pares.

MATRIZ DE COMPARACION DE CRITERIOS	F. PATRIMONIAL Y ARQUEOLÓGICO	FACTIBILIDAD E INFRAESTRUCTURA	SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD
F. PATRIMONIAL	1	2	3
FACTIBILIDAD E INFRAEST.	1/2	1	1/3
SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD	1/3	3	1
SUMA	1.83	6	4.33

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS	FACTOR PATRIMONIAL	FACTIBILIDAD E INFRAESTRUC.	SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
F. PATRIMONIAL	0.55	0.33	0.69	1.57	0.523
FACTIBILIDAD E INFRAEST.	0.27	0.17	0.08	0.52	0.173
SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD	0.18	0.5	0.23	0.91	0.303

Por cada criterio desarrollar una matriz de comparación de alternativas por pares.

Tabla 19: La Magdalena-El Ejido. Matriz de comparación de alternativas por pares.

Alternativa 1: Factor Patrimonial.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TRADICIONAL	TUNELADORA EPB	NTAM
TRADICIONAL	1	2	1
TUNELADORA EPB	1/2	1	1
NTAM	1	1	1
SUMA	2.50	4	3

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TRADICIONAL	TUNELADORA EPB	NTAM	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
TRADICIONAL	0.40	0.50	0.33	1.23	0.411
TUNELADORA EPB	0.20	0.25	0.33	0.78	0.261
NTAM	0.40	0.25	0.33	0.98	0.328

Alternativa 2: Factibilidad e Infraestructura.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TRADICIONAL	TUNELADORA EPB	NTAM
TRADICIONAL	1	3	2
TUNELADORA EPB	1/3	1	1/2
NTAM	1/2	2	1
SUMA	1.83	6	3.50

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TRADICIONAL	TUNELADORA EPB	NTAM	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
TRADICIONAL	0.55	0.50	0.57	1.62	0.540
TUNELADORA EPB	0.18	0.17	0.14	0.49	0.163
NTAM	0.27	0.33	0.29	0.89	0.297

Alternativa 3: Seguridad y flexibilidad.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TRADICIONAL	TUNELADORA EPB	NTAM
TRADICIONAL	1	2	1
TUNELADORA EPB	1/2	1	1
NTAM	1	1	1
SUMA	2.50	4	3

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TRADICIONAL	TUNELADORA EPB	NTAM	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
TRADICIONAL	0.40	0.50	0.33	1.23	0.411
TUNELADORA EPB	0.20	0.25	0.33	0.78	0.261
NTAM	0.40	0.25	0.33	0.98	0.328

Tabla 20: Tramo La Magdalena-El Ejido. Matriz de prioridad de criterios por alternativas y ponderación global.

ALTERNATIVAS	FACTOR PATRIMONIAL	FACTIBILIDAD E INFRAESTRUCTURA	SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD
TRADICIONAL	0.411	0.540	0.411
TUNELADORA EPB	0.261	0.163	0.261
NTAM	0.328	0.297	0.328
PONDERACIONES DE CADA CRITERIO	0.523	0.173	0.303

ALTERNATIVAS	AGREGACIÓN MULTIPLICATIVA	PONDERACIONES GLOBALES
TRADICIONAL	$0.411 \cdot 0.523 + 0.540 \cdot 0.173 + 0.411 \cdot 0.303$	0.4329
TUNELADORA EPB	$0.261 \cdot 0.523 + 0.163 \cdot 0.173 + 0.261 \cdot 0.303$	0.2438
NTAM	$0.328 \cdot 0.523 + 0.297 \cdot 0.173 + 0.328 \cdot 0.303$	0.3223

Para el tramo La Magdalena-El Ejido, el método constructivo ganador y por lo tanto considerado el más idóneo para utilizarse resulta ser el Método Tradicional (Belga o Madrid), por ser el menos invasivo para un Centro Histórico patrimonial, posiblemente arqueológico y además protegido; por brindar alta flexibilidad para definir y modificar rutas trazadas sin descuidar en lo más mínimo la seguridad integral del entorno.

El tiempo no es considerado vital en la excavación, fundamental es resguardar el patrimonio cultural y arqueológico. Tan sólo será importante el plazo al momento de la evacuación y traslado a escombreras de los escombros generados por dicha excavación.

TRAMO 5. EL EJIDO-EL LABRADOR.

Este tramo es el más largo de todos los anteriores, que en suma constituyen el trazado del túnel subterráneo para el tren rápido que se podría construir para la ciudad de Quito. Ocupa el tramo espacios del antiguo terminal internacional Mariscal Antonio José de Sucre, que a la presente fecha se encuentra no operativo y ciertamente libre de infraestructura sobre superficie, así como espacios con infraestructura consolidada, comercial, educativa y bancaria.

Por lo anteriormente señalado, se citará como criterios condicionantes la preferencia de utilizar un método constructivo para túneles para tramos largos, por ello el primer criterio será factibilidad e infraestructura. Como segundo criterio deberá considerarse el factor tiempo, y por último, flexibilidad con

seguridad, por cuanto se podría dar el caso de que en espacios vacíos se pueda utilizar un método constructivo adicional y opcional.

No atraviesa por sitios protegidos patrimonialmente, y no se conoce al momento de estar sobre restos arqueológicos, por lo que el factor patrimonial no es relevante, así como el factor costos tiene mínima incidencia, a tal punto de no ser considerado como criterio condicionante por sobre seguridad y flexibilidad, para la elaboración de matrices para criterios ni alternativas de selección de sistemas constructivos.

Desarrollar una matriz de comparación de criterios.

Tabla 21: Tramo El Ejido-El Labrador. Matriz de comparación de criterios por pares.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS	F. FACTIBILIDAD E INFRAESTRUCTURA	TIEMPOS	SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD
FACTIBILIDAD E INFRAEST.	1	2	3
TIEMPOS	1/2	1	1/3
SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD	1/3	3	1
SUMA	1.83	6	4.33

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS	FACTIBILIDAD E INFRAEST.	TIEMPOS	SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
FACTIBILIDAD E INFRAEST.	0.55	0.33	0.69	1.57	0.523
TIEMPOS	0.27	0.17	0.08	0.52	0.173
SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD	0.18	0.5	0.23	0.91	0.303

Por cada criterio desarrollar una matriz de comparación de alternativas por pares.

Tabla 22: El Ejido- El Labrador. Matriz de comparación de alternativas por pares.

Alternativa 1: Factibilidad e infraestructura.

MATRIZ DE COMPARACION DE ALTERNATIVAS	TUNELADORA EPB	NTAM	TRADICIONAL
TUNELADORA EPB	1	2	1
NTAM	1/2	1	1
TRADICIONAL	1	1	1
SUMA	2.50	4	3

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TUNELADORA EPB	NTAM	TRADICIONAL	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
TUNELADORA	0.40	0.50	0.33	1.23	0.411
NTAM	0.20	0.25	0.33	0.78	0.261
TRADICIONAL	0.40	0.25	0.33	0.98	0.328

Alternativa 2: Tiempos.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TUNELADORA EPB	NTAM	TRADICIONAL
TUNELADORA EPB	1	3	2
NTAM	1/3	1	1/2
TRADICIONAL	1/2	2	1
SUMA	1.83	6	3.50

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TUNELADORA EPB	NTAM	TRADICIONAL	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
TUNELADORA EPB	0.55	0.50	0.57	1.62	0.540
NTAM	0.18	0.17	0.14	0.49	0.163
TRADICIONAL	0.27	0.33	0.29	0.89	0.297

Alternativa 3: Seguridad y flexibilidad.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TUNELADORA EPB	NTAM	TRADICIONAL
TUNELADORA EPB	1	2	2
NTAM	1/2	1	1/2
TRADICIONAL	1/2	2	1
SUMA	2.00	5	3.50

MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	TUNELADORA EPB	NTAM	TRADICIONAL	SUMA	VECTOR DE PESOS W_i
TUNELADORA EPB	0.50	0.40	0.57	1.47	0.490
NTAM	0.25	0.20	0.14	0.59	0.197
TRADICIONAL	0.25	0.40	0.29	0.94	0.313

Tabla 23: Tramo El Ejido-El Labrador. Matriz de prioridad de criterios por alternativas y ponderación global.

ALTERNATIVAS	FACTIBILIDAD E INFRAESTRUCTURA	TIEMPOS	SEGURIDAD Y FLEXIBILIDAD
TUNELADORA EPB	0.411	0.540	0.490
NTAM	0.261	0.163	0.197
TRADICIONAL	0.328	0.297	0.313
PONDERACIONES DE CADA CRITERIO	0.523	0.173	0.303

ALTERNATIVAS	AGREGACION MULTIPLICATIVA	PONDERACIONES GLOBALES
TUNELADORA EPB	$0.411 \cdot 0.523 + 0.540 \cdot 0.173 + 0.490 \cdot 0.303$	0.4569
NTAM	$0.261 \cdot 0.523 + 0.163 \cdot 0.173 + 0.197 \cdot 0.303$	0.2244
TRADICIONAL	$0.328 \cdot 0.523 + 0.297 \cdot 0.173 + 0.313 \cdot 0.303$	0.3177

Como era de esperarse, para excavaciones de túneles subterráneos para tramos largos, con un suelo cohesivo, mejor que el del sur de la ciudad, rapidez de ejecución y por lo tanto cumplidor de plazos para un sector eminentemente comercial, bancario, de hospitales y educativo, el método constructivo resulta ser por medio de tuneladora, y como se mencionó anteriormente la opción adecuada es la versión EPB (Earth Pressure Balanced Machines) o Escudos de Presión de Tierras.

De ejecutarse el proyecto de tren rápido para la ciudad de Quito, y específicamente para éste tramo considerado, se deberá tener en cuenta el libre espacio de infraestructura en superficie que se tiene en el sector del Antiguo Aeropuerto, en donde no es tan conveniente económicamente trabajar con la tuneladora, tal vez en ese particular sitio se puede analizar la posibilidad de considerar otro método convencional, como el Tradicional (Belga o Madrid) o el NTAM (Nuevo Método Austriaco Tradicional).

La correcta elección de los métodos constructivos en una obra subterránea, como la del túnel para un tren rápido para la ciudad de Quito es, sin duda alguna, uno de los aspectos más importantes.

Actualmente en el mundo, para la construcción subterránea de túneles para trenes rápidos el sistema constructivo más usado es el método de máquinas tuneladoras, por seguridad para los trabajadores que ejecutan el túnel y para el entorno, para el cumplimiento de los plazos y por los costos. Pero generalmente los tramos a excavar deben ser superiores a 2.000 m. El promedio de avance es de 400 m/mes.

Sin embargo, para ciertas situaciones particulares, es necesario tomar en cuenta otras alternativas constructivas sistemáticas y que garantizan el éxito de la obra subterránea. Éstos métodos, para ciertos tramos especiales del trazado del Metro de Quito, y que fueron analizados anteriormente son: Métodos Convencionales: Método Tradicional Madrileño y el Nuevo Método Austríaco Tradicional (NTAM); y, finalmente el método Cut & Cover o también llamado Entre Pantallas o túnel a cielo abierto. El rendimiento promedio de avance para los métodos convencionales es de 50m/mes. Para Cut & Cover el promedio es de 100 m/mes.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO



Figura 54: Metro de Quito.

Tomado de: Revista Vistazo del 28 de octubre de 2015

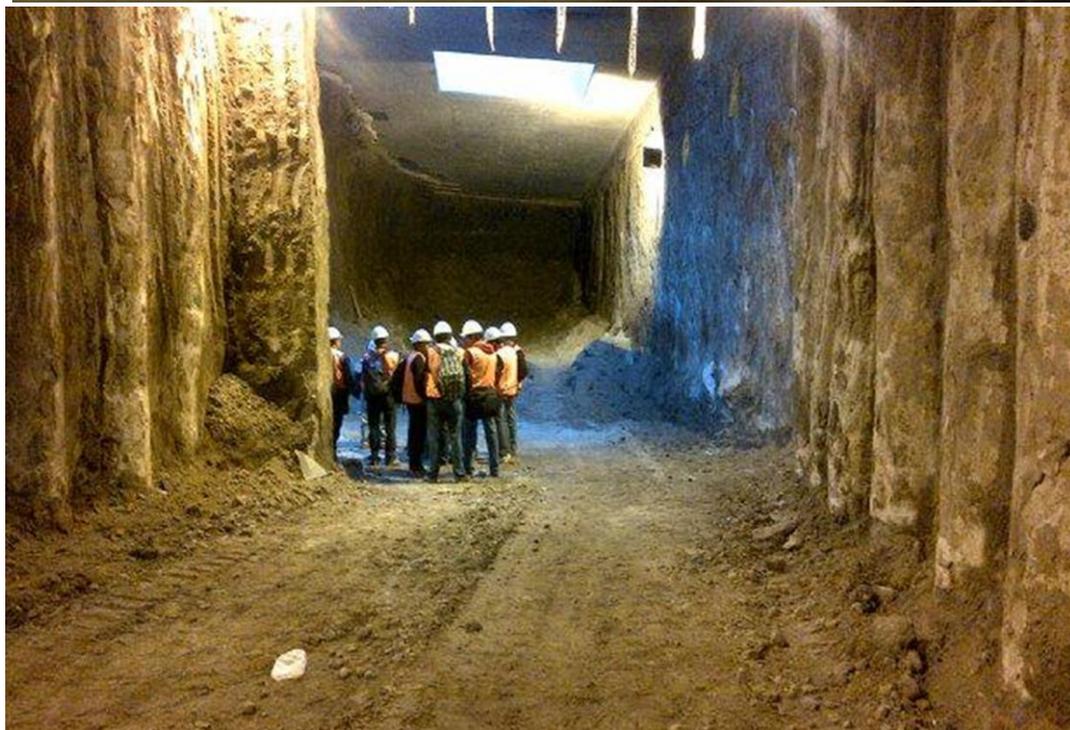


Figura 55: Estación Multimodal El Labrador (arriba) y Estación Multimodal La Magdalena (abajo).

Tomado de: Revistas varias (2014)

Nota: Excavaciones subterráneas en dos diferentes estaciones del Metro en ejecución.

El Metro de Quito, integrará la ciudad con una longitud aproximada de 22 km desde Quitumbe hasta El Labrador en apenas 34 minutos con 18 trenes de seis vagones cada uno que transportarán hasta 400000 pasajeros en un día. Tendrá en una primera instancia 15 estaciones, de las cuales 4: Quitumbe, Recreo, Magdalena y El Labrador integrarán los otros sistemas de transportes longitudinales vigentes como los BRT, alimentadores, hasta los buses convencionales y a sistemas verticales de transporte que se implementarán, y que atenderán a aproximadamente el 93 % de la población quiteña.

Según el estudio geológico, el Metro irá a una profundidad promedio de 26 metros con el fin de no afectar servicios existentes y pasará sobre y bajo 14 quebradas consolidándolas. Al atravesar el Centro Histórico, el proyecto tendrá una profundidad mayor preservando el patrimonio y tendrá a la estación de San Francisco como su parada representativa.

Los estudios proponen tres métodos constructivos:

- ❖ Cut & cover o entre pantallas
- ❖ Excavación en mina mediante métodos convencionales: Tradicional y/o Nuevo Método Austriaco Tradicional (NTAM).
- ❖ Modo cerrado a través de tuneladoras tipo EPB.

Siendo gálibo, las máximas dimensiones en altura y anchura que deben tener los túneles, las siguientes son las secciones de acuerdo al método constructivo, que tendrá el túnel para el metro de Quito para coches de la serie 8000:

Tabla 25: Gálidos para las distintas secciones de túnel para el Metro Quito

SECCIÓN TÚNEL	DISTANCIA (m)	OBSERVACIONES
CUT&COVER	7,76	Distancia interna entre pantallas
MÉT. TRADICIONAL	7,80	Distancia entre caras internas hastiales
TUNELADORA EPB	8,43	Diámetro interno túnel de doble vía

Tomado de: Estudios de Diseño de Ingeniería EIA, 2012

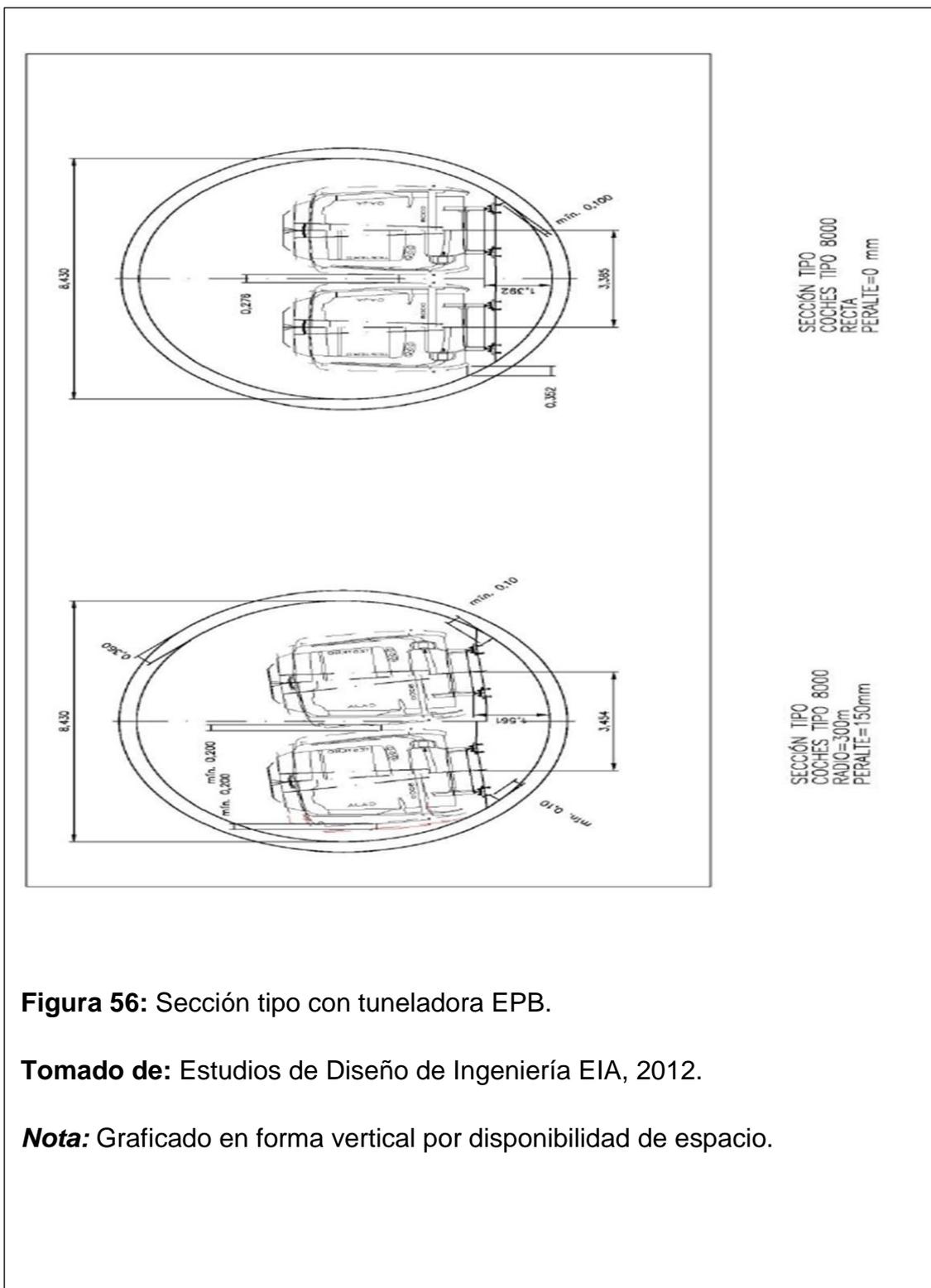


Figura 56: Sección tipo con tuneladora EPB.

Tomado de: Estudios de Diseño de Ingeniería EIA, 2012.

Nota: Graficado en forma vertical por disponibilidad de espacio.

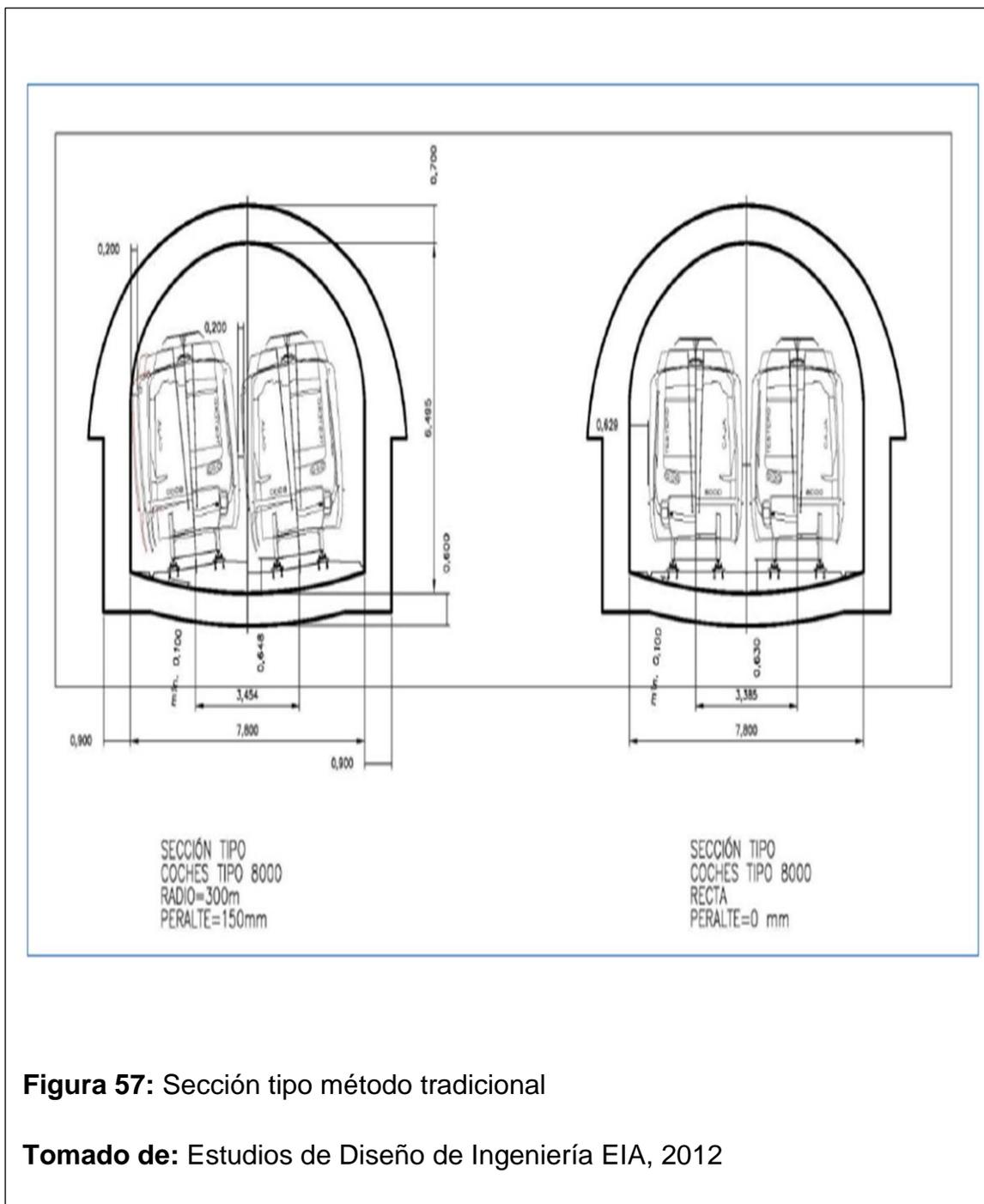


Figura 57: Sección tipo método tradicional

Tomado de: Estudios de Diseño de Ingeniería EIA, 2012

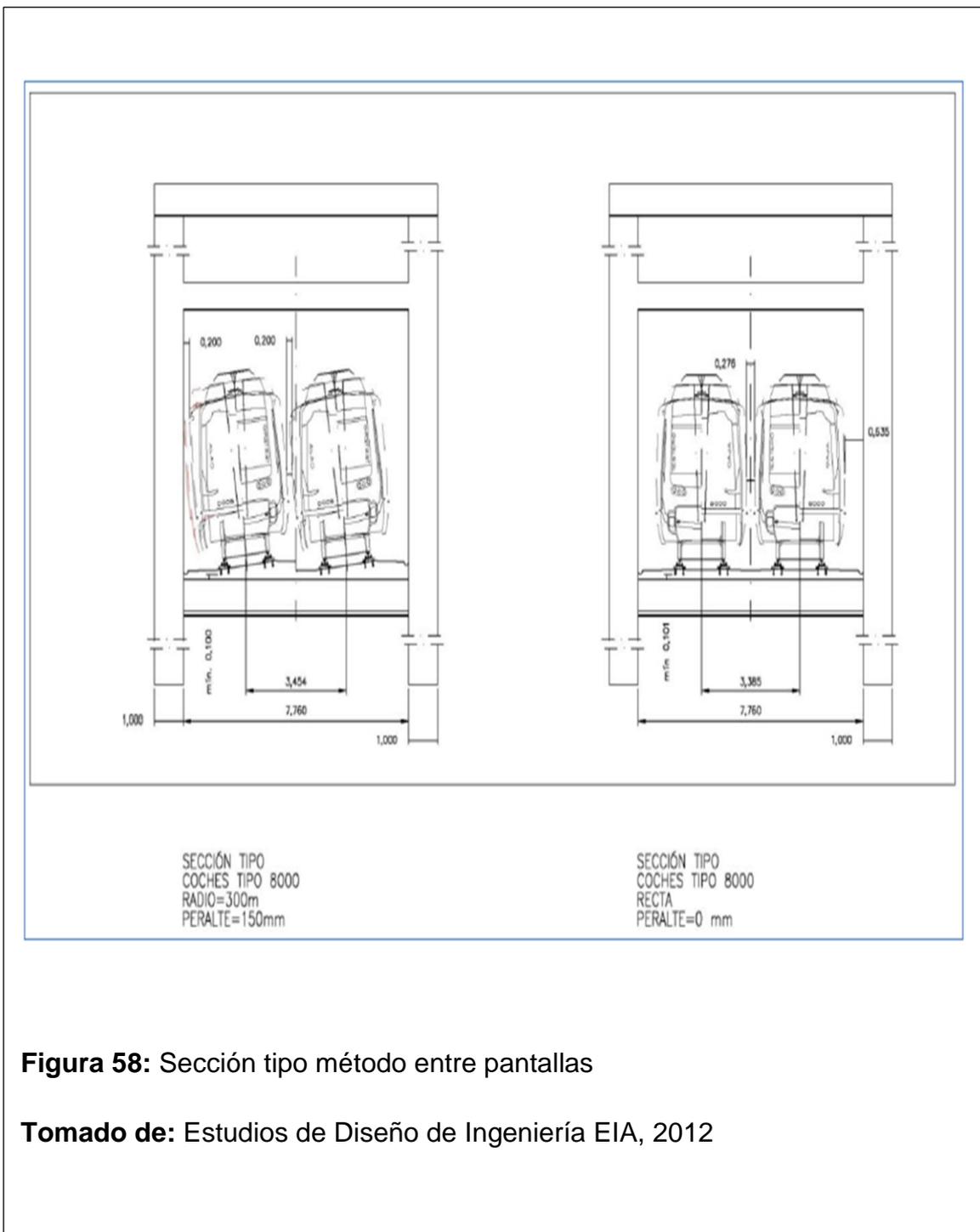


Figura 58: Sección tipo método entre pantallas

Tomado de: Estudios de Diseño de Ingeniería EIA, 2012

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.

Quito es una ciudad geográficamente ubicada en una cuenca que lleva el mismo nombre; la cual en cierta forma ha moldeado su figura, haciéndola extremadamente longitudinal e inversamente transversal, y rodeada por volcanes activos que cronológicamente han marcado su topografía y su subsuelo que estudios geotécnicos han determinados ser predominantemente del tipo cangahua, que es un material heterogéneo conformado por limo, arcilla, arenas, cenizas volcánicas, pómez, etc. en el 99% de la ruta del Metro por lo que se define que son suelos aptos para la ejecución de excavaciones subterráneas.

Se ha determinado que a nivel superficial, sus estratos tienden a deformarse por ser suelos sueltos, a niveles más profundos tienden a compactarse dando como resultado un estrato competente que puede excavarse sin soporte inmediato. Existe un porcentaje muy reducido de encontrar roca andesita en el 1% en las proximidades del Panecillo. Los estudios también determinan presencia de acuíferos que influyen directamente sobre la infraestructura existente.

La ciudad de Quito se halla atravesada por fallas geológicas que nacen al sur desde la población de Tambillo, y llegan al norte hasta la localidad de San Antonio de Pichincha, por lo que existe latente la presencia de sismos de magnitud no solo para la ciudad sino a todo el país. El hecho más reciente es el sismo de 5,1 ° en la escala de Richter a una profundidad de 7,7 km cuyo epicentro fue en Calderón, ocurrido el 12 de agosto del año 2014, aislando poblaciones cercanas como Guayllabamba, daños en viviendas y víctimas mortales. Información necesaria a tener en cuenta en el diseño definitivo de un nuevo proyecto de movilidad para la ciudad.

La población de Quito, en los últimos años ha crecido vertiginosamente, y por lo tanto su demanda de transporte. El Municipio de Quito (DMQ) ha diseñado e implementado un sistema integrado de transporte masivo (SITM) con el fin de

solucionar los graves problemas de congestión vehicular, contaminación ambiental, alta pérdida de tiempo en los traslados y un bajo nivel de satisfacción para los usuarios del transporte público y masivo; agudizado por la topografía difícil, el estrangulamiento en el área del centro histórico y una ciudad literalmente longitudinal.

En el año 2010, la demanda de movilidad en la ciudad fue menor a 30.000 viajeros por hora y sentido; y las proyecciones revelan que para el 2030 se prevé un requerimiento cercano a los 50.000 pasajeros por hora y sentido. Hoy en día, ninguno de los sistemas de transporte satisface la demanda de transporte, por lo que continuar con el modelo actual el colapso del sistema sería cuestión de un corto tiempo.

El ahorro de tiempo en la movilización de los usuarios, la menor emisión de gases de efecto invernadero, la contaminación atmosférica, la congestión del tráfico en superficie, el ahorro económico para el país al no utilizar los trenes combustibles fósiles, la generación de trabajo local directo e indirecto, capacitación laboral, etc. Son los principales beneficios que tendrá la construcción del tren rápido para la ciudad y que definitivamente mejorará la calidad de vida y la autoestima de los quiteños

Las molestias generadas en la construcción se verán compensadas en gran medida por los beneficios de la operación y funcionamiento del tren rápido para la ciudad, además generará grandes cantidades de mano de obra, demanda de materiales y servicios adicionales que dinamizarán la economía de Quito.

El tener métodos constructivos flexibles para adaptarse a las condiciones geotécnicas del suelo de Quito, hará que el tiempo de ejecución se cumpla para no generar inconvenientes a la población y darle una solución digna de movilización en el menor tiempo posible.

RECOMENDACIONES.

Los más recientes estudios de la ciudad por parte de la Secretaría de Movilidad del DMQ, encargados a la empresa española Metro Madrid, año 2010, recomienda la implementación de un Sistema integrado de Transporte Masivo para Quito (SITMQ), centrado alrededor de un sistema de transporte de tren rápido subterráneo tipo metro, que articule los diferentes sistemas de transporte actuales, controle el crecimiento automotriz y sea capaz de satisfacer la demanda de transporte que requiere la ciudad.

Como primer paso, se plantearon pasos o sitios especiales para definir el trazado vial subterráneo. De un total de doce alternativas de trazado se redujeron a tres. Utilizando el análisis multicriterios del método AHP (The Analytical Hierarchy Process) de Thomas Saaty, determinaron que la alternativa denominada 1 (Centro) era la más viable en el presente y en el futuro para ampliarla y complementarla con futuras líneas, y de ésta manera mejore aún más el servicio de transporte masivo.

De similar manera se optó por analizar las posibilidades de nueve sistemas constructivos de túneles para trenes rápidos que se aplican en el mundo. Quedando tres opciones que pueden ser aplicadas para la topografía y las condiciones geotécnicas de la ciudad de Quito.

Por las diferentes particularidades propias de sectores o tramos por donde pasa el trazado del tren subterráneo, se decide dividirla en tramos, y, analizar individualmente cada uno de sus cinco tramos y sus criterios o condicionantes de sector, con el mismo método AHP, a fin de determinar el mejor sistema constructivo para cada uno de los tramos.

En caso de ser necesario por la presencia de suelos blandos y acuíferos, lo conveniente será realizar tratamientos previos de mejoramiento del suelo en la ruta del Metro con el fin de garantizar la perforación y el correcto funcionamiento del túnel.

Especial énfasis se toma en el sector del Centro Histórico de la ciudad, por ser un Patrimonio Cultural de la Humanidad desde el año 1978, y por tener bienes únicos e irremplazables, además es un patrimonio arqueológico de incalculable valor histórico.

Para que las afectaciones en el Centro Histórico sean menores el proceso constructivo del tren rápido para la ciudad no debe durar más de seis meses, pues es entendible la generación de polvo y ruidos por el mismo hecho de la construcción; aparte de la congestión vehicular por la presencia de volquetas que retirarán el material de excavación y escombros. Se debe coordinar con la Autoridad competente de la ciudad en lo concerniente al tráfico vehicular, para mitigar el mismo.

Si bien se menciona en los estudios las medidas a tomar con respecto al cuidado ambiental, el tratamiento de escombreras, la utilización de las mejoras técnicas para que sea un proyecto positivo para la ciudad; definitivamente falta información a la población de los impactos y beneficios que tendrá la construcción de éste proyecto subterráneo.

Es necesario pedir la aplicación del Plan de Manejo Ambiental y cada uno de los planes durante las fases del proyecto, para asegurar y controlar los impactos.

Crear y generar conocimiento y experiencia en el personal de trabajo de la construcción del túnel para futuros proyectos similares.

Antes, durante y después del proyecto se hace necesario mantener la comunicación con la comunidad en forma permanente, a fin de mantenerle informada y atender sus demandas y preocupaciones.

REFERENCIAS

- Aguiar R. (2013). *Microzonificación sísmica para Quito*. (1ª edic.). Quito, Ecuador: CEINCI-Espe.
- Andrade, C. (2010). *Gestión de Seguridad y Salud en la Construcción de Edificaciones*. Tesis. Quito-Ecuador: Ed. EPN.
- Avilés, L. (2013). *Caracterización geológica-geotécnica del sur de la ciudad de Quito*. Quito-Ecuador: Repositorio digital UCE. Tesis.
- Bustos, J.; Olmos, R. y Solas, A. (2006). *Gestión de riesgos operacionales en excavación subterránea (equipos y maquinarias de movimiento de tierra*. *Revista de la construcción*, vol. 5. Ed. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile: PUC.CL.
- Cerda, J. (2012). *Notas para topografía subterránea*. Universidad Autónoma San Luis de Potosí (04-32, 51-85). México: UASLP.
- CICP. (2010). Referencias sobre el encauzamiento del río Machángara. Ing. Játiva. Quito-Ecuador: Ed. CICP.
- Estruch, M. y Tapia, A. (2003). *Topografía subterránea para minería y obras*. Catalunya, España: Ediciones UPC.
- García, A. (2012). *Ampliación de topografía minera*. Ed. Universidad Politécnica de Cartagena-Es. España: UPCT-Es.
- Gesambconsult Consultores. (2012) *Estudio de Impacto Ambiental de la Primera Línea del Metro de Quito*. Capítulos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Quito-Ecuador.
- Guzmán, R. (2009). *Perforación y tronadura en labores mineras subterráneas*. Ed Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile: PUC.CL.
- Herrera, F. (2013). *Caracterización de los depósitos de avalanchas de escombros en el tramo Píllaro-Patate*. Quito-Ecuador: Repositorio digital UCE. Tesis de Ingeniería.
- IGM. (2014). *Revista Técnica, Instituto Geográfico Militar*. Quito, Ecuador: Ed. IGM.
- Interlab G. (2008). *Prevención de Riesgos Laborales. Módulo*. España: Ed. EOI Escuela de Negocios.

- Merritt, F. (1995). *Manual del Ingeniero Civil. Tomo IV. 3ª Edic. (Sección 20)*. USA: Ed. Mc Graw-Hill.
- MTC. (2008). *Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial*. Lima-Perú: DGCF.
- MIDUVI. (2015). *NEC-SE-CG Cap. 1 Cargas (No Sísmicas)*. Quito-Ecuador: MIDUVI-CAMICON.
- MIDUVI. (2015). *NEC-SE-DS Cap. 2 Cargas sísmicas y diseño sismo resistente*. Quito-Ecuador: MIDUVI-CAMICON.
- MIDUVI. (2015). *NEC-SE-GM Cap. 6 Geotecnia y Diseño de Cimentaciones*. Quito-Ecuador: MIDUVI-CAMICON.
- MTOP. (2013). *NEVI-12 Procedimientos para proyectos viales*. (Vol. 1). Quito, Ecuador: MTOP
- MTOP. (2013). *NEVI-12 Norma para estudios y diseños viales*. (Vol. 2ª-B). Quito, Ecuador: MTOP.
- La Hora, El Telégrafo, Vistazo. (2014, 2015). *Periódicos y Revistas Nacionales*.
- Salgueiro, G. (2001). *Topografía de túneles*. Madrid-España: Ed. OHL.
- Santos, A. (1988). *Curso básico de replanteo de túneles*. Ed. EUIT Topográfica Madrid-España: IGN-Es.
- Sfriso, A. (2006). *Procedimientos constructivos para túneles urbanos*. Boletín. Buenos Aires-Argentina: Ed. SBASE.
- Sika. (2010). *Túneles y obras subterráneas*. Madrid-España: Ed. Gráficas Couché, S.L.
- Sosa, A. e Ibazeta A. (2012). *Topografía subterránea*. Unidad 8. Universidad Nacional de San Juan. Argentina: UNSJ.
- Tapia, A. (2004). *Topografía subterránea. Orígenes*. Barcelona, España: Ed UPC (13-29).
- Vallejo, S. (2011). *Distribución de las cenizas volcánicas holocénicas-tardías en la Costa del Ecuador*. Quito-Ecuador: Repositorio digital Instituto Geofísico EPN- FGP. Tesis de Ingeniería.
- Vásquez, I. (2012). *Gestión de riesgos en proyectos de túneles*. Ed. Servicio de publicaciones-Universidad de la Rioja. España: Publicaciones. Unirioja.es.

ANEXOS

Anexo 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS.

ABRASIÓN: Desgaste mecánico de agregados y rocas resultante de la fricción y/o impacto.

ACARREO: Transporte de materiales a diferentes distancias en el área de la obra.

ACCESO: Ingreso y/o salida a una instalación u obra de infraestructura vial.

ACCIDENTE DE TRABAJO: Lesión o muerte de trabajadores que se presenta de manera imprevista y súbita dentro del área de trabajo.

ADITIVO: Producto químico o mineral que modifica una o más propiedades de un material o mezcla de éstas.

AGLOMERANTE: Material capaz de unir partículas de material inerte por efectos físicos o transformaciones químicas o ambas.

AGREGADO: Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

ALCANTARILLA: Elemento del sistema de drenaje superficial de una carretera, construido en forma transversal al eje o siguiendo la orientación del curso del agua, puede ser de concreto, metálicas y otros. Se ubica en quebradas, cursos de agua y en zonas que se requiere para el alivio de cunetas.

ALTITUD: Altura o distancia vertical de un punto superficial del terreno respecto al nivel del mar. Sus siglas "msnm" (metros sobre el nivel del mar).

ALTIMETRÍA: conjunto de operaciones necesarias para definir y representar las cotas de puntos del terreno.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: Procedimiento para determinar la granulometría de un material o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.

ARCILLAS: Partículas finas de tamaño menor a 0,002 mm producto de la alteración física y química de rocas y minerales.

ARCO: Elemento metálico curvo de cobertura o soporte que sustituye al dintel.

ARMADURA: Conjunto de elementos que sirven de soporte al tejado. Formado por dos vigas horizontales apoyadas sobre los muros denominadas soleras en las que se apoyan oblicuamente otras llamadas pares.

ARQUERIA: Serie de arcos iguales y sucesivos.

BALIZA: Es un objeto señalizado utilizado para indicar un lugar geométrico en relación a otros, y que aseguran encontrarlo posteriormente.

BARRENO: Instrumento en forma de espiral, con un elemento helicoidal, para taladrar o hacer agujeros.

BASA: Parte inferior de la columna que descansa sobre el piso o suelo y en que a su vez se apoya el fuste.

BASE: Capa de material seleccionado y procesado que se coloca entre la parte superior de una sub base y la capa de rodadura; puede ser de una mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.

BASE DE TRIANGULACIÓN: Distancia entre dos puntos permanentes, cuya medida sirve de base para definir una red de puntos de triangulación de apoyo topográfico.

BENCH MARK (BM): Referencia topográfica de coordenada y altimetría de un punto marcado en el terreno, que sirve como control de la elaboración y replanteo de los planos de un proyecto vial.

BÓVEDA: Obra de fábrica de superficie curva que se apoya en muros, pilares o columnas.

CAISSÓN: Tipo de cimentación para suelos blandos en cimentaciones superficiales, se emplea para cimentar pilares de puentes en el cauce de los

ríos. Su particularidad consiste en que se va construyendo a medida que se va hundiendo en el terreno, y su sección transversal puede ser redonda, cuadrada, rectangular o elíptica.

CALCITA: Material de carbonato de cal blando utilizada para la fabricación del cemento y la cal.

CALICATA: Excavación superficial que se realiza en el terreno con la finalidad de observar los estratos del suelo a diferentes profundidades y obtener muestras para estudios geotécnicos.

CAPITEL: Elemento colocado sobre fuste de la columna, que sostiene los arcos.

CIMBRA: Armadura de madera en torno a la cual se construye una bóveda o un arco.

COTA: Altura de un punto sobre un plano horizontal de referencia.

CÚPULA: Bóveda semiesférica.

CUNETAS: Canales abiertos construidos lateralmente a lo largo de la carretera, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales y sub-superficiales procedentes de la plataforma vial, taludes y áreas adyacentes a fin de proteger la estructura del pavimento.

DESPIECE: Forma en que están cortadas y dispuestos los elementos de un muro o arco.

DIÁGENESIS PARCIAL: Proceso que implica cambios físico-químicos en un depósito sedimentario que lo convierte en una roca consolidada.

DOVELAS: Elementos curvos prefabricados metálicos o de hormigón que sirven como sostenimiento a galerías o túneles en forma permanente.

ENCOFRADO: Sistema de moldes temporales que se utilizan para dar forma al hormigón u otros materiales antes de fraguar.

ENSAYO DE COMPRESIÓN: Ensayo para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.

ENSAYO SPT (Standard Penetration Test): Medida de la resistencia de un suelo al ser hincado en el terreno, un muestreador o instrumento.

ESTACIÓN TOTAL: Instrumento topográfico que combina un teodolito electrónico y un medidor electrónico de distancias con su microprocesador.

ESTADÍA: Medición indirecta de distancia.

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD: Documento técnico que comprende el análisis preliminar de diferentes alternativas, con el objeto de seleccionar la más conveniente en función del costo y beneficio del proyecto.

FALLA: Fractura del terreno con desplazamiento relativo de las partes separadas.

FORMACIÓN: Unidad lito estratigráfica fundamental. Cuerpo de rocas identificado por sus características litológicas y su posición estratigráfica.

FÓSIL: Resto o molde natural de un organismo conservado en un sedimento.

FREÁTICO: Se dice de la parte del subsuelo saturada de agua.

FUSTE: Tronco de columna. Espacio comprendido entre la basa y el capitel.

GÁLIBO: Distancia libre entre el fondo de la superestructura del puente y el nivel de aguas máximas del río.

GEOTÉCNICA: Rama de las ingenierías civil y geológica encargada del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la tierra.

GPS (Sistema de Posicionamiento Global): Instrumento de medición tridimensional que utiliza la topografía para establecer puntos de control mediante coordenadas definiendo posiciones exactas en cualquier lugar del mundo las 24 horas del día.

HORST: Bloque elevado por fallas normales paralelas a sus lados largos.
Antónimo: graben.

ISOCLINAL: Se aplica a los pliegues cuyos flancos son paralelos.

ITINERARIO: Dirección y descripción de una carretera con indicación de sus puntos notables.

JÁCENA: Viga maestra en que se apoyan las vigas secundarias.

JAMBA: Soportes verticales a ambos lados de un vano sobre los que descansa el dintel del arco.

JUNTA: Separación establecida entre dos partes contiguas de una obra, para permitir su expansión o retracción por causa de las temperaturas ambientales.

LAVA: Es el magma, líquido o sólido que ha sido arrojada a la superficie.

LAHARES: Colada de barro originado en las pendientes de los volcanes cuando capas inestables de ceniza se saturan de agua y fluyen pendientes abajo siguiendo los cursos de los ríos.

LIMO: Suelos de granos finos de diferentes tonalidades grises con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser inorgánicos si se extraen en canteras y orgánicos los que se encuentran en los ríos.

LOESS: Sedimentos eólicos uniformes y cohesivos por poseer un cementante de tipo calcáreo. Sus partículas varían de 0,01 a 0,05 mm.

MATERIAL PIROCLÁSTICO: Roca detrítica formada por acumulación de partículas sólidas expulsadas por un volcán.

MORTERO: Conglomerado o masa constituida por arena, conglomerante (bituminoso o cemento Portland), agua y puede contener aditivos.

NORMAS AASHTO: Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.

NORMAS ASTM: Asociación Americana para el Ensayo de los Materiales.

PEDESTAL: Basamento o pie de una columna o elemento arquitectónico.

PERALTE: Inclinación transversal de la carretera en los tramos de curva, destinada a compensar con una componente de su propio peso la inercia.

PILOTE: Elemento de cimentación profunda de madera, acero o concreto. Transmiten la carga por punta o fricción del cuerpo con el suelo que lo circunda o por ambas.

PLIEGUE: Deformación resultante de la flexión o torsión de rocas.

PIROCLASTO: Mezcla de gases y fragmentos sólidos de material volcánico calientes expulsados en una erupción.

RAMPA: Ramal de intercambio con pendiente, destinado a empalmar una vía con otra a niveles diferentes.

SHOTCRETE: Hormigón que se proyecta desde una máquina que le impulsa hacia una pared.

UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA: Volumen de materiales diferenciado por sus características litológicas.

VACIADO: Colocación del concreto u hormigón en el encofrado.

VANO: Hueco que interrumpe la pared.

VELOCIDAD DE DISEÑO: Máxima velocidad con la que se diseña una vía en función a un tipo de vehículo y factores como topografía, entorno ambiental, uso de suelos adyacentes, características del tráfico y tipo de pavimento.

VELOCIDAD DE OPERACIÓN: Máxima velocidad autorizada para la circulación vehicular en un tramo o sector de la carretera.

CANTIDADES DE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
SONDEOS A ROTACION: 1/325m	Unidad	70 (2800m)
Toma de muestras inalteradas y testigos parafinados	Unidad	980
Ensayos de penetración estándar (Standard Penetration Test - SPT)	Unidad	980
Ensayos de permeabilidad	Unidad	70
Ensayos de deformabilidad (Presiométricos)	Unidad	119
Diagrafías Sísmicas (Down Hole – DH) en toda la profundidad del sondeo	Unidad	40
Diagrafías - Registro de pozo (Gamma, Potencial Espontaneo SP, Resistividad SPR)	Unidad	50
Instalación de piezómetro y monitoreo de nivel freático	Unidad	70

Anexo 02: Estudios geológicos geotécnicos del Metro de Quito

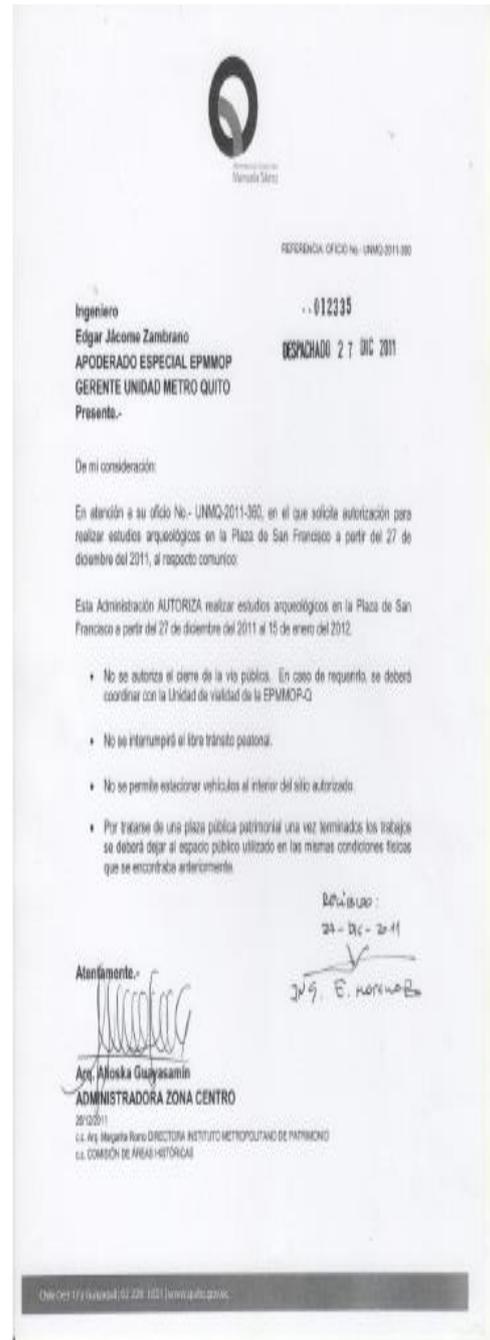
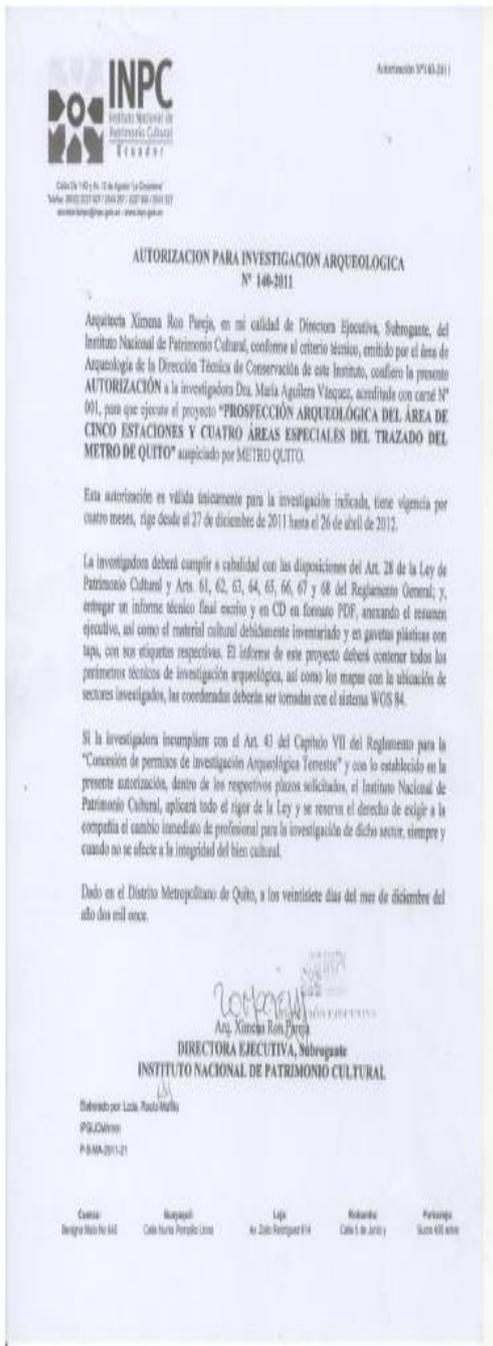
Tomado de: Gesambconsult Consultores, EIA. 2012



Anexo 03: Declaración de Quito como Patrimonio Cultural de la Humanidad

Tomado de: Gesambconsult Consultores, EIA. 2012

El 8 de septiembre de 1978 la Unesco, en la Convención sobre la Protección del patrimonio Mundial Cultural y Natural declara a Quito como Patrimonio Cultural de la Humanidad.



Permiso de la Administración Zonal Centro del Municipio de Quito, para realizar estudios arqueológicos en la Plaza de San Francisco

Anexo 04: Autorización para estudios arqueológicos en el Centro Histórico, Plaza San Francisco, Quito-Ecuador.

Tomado de: Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) Autorización N° 140-2011.