

ANEJO Nº 3

GEOLOGÍA Y PROCEDENCIA DE MATERIALES



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1	6.6.1. Vulcanismo	36	
2.	OBJETO Y ALCANCE	1	6.6.2. Sismicidad	36	
3.	ANTECEDENTES Y BASES DE PARTIDA	1	6.6.3. Riesgo por erosión y flujos de escombros	36	
4.	TRABAJOS REALIZADOS	2	6.6.4. Licuefacción	36	
4.1.	Introducción	2	6.6.5. Colapsabilidad	37	
4.2.	Criterios de diseño de la campaña geotécnica	2	6.6.6. Abrasividad	37	
4.3.	Campaña propuesta y etapas consideradas	3	7.	TRAMIFICACIÓN GEOLÓGICA DEL TRAZADO Y CONDICIONES SUPERFICIALES	38
4.4.	Rendimientos alcanzados	5	7.1.	Estación de Quitumbe PK 9+410 al PK 13+000	38
4.5.	Principales unidades de la Campaña realizada	6	7.2.	PK 13+000 a Estación de Solanda (PK 14+106)	40
4.6.	Sondeos a rotación	8	7.3.	PK 14+106 (Estación de Solanda) a PK 16+600	41
4.6.1.	Sondeos realizados: profundidad y coordenadas UTM	8	7.4.	PK 16+600 a PK 19+180 (salida de emergencia)	42
4.6.2.	Ensayos SPT	10	7.5.	PK 19+180 a pk 19+990	43
4.7.	Ensayos de permeabilidad	13	7.6.	Pk 19+990 A pk 21+120 (Avenida del 24 de Mayo)	44
4.8.	Ensayos dinámicos Down-Hole	13	7.7.	PK 21+120 a PK 23+480 (Estación de La Alameda)	45
4.9.	Ensayos presiométricos	14	7.8.	PK 23+480 a final del tramo	46
4.10.	Diagrafías Gamma natural, Potencial espontáneo SP, resistividad SPR	17	8.	PROCEDENCIA DE MATERIALES	48
4.11.	Sísmica Pasiva y análisis de las vibraciones naturales	19	8.1.	Canteras de áridos	48
4.12.	Ensayos de laboratorio	21	8.1.1.	Sector Norte de la ciudad	48
5.	MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	23	8.1.2.	Sector Oriental-Valle de Tumbaco	48
6.	GEOLOGÍA DE LA CUENCA DE QUITO	23	8.1.3.	Sector Oriental-Valle de los Chillos	48
6.1.	Geomorfología regional	23	8.1.4.	Sector Occidental de Quito	48
6.2.	Estratigrafía y litología	23	8.1.5.	Resumen de canteras seleccionadas	48
6.2.1.	Formación Machángara	23	8.2.	Plantas de suministro	49
6.2.2.	Formación Cangahua	25			
6.2.3.	Depósitos La Carolina	25	APÉNDICES		
6.2.4.	Rellenos antrópicos (R)	26	APÉNDICE 1. PLANTA DE SITUACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN		
6.3.	Tectónica y estructura	26	APÉNDICE 2. PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO BASE		
6.4.	Hidrogeología	27	APÉNDICE 3. CORRELACIÓN DE COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS		
6.4.1.	Acuífero Centro-Norte	27	APÉNDICE 4. REGISTRO DE SONDEOS Y REPORTAJE FOTOGRÁFICO		
6.4.2.	Acuífero Sur	27	APÉNDICE 5. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD REALIZADOS EN SONDEOS		
6.4.3.	Nivel de agua	30	APÉNDICE 6. DIAGRAFÍAS		
6.5.	Permeabilidad	33	APÉNDICE 7. ENSAYOS DOWN HOLE		
6.6.	Riesgos geológicos	36	APÉNDICE 8. ENSAYOS PRESIOMÉTRICOS		

APÉNDICE 9. MEDICIONES DEL NIVEL FREÁTICO

APÉNDICE 10. SÍSMICA PASIVA Y ANÁLISIS DE VIBRACIONES NATURALES

APÉNDICE 11. CANTERAS Y PLANTAS DE SUMINISTRO

APÉNDICE 12. RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE SONDEOS

APÉNDICE 13. REGISTRO DE CALICATAS EN EL DEPÓSITO DE QUITUMBE

ANEJO Nº 3

GEOLOGÍA Y PROCEDENCIA DE MATERIALES

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento forma parte del “Diseño Definitivo de la Obra Civil” para la primera línea de Metro de la ciudad de Quito.

2. OBJETO Y ALCANCE

El estudio ha tenido como objetivo determinar a nivel de proyecto constructivo, las características y condiciones geológicas, del terreno a lo largo de la traza, de cara a conseguir los datos necesarios para definir las condiciones de excavación, las características constructivas del túnel a ejecutar, posibles medidas de protección y tratamiento del terreno, el posible aprovechamiento de los materiales extraídos, así como definir las condiciones de cimentación en los emplazamientos de las estaciones y estructuras.

Asimismo se ha realizado un estudio de la procedencia de materiales tanto de las propias excavaciones del túnel como procedente de canteras, graveras y préstamos.

En el apartado 4 se describen los trabajos realizados para la fase actual del proyecto, otros estudios o proyectos anteriores realizados en el entorno, junto con referencias bibliográficas, y datos de proyectos y trabajos realizados sobre materiales de la misma naturaleza. En el apartado 5 se realiza un encuadre geológico general. En el apartado 6 se describe la geología específica de la cuenca de Quito. En el apartado 7 se hace una tramificación geológica y se describen las condiciones superficiales a lo largo del trazado. Finalmente en el apartado 8 se realiza el estudio para el aprovechamiento de materiales.

Además se incluyen 13 apéndices que incluyen una planta con la investigación geotécnica realizada (Apéndice 1).

En el Apéndice 2 se ha incluido el perfil geotécnico que realizó HIGGECO al inicio de los trabajos de Diseño con la kilometración actualizada, dado que incluye una versión de trazado obsoleta, inicialmente planteada, debido a los cambios inherentes al desarrollo de los estudios, en el que pueden existir algunas diferencias en la numeración kilométrica, que ya que constituye el dato de partida para la realización del perfil geológico-geotécnico definitivo. Este perfil se ha tomado como dato de partida para la realización del perfil geológico-geotécnico definitivo, y como tal constituye en sí mismo un documento que no debe ser alterado. No obstante, el perfil geológico-geotécnico definitivo, incluido en el Apéndice 1 del Anejo 7, sintetiza toda la información geotécnica obtenida, para el análisis y cálculo del diseño del túnel. Se ha elaborado considerando –como no puede ser de otra forma – tanto el trazado

como los PK considerados finalmente en el Diseño, e incluye además una geología de detalle que tiene en cuenta toda la información procedente de la campaña de investigación geotécnica (por cuestiones cronológicas, el perfil geotécnico elaborado por HIGGECO se basa únicamente en la información proporcionada por la ejecución de sondeos).

La correlación de las columnas estratigráficas de los sondeos, registro de sondeos, ensayos de permeabilidad, diagrfías, ensayos down hole, ensayos presiométricos, mediciones el nivel freático y sísmica pasiva respectivamente, se incluyen en los apéndices 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10. En el apéndice 11 se incluye el estudio de canteras y plantas de suministro. En el Apéndice 12 se recogen los ensayos de laboratorio realizados sobre muestras de extraídas de los sondeos. Por último se incluye el apéndice 13 que incluye los registros de las calicatas realizadas en la zona de parqueaderos de Quitumbe.

3. ANTECEDENTES Y BASES DE PARTIDA

Para la elaboración del presente Anejo se han tomado como base de partida los siguientes documentos:

- “Estudio de Evaluación Geotécnica del Metro de Quito”. Higgeco. Agosto de 2011
- “Estudio de Evaluación Geotécnica de detalle Mediante sondeos a rotación y ensayos de laboratorio”. Higgeco. Febrero de 2012
- “Estudio de caracterización de ruta con métodos geofísicos no invasivos, para la Primera Línea del Metro de Quito. Primer producto: Informe preliminar sobre trabajos de campo”, realizado por TRX Consulting C.A. en noviembre de 2011.
- “Estudio de caracterización de ruta con métodos geofísicos no invasivos, para la Primera Línea del Metro de Quito. Segundo producto: Refracción por Micro Tremores – ReMi – sísmica pasiva”, realizado por TRX Consulting C.A. en diciembre de 2011.
- “Aplicación métodos geofísicos. Diagrfía de pozos. Métodos Geofísicos: Gamma Natural-Resistividad y Potencial Espontáneo. Proyecto del Metro de Quito. Informe Final V1.0”, realizado por TRX Consulting C.A. en febrero de 2011.
- “Estudio de Climatología, Hidrología, Hidrogeología y Bombeo para el proyecto del metro de Quito”. Evren. 2011

Además, para la realización del documento se han consultado, entre otras las siguientes referencias bibliográficas:

- “Norma Ecuatoriana de la Construcción”. Miduvi. 2011
- “Estudios para el diseño conceptual del sistema integrado del transporte masivo de Quito y factibilidad de la primera línea de metro de Quito”. Metro Madrid. 2010

- “Geología y Análisis del recurso hídrico subterráneo de la subcuenca del sur de Quito”. Escuela Politécnica Nacional. Lilia Angélica Peñafiel Aguiar. 2009
- “Variabilidad espacial del ensayo de penetración estándar en los sedimentos volcánicos del subsuelo del centro-norte de la ciudad de Quito”. L.P. Ludeña. 2007
- “Análisis comparativo de la vulnerabilidad del acuífero norte de Quito”. Escuela Politécnica Nacional. Washington Xavier Coello Rubio. 2002
- “Falla activa de Quito y fuentes sismogénicas regionales; un estudio del riesgo sísmico de Quito con el análisis de los sedimentos cuaternarios”. C. Hibsich et al. 1996
- “Peligrosidad de terrenos inestables en Quito, detección y mitigación”. Hernán Orellana et al. 1993
- “Riesgos Naturales en Quito”. Colegio de Geógrafos del Ecuador. 1989
- Zonificación del subsuelo de la ciudad de Quito zona la Mariscal y zona la Pradera. Pfander Cazar. 1981

4. TRABAJOS REALIZADOS

4.1. Introducción

Para tener un amplio conocimiento geológico y geotécnico de la ciudad de Quito en las proximidades del trazado de la primera línea de metro de Quito, con el objeto de poder realizar las oportunas recomendaciones para la elaboración del Estudio Definitivo de Obra Civil se han realizado diversos trabajos de campo y de laboratorio, todos ellos fuera del ámbito del contrato de elaboración de dicho Estudio Definitivo pero deben ser incluidos en el mismo. Los trabajos han sido contratados por la Unidad de Negociado del Metro de Quito, y son:

- Sondeos a rotación con extracción continua de testigo y de muestras (SPT, Shelby, inalteradas, testigos parafinados y testigos para realización de ensayos triaxiales cíclicos), realizados por Higgeco y Metro de Madrid
- Realización de ensayos in situ en sondeos:
 - Ensayos de Penetración Estándar (SPT)
 - Ensayos dinámicos Down-Hole, realizados por TRX
 - Ensayos de permeabilidad (Lefranc y Lugeon)
 - Ensayos de deformabilidad in situ: ensayos presiométricos

- Diagramas Gamma, Potencial espontáneo SP, resistividad SPR, realizados por TRX
- Instalación de piezómetros
- Análisis de la velocidad de las ondas de corte mediante sismica pasiva y de las vibraciones naturales, realizados por TRX
- Ejecución de calicatas en los depósitos de Quitumbe, realizadas por Metro de Madrid
- Ensayos de laboratorio, realizados por Higgeco y Metro de Madrid, en diversos laboratorios de la ciudad de Quito
- Estudios básicos de soporte: recopilación de la información geológica y geotécnica existente, realizado por el Ing. Luis Torres y EGV
- Estudio de Climatología, Hidrología, Hidrogeología, Drenaje y Bombeo para el Proyecto Metro Quito (analizado en otro anejo del presente proyecto), realizado por Evren
- Inventario de los servicios existentes (analizado en otro anejo del presente proyecto), realizado por EGV
- Inventario y clasificación de las edificaciones e infraestructuras de la Ciudad de Quito en el ámbito de influencia del trazado de la Línea de Metro (analizado en otro anejo del presente proyecto), realizado por EGV

4.2. Criterios de diseño de la campaña geotécnica

La elaboración de un informe geológico-geotécnico de una obra lineal de estas características implica una serie de fases, descritas en su orden temporal:

- Recopilación de toda la información geológico-geotécnica disponible y posible.
- Investigación de servicios existentes.
- Realización de la campaña de reconocimientos y otros tipos de ensayos de campo (en el interior de sondeos y ensayos no destructivos).
- Ensayos de laboratorio.
- Elaboración del informe.

Todos estos trabajos han sido realizados, en diversas etapas y el objeto del presente Anejo de Geología y Procedencia de Materiales del Diseño Definitivo de Obra Civil de la Primera Línea de Metro de Quito, es la recopilación de todos ellos.

Los criterios establecidos para la ejecución de la campaña de campo fueron:

- En cuanto al número de sondeos:
 - En el túnel de línea un sondeo cada 250 m, procurando que se realicen en zonas singulares: presencia de edificación intensa y/o elevada, donde sea previsible la ejecución de tratamientos del terreno, zona de rellenos, ubicación de pozos (emergencia, ventilación, bombeo), etc.
 - En las estaciones se deberían ejecutar al menos dos sondeos
- La profundidad recomendable de los sondeos es:
 - Túnel de línea: 10 m bajo la cota de contrabóveda prevista o de máxima excavación.
 - Estaciones: 30 m bajo la cota de máxima excavación prevista, en el caso de prever la disposición de pilas-pilote o 15 m bajo cota de máxima excavación, en caso contrario
- Determinación de la posición del nivel freático mediante tubería piezométrica.
- Coordenadas UTM en todos los reconocimientos realizados.
- Testificación geofísica diversa: gamma natural, temperatura, resistividad, etc., método sísmico.
- Ejecución de ensayos in situ, además del SPT, en el interior de los sondeos:
 - De permeabilidad Lefranc, cuando se detecte un acuífero saturado y que pueda verse afectado por la excavación/perforación de la línea de metro
 - Ensayo de determinación de las ondas de corte, Vs, tipo Cross – Hole o Down – Hole.
 - Ensayo presiométrico (tipo Menard o similar), con la frecuencia:
 - En las cotas próximas al túnel de línea: 2 ensayos por sondeo
 - En las estaciones, en toda la profundidad de la misma, con un total de 5 ensayos presiométricos por sondeo
- Una vez terminado el sondeo, se depositará todo el testigo en cajas y se realizará una fotografía en color. Además se dispondrá de una arqueta con tapa metálica y cierre.
- Los ensayos de laboratorio serán: Identificación (granulometría por tamizado y límites de Atterberg); humedad natural, densidad seca y peso específico de las partículas; análisis de las aguas (agresividad frente a los hormigones y análisis completo); en

muestras de suelos se analizará el contenido en sustancias agresivas frente a hormigones y contenidos en sales solubles; resistencia a la compresión simple y determinación de los parámetros de resistencia intrínseca (cohesión y ángulo de rozamiento interno en condiciones drenadas).

De acuerdo con los criterios mencionados, el alcance de la campaña geotécnica hubiese sido, asumiendo que se ejecutan dos sondeos por estación y una media de cuatro sondeos por kilómetro (la línea originalmente estaba contemplada entre la Estación de La Ofelia, al norte del aeropuerto de El Labrador y la terminal de Quitumbe, al sur):

- Túnel de línea: 78 sondeos
- Estaciones: 38 sondeos
- Total: 116 sondeos

Teniendo en cuenta la disponibilidad de maquinaria en la ciudad de Quito y alrededores, no podría disponerse de un número importante de máquinas para poder llevar a cabo tal campaña.

Para analizar la cantidad de sondeos que podría llevarse a cabo en un tiempo razonable, asumiendo un rendimiento de 0,75 a 1 sondeo por semana y máquina (con una profundidad de 40 m, supone de 8 m/día, rendimiento que no se ha alcanzado en ningún caso debido a la gran cantidad de ensayos in situ realizados), para llevar a cabo tal campaña en:

- Tres meses (12 semanas) serían necesarias entre 10 y 14 máquinas.
- Si el plazo de ejecución de sondeos se quiere reducir a dos meses (8 semanas), serían necesarias de 15 a 20 máquinas.

En ambos supuestos, parece que no es asumible disponer de tal número de máquinas, por lo se cambiaron los criterios inicialmente dispuestos, por lo que con la disponibilidad de 4 o 5 máquinas durante 3 meses (12 semanas), se pueden realizar entre 50 y 70 sondeos.

Las unidades realmente ejecutadas fueron 70 en dos etapas, con rendimientos muy diferentes y con una disposición de máquinas variable, como veremos en apartados posteriores.

4.3. Campaña propuesta y etapas consideradas

Debido al tiempo empleado para la ejecución de la campaña y a la necesidad de conocimiento de algunos aspectos fundamentales para poder definir un trazado lo más definitivo posible, era necesario realizar una campaña de sondeos entre la fase del Estudio de Viabilidad Técnica y la fase de diseño propiamente dicha, además de durante la fase de diseño.

Atendiendo a los criterios anteriores y teniendo en cuenta que el trazado la línea originalmente estaba contemplada entre la Estación de La Ofelia, al norte del aeropuerto de El Labrador y la terminal de Quitumbe, al sur), se propuso realizar inicialmente una campaña formada por 65 sondeos y una longitud total 2.842,0 m, dividida en dos fases de 39 y 26 sondeos respectivamente y de 1.677,0 y 1.165,0 metros respectivamente.

Al ir avanzando los estudios y limitar el trazado de la primera línea del Metro de Quito desde la zona sur del aeropuerto de El Labrador hasta la terminal de autobuses de Quitumbe, incluyendo el depósito de trenes en esta zona, la campaña finalmente propuesta es la que se adjunta en la tabla siguiente, distinguiendo por colores los sondeos de cada fase (negro los sondeos a realizar en primera fase, campaña preliminar o base y en rojo los sondeos a realizar en segunda fase o de detalle).

Tabla 1. Propuesta de sondeos a ejecutar para la primera línea del Metro de Quito en dos fases: Base y *Detalle*.

Sondeo	PK	Desplazam. (+) dcha.eje (-) izda.eje	Prof (m)	Ubicación	Fase
SMQ-1	9+958	-1	30,0	Estación Quitumbe	2
SMQ-2	10+209	20	30,0	Estación Quitumbe	1
SMQ-3	10+636	-1	20,0	Pozo-túnel	2
SMQ-4	10+943	-15	30,0	Túnel	1
SMQ-5	11+404	24	30,0	Túnel	2
SMQ-6	11+973	35	40,0	Estación Moran Valverde	2
SMQ-7	12+100	17	40,0	Estación Moran Valverde	2
SMQ-8	12+265	12	25,0	Túnel	1
SMQ-9	12+883	26	30,0	Túnel	2
SMQ-10	13+275	41	40,0	Pozo-túnel	2
SMQ-11	13+686	1	40,0	Quebrada	2
SMQ-12	14+090	46	45,0	Estación Solanda	2
SMQ-13	14+237	34	45,0	Estación Solanda	2
SMQ-14	14+594	0	25,0	Quebrada	1
SMQ-15	14+730	-47	30,0	Pozo-túnel	2
SMQ-16	14+972	-10	45,0	Estación El Calzado	1
SMQ-17	15+302	-5	45,0	Estación El Calzado	2
SMQ-18	15+854	-5	40,0	Pozo-túnel	2
SMQ-18B	16+203	5	35,0	Río Machángara	2
SMQ-19	16+390	-59	35,0	Río Machángara	1
SMQ-20	16+962	-30	50,0	Estación El Recreo	1
SMQ-21	17+019	-31	50,0	Estación El Recreo	2

Sondeo	PK	Desplazam. (+) dcha.eje (-) izda.eje	Prof (m)	Ubicación	Fase
SMQ-22	17+463	-47	40,0	Pozo - túnel	2
SMQ-23	18+057	41	30,0	Túnel	2
SMQ-24	18+501	-5	30,0	Río Machángara	1
SMQ-25	18+673	15	30,0	Estación La Magdalena	2
SMQ-26	18+906	-37	45,0	Estación La Magdalena	2
SMQ-27	19+195	34	45,0	Túnel	2
SMQ-28	19+481	10	85,0	Túnel	2
SMQ-29	20+013	-11	40,0	Panecillo	1
SMQ-30	20+349	17	70,0	Panecillo	1
SMQ-31	20+658	-32	80,0	Panecillo	2
SMQ-31B	20+860	9	40,0	Panecillo	2
SMQ-32	21+153	-2	35,0	Pozo-túnel	2
SMQ-33	21+365	82	40,0	Túnel	1
SMQ-34	21+501	-42	50,0	Estación San Francisco	2
SMQ-35	22+280	9	40,0	Túnel	2
SMQ-37	22+729	-27	45,0	Túnel	2
SMQ-38	23+266	14	45,0	Estación La Alameda	1
SMQ-39	23+382	8	35,0	Estación La Alameda	2
SMQ-40	24+010	91	35,0	Parque El Arbolito	2
SMQ-41	24+212	-30	45,0	Estación El Ejido	1
SMQ-42	24+371	67	45,0	Estación El Ejido	2
SMQ-43	24+993	30	35,0	Pozo-túnel	2
SMQ-44	25+460	17	50,0	Estación Universidad Central	2
SMQ-45	25+573	54	50,0	Estación Universidad Central	2
SMQ-46	25+863	-31	40,0	Pozo-túnel	2
SMQ-47	26+306	-41	35,0	Túnel	2
SMQ-48	26+646	-23	45,0	Estación La Pradera	2
SMQ-49	26+685	-20	4,2	Estación La Pradera	2
SMQ-49A	26+732	-93	45,0	Estación La Pradera	2
SMQ-50	27+123	20	35,0	Pozo-túnel	2
SMQ-51	27+588	-2	45,0	Estación La Carolina	2
SMQ-52	27+760	57	45,0	Estación La Carolina	1
SMQ-53	28+225	-67	30,0	Pozo - túnel	2

Sondeo	PK	Desplazam. (+) dcha.eje (-) izda.eje	Prof (m)	Ubicación	Fase
SMQ-54	17+642	10	30,0	Pozo - túnel	2
SMQ-55	29+167	-19	45,0	Estación Iñaquito	1
SMQ-56	29+199	-30	45,0	Estación Iñaquito	2
SMQ-57	29+259	-12	35,0	Pozo-túnel	1
SMQ-58	29+843	38	40,0	Túnel	2
SMQ-59	30+732	-139	45,0	Estación Jipijapa	1
SMQ-60	30+443	30	45,0	Estación Jipijapa	2
SMQ-61	30+930	55	30,0	Pozo-túnel	2
SMQ-62	31+767	-185	45,0	Estación El Labrador	1
SMQ-63	31+504	5	50,0	Estación El Labrador	2
SMQ-64	10+844	-2	30,0	Cocheras Quitumbe	2
SMQ-65	9+637	14	25,0	Cocheras Quitumbe	2
SMQ-66	9+657	187	25,0	Cocheras Quitumbe	2
SMQ-67	9+667	267	30,0	Cocheras Quitumbe	2
SMQ-68	9+838	170	30,0	Cocheras Quitumbe	2
SMQ-69	9+940	218	30,0	Cocheras Quitumbe	2

Se propuso, y es la campaña que se ha llevado a cabo, la ejecución de 72 sondeos con una longitud total de 2.834,2 metros, en dos fases:

- Primera fase: 18 sondeos y 725,0 metros
- Segunda fase: 54 sondeos y 2.109,2 metros

4.4. Rendimientos alcanzados

En la primera fase, se tienen los datos de los 18 sondeos realizados, con las profundidades alcanzadas y días de perforación indicados en el cuadro adjunto. Los ensayos realizados en sondeos fueron los de penetración estándar (SPT cada metro), sísmico mediante Down-Hole (en todos los sondeos) y colocación del piezómetro, una vez terminado el sondeo.

Los rendimientos alcanzados variaron de un mínimo de 4,3 m/día y un máximo de 15,0 m/día, con un rendimiento medio de 7 m/día (en estos rendimientos no se han contabilizado los días que la máquina estaba parada por preparación del sondeo para la ejecución de ensayos sísmicos o traslados de máquina, por lo que contabilizando tales periodos, el rendimiento sería menor)

Tabla 2. Rendimiento de sondeos. 1ª Fase

Sondeo	PK	Desplazamiento (+) dcha. eje (-) izq. eje	Profundidad (m)	Días	Rendimiento (m/día)	Ubicación
SMQ-2	10+209	20	30,0	7,0	4,3	Estación de Quitumbe
SMQ-4	10+943	-15	30,0	6,0	5,0	Túnel
SMQ-8	12+265	12	25,0	4,0	6,3	Túnel
SMQ-14	14+594	0	25,0	3,0	8,3	Quebrada
SMQ-16	14+972	-10	45,0	8,0	5,6	Estación El Calzado
SMQ-19	16+390	-59	35,0	8,0	4,4	Rio Machángara
SMQ-20	16+962	-30	50,0	6,0	8,3	Estación El Recreo
SMQ-24	18+501	-5	30,0	4,0	7,5	Rio Machángara
SMQ-29	20+013	-11	40,0	6,0	6,7	Panecillo
SMQ-30	20+349	17	70,0	11,0	6,4	Panecillo
SMQ-33	21+365	82	40,0	9,0	4,4	Túnel
SMQ-38	23+266	14	45,0	5,0	9,0	Estación la Alameda
SMQ-41	24+212	-30	45,0	5,0	9,0	Estación El Ejido
SMQ-52	27+760	57	45,0	4,0	11,3	Estación la Carolina
SMQ-55	29+167	-19	45,0	5,0	9,0	Estación Iñaquito
SMQ-57	29+259	-12	35,0	5,0	7,0	Pozo-túnel
SMQ-59	30+732	-139	45,0	5,0	9,0	Estación Jipijapa
SMQ-62	31+767	-185	45,0	3,0	15,0	Estación El Labrador

En la segunda fase la ejecución de ensayos en sondeos ha sido mucho mayor: además del mencionado SPT, se han realizado ensayos presiométricos (no en todos pero obligaba a realizar la perforación de un diámetro que posteriormente había que ensanchar), toma de muestras para triaxiales cíclicos, de un diámetro específico que obligaba a hacer maniobras de ampliación del diámetro, ensayos Down-Hole (no en todos los sondeos, que también obligaba a reperforar el sondeo para ampliar el diámetro), diagráfias (no en todos los sondeos, pero también necesita que se hagan operaciones específicas) y la colocación del piezómetro, al terminar el sondeo.

En los rendimientos obtenidos en esta segunda fase si se han considerado todos los tiempos necesarios para la ejecución del sondeo, contabilizando no solo los días que se perforaba sino desde que la máquina se ubicaba en el sondeo hasta que lo abandonaba, obteniéndose la producción semanal que se indica en la tabla adjunta

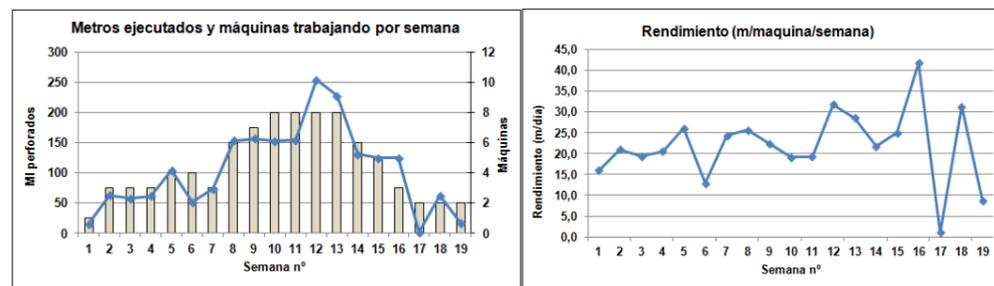
Tabla 3. Rendimiento de sondeos. 2ª fase

**PRODUCCIÓN SEMANAL DE LOS SONDEOS DE LA PRIMERA LINEA METRO DE QUITO
(SEGUNDA FASE)**

ORDEN	SEMANA		Total semana			Total a origen			Máquinas	
	DE	A	MI	Días	M/día	MI	Días	M/día	nº	m/máquina
1	17/11/2011	20/11/2011	16	3	5,33	16	3	5,33	1	16,0
2	21/11/2011	27/11/2011	63	13	4,85	79	16	4,94	3	21,0
3	28/11/2011	04/12/2011	57,9	18	3,22	136,9	34	4,03	3	19,3
4	05/12/2011	11/12/2011	61,6	19	3,24	198,5	53	3,75	3	20,5
5	12/12/2011	18/12/2011	104	20	5,20	302,5	73	4,14	4	26,0
6	19/12/2011	25/12/2011	51,5	13	3,96	354	86	4,12	4	12,9
7	26/12/2011	01/01/2012	73	14	5,21	427	100	4,27	3	24,3
8	02/01/2012	08/01/2012	153,5	30	5,12	580,5	130	4,47	6	25,6
9	09/01/2012	15/01/2012	156,5	37	4,23	737	167	4,41	7	22,4
10	16/01/2012	22/01/2012	153	49	3,12	890	216	4,12	8	19,1
11	23/01/2012	29/01/2012	154	42	3,67	1044	258	4,05	8	19,3
12	30/01/2012	05/02/2012	254,5	49	5,19	1298,5	307	4,23	8	31,8
13	06/02/2012	12/02/2012	228	41	5,56	1526,5	348	4,39	8	28,5
14	13/02/2012	19/02/2012	130,5	26	5,02	1657	374	4,43	6	21,8
15	20/02/2012	26/02/2012	125	21	5,95	1782	395	4,51	5	25,0
16	27/02/2012	04/03/2012	125	20	6,25	1907	415	4,60	3	41,7
17	05/03/2012	11/03/2012	2	4	0,50	1909	419	4,56	3	0,7
18	12/03/2012	18/03/2012	62,5	9	6,94	1971,5	428	4,61	2	31,3
19	19/03/2012	25/03/2012	17,5	7	2,50	1989	435	4,57	2	8,8

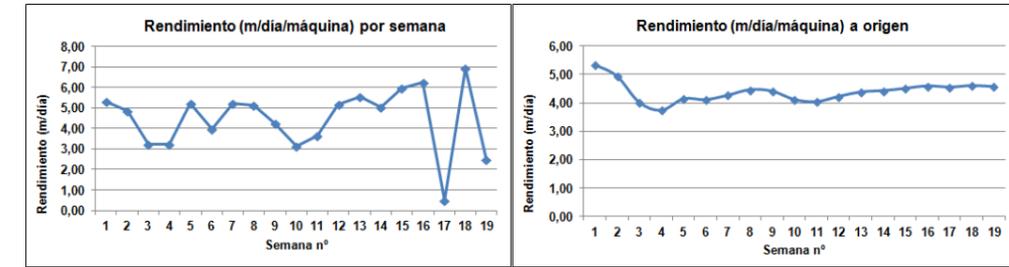
Se ha trabajado hasta con ocho máquinas a la vez, obteniéndose una producción máxima de 254 m a la semana. El rendimiento semanal ha variado desde 1 metro por semana y máquina hasta un máximo de 41,7 m/semana y máquina.

Figura 1. Rendimiento semanal



El rendimiento diario por máquina ha sido variable a lo largo de las 19 semanas que ha durado la campaña, desde 0,50 m/día y máquina hasta 6,94 m/día y máquina. Por último, el rendimiento final a origen, contabilizando todos los días trabajados (435 3n total) es de 4,57 m/día. Si solo se contabilizan los días que se ha estado perforando, el rendimiento es de 5,85 m/día, muy inferior al de la campaña anterior (por la cantidad de ensayos in situ realizados y muestras especiales obtenidas).

Figura 2



4.5. Principales unidades de la Campaña realizada

Las principales unidades en que ha constado la campaña realizada en su totalidad se resumen a continuación:

- 72 sondeos a rotación con una longitud total de perforación de 2.834,2 m, llevados a cabo en dos fases:
 - Preliminar: 18 sondeos y 725 m
 - De detalle: 54 sondeos y 2.109,2 m
- Extracción continua de testigo almacenados en 645 cajas
- Ejecución de 1719 SPT
- 116 muestras tipo Shelby
- 573 muestras parafinadas
- 25 testigos para realización de ensayos triaxiales cíclicos
- Ensayos presiométricos: 107 ensayos
- Ensayos Down-Hole en toda la profundidad en 43 sondeos
- Ensayos de permeabilidad: 91 ensayos tipo Lefranc y 4 tipo Lugeon
- Diagramas Gamma, Potencial espontáneo SP, resistividad SPR en toda la profundidad de 48 sondeos
- Instalación de piezómetros en 70 sondeos
- Análisis de la velocidad de las ondas de corte mediante sísmica pasiva en 22.150,0 metros y mediciones de las vibraciones naturales en doscientos diecisiete puntos a lo largo del trazado, con una separación de 100 m entre puntos de medición.

- Ejecución de 9 calicatas en los depósitos de Quitumbe
- Ensayos de laboratorio, que serán analizados en un apartado posterior.

La distribución de todos estos ensayos de campo y muestras obtenidas por cada uno de los sondeos se adjunta en la tabla siguiente. En esta tabla se han diferenciado, los sondeos propuestos en una primera fase, denominada “base” (ejecutados por Metro de Quito) en color negro y los realizados en una segunda fase, de “detalle” (ejecutados por Metro de Madrid), en color rojo. Esta misma diferenciación se ha reflejado en el perfil geológico-geotécnico que realizó Higgeco al comienzo de la fase de diseño, que se incluye en el apéndice 2.

Tabla 4. Resumen de sondeos, muestras y ensayos in situ

Sondeo	PK	Desplazam. (+) dcha.eje (-) izda.eje	Prof (m)	Ubicación	Fase	Muestras obtenidas				Ensayos in situ					
						SPT	SH	MP	TX	PR	LF	LG	D-H	D	Pz
SMQ-1	9+958	-1	30,0	Estación Quitumbe	2	8	1		2	3			1	1	1
SMQ-2	10+209	20	30,0	Estación Quitumbe	1	25		1					1		1
SMQ-3	10+636	-1	20,0	Pozo-túnel	2	11	1			1	2			1	1
SMQ-4	10+943	-15	30,0	Túnel	1	22	3						1		1
SMQ-5	11+404	24	30,0	Túnel	2	20	2			2	2			1	1
SMQ-6	11+973	35	40,0	Estación Moran Valverde	2	10	1	2		4			1	1	1
SMQ-7	12+100	17	40,0	Estación Moran Valverde	2	8	2			5			1	1	1
SMQ-8	12+265	12	25,0	Túnel	1	25	2						1		1
SMQ-9	12+883	26	30,0	Túnel	2	19		11		1	2			1	1
SMQ-10	13+275	41	40,0	Pozo-túnel	2	12	1	5		2	1			1	1
SMQ-11	13+686	1	40,0	Quebrada	2	5	2	12			2			1	1
SMQ-12	14+090	46	45,0	Estación Solanda	2	22	3	11	1	3			1	1	1
SMQ-13	14+237	34	45,0	Estación Solanda	2	20	1	15	1	3			1	1	1
SMQ-14	14+594	0	25,0	Quebrada	1	24	2	2					1		1
SMQ-15	14+730	-47	30,0	Pozo-túnel	2	25				1					1
SMQ-16	14+972	-10	45,0	Estación El Calzado	1	43							1		1
SMQ-17	15+302	-5	45,0	Estación El Calzado	2	20		7	1	3			1	1	1
SMQ-18	15+854	-5	40,0	Pozo-túnel	2	17	1	11		2				1	1
SMQ-18B	16+203	5	35,0	Río	2	32	2	17		2			1	1	1

Sondeo	PK	Desplazam. (+) dcha.eje (-) izda.eje	Prof (m)	Ubicación	Fase	Muestras obtenidas				Ensayos in situ					
						SPT	SH	MP	TX	PR	LF	LG	D-H	D	Pz
				Machángara											
SMQ-19	16+390	-59	35,0	Río Machángara	1	25	3							1	1
SMQ-20	16+962	-30	50,0	Estación El Recreo	1	21						9		1	1
SMQ-21	17+019	-31	50,0	Estación El Recreo	2	20		24	3	4				1	1
SMQ-22	17+463	-47	40,0	Pozo - túnel	2	16		36		2					1
SMQ-23	18+057	41	30,0	Túnel	2	12		7		2					1
SMQ-24	18+501	-5	30,0	Río Machángara	1	28	2	1						1	1
SMQ-25	18+673	15	30,0	Estación La Magdalena	2	29	1	9				3		1	1
SMQ-26	18+906	-37	45,0	Estación La Magdalena	2	17		11	1	4				1	1
SMQ-27	19+195	34	45,0	Túnel	2	35		21		2	2			1	1
SMQ-28	19+481	10	85,0	Túnel	2	54		25		2	2			1	1
SMQ-29	20+013	-11	40,0	Panecillo	1	36	2	8						1	1
SMQ-30	20+349	17	70,0	Panecillo	1	44						3		1	1
SMQ-31	20+658	-32	80,0	Panecillo	2	42	3	9					4		1
SMQ-31B	20+860	9	40,0	Panecillo	2	34	2	1		2				1	1
SMQ-32	21+153	-2	35,0	Pozo-túnel	2	30	5	3				6		1	1
SMQ-33	21+365	82	40,0	Túnel	1	39	1	6				5		1	1
SMQ-34	21+501	-42	50,0	Estación San Francisco	2	29	2	13				1		1	1
SMQ-35	22+280	9	40,0	Túnel	2	27		36		2				1	1
SMQ-37	22+729	-27	45,0	Túnel	2	34		29		2					1
SMQ-38	23+266	14	45,0	Estación La Alameda	1	25	3					6		1	1
SMQ-39	23+382	8	35,0	Estación La Alameda	2	18	1	11		2				1	1
SMQ-40	24+010	91	35,0	Parque El Arbolito	2	17		17		2	2			1	1
SMQ-41	24+212	-30	45,0	Estación El Ejido	1	27	3					3		1	1
SMQ-42	24+371	67	45,0	Estación El Ejido	2	30	5	30		3				1	1
SMQ-43	24+993	30	35,0	Pozo-túnel	2	33		11		2					1
SMQ-44	25+460	17	50,0	Estación Universidad	2	40	4	10	2	4				1	1

Sondeo	PK	Desplazam. (+) dcha.eje (-) izda.eje	Prof (m)	Ubicación	Fase	Muestras obtenidas				Ensayos in situ							
						SPT	SH	MP	TX	PR	LF	LG	D-H	D	Pz		
				Central													
SMQ-45	25+573	54	50,0	Estación Universidad Central	2	31		10		8		1					1
SMQ-46	25+863	-31	40,0	Pozo-túnel	2	30	3			2				1			1
SMQ-47	26+306	-41	35,0	Túnel	2	26	1	3		2				1			1
SMQ-48	26+646	-23	45,0	Estación La Pradera	2	26		5	3	2			1	1			1
SMQ-49	26+685	-20	4,2	Estación La Pradera	2	3											
SMQ-49A	26+732	-93	45,0	Estación La Pradera	2	16	1	4		1			1	1			1
SMQ-50	27+123	20	35,0	Pozo-túnel	2	23	2			2						1	1
SMQ-51	27+588	-2	45,0	Estación La Carolina	2	36	4	11	1	5			1	1			1
SMQ-52	27+760	57	45,0	Estación La Carolina	1	14	3	2		7			1				1
SMQ-53	28+225	-67	30,0	Pozo - túnel	2	19	4	3		2						1	1
SMQ-54	17+642	10	30,0	Pozo - túnel	2	9	7	11		2						1	1
SMQ-55	29+167	-19	45,0	Estación Iñaquito	1	29	2	8		5			1				1
SMQ-56	29+199	-30	45,0	Estación Iñaquito	2	24	1	15	6	5			1	1			1
SMQ-57	29+259	-12	35,0	Pozo-túnel	1	32	2	7		6			1				1
SMQ-58	29+843	38	40,0	Túnel	2	29	4	6		2						1	1
SMQ-59	30+732	-139	45,0	Estación Jipijapa	1	21	3	14		7			1				1
SMQ-60	30+443	30	45,0	Estación Jipijapa	2	19	4	23	2	3						1	1
SMQ-61	30+930	55	30,0	Pozo-túnel	2	22	1	9		2						1	1
SMQ-62	31+767	-185	45,0	Estación El Labrador	1	21	3	7		7			1				1
SMQ-63	31+504	5	50,0	Estación El Labrador	2	42	4	13	2	5			1	1			1
SMQ-64	10+844	-2	30,0	Cocheras Quitumbe	2	15	1	4		2						1	1
SMQ-65	9+637	14	25,0	Cocheras Quitumbe	2	17				2						1	1
SMQ-66	9+657	187	25,0	Cocheras Quitumbe	2	16	1			1						1	1
SMQ-67	9+667	267	30,0	Cocheras Quitumbe	2	27	3						1	1			1

Sondeo	PK	Desplazam. (+) dcha.eje (-) izda.eje	Prof (m)	Ubicación	Fase	Muestras obtenidas				Ensayos in situ								
						SPT	SH	MP	TX	PR	LF	LG	D-H	D	Pz			
SMQ-68	9+838	170	30,0	Cocheras Quitumbe	2	28	1	3								1	1	1
SMQ-69	9+940	218	30,0	Cocheras Quitumbe	2	14		3								1	1	1

4.6. Sondeos a rotación

4.6.1. Sondeos realizados: profundidad y coordenadas UTM

Las coordenadas de los sondeos efectuados se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5. Sondeos realizados

Sondeo	Profundidad	X (m)	Y (m)	Z (m)
SMQ-1	30	493 719	9 967 187	2 922.2
SMQ-2	30	493 918	9 967 342	2 915.0
SMQ-3	20	494 193	9 967 669	2 904.0
SMQ-4	30	494 378	9 967 901	2 898.8
SMQ-5	30	494 468	9 968 351	2 895.1
SMQ-6	40	494 586	9 968 889	2 876.4
SMQ-7	40	494 625	9 969 011	2 873.0
SMQ-8	25	494 703	9 969 153	2 865.0
SMQ-9	30	495 092	9 969 633	2 855.4
SMQ-10	40	495 345	9 969 932	2 849.2
SMQ-11	40	495 599	9 970 252	2 852.6
SMQ-12	45	495 933	9 970 484	2 844.4
SMQ-13	45	496 036	9 970 590	2 843.7
SMQ-14	25	496 187	9 970 911	2 826.0
SMQ-15	30	496 113	9 971 028	2 835.2

Sondeo	Profundidad	X (m)	Y (m)	Z (m)
SMQ-16	45	496 135	9 971 282	2 832.0
SMQ-17	45	496 318	9 971 560	2 827.0
SMQ-18	40	496 803	9 971 731	2 818.6
SMQ-18B	30	497 150	9 971 692	2 807.0
SMQ-19	35	497 333	9 971 746	2 804.6
SMQ-20	50	497 678	9 972 098	2 820.4
SMQ-21	50	497 702	9 972 149	2 821.2
SMQ-22	40	497 882	9 972 548	2 821.1
SMQ-23	30	497 816	9 973 104	2 813.0
SMQ-24	30	497 479	9 973 398	2 802.6
SMQ-25	45	497 359	9 973 524	2 808.3
SMQ-26	45	497 147	9 973 636	2 817.4
SMQ-27	45	497 050	9 973 915	2 839.0
SMQ-28	85	497 003	9 974 185	2 884.2
SMQ-29	40	497 269	9 974 628	2 847.1
SMQ-30	70	497 547	9 974 818	2 888.0
SMQ-31	80	497 755	9 975 052	2 873.7
SMQ-31B	40	497 937	9 975 148	2 850.9
SMQ-32	35	498 153	9 975 346	2 825.4
SMQ-33	40	498 367	9 975 460	2 822.2
SMQ-34	50	498 352	9 975 634	2 825.8
SMQ-35	40	499 023	9 975 790	2 799.6
SMQ-37	45	499 428	9 975 795	2 811.6
SMQ-38	45	499 749	9 976 184	2 816.0

Sondeo	Profundidad	X (m)	Y (m)	Z (m)
SMQ-39	35	499 855	9 976 229	2 817.4
SMQ-40	35	500 410	9 976 580	2 798.5
SMQ-41	45	500 253	9 976 774	2 793.4
SMQ-42	45	500 299	9 976 955	2 793.1
SMQ-43	35	499 949	9 977 476	2 799.5
SMQ-44	50	499 896	9 977 906	2 807.1
SMQ-45	50	499 966	9 978 002	2 808.0
SMQ-46	40	500 015	9 978 299	2 813.6
SMQ-47	35	500 445	9 978 445	2 797.0
SMQ-48	45	500 759	9 978 502	2 785.6
SMQ-49	4,2	500 796	9 978 516	2 785.4
SMQ-49A	45	500 807	9 978 603	2 785.0
SMQ-50	35	501 208	9 978 669	2 777.1
SMQ-51	45	501 580	9 978 944	2 771.9
SMQ-52	45	501 742	9 979 028	2 770.9
SMQ-53	30	501 758	9 979 475	2 774.9
SMQ-54	30	501 799	9 979 902	2 778.6
SMQ-55	45	501 830	9 980 426	2 780.5
SMQ-56	45	501 822	9 980 459	2 780.2
SMQ-57	35	501 847	9 980 517	2 778.3
SMQ-58	45	501 941	9 981 103	2 778.4
SMQ-59	45	501 719	9 981 984	2 784.0
SMQ-60	45	501 835	9 981 670	2 780.1
SMQ-61	30	501 945	9 982 147	2 783.9

Sondeo	Profundidad	X (m)	Y (m)	Z (m)
SMQ-62	45	501 368	9 982 797	2 796.6
SMQ-63	50	501 667	9 982 671	2 791.7
SMQ-64	30	494 344	9 967 810	2 898.3
SMQ-65	25	493 493	9 966 958	2 931.3
SMQ-66	25	493 625	9 966 845	2 931.5
SMQ-67	30	493 688	9 966 793	2 931.7
SMQ-68	30	493 747	9 966 980	2 923.7
SMQ-69	30	493 854	9 967 014	2 922.2

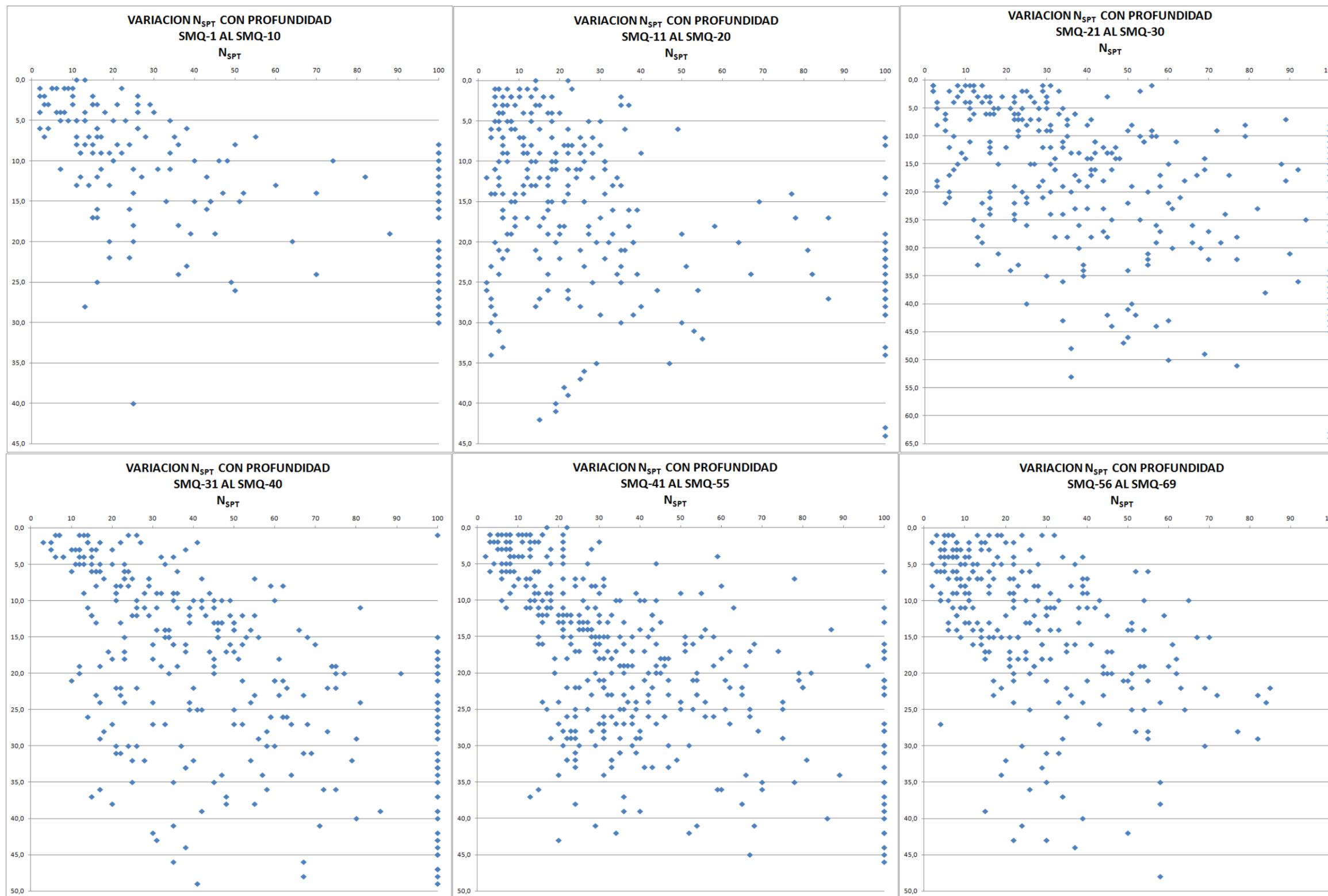
La ubicación en planta de los sondeos realizados se adjunta en el Apéndice 1. Con dichos perfiles se realizó en el estudio geotécnico de detalle un perfil geológico geotécnico y una correlación entre las columnas estratigráficas de los sondeos. Tal información se recoge en los Apéndices 2 y 3 respectivamente.

4.6.2. Ensayos SPT

Se adjunta una tabla a continuación, con todos los valores de los ensayos SPT realizados, y unos gráficos de la variación de los mismos con la profundidad agrupados por sondeos. Se ha considerado el rechazo como un golpeo $N = 100$.

Las columnas estratigráficas de los sondeos y las fotografías de las cajas con los testigos obtenidos se adjuntan en el apéndice 4.

Figura 3. Variación del valor del SPT con la profundidad



4.7. Ensayos de permeabilidad

Se han realizado ensayos de permeabilidad tipo Lugeon (para zona de El Panecillo, algo rocosa, aunque no se alcanzó la presión máxima del ensayo) y tipo Lefranc (en la mayor parte de los casos).

Se adjunta un modelo de presentación de los resultados y de estimación de la permeabilidad, tal y como se recoge en el Apéndice 5.

Figura 4. Presentación de los resultados de los ensayos de permeabilidad: Lefranc (izquierda) y Lugeon (derecha)

PRUEBA LEFRANC Nº 6				PRUEBA LUGION Nº 7			
CLIENTE: USMQ				CLIENTE: METRO MADRID			
PROYECTO: METRO QUITO				PROYECTO: METRO QUITO			
FECHA: 11-junio-2011				FECHA: 8-diciembre-2011			
SONDEO: SMQ 29				SONDEO: SMQ 51			
SITIO: EST. AUTOBUSES EL RECREO				SITIO: PANECILLO			
REALIZADO POR: Ing. M. Henao				SUPERVISOR: J.C. War			
COTA: 6+800				COTA: 7+000			
Bomba tipo:	Prof. del ensayo (m):	30,00	30,00	Prof. del ensayo (m):	10 a 30	10,00	10,00
Caudal (l/min):	Prof. final del ensayo (m):	42,00	11 a 10	Caudal (l/min):	100	100	100
Hidrometro Nº:	Nivel de agua antes (m):	3,70	Long. tramo ensayado (m):	3,00	3,00	3,00	3,00
Manómetro Nº:	Diametro del sondeo (mm):	75,70	Profund. del sondeo (m):	42,00	42,00	42,00	42,00
betón sondeo:	Diametro revestimiento (mm):	80,00	Profund. revestimiento (m):	30,00	30,00	30,00	30,00

INYECCION				DESCENSO			
TIEMPO (min)	LECTURA MEDIDOR (Bs.)	VOLUMEN (l)	PROFUNDIDAD (m)	TIEMPO (min)	LECTURA MEDIDOR (Bs.)	VOLUMEN (l)	PROFUNDIDAD (m)
0				0			
1	0.40	32	1	1	8802.2	72.2	1
2	0.40	33	2	2	8841.4	78.2	2
3	0.40	34	3	3	8913.8	82.4	3
4	0.40	35	4	4	8984.6	86.8	4
5	0.40	36	5	5	9062.8	91.4	5
6	0.30	37	6	6	9148.8	96.2	6
7	0.30	38	7	7	9242.8	101.2	7
8	0.30	39	8	8	9344.8	106.4	8
9	0.30	40	9	9	9454.8	111.8	9
10	0.30	41	10	10	9572.8	117.4	10
11	0.30	42	11	11	9698.8	123.2	11
12	0.30	43	12	12	9832.8	129.2	12
13	0.30	44	13	13	9974.8	135.4	13
14	0.30	45	14	14	10124.8	141.8	14
15	0.20	46	15	15	10282.8	148.4	15
16	0.20	47	16	16	10448.8	155.2	16
17	0.20	48	17	17	10622.8	162.2	17
18	0.20	49	18	18	10804.8	169.4	18
19	0.20	50	19	19	11004.8	176.8	19
20	0.20	51	20	20	11222.8	184.4	20
21	0.20	52	21	21	11458.8	192.2	21
22	0.20	53	22	22	11712.8	200.2	22
23	0.20	54	23	23	11984.8	208.4	23
24	0.20	55	24	24	12274.8	216.8	24
25	0.20	56	25	25	12582.8	225.4	25
26	0.20	57	26	26	12908.8	234.2	26
27	0.20	58	27	27	13252.8	243.2	27
28	0.20	59	28	28	13614.8	252.4	28
29	0.20	60	29	29	14004.8	261.8	29
30	0.20	61	30	30	14422.8	271.4	30
SUM		2.00		SUM	741.00	878.40	716.00

CALCULOS:			
VOLUMEN INYECTADO = V =	2000.0	cm ³	
CAUDAL = Q =	3.333	cm ³ /seg	
COLUMNA DE AGUA SOBRE EL NIVEL ESTÁTICO = h =	370.00	cm	
DIAMETRO DEL SONDEO EN EL TRAMO ENSAYADO = D =	7.57	cm	
LONGITUD ENSAYADA = L =	300.00	cm	
$C = \frac{2 \pi D \sqrt{LD_0^2 + 1}}{L \sqrt{LD_0^2 + 1}}$	431.192	cm	
$K = \frac{Q}{C^2 h m}$	2.09 E-05	cm/seg	

4.8. Ensayos dinámicos Down-Hole

Estos registros tienen por objeto determinar las características dinámicas de los materiales atravesados por un sondeo (las velocidades de propagación de las ondas longitudinales o de compresión, Vp, y transversales o de corte, Vs).

El registro Cross-Hole se obtiene mediante la medida de las velocidades de las ondas sísmicas Vp y Vs, cuando éstas atraviesan el terreno desde un emisor situado en un sondeo, hasta un receptor situado en otro sondeo relativamente cercano al primero. Esta operación se repite varias veces, cada 50 cm de profundidad, obteniéndose una "radiografía" del terreno situado entre ambos sondeos.

El registro Down-Hole se basa en el mismo principio que el anterior, pero se diferencia de él en que la unidad emisora de ondas se coloca en superficie, sobre un dado de hormigón clavado en el terreno unos 70 cm. El receptor (un geófono triaxial) se coloca en el interior de un sondeo, a diferentes profundidades.

En ambos sistemas los sondeos deben de estar acondicionados previamente para la posterior introducción de las sondas emisoras y receptoras en cada caso.

Para el acondicionamiento de los sondeos se utiliza una tubería de PVC, de más de 10 atm, en función de la profundidad del sondeo y la presión hidráulica que deba soportar. Se debe asegurar la estanqueidad del tubo en toda su longitud, así como el contacto perfecto de la tubería con las paredes del sondeo.

Figura 5. Dispositivo utilizado para la generación de las ondas P y S

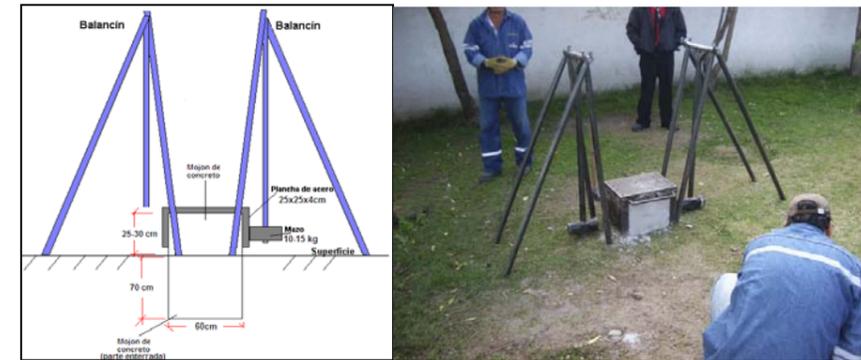
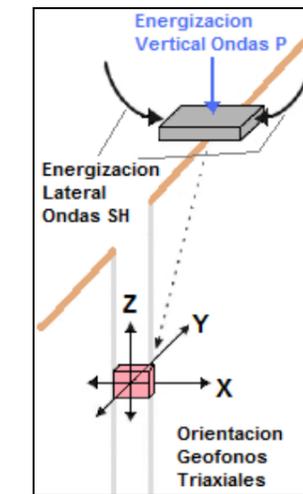


Figura 6. Esquema del proceso de recopilación de datos



Una vez bajada la sonda a una determinada profundidad, desde la superficie se generan impulsos con impactos verticales y horizontales, que generan respectivamente las ondas P y S. Para cada profundidad, y cada tipo de onda, se generan diferentes impactos que son apilados para generar una buena relación entre señal y ruido. Con la velocidad de las ondas P y S en profundidad se pueden obtener diversos parámetros: Módulo de corte, Módulo de deformación dinámico, Módulo de deformación estático (a partir de correlaciones con el anterior).

Los resultados se presentan (en el Apéndice 7), adjuntándose un ejemplo de los datos proporcionados y su variación con la profundidad.

Figura 7. Ejemplo de presentación de los resultados

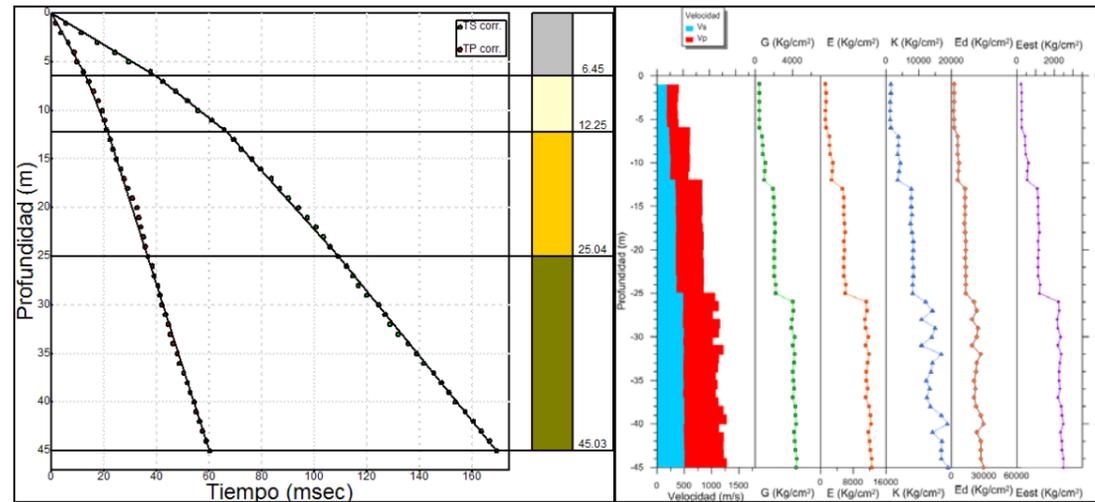
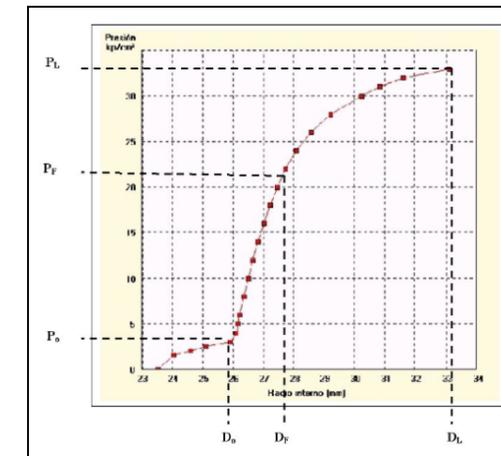


Figura 8. Curva típica de un ensayo presiométrico



4.9. Ensayos presiométricos

El objetivo del ensayo presiométrico es obtener una respuesta esfuerzo-deformación del terreno "in situ", de manera que se pueda estimar el módulo de deformación presiométrico del terreno.

Además del propio módulo presiométrico del terreno (y mediante determinadas correlaciones el módulo de deformación) es posible determinar además otros parámetros tales como: cohesión, ángulo de rozamiento interno y ángulo de dilatación.

El ensayo presiométrico es un ensayo de carga estática del terreno que se realiza "in situ". Consiste en la expansión radial de una camisa cilíndrica de caucho que se instala dentro de un sondeo previamente perforado (por lo que puede entenderse que ha existido cierta relajación si el tiempo transcurrido entre la ejecución del sondeo y el ensayo de deformación es elevado).

Se realiza aplicando presiones crecientes, con una velocidad de carga acorde al tipo de terreno a ensayar. Como resultado gráfico de un ensayo presiométrico se obtiene una curva en la que se pueden distinguir las siguientes etapas de deformación: adaptación de la camisa al sondeo; deformación elástica; deformación plástica y rotura del terreno.

En términos de presiones se distingue:

- Po: Presión en la que la camisa se adapta totalmente a la pared del sondeo.
- Pf: Presión de Fluencia o presión a la que el terreno deja de comportarse elásticamente.
- Pl (Presión Límite): presión a la que el terreno se cizalla y no admite ningún incremento de presión.

En términos de desplazamientos se pueden distinguir, acorde con lo anteriormente señalado:

- D0: Incremento de diámetro para el cual la camisa está totalmente en contacto con el terreno (o del volumen de la camisa)
- Df: Incremento de diámetro correspondiente al inicio de la plastificación del terreno.
- Dc: Incremento de diámetro correspondiente al cizallamiento del terreno.

El ensayo presiométrico es un ensayo de corte que permite determinar directamente el módulo de corte del terreno (G) y a partir del mismo, el módulo presiométrico. Una vez conocido el módulo presiométrico se determina el módulo de deformación del terreno en carga por medio del coeficiente reológico α , cuyos valores se toman a partir de la tabla adjunta que es función del tipo de suelo y de la relación entre el módulo presiométrico (E_p o E_M) y la presión límite del terreno (P_{lim}).

Tabla 7. Valores del coeficiente α (Menard)

TIPO DE SUELO	TURBA		ARCILLAS		LIMOS		ARENAS		ARENAS Y GRAVAS	
	α_p	E_M/P_{lim}	α_p	E_M/P_{lim}	α_p	E_M/P_{lim}	α_p	E_M/P_{lim}	α_p	E_M/P_{lim}
Sobreconsolidado	—	>16	1	>14	2/3	>12	1/2	>10	1/3	
Normalmente consolidado	1	9-16	2/3	8-14	1/2	7-12	1/3	6-10	1/4	
Alterado o remodelado	—	7-9	1/2	5-8	1/2	5-7	1/3	—	1/4	

NOTA: En el caso de rocas se adoptan valores comprendidos entre $\alpha_p = 1/3$ si está muy fracturada y $\alpha_p = 2/3$ si está ligeramente fracturada.

El parámetro que condiciona la magnitud del asiento provocado por una excavación subterránea es el módulo de deformación en descarga, del orden de 3 a 10 veces superior al valor del módulo de deformación en carga.

Para la realización de los ensayos presiométricos se requiere que las paredes del sondeo sean estables a corto plazo; tal necesidad está asegurada cuando la componente dominante son arcillas (esto es, que el material contiene más de un 50 % de finos) pero si el contenido en finos es inferior a un cierto valor y además se detecta la presencia de agua, las paredes del sondeo no pueden mantenerse estables y no se puede realizar el ensayo presiométrico con los equipos estándar (como el que se ha dispuesto en la campaña realizada). Como consecuencia de ello no se han podido realizar las 136 unidades que estaban previstas, todas ellas en los sondeos de la fase denominada de detalle, aunque se han realizado un total de 107 unidades. En la tabla adjunta se indican cuales han sido las principales causas por las que no se han podido realizar, que se resumen en dos:

- Se estaban ejecutando sondeos con cinco a siete máquinas y se ha dispuesto de 2 o 3 sondas presiométricas por lo que han coincidido en el tiempo dos sondeos en donde había que realizar ensayos presiométricos
- La presencia de arenas y gravas en los niveles que se quería ensayar ha impedido la estabilidad de las paredes y por tanto la realización de ensayos presiométricos.

Tabla 8. Ensayos presiométricos realizados y causas por las que no se han podido realizar

Sondeo	Ubicación	Profundidad (m)	Presiómetros (profundidad, m)										Causa		
			Realizado					No Realizado							
SMQ-1	Quitumbe	30,0	5	10	15							20			Presencia de arenas
SMQ-3	Túnel	20,0	5									15			Presencia de arenas gruesas
SMQ-5	Túnel	30,0	10	20											
SMQ-6	Moran Valverde	40,0	5	9	11	20									
SMQ-7	Moran Valverde	40,0	5	10	15	20	25								
SMQ-9	Túnel	30,0	10									20			Presencia de arenas
SMQ-10	Túnel	40,0	15	25											
SMQ-11	Quebrada	40,0										5	10		Rellenos de quebrada
SMQ-12	Solanda	45,0	10	15	20							25	30		Presencia de arenas
SMQ-13	Solanda	45,0	15	20								35	25	30	No disponibilidad de sonda presiométrica (en otro sondeo) y presencia de arenas (en 30 m)
SMQ-15	Túnel	30,0		20								15			Presencia de arenas y gravas
SMQ-17	El Calzado	45,0	15			30	35	20	25						Presencia de arena (25 m) y gravas (30 m)
SMQ-18	Túnel	40,0	15	25											
SMQ-18B	Rio Machángara	35,0	5	15											
SMQ-21	El Recreo	50,0	15	20	25	30						35			Presencia de toba arenosa
SMQ-22	Pozo - túnel	40,0	15	25											
SMQ-23	Túnel	30,0	10	20											
SMQ-25	La Magdalena	45,0		20	25	30	10	15							Presencia de arena suelta
SMQ-26	La Magdalena	45,0	17	20	25	30	35								Presencia de toba gris con bloques de andesita
SMQ-27	Túnel	45,0	25	35											
SMQ-28	Túnel	85,0	65	75											
SMQ-31	Panecillo	80,0										50	70		Material muy desmenuzado o roca
SMQ-31B	Panecillo		25	35											
SMQ-35	Plaza Teatro	40,0		20	30										
SMQ-37	Túnel	40,0	20	30											
SMQ-39	La Alameda	45,0		20		30		10	25						Presencia de arenas (10 m) y de toba arenosa (25 m)
SMQ-40	Parque El Arbolito	35,0	20	25											
SMQ-42	El Ejido	45,0	5	10				25	15	20					No disponibilidad de sonda presiométrica (realizando pruebas en otros sondeos)
SMQ-43	Túnel	35,0	15	25											
SMQ-44	Universidad Central	50,0	20	20	30	35	40	10							Presencia de arena
SMQ-46	Túnel	40,0	20	30											
SMQ-47	Túnel	35,0	15	25											
SMQ-48	La Pradera	45,0		10		18		5	15	25					Presencia de arenas con abundantes gravas (5 y 15 m) y sonda presiométrica no disponible (realizando pruebas en otro sondeo)
SMQ-49	La Pradera	45,0				25		10	15	20					Presencia de arena con gravas
SMQ-50	Túnel	35,0	10	20											
SMQ-51	La Carolina	45,0	5	15	20	25	30								
SMQ-53	Pozo - túnel	30,0	5	15											
SMQ-54	Pozo - túnel	30,0	10	20											
SMQ-56	Iñaquito	45,0	10	15	20	25	30								
SMQ-58	Túnel	40,0	20	30											
SMQ-60	Jipijapa	45,0	5		15	20		10	25						Sonda presiométrica realizando prueba en otro sondeo (10 m) y arena con gravas (25 m)
SMQ-61	Pozo - túnel	30,0	10	20											
SMQ-63	Labrador	45,0	10	15	20	25	30								
SMQ-64	Viaducto	40,0	15	25											

Se adjunta en la tabla siguiente los resultados de los ensayos presiométricos realizados, indicando:

- Sondeo, profundidad y fecha de ejecución del ensayo
- Parámetros considerados como fundamentales: presión de fluencia, presión límite y Módulo presiométrico o de Menard (E_M).
- Parámetros complementarios: presión horizontal efectiva, presión de fluencia neta (presión de fluencia menos la tensión vertical efectiva), relación entre el módulo presiométrico y la presión de fluencia (total o neta) parámetro fundamental para poder obtener el coeficiente reológico y a partir del mismo el módulo de deformación.

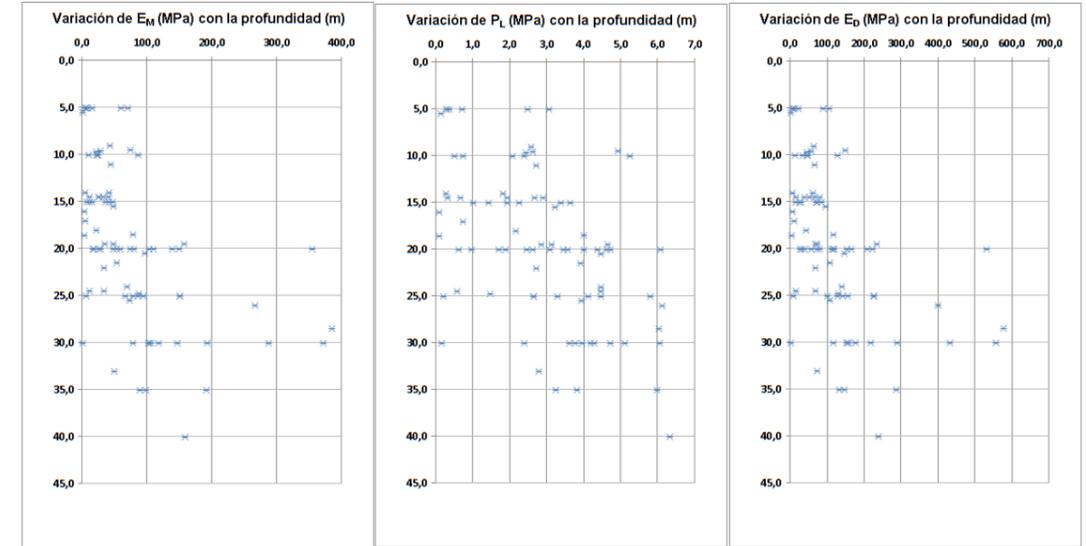
Tabla 9. Resumen de los ensayos presiométricos

Perforación	Profundidad (m)	Fecha y hora	Parámetros fundamentales			Parámetros complementarios			Parámetros adjuntos			Condiciones del ensayo					
			P ₀ (MPa)	P ₁ (MPa)	E _u (MPa)	σ _u (MPa)	P ₂ (MPa)	E/p ₁	E/p ₂	E _{max} (MPa)	P ₁ (MPa)	P ₂ (MPa)	N ^o ensayos de presión	P _{max} (MPa)	V _{max} (cm ³)	Presión diferencial (MPa)	Presión diferencial (MPa)
SMQ 1	10.00	9/2/12 12:16	0.55	2.48	22.5	0.090	2.39	9.4	9.8	32.1	0.24	0.55	27	1.63	997.7	0.000	-0.025
	5.00	9/2/12 12:50	1.55	2.54	61.1	0.045	2.49	24.1	24.5	56.0	0.76	1.55	13	2.50	659.7	-0.050	-0.075
	14.50	10/2/12 15:59	0.88	2.81	33.6	0.131	2.68	12.0	12.6	78.0	0.20	0.88	11	1.74	767.0	0.045	0.020
SMQ 3	5.00	19/1/12 10:06	1.60	3.12	72.0	0.045	3.08	23.0	23.4	204992.0	0.22	1.01	16	2.91	1000.0	-0.051	-0.075
	14.50	24/2/12 14:02	1.14	2.66	43.8	0.081	2.58	16.5	17.0	199780.8	0.15	0.91	15	2.00	968.0	-0.010	-0.035
SMQ 5	20.00	25/2/12 10:27	1.93	3.27	54.1	0.180	3.09	16.5	17.5	79.9	0.47	1.35	17	2.00	778.0	0.100	0.075
	10.00	8/2/12 9:26	2.61	5.34	86.7	0.090	5.25	16.2	16.5	219.5	0.65	2.61	26	3.27	691.0	-0.005	-0.025
SMQ 9	9.45	6/1/12 19:29	3.82	5.02	75.0	0.085	4.94	14.9	15.2	104.4	0.70	2.28	17	4.74	817.0	-0.004	-0.031
	15.00	7/1/12 17:42	0.76	2.07	12.7	0.135	1.94	6.1	6.6	14.9	0.20	0.76	9	1.66	900.0	0.052	0.025
	18.00	7/1/12 21:28	0.99	2.33	22.4	0.162	2.17	9.6	10.3	26.6	0.37	0.99	11	1.99	813.0	0.083	0.055
SMQ 13	20.00	23/1/12 11:50	0.48	0.82	26.1	0.180	0.64	32.0	41.0	27.7	0.19	0.48	17	0.57	769.0	0.116	0.075
	15.00	23/1/12 12:21	1.00	1.56	15.6	0.135	1.43	10.0	10.9	12.5	0.32	0.78	13	1.61	931.0	0.050	0.025
	14.50	23/1/12 15:52	0.55	0.37	150.2	0.310	0.06	407.3	2579.7	182796.2	0.47	0.51	15	1.41	658.0	0.232	0.220
SMQ 15	20.00	3/2/12 14:09	1.21	2.08	49.0	0.180	1.90	23.6	25.8	14.6	0.03	0.29	19	1.97	966.7	0.099	0.075
	15.00	7/1/12 16:10	1.80	3.52	37.6	0.135	3.38	10.7	11.1	55.6	0.43	1.31	12	3.08	900.0	0.060	0.025
SMQ 17	33.00	12/1/12 15:33	1.53	3.10	50.1	0.297	2.81	16.1	17.8	38.5	0.68	0.97	13	2.36	900.0	0.233	0.205
	29.50	12/1/12 16:02	3.31	3.66	728.2	0.266	3.40	198.8	214.4	1212.3	0.62	3.31	16	3.22	376.7	0.183	0.170
	14.50	2/2/12 9:56	0.47	0.80	11.9	0.131	0.67	14.9	17.8	100036.1	0.13	0.47	22	0.66	837.0	0.039	0.020
SMQ 18	25.00	3/2/12 11:47	3.90	6.42	825.8	0.225	6.40	121.8	125.9	376.9	0.66	3.90	17	3.96	343.6	0.151	0.125
	5.50	9/2/12 10:15	0.11	0.15	1.8	0.049	0.15	9.1	12.2	1.6	0.04	0.11	16	0.33	988.7	-0.045	-0.070
	15.00	10/2/12 9:13	0.53	1.16	8.5	0.135	1.02	7.4	8.4	8.6	0.16	0.53	15	0.77	737.0	0.058	0.025
SMQ 21	20.00	9/1/12 20:25	3.32	4.90	75.8	0.180	4.72	15.3	16.1	115.2	0.57	2.54	17	4.51	806.0	0.104	0.075
	16.00	9/1/12 21:12	0.15	0.25	4.6	0.144	0.11	18.3	43.0	2.2	0.09	0.15	14	0.25	802.0	0.081	0.035
	24.50	9/1/12 22:43	0.62	0.81	11.5	0.221	0.59	14.3	19.6	12.1	0.21	0.62	10	0.75	900.0	-0.039	0.120
SMQ 22	30.00	11/1/12 16:40	2.69	2.67	103.2	0.270	2.40	38.7	43.0	37.2	0.72	1.92	17	2.72	900.0	0.196	0.175
	14.00	1/3/12 13:21	0.24	0.41	5.8	0.128	0.28	14.4	20.9	3.1	0.17	0.24	12	0.36	805.0	0.055	0.015
	25.00	3/3/12 7:53	2.67	6.03	79.0	0.225	5.80	13.1	13.6	137.4	0.45	2.67	18	3.50	526.0	0.149	0.125
SMQ 23	20.00	26/1/12 9:36	3.69	6.27	355.3	0.180	6.09	56.6	58.3	628.2	0.70	3.69	16	3.67	398.0	0.098	0.075
	10.00	26/1/12 10:31	0.09	0.15	7.1	0.090	0.06	46.1	111.0	3.2	0.08	0.09	11	0.25	905.0	0.002	-0.025
SMQ 25	22.00	15/12/11 16:03	1.46	2.92	34.7	0.198	2.72	11.9	12.8	72.8	0.70	1.46	25	1.64	811.0	0.055	0.095
	24.50	15/12/11 19:56	1.85	4.70	34.6	0.221	4.48	7.4	7.7	35.4	1.02	1.85	19	3.21	804.0	0.145	0.120
	27.50	16/12/11 18:11	1.18	2.40	286.3	0.248	2.16	119.1	132.8	382883.2	0.70	1.18	16	1.60	808.0	0.177	0.150
SMQ 26	17.00	27/12/11 18:14	0.53	0.90	6.2	0.153	0.75	6.8	8.2	6.5	0.31	0.53	23	0.54	802.0	0.072	0.045
	20.00	29/12/11 18:13	0.15	0.09	1.9	0.180	-0.09	21.8	-20.2	1309.9	0.12	0.15	9	0.19	843.0	-0.077	0.075
	30.00	2/1/12 22:27	0.35	0.45	1.9	0.270	0.18	4.2	10.7	2.1	0.29	0.35	12	0.23	811.0	0.215	0.175
SMQ 27	25.00	2/1/12 22:56	0.26	0.44	6.7	0.225	0.21	15.3	31.7	13.1	0.21	0.26	12	0.19	803.0	0.161	0.125
	35.00	2/1/12 22:25	1.59	2.88	68.0	0.225	2.65	23.6	25.6	91.3	0.56	1.25	14	2.54	683.0	0.160	0.125
	35.00	3/1/12 10:28	2.31	4.14	99.3	0.315	3.83	24.0	26.0	79.2	0.89	2.31	21	3.55	637.0	0.232	0.229
SMQ 28	75.00	22/12/11 17:08	0.85	1.06	3.2	0.675	0.38	3.0	8.3	4.4	0.71	0.85	9	0.44	812.0	0.402	0.625
	64.50	19/12/11 16:58	0.61	0.57	4.8	0.581	-0.01	8.5	-413.8	19955.3	0.57	0.61	9	0.47	809.0	0.397	0.520
	25.00	17/12/12 15:35	1.92	3.52	86.5	0.225	3.29	24.8	28.1	128.4	0.55	1.92	15	2.88	647.0	0.155	0.125
SMQ 31B	35.00	20/1/12 9:53	1.92	3.58	89.5	0.315	3.27	25.0	27.4	136.4	0.83	1.92	33	2.31	802.0	0.251	0.225
	20.00	17/12 9:29	3.55	3.77	140.2	0.180	3.59	37.2	39.1	157.2	0.66	3.55	18	3.54	498.0	0.103	0.075
SMQ 35	30.00	19/1/12 13:40	2.57	4.47	78.9	0.270	4.20	17.6	18.8	111.3	0.74	2.57	18	3.51	635.0	0.197	0.175
	19.50	16/2/12 10:04	3.82	4.84	157.6	0.176	4.67	32.5	33.8	199.6	0.45	3.82	16	3.81	336.0	0.091	0.070
SMQ 37	30.00	17/2/12 15:47	2.69	5.01	118.5	0.270	4.74	23.7	25.0	146.6	0.71	2.30	17	3.84	676.0	0.193	0.175
	20.00	9/2/12 17:42	2.84	4.81	110.7	0.100	4.63	23.0	23.9	131.8	0.86	2.44	13	3.60	432.3	0.077	0.075
SMQ 39	30.00	11/2/12 12:46	2.22	3.88	106.2	0.270	3.61	27.4	29.4	180.9	0.32	1.45	16	3.71	1000.1	0.206	0.175
	20.50	2/2/12 11:03	2.33	4.66	98.3	0.184	4.48	21.1	21.9	133.3	0.56	2.33	16	3.51	438.0	0.104	0.080
SMQ 40	25.00	3/2/12 10:14	2.66	4.71	151.1	0.225	4.49	32.1	33.7	164.5	0.68	2.26	17	3.81	449.7	0.158	0.125
	9.60	9/1/12 18:03	1.88	2.73	28.9	0.086	2.64	10.6	10.9	116.1	0.09	1.88	15	2.71	900.0	-0.001	-0.029
SMQ 42	5.00	9/1/12 18:33	0.10	0.36	6.5	0.045	0.31	18.0	20.5	14.2	0.01	0.10	10	0.43	819.0	-0.049	-0.075
	26.00	18/1/12 10:28	3.74	6.36	267.1	0.234	6.13	42.0	43.6	239.1	0.61	3.74	17	3.66	392.0	0.165	0.135
	15.00	31/1/12 15:53	1.58	2.40	47.4	0.135	2.26	19.8	20.9	80.9	0.26	1.35	16	2.37	823.0	0.048	0.025
SMQ 43	25.00	2/2/12 12:23	0.01	0.62	86.4	0.225	0.40	109.8	171.5	27.0	-0.01	0.01	19	0.46	844.0	0.151	0.125
	40.00	18/12/12 14:46	3.14	4.69	158.9	0.160	4.33	23.9	25.1	187.8	0.78	3.14	16	3.77	622.0	0.279	0.275
	35.00	18/12/12 15:24	2.80	6.32	192.8	0.315	6.01	32.1	369.5	1.02	2.41	15	3.85	618.0	0.243	0.225	
	30.00	18/12/12 15:53	2.93	6.33	194.0	0.270	6.06	30.7	32.0	242.5	0.74	2.93	15	3.63	511.0	0.200	0.175
	20.00	18/1/12 16:23	1.99	3.65	80.3	0.180	3.47	22.0	23.1	131.6	0.41	1.69	17	3.21	1000.0	0.100	0.075
SMQ 46	30.00	6/2/12 9:22	2.84	4.20	59.5	0.180	4.02	14.2	14.8	63.2	0.18	2.07	29	3.57	693.0	0.100	0.075
	20.00	6/2/12 14:52	2.96	4.05	147.1	0.270	3.78	36.4	39.0	136.8	0.58	2.57	16	3.71	520.0	0.203	0.175
SMQ																	

Tabla 10. Valores del módulo de deformación a partir de los ensayos presiométricos

Perforación	Profundidad (m)	Parámetros fundamentales			Parámetros complementarios				Módulo de deformación	
		p_1 (MPa)	p_2 (MPa)	E_{su} (MPa)	σ_{ps} (MPa)	p_r (MPa)	E/p_1	E/p_r	α	
SMQ 1	10,00	0,55	2,48	23,5	0,090	2,39	9,4	9,8	0,50	46,90
	5,00	1,55	2,54	61,1	0,045	2,49	24,1	24,5	0,67	91,65
	14,50	0,88	2,81	33,6	0,131	2,68	12,0	12,6	0,50	67,26
SMQ 3	5,00	1,60	3,12	72,0	0,045	3,08	23,0	23,4	0,67	107,96
	9,00	1,14	2,66	43,8	0,081	2,58	16,5	17,0	0,67	65,74
SMQ 5	20,00	1,93	3,27	54,1	0,180	3,09	16,5	17,5	0,67	81,19
	10,00	2,61	5,34	86,7	0,090	5,25	16,2	16,5	0,67	130,01
SMQ 12	9,45	3,82	5,02	75,0	0,085	4,94	14,9	15,2	0,50	150,09
	15,00	0,76	2,07	12,7	0,135	1,94	6,1	6,6	0,50	25,39
	18,00	0,99	2,33	22,4	0,162	2,17	9,6	10,3	0,50	44,73
SMQ 13	20,00	0,48	0,82	26,1	0,180	0,64	32,0	41,0	0,67	39,16
	15,00	1,00	1,56	15,6	0,135	1,43	10,0	10,9	0,50	31,23
SMQ 15	20,00	1,21	2,08	49,0	0,180	1,90	23,6	25,8	0,67	73,57
	15,00	1,60	3,52	37,6	0,135	3,38	10,7	11,1	0,50	75,17
SMQ 17	33,00	1,53	3,10	50,1	0,297	2,81	16,1	17,8	0,67	75,08
	14,50	0,47	0,80	11,9	0,131	0,67	14,9	17,8	0,67	17,87
SMQ 18B	5,50	0,11	0,19	1,8	0,049	0,15	9,1	12,2	0,50	3,54
	15,00	0,53	1,16	8,5	0,135	1,02	7,4	8,4	0,50	17,06
	20,00	3,32	4,90	75,8	0,180	4,72	15,5	16,1	0,67	113,74
SMQ 21	16,00	0,15	0,25	4,6	0,144	0,11	18,3	43,0	0,67	6,88
	24,50	0,62	0,81	11,5	0,221	0,59	14,3	19,6	0,67	17,30
	30,00	2,69	2,67	103,2	0,270	2,40	38,7	43,0	0,67	154,73
	14,00	0,24	0,41	5,8	0,126	0,28	14,4	20,9	0,67	8,77
SMQ 22	25,00	2,67	6,03	79,0	0,225	5,80	13,1	13,6	0,50	157,92
	20,00	3,69	6,27	355,3	0,180	6,09	56,6	58,3	0,67	532,97
SMQ 25	22,00	1,46	2,92	34,7	0,198	2,72	11,9	12,8	0,50	69,46
	24,50	1,85	4,70	34,6	0,221	4,48	7,4	7,7	0,50	69,15
	17,00	0,53	0,90	6,2	0,153	0,75	6,8	8,2	0,50	12,31
SMQ 26	30,00	0,35	0,45	1,9	0,270	0,18	4,2	10,7	0,50	3,80
	25,00	0,26	0,44	6,7	0,225	0,21	15,3	31,7	0,67	10,02
	25,00	1,59	2,88	68,0	0,225	2,65	23,6	25,6	0,67	102,00
SMQ 27	35,00	2,51	4,14	99,5	0,315	3,83	24,0	26,0	0,67	149,23
	25,00	1,92	3,52	86,5	0,225	3,29	24,6	26,3	0,67	129,77
SMQ 31B	35,00	1,92	3,58	89,5	0,315	3,27	25,0	27,4	0,67	134,20
	20,00	3,55	3,77	140,2	0,180	3,59	37,2	39,1	0,67	210,28
SMQ 35	30,00	2,57	4,47	78,9	0,270	4,20	17,6	18,8	0,67	118,29
	19,50	3,82	4,84	157,6	0,176	4,67	32,5	33,8	0,67	236,40
SMQ 37	30,00	2,69	5,01	118,5	0,270	4,74	23,7	25,0	0,67	177,72
	20,00	2,84	4,81	110,7	0,180	4,63	23,0	23,9	0,67	166,04
SMQ 39	30,00	2,22	3,88	106,2	0,270	3,61	27,4	29,4	0,67	159,37
	20,50	2,33	4,66	98,3	0,184	4,48	21,1	21,9	0,67	147,39
SMQ 40	25,00	2,66	4,71	151,1	0,225	4,49	32,1	33,7	0,67	226,64
	9,60	1,88	2,73	28,9	0,086	2,64	10,6	10,9	0,50	57,85
SMQ 42	5,00	0,10	0,36	6,5	0,045	0,31	18,0	20,5	0,67	9,68
	26,00	3,74	6,36	267,1	0,234	6,13	42,0	43,6	0,67	400,68
SMQ 43	15,00	1,58	2,40	47,4	0,135	2,26	19,8	20,9	0,67	71,17
	40,00	3,14	6,69	159,9	0,360	6,33	23,9	25,3	0,67	239,92
	35,00	2,80	6,32	192,8	0,315	6,01	30,5	32,1	0,67	289,21
	30,00	2,93	6,33	194,0	0,270	6,06	30,7	32,0	0,67	291,03
SMQ 46	20,00	1,99	3,65	80,3	0,180	3,47	22,0	23,1	0,67	120,48
	20,00	2,84	4,20	59,5	0,180	4,02	14,2	14,8	0,50	118,97
SMQ 47	30,00	2,96	4,05	147,1	0,270	3,78	36,4	39,0	0,67	220,71
	15,00	0,99	3,77	43,0	0,135	3,64	11,4	11,8	0,50	85,98
SMQ 48	25,00	2,00	4,35	95,2	0,225	4,12	21,9	23,1	0,67	142,73
	11,00	1,07	2,82	44,5	0,099	2,72	15,8	16,3	0,67	66,74
SMQ 49	18,60	0,15	0,26	3,8	0,167	0,09	14,4	39,7	0,67	5,65
	25,00	1,69	2,87	152,3	0,225	2,65	53,0	57,5	0,67	228,43
SMQ 50	18,50	2,58	4,19	79,5	0,167	4,02	19,0	19,8	0,67	119,27
	5,00	0,18	0,36	5,7	0,045	0,32	15,7	17,9	0,67	8,53
	14,50	1,62	3,05	41,0	0,131	2,92	13,5	14,1	0,50	82,09
SMQ 51	19,50	1,78	3,03	49,4	0,176	2,86	16,3	17,3	0,67	74,11
	25,50	2,02	4,18	73,3	0,229	3,95	17,5	18,6	0,67	109,98
	28,50	3,71	6,30	385,7	0,257	6,05	61,2	63,8	0,67	578,55
SMQ 53	5,00	0,19	0,42	9,5	0,045	0,37	22,6	25,3	0,67	14,23
	15,50	1,73	3,38	48,5	0,140	3,24	14,3	15,0	0,50	96,97
SMQ 54	10,00	1,79	2,17	25,1	0,090	2,08	11,6	12,1	0,50	50,19
	20,00	0,60	2,66	29,0	0,180	2,48	10,9	11,7	0,50	57,97
	14,50	1,03	2,09	26,7	0,131	1,95	12,8	13,7	0,50	53,44
SMQ 56	10,00	0,43	0,62	10,4	0,090	0,53	16,8	19,7	0,67	15,54
	20,00	1,70	2,81	17,0	0,180	2,63	6,0	6,5	0,50	33,98
	24,00	2,92	4,69	70,6	0,216	4,47	15,1	15,8	0,50	141,27
	30,00	3,12	4,24	372,7	0,270	3,97	87,9	93,8	0,67	559,10
SMQ 58	19,50	1,38	3,32	35,1	0,176	3,15	10,6	11,2	0,50	70,29
	30,00	3,76	4,56	289,1	0,270	4,29	63,4	67,4	0,67	433,66
SMQ 60	5,00	0,46	0,76	16,5	0,045	0,71	21,8	23,2	0,67	24,77
	14,00	1,34	1,95	42,0	0,126	1,82	21,6	23,1	0,67	63,00
	21,50	2,22	4,11	54,8	0,193	3,92	13,3	14,0	0,50	109,62
SMQ 61	9,65	1,23	2,52	23,0	0,087	2,44	9,1	9,4	0,50	45,91
	20,00	2,52	4,55	149,9	0,180	4,37	32,9	34,3	0,67	224,89
SMQ 63	14,50	0,27	0,46	27,2	0,131	0,33	59,1	82,4	0,67	40,79
	10,00	0,41	0,83	23,9	0,090	0,74	28,9	32,4	0,67	35,87
	24,70	1,00	1,70	88,8	0,222	1,48	52,1	59,9	0,67	133,26
	20,00	2,00	1,88	103,6	0,180	1,70	55,0	60,8	0,67	155,42
	30,00	3,30	5,39	103,8	0,270	5,12	19,3	20,3	0,67	155,71
SMQ 64	20,00	0,68	1,16	19,0	0,180	0,98	16,4	19,5	0,67	28,57

Figura 9. Variación con la profundidad del módulo presiométrico, módulo de deformación y presión límite neta



Los resultados de todos los ensayos presiométricos se recogen en el Apéndice 8

4.10. Diagramas Gamma natural, Potencial espontáneo SP, resistividad SPR

La utilización de estos ensayos responde a necesidades geológicas e hidrogeológicas para caracterizar correctamente las formaciones desde ambos puntos de vista del trazado. La metodología de cada uno de estos ensayos se analiza a continuación:

Gamma Natural (GR)

Los rayos gamma son ondas de energía electromagnética, emitida de forma natural por los elementos radiactivos como parte del proceso de desintegración nuclear. Cada isótopo radiactivo tiene un nivel de emisión característico. La energía emitida por una formación geológica es proporcional a la concentración en peso de material radiactivo que contiene.

En esta metodología se mide la radiactividad natural de las formaciones geológicas. Los principales elementos que contribuyen a la radiactividad de las formaciones son el Uranio, Torio y Potasio.

La sonda utilizada contiene un medidor de centelleo de NaI acoplado a un tubo fotomultiplicador, que detecta las radiaciones que llegan a la sonda en la unidad de tiempo. Las unidades empleadas son cuentas o eventos radiactivos detectados en la unidad de tiempo (cuentas por segundo).

Como el Uranio y el Torio están asociados normalmente a rocas plutónicas, mientras que el potasio y su isótopo K40 entran a formar parte de la estructura de las micas, illitas y de otros materiales arcillosos, en el estudio que nos ocupa va a ser el elemento determinante de la radiación gamma.

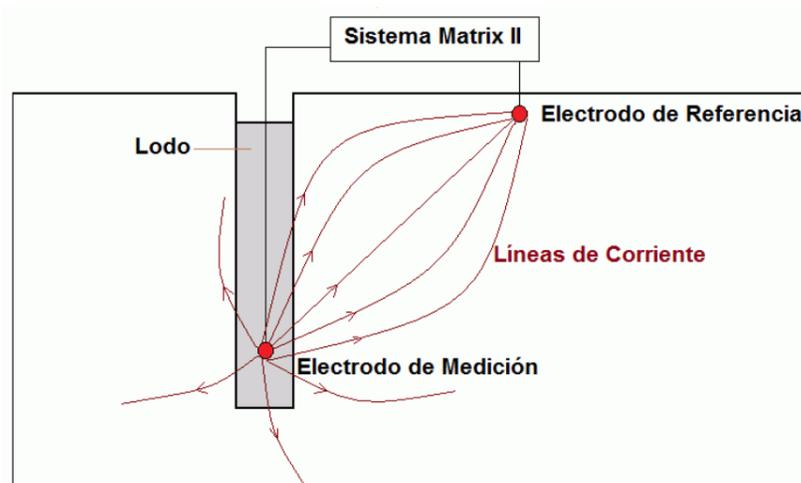
En las rocas sedimentarias, los isótopos radiactivos se localizan fundamentalmente en las arcillas, mientras que las arenas limpias tienen emisiones muy bajas de rayos gamma. En cuanto a las rocas ígneas, sobre todo el granito y las riolitas tienen importantes concentraciones de isótopos ^{40}K .

Resistividad (SPR)

Si un material que contiene partículas libres cargadas, se somete a un campo eléctrico, las partículas fluirán y transportan sus cargas. La dificultad con que se realiza este transporte se llama Resistencia Eléctrica, y es función de la geometría del flujo y del tipo de material.

La sonda utilizada mide la Resistencia entre un electrodo situado en el extremo del cable, dentro de la sonda (medida), y otro ubicado en superficie (referencia). En esta metodología se mide la resistencia eléctrica de las formaciones en torno al electrodo de medida ubicado en la sonda (figura adjunta).

Figura 10. Esquema de medida de la resistividad



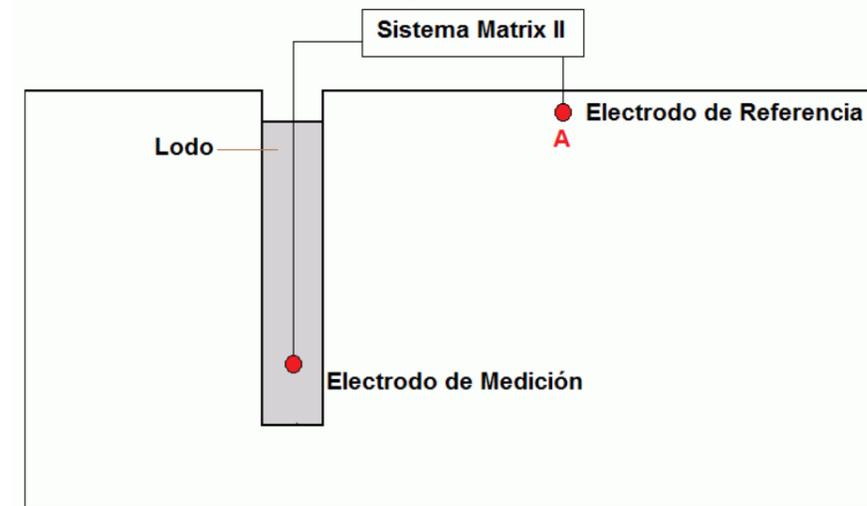
El P.E. se determina al dividir la caída de tensión producida en el terreno al introducir una corriente eléctrica, entre el valor de la intensidad de la corriente. La corriente circula entre ambos electrodos casi radialmente, midiéndose la Resistencia media en una esfera centrada en el electrodo de medida. La unidad de medida de la sonda es el Ohm. Para realizar este registro el sondeo debe tener un lodo eléctricamente conductor como la bentonita.

La forma más frecuente es utilizar este registro de forma cualitativa para la identificación litológica y para el caso específico de aplicaciones hidrogeológicas al comparar las resistencias de las formaciones, se puede indicar que las arenas tienen alta resistencia respecto a las arcillas, ya que estas suelen presentar mayor contenido de agua.

Potencial Espontáneo (SP)

Mide la diferencia de potencial entre un electrodo fijo en la superficie (A) y otro que se mueve a lo largo del sondeo (figura adjunta).

Figura 11. Esquema de medida del Potencial Espontáneo



Las diferencias de potencial medidas se deben a desequilibrios iónicos que tienen lugar normalmente entre las superficies de separación de líquido-sólido o sólido-sólido de diferente permeabilidad, dando lugar a corrientes eléctricas de origen natural.

Frente a las arcillas los valores de P.E. son relativamente constantes, y constituyen en los registros una recta que se denomina línea base de las arcillas.

Ante una formación permeable, se observa que los valores de PE se desplazan respecto a la línea anterior hacia la izquierda (deflexiones negativas), o hacia la derecha (deflexiones positivas). El tipo de desplazamiento depende de la relación entre la salinidad del agua de la formación y la del filtrado del lodo. En cualquier caso, si la capa tiene suficiente espesor, ese desplazamiento permanece constante. De esta forma queda definida una línea base de arenas.

La sonda consta de un electrodo que se introduce en el sondeo en contacto con las paredes, otro electrodo de referencia permanece en superficie, en un medio húmedo. Los dos electrodos son idénticos, y químicamente inertes y estables. Un microvoltímetro de alta impedancia registra la diferencia de potencial entre ambos.

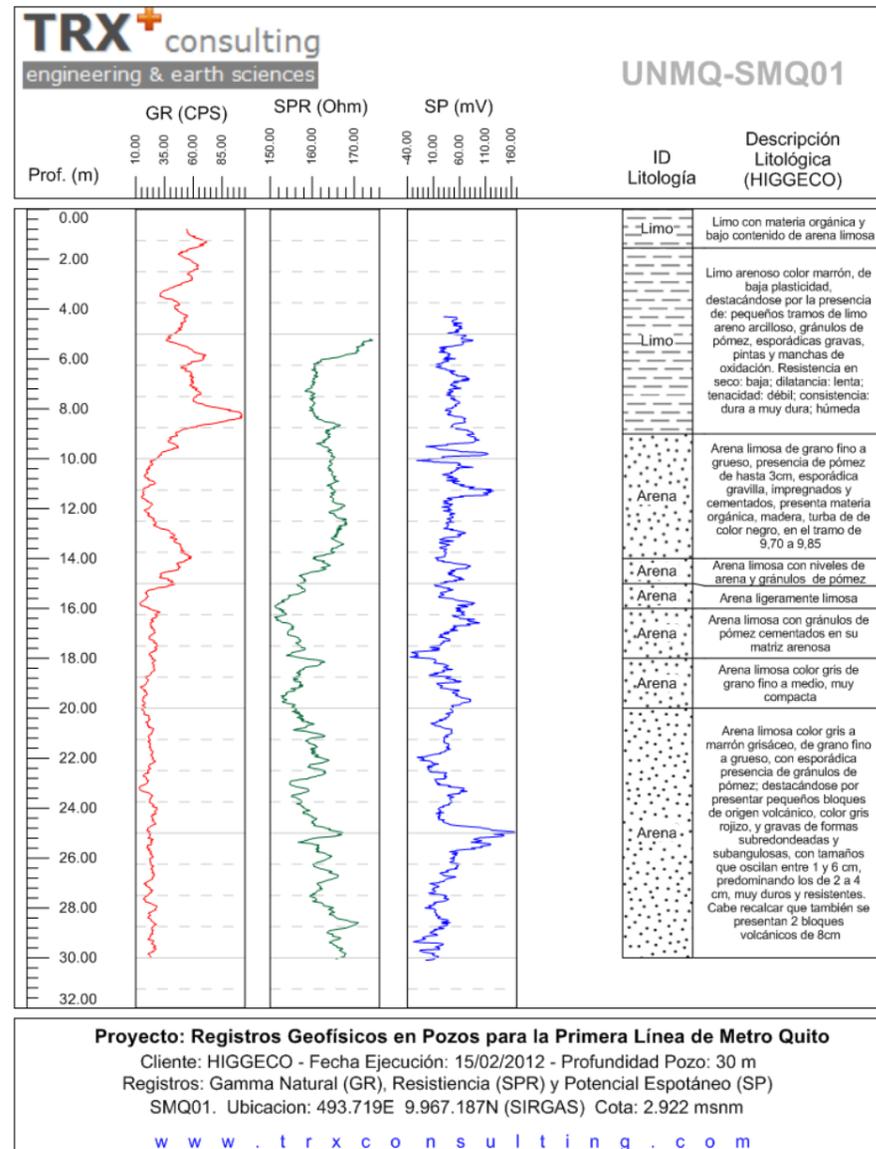
El valor medido de PE es directamente proporcional a la intensidad de la corriente que circula en el lodo. A lo largo de la misma capa, la intensidad permanece constante, por lo que los valores de PE son iguales y el registro es una línea recta. En la zona de contacto entre formaciones permeables e impermeables, la variación de la intensidad de la corriente es

máxima y esto da lugar a una curvatura en el registro o una desviación de la señal. La unidad de medida de la sonda es el mV.

El PE es útil en sondeos con lodos dulces para detectar capas permeables y situar sus límites, correlación de capas y/o niveles entre sondeos.

Los resultados de los ensayos realizados en los sondeos se adjuntan en el Apéndice 6, y en la figura siguiente se puede ver un ejemplo de la presentación de los resultados.

Figura 12. Presentación de los resultados



4.11. Sísmica Pasiva y análisis de las vibraciones naturales

Las medidas sísmicas de refracción por micro tremores – ReMi tienen como objeto complementar las medidas de sísmica en perforación tipo Downhole, en la caracterización sismo-estratigráfica de todo el trazado de la primera línea del Metro de Quito.

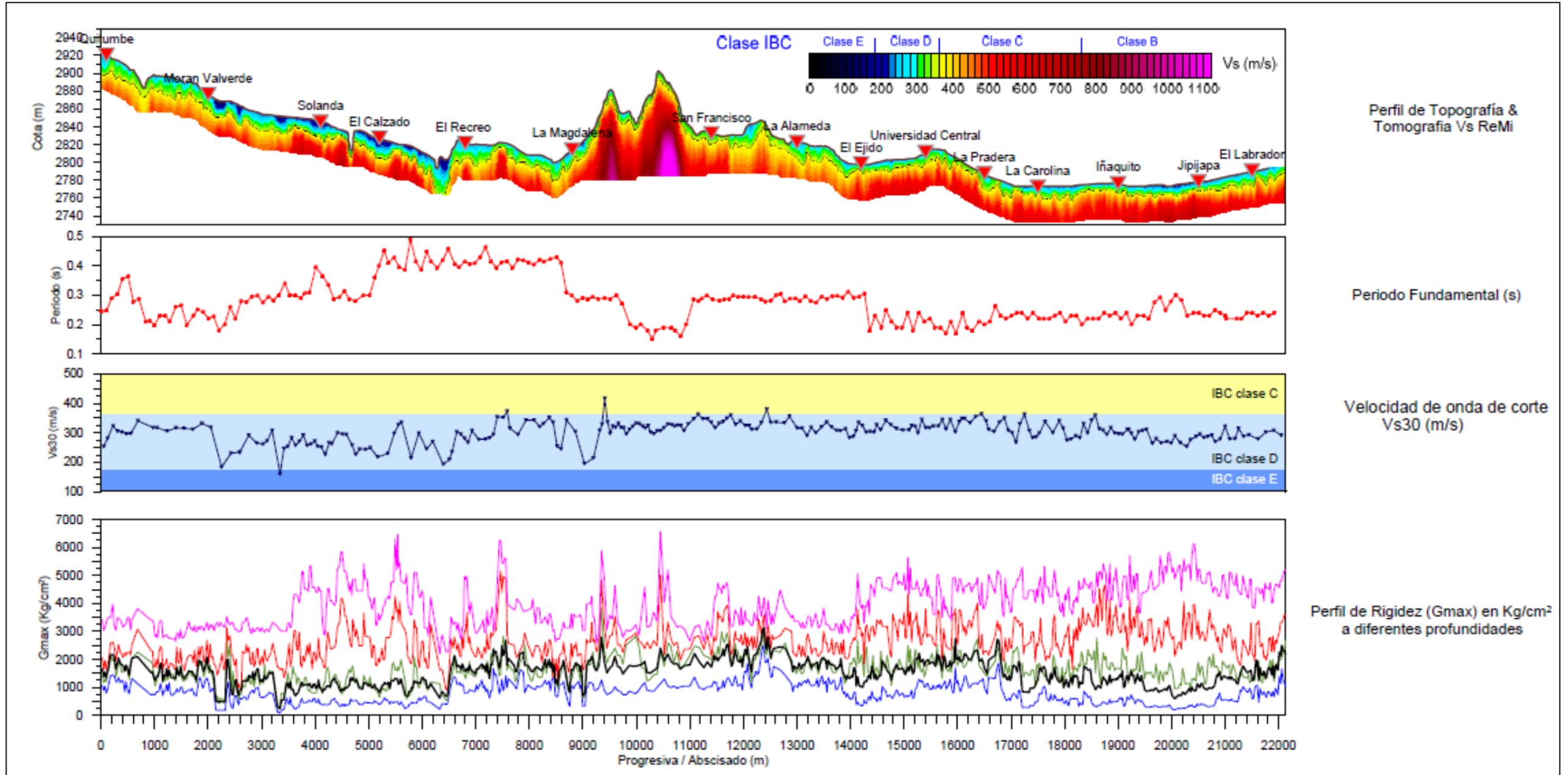
La finalidad de las medidas de vibraciones fue, de un lado estudiar la respuesta dinámica a lo largo de la ruta y por el otro medir los niveles base de vibración presentes en el área antes del inicio de la construcción de la obra. En este último caso, se analizaron los valores bases de los efectos de las vibraciones a estructuras y a personas según normas internacionales.

El estudio se ejecutó realizando un total de doscientos uno (201) tendidos / implantaciones sísmicas distribuidas a lo largo de los 22 km de la ruta de la línea uno del Metro. Estas medidas sísmicas complementan las doscientas diecisiete (217) medidas de vibraciones naturales.

Los estudios sísmicos no invasivos han sido planeados para la caracterización del trazado como apoyo al estudio geotécnico (profundidad substrato y secuencia estratigráfica), clasificación de suelos, posible identificación de riesgos geológicos y para la caracterización dinámica de la ruta y contribución preliminar a los estudios de microzonificación (perfil de ondas de corte, determinación del periodo fundamental).

Los resultados de los mismos se encuentran en el Apéndice 10, y se adjunta en la siguiente figura, a modo de ejemplo, la presentación de los trabajos.

Figura 13. Representación de la velocidad de las ondas S, periodo fundamental y rigidez a lo largo del trazado



Página 23 de 53

4.12. Ensayos de laboratorio

Se han realizado diversos ensayos de laboratorio que a continuación se indican el tipo y las unidades realizadas:

- Análisis granulométricos: 612
- Límites de Atterberg: 620
- Contenido en humedad natural: 610
- Densidad seca y aparente: 389
- Peso específico de las partículas (G) : 9
- Resistencia a la compresión simple: 165 en suelos y 7 en rocas
- Triaxial tipo UU: 115
- Triaxial tipo CU: 45
- Triaxial cíclico: 13
- Ensayos de consolidación: 50
- Ensayos químicos (sulfatos, carbonatos y materia orgánica): 153 de cada uno de ellos
- Análisis químicos del agua: en 69 sondeos
- Análisis petrográfico: 1

La distribución de estos ensayos por sondeos se adjunta en la tabla siguiente. En el Apéndice 12 se adjuntan los cuadros resumen de los resultados y los impresos de los ensayos realizados.

Tabla 11. Ensayos de laboratorio en sondeos

Sondeo	PK	Desplazamiento (+) dcha. eje (-) izq. eje	Profundidad (m)	Ubicación	Fase	Gr	Lat	w	d	G	RCS				Químicos				Cajas	Otros		
											suelo	roca	UU	CU	ciclico	Con	S	C			MO	Agua
SMQ-1	9+958	-1	30,0	Estación Quitumbe	2	2	7	2	2		2				1	2	2	2	1	6		
SMQ-2	10+209	20	30,0	Estación Quitumbe	1	7	7	7	3		2		2				1	1	1	1	11	
SMQ-3	10+636	-1	20,0	Pozo-túnel	2	6	6	6	1				1		1	3	3	3	1	4		
SMQ-4	10+943	-15	30,0	Túnel	1	5	5	5	3				3						1	11		
SMQ-5	11+404	24	30,0	Túnel	2	7	7	7	2				1		1	3	3	3	1	6		
SMQ-6	11+973	35	40,0	Estación Moran	2	6	6	6	2		2		1	1	1	3	3	3	1	8		
SMQ-7	12+100	17	40,0	Valverde	2	4	4	4	2				1	1	1	2	2	2	1	8		
SMQ-8	12+265	12	25,0	Túnel	1	5	5	3	3				3						1	10		
SMQ-9	12+883	26	30,0	Túnel	2	6	6	6	5		3		2	1		3	3	3	1	9		
SMQ-10	13+275	41	40,0	Pozo-túnel	2	5	5	5	5		2		1		1	3	3	3	1	8		
SMQ-11	13+686	1	40,0	Quebrada	2	8	8	7	7		4		1	1	2	3	3	3	1	8		
SMQ-12	14+090	46	45,0	Estación Solanda	2	15	15	15	9		5		2		1	3	3	3	1	9		
SMQ-13	14+237	34	45,0	Estación Solanda	2	13	13	13	9		4		1	1	1	3	3	3	1	9		
SMQ-14	14+594	0	25,0	Quebrada	1	5	5	5	3				3						1	10		
SMQ-15	14+730	-47	30,0	Pozo-túnel	2	5	5	5	3						3	3	3	1	6			
SMQ-16	14+972	-10	45,0	Estación El Calzado	1	3	6	6	2				2						1	17		
SMQ-17	15+302	-5	45,0	Estación El Calzado	2	15	15	15	7		3		1	1	1	3	3	3	1	9		
SMQ-18	15+854	-5	40,0	Pozo-túnel	2	8	8	8	7		4		1	1	1	3	3	3	1	8		
SMQ-18B	16+203	5	30,0	Río Machángara	2	6	6	6	3				1	1	1	3	3	3	1	7		
SMQ-19	16+390	-59	35,0	Río Machángara	1	3	3	3	3				3						1	11		
SMQ-20	16+962	-30	50,0	Estación El Recreo	1	6	6	6	6		6		5						1	18		
SMQ-21	17+019	-31	50,0	Estación El Recreo	2	14	14	14	13		5		1	1	1	3	3	3	1	10		
SMQ-22	17+463	-47	40,0	Pozo - túnel	2	11	11	10	11		5		1	1		3	3	3	1	8		
SMQ-23	18+057	41	30,0	Túnel	2	8	8	8	5		2		1	1	1	3	3	3	1	6		
SMQ-24	18+501	-5	30,0	Río Machángara	1	5	5	5	4	1			4		1				1	12		
SMQ-25	18+673	15	45,0	Estación La Magdalena	2	10	10	10	7		3		1	2	1	3	3	3	1	9		
SMQ-26	18+906	-37	45,0	Estación La Magdalena	2	15	15	15	8	3	3		1	1	1	3	3	3	1	9		
SMQ-27	19+195	34	45,0	Túnel	2	12	12	11	9		5		1	1		3	3	3	1	9		
SMQ-28	19+481	10	85,0	Túnel	2	18	18	18	6		4		2	1	2	3	3	3	1	16		
SMQ-29	20+013	-11	40,0	Panecillo	1	9	9	9	8		6		3		1	1	1	1	1	10		
SMQ-30	20+349	17	70,0	Panecillo	1	5	5	5	2		1		2						1	26		
SMQ-31	20+658	-32	80,0	Panecillo	2	8	8	8	9		1	7	1		1	3	3	3	1	16	Petrográfico	
SMQ-31B	20+860	9	40,0	Panecillo	1	12	12	12	3				1	1		3	3	3	1	7		
SMQ-32	21+153	-2	35,0	Pozo-túnel	1														1	10		
SMQ-33	21+365	82	40,0	Túnel	1	9	9	9	7		2		5		1	1	1	1	1	10		
SMQ-34	21+501	-42	50,0	Estación San Francisco	2	9	9	9	4		2		1	1	1	2	2	2	1	10		
SMQ-35	22+280	9	40,0	Túnel	2	12	12	12	11		4		1	1		3	3	3	1	8		
SMQ-36	22+289	-313	40,0	Túnel	2																	
SMQ-37	22+729	-27	45,0	Estación La Alameda	2	10	10	10	10		4		1			3	3	3	1	9		
SMQ-38	23+266	14	45,0	Estación La Alameda	1	8	8	8	7	1	3		1	1		1	1	1	1	12		
SMQ-39	23+382	8	35,0	Parque la Alameda	2	6	6	6	6		3		6	1		3	3	3	1	7		
SMQ-40	24+010	91	35,0	Parque El Arbolito	2	9	9	9	5		3		1			3	3	3	1	7		
SMQ-41	24+212	-30	45,0	Estación El Ejido	1	9	9	9	8	1	5		3	1	1	1	1	1	1	12		
SMQ-42	24+371	67	45,0	Estación El Ejido	2	19	19	19	13		6		1	1	1	3	3	3	1	9		
SMQ-43	24+993	30	35,0	Pozo-túnel	2	6	6	6	6		3		1	1		2	2	2	1	7		
SMQ-44	25+460	17	50,0	Estación Universidad	2	21	21	21	13		4		1	1	1	3	3	3	1	10		
SMQ-45	25+673	54	50,0	Central	1	7	7	7	2		1		1		1	2	2	2	1	12		
SMQ-46	25+863	-31	40,0	Pozo-túnel	2	8	8	8	3		1		1	1	1	3	3	3	1	8		
SMQ-47	26+306	-41	35,0	Túnel	2	9	9	9	4		1		1	1	1	3	3	3	1	7		
SMQ-48	26+646	-23	45,0	Estación La Pradera	2	15	15	15	4		1		1	1	1	3	3	3	1	9		
SMQ-49	26+685	-20	4,2	Estación La Pradera	2															1		
SMQ-49A	26+732	-93	45,0	Estación La Pradera	2	7	7	7	3		2		1	1	1	3	3	3	1	9		
SMQ-50	27+123	20	35,0	Pozo-túnel	2	7	7	7	2		1		1	1	1	3	3	3	1	7		
SMQ-51	27+588	-2	45,0	Estación La Carolina	2	8	8	8	8		3		1	1	1	3	3	3	1	9		
SMQ-52	27+760	57	45,0	Estación La Carolina	1	7	7	7	5	1	3		3	1	1				1	10		
SMQ-53	28+225	-67	30,0	Pozo - túnel	2	6	6	6	4		2		1	1	1	3	3	3	1	6		
SMQ-54	28+642	10	30,0	Pozo - túnel	2	7	7	7	7		5		1		1	3	3	3	1	6		
SMQ-55	29+167	-19	45,0	Estación Iñaquito	1	8	8	8	8		3		5	1	1				1	11		
SMQ-56	29+199	-30	45,0	Estación Iñaquito	2	17	17	17	7		3		1		1	3	3	3	1	9		
SMQ-57	29+259	-12	35,0	Pozo-túnel	1	7	7	7	7	1	4		4	1	1	0	0	0	1	10		
SMQ-58	29+843	38	40,0	Túnel	2	10	10	10	7		4		1		1	3	3	3	1	8		
SMQ-59	30+732	-139	45,0	Estación Jipijapa	1	9	9	9	8	1	3		5		1				1	11		
SMQ-60	30+443	30	45,0	Estación Jipijapa	2	12	12	12	11		4		1	1	1	3	3	3	1	9		
SMQ-61	30+930	55	30,0	Pozo - túnel	2	7	7	7	5		3		1	1	1	3	3	3	1	6		
SMQ-62	31+767	-185	45,0	Estación El Labrador	1	8	8	8	7		2		6		1				1	11		
SMQ-63	31+504	5	45,0	Estación El Labrador	2	19	19	19	13		4		1	2	1	3	3	3	1	10		
SMQ-64	10+844	-2	30,0	Cocheras Quitumbe	2	5	5	5	4		2		1	1	1	3	3	3	1	6		
SMQ-65	9+637	14	25,0	Cocheras Quitumbe	2	9	9	9								3	3	3	1	5		
SMQ-66	9+657	187	25,0	Cocheras Quitumbe	2	8	8	8	1					1		3	3	3	1	5		
SMQ-67	9+667	267	30,0	Cocheras Quitumbe	2	12	12	12	1		1		1			3	3	3	1	6		
SMQ-68	9+838	170	30,0	Cocheras Quitumbe	2	7	7	7	3				1	1	1	3	3	3	1	6		
SMQ-69	9+940	218	30,0	Cocheras Quitumbe	2	8	8	8	3		1		1	1		3	3	3	1	6		

5. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Geográficamente, el Ecuador se divide en tres grandes regiones caracterizadas a su vez, por su génesis geológica, la Costa, la Cuenca Oriente y el Valle Interandino donde se encuentra la zona en estudio.

El Valle Interandino se formó por la convergencia de la placa de Nazca y la placa Sudamericana a partir del Oligoceno, provocando deformación, levantamiento y vulcanismo en la margen continental. Esta dinámica ha generado en el Ecuador dos cadenas montañosas denominadas Cordillera Occidental y Cordillera Real, situadas al oeste y al este del Valle Interandino respectivamente. Por tanto el Valle interandino se sitúa en el medio de las dos cadenas montañosas, siendo una depresión tectónica-geomorfológica de dirección N-S a NNE-SSW, de 25 km de ancho y 300 km de largo, que está comprendida entre las poblaciones de Alausí y el Chota (Winkler et al, 2002).

La Cordillera Occidental, está formada por rocas de origen oceánico, acrecionadas al continente durante el Cretácico tardío-Eoceno. Se dividen en las formaciones Pallatanga y Macuchi, las cuales están cubiertas por depósitos volcánicos y volcanoclásticos. La formación Macuchi está constituida por una secuencia volcanosedimentaria que incluye pillow lavas, hialoclastitas, turbiditas, areniscas y brechas volcánicas de composición basáltica a andesítica. La formación Pallatanga, está constituido por turbiditas y bloques fallados de rocas ultramáficas, basaltos y sedimentos marinos profundos.

La Cordillera Real, está constituida por un conjunto de cinturones alargados de rumbo NNE, formados por rocas metamórficas de edad Paleozoica-Mesozoica, intruidas por granitoides, cubierto por depósitos volcánicos. Estos materiales están separados por sistemas de fallas regionales: Falla Peltetec, Frente Baños, Falla LLanganaters y Falla Cosanga-Mendez.

El Valle Interandino sensu-estricto, es una depresión topográfica de dirección N-S a NNE-SSW, limitada por fallas asociadas a la génesis de las cordilleras Real y Occidental. Los materiales que llenan el Valle Interandino son depósitos volcánicos y volcanosedimentarios de edad Plio-Cuaternaria (Litherland et al., 1994). El basamento está formado por gabros pertenecientes al terreno Pallatanga (Villagómez, 2003; Spikings et al., 2005).

6. GEOLOGÍA DE LA CUENCA DE QUITO

6.1. Geomorfología regional

La ciudad de Quito se encuentra en un valle intermontano, rodeado por un relieve montañoso, conformado al oeste por los volcanes Ruco y Guagua Pichincha, con alturas máxima de 4675 msnm y al este las Lomas de Iumbisí-Batán- La Bota, con alturas máximas de 3000 msnm, consideradas levantamientos de tipo tectónico. Se trata de un valle alargado en dirección N-S y estrecho en dirección E-W, con un ancho medio de unos 6 km. La pendiente dentro del valle es heterogénea, debido a la presencia de pequeñas elevaciones, quebradas y ríos.

6.2. Estratigrafía y litología

En la cuenca de Quito se ha depositado material de origen volcánico a partir del Pleistoceno Medio, habiéndose diferenciado las siguientes formaciones y unidades geológicas definidas por Alvarado, 1996 y Villagómez, 2003.

6.2.1. Formación Machángara

Esta formación se ha depositado exclusivamente en la Cuenca de Quito, es de Edad Pleistoceno Medio y está constituida a su vez por dos miembros denominados Miembro Volcánicos Basales y Miembro Quito.

6.2.1.1. Miembros Volcánicos Basales

Está formado por la unidad de Basamento, formada por avalanchas de escombros, flujos de lodo, lahares y lavas de composición andesítica intercaladas con flujos piroclásticos, caídas pómez y ceniza, provenientes de los complejos volcánicos Ruco Pichincha y Atacazo-Ninahuilca. Son muy heterogéneos y de textura muy gruesa. Se sitúan geográficamente en el centro norte de Quito. Se ha subdivido a su vez en las siguientes unidades:

- **Unidad de Basamento**

Está constituida por rocas andesíticas afaníticas provenientes de los flujos de lava. Forman el basamento de la ciudad de Quito y sólo han sido reconocidos en el sondeo SMQ-31 a unos 50 m de profundidad en la zona del Panecillo. Se trata de una roca volcánica de color gris claro con vidrio poco abundante, frecuentemente vesicular. Está formada por plagioclasas y minerales ferromagnesianos tipo anfíboles. Es una roca de gran dureza y resistencia.

Fotografía 1. Testigos del sondeo SMQ-31. Obsérvese la buena calidad que presenta la roca



- **Brechas volcánicas soldadas**

Se trata de brechas soldadas de color rojizo, asociadas a los flujos de lava.

- **Avalanchas de escombros**

Las avalanchas se presentan como depósitos formados por bloques de andesita envueltos en una matriz limoarenosa de baja compactación. Se encuentran ampliamente distribuidos en la Subcuenca del sur de Quito y constituyen un estrato del acuífero inferior.

- **Flujo de de lodo (lahares)**

Se presentan como tobas de color café moderadamente compactas que contienen gravas y cantos de andesita de diámetros entre 12 y 20 cm.

6.2.1.2. Miembro Quito

Este miembro en la zona norte de la cuenca de Quito, incluye depósitos fluviales y flujos de lodo más homogéneos que los anteriores y de menor tamaño de grano. Se subdivide en las siguientes unidades:

- **Unidad Volcanosedimentaria Guamaní**

Esta unidad está en discordancia erosiva sobre la unidad de Basamento. Está formada por depósitos volcánicos primarios que se subdividen en:

Flujo piroclástico "block and ash".

Se trata de un flujo piroclástico poco compactado formado por bloques de dacita, dentro de una matriz de arena volcánica. El color de esta arena es gris, aunque se vuelve amarillo-rojizo hacia techo. La matriz está formada por arena gruesa compuesta por plagioclasa, hornblenda y cuarzo. Los bloques de dacita miden hasta 1 m de diámetro. La homogeneidad y composición monolítica del depósito indican que el flujo es de tipo "block and ash". Se trata de un depósito ampliamente distribuido en la subcuenca sur de Quito. Este depósito tiene buenas características hidrogeológicas.

Fotografía 2. Flujo "block and ash". Arena gris con bloques del sondeo SMQ-19



Cenizas y oleadas piroclásticas.

En el límite de la unidad volcanosedimentaria Guamaní, se encuentra una serie de cenizas y oleadas piroclásticas estratificadas, que se superponen de forma concordante con el flujo piroclástico "block and ash". Está formado por cenizas, limos, arcillas con gravas y bloques. Estos materiales muestran alteración de feldespatos a arcilla, por lo que presentan tonos de color verde, amarillo y rosado.

- **Unidad fluvio-lacustre El Pintado**

Se trata de depósitos sedimentarios de ambiente fluvial y lacustre. Mediante correlaciones estratigráficas, se ha determinado que se extienden desde el sector de Chilligallo y que a partir del sector de El Calzado, se hace más potentes hacia el norte. Se subdividen en las siguientes unidades:

Brechas, arcillas y areniscas

Esta subunidad se compone de brechas volcánicas intercaladas con estratos de areniscas finas y arcillas.

Arenas, arcillas verdes y cenizas

Por encima de la subunidad anterior se encuentra una serie de estratos de arcilla y arena de color verde. Presenta una gradación normal y fragmentos líticos subredondeados lo que confirma su origen fluvial.

Turbas, paleosuelos y tobas (Tu)

En el techo de la unidad “El Pintado”, se han identificado una serie de turbas, paleosuelos y tobas cubriendo la subunidad de arcillas y arenas verdes. La presencia de los niveles de turbas indica su origen lacustre.

6.2.2. Formación Cangahua

Esta formación fue definida por Sawyer como tobas alteradas de colores amarillentos a marrones, generalmente intercaladas con caídas de cenizas, pómez, paleosuelos, flujos de lodo y canales aluviales, pudiendo presentar además costras calcáreas y óxido de manganeso. La Cangahua se diferencia de las tobas litificadas porque estas son rocas compactas y resistentes. En el sector de la quebrada Saguanchi, la Cangahua se encuentra en discordancia erosiva sobre la unidad Volcanosedimentaria Guamaní. Se han incluido en la Formación Cangahua, los depósitos de conos aluviales que se desprenden de los flancos de los complejos volcánicos Atacazo-Ninahuilca y Pichincha. Están formados por bloques de andesita, dacita y pómez dentro de una matriz limo arenosa de color café.

A cierta profundidad se han detectado las tobas pumíticas sin alterar. Se trata de rocas formadas por depósitos piroclásticos soldados constituidas por fragmentos de lapillis y cenizas de naturaleza pumítica. Se trata de unas rocas muy porosas y de baja densidad. Contienen restos de plantas, las fracturas se presentan rellenas con óxidos y fragmentos líticos andesíticos de hasta 3 cm de diámetro.

Fotografía 3. SMQ-30. Tobas



6.2.3. Depósitos La Carolina

Según Alvarado (1996), estos depósitos son de origen fluvio lacustre y se encuentran únicamente en la subcuenca centro-norte de Quito. Son sedimentos conformados por paquetes de limos, arcillas, arenas medias a gruesas, intercalados con cenizas y caídas pómez. Se subdividen en dos miembros (en el presente trabajo no se han diferenciado englobándose en una misma unidad).

6.2.3.1. Miembro aluvial

Se encuentra formado por lahares, cenizas volcánicas primarias y niveles de suelos que presentan los principales abanicos que forman los principales drenajes de la subcuenca centro-norte de Quito (Mothés y otros, 2001). En la parte central de la subcuenca, se haya relacionado con los depósitos palustres y lacustres, así como con pequeños canales fluviales (El Ejido, La Carolina y La Jipijapa).

6.2.3.2. Miembro lacustre-palustre

Este miembro son los depósitos La Carolina sensu-estricto. Se encuentra conformado por paquetes de limos y arcillas, intercalados con caídas de ceniza.

6.2.4. Rellenos antrópicos (R)

Se trata fundamentalmente de rellenos antrópicos heterogéneos de diversa índole y composición que se ha producido históricamente en las quebradas. Este relleno de la red hidrográfica, se realizó para ganar espacio y dar una continuidad urbana a los viales, lo que después ha derivado en una serie de hundimientos de las calzadas sobre las que se ubican y demás problemática asociada.

Su composición es variada desde los propios materiales volcánicos que forman el substrato de la ciudad, hasta materia orgánica, materiales inertes procedentes de restos de obras, plásticos etc.

6.3. Tectónica y estructura

La cuenca de Quito se ha formado debido a la actividad del sistema de fallas inversas de Quito durante un régimen compresivo que se inició en el Pleistoceno medio y continúa en la actualidad (Villagómez, 2003), con la presencia de dos estructuras importantes: la Falla de Quito (FQ) y la Falla Botadero (FB).

La Falla de Quito (FQ) se inicia al sur de Quito y sigue hacia el norte con una dirección hacia el este para luego cambiar a una dirección norte-sur y finaliza en la Falla Botadero.

Este conjunto de fallas, genera levantamientos a lo largo de una dirección suroeste-noreste que se denominan; Ilumbisí-Puengasí, Batán-La Bota y Calderón-Catequilla e incluyen a su vez, los sistemas de fallas siguientes:

Entre el centro y norte de Quito.

- *Falla Pichincha 1*, se extiende desde las elevaciones de Singaloma al sur y se prolonga hasta el sector de Potrerillo, tiene una dirección NNE y una longitud aproximada de 7 km.
- *Falla Pichincha 2*, parte del sector occidental del Panecillo y llega hasta el barrio de San Carlos, tiene una dirección NNE hasta NNW y de una longitud aproximada de 10 km.
- *Falla la Carolina*, ubicada en la parte occidental se extiende desde Chimbacalle hasta Chaupicruz. Tiene una dirección NNE y una longitud aproximada de 9 km, prolongándose hacia el sur en más de 11 km.
- *Falla el Inca*, se encuentra en la parte oriental, se extiende desde la avenida Colón hasta el barrio de San Isidro, tiene una dirección NNE y una longitud de 6 km aproximadamente.
- *Falla Monjas 1*, ubicada en la parte oriental, se extiende desde la cooperativa obrero Independiente hasta el sector del Guápulo, donde choca con la falla el Batán. Tiene

una dirección NNE y una longitud aproximada de 4 km, extendiéndose hasta 5 km hacia el sur.

- *Falla Monjas 2*, ubicada en el sector oriental, se extiende desde la Cooperativa San Isidro al sur (quebrada Janahuaicu) y la quebrada el Batán al norte donde choca con la falla del mismo nombre. Tiene una dirección NNE y una longitud de 7 km aproximadamente, prolongándose 2 km al sur.
- *Falla Nayón*, ubicada en la parte oriental, se extiende desde la quebrada Jurahuaycu al sur hasta el sector Cashaloma en el norte, tiene una dirección NNE a NNW con cambio de rumbo a la altura de la urbanización Miravalle, la longitud total es de unos 8 km.
- *Falla lumbisí*. Se considera la discontinuidad regional de las paredes occidentales del graben interandino. Se extiende desde la quebrada El Catre al sur, hasta el sector de Zámiza en el norte. La dirección es NNE a NNW con el cambio de rumbo en el sector del barrio Miravalle. La longitud total es de 18 km.

Las fallas de dirección noreste son:

- *Falla Machángara*. Se localiza en el sector de la urbanización Monjas. Tiene una dirección NE y una longitud de unos 4 km.
- *Falla Cumbayá*. Localizada en la parte oriental, se extiende desde la loma Auquichico al sur hasta el río Tanda al norte. Tiene una dirección NE y una longitud aproximada de 5 km.

Finalmente, dentro de los sistemas de fallas, con dirección noroeste solo se presenta la siguiente:

- *Falla el Batán*. Trazada en la parte central desde la quebrada Ingapirca en el oeste, hasta aguas abajo de la unión de la quebrada Batán con el río Machángara. Tiene una dirección NNW y una longitud aproximada de 9 km.

Las fallas al sur de la ciudad de Quito

La expresión morfológica del sistema de fallas de Quito, constituye la expresión Ilumbisí-Puengasí, de dirección aproximada N-NNE, que se extiende desde el sector de Tambillo al sur, hasta el río Machángara al norte. Este segmento se caracteriza por tener una importante componente inversa y buzamiento hacia el oeste (Villagómez, 2003).

El primer conjunto de fallas tiene rumbo NNW y buzamiento de 60° hacia el sur, las cuales afectarían al basamento no cortando la formación Cangahua.

El segundo conjunto de fallas, está formado por fallas normales con rumbo E-W y buzamiento 80° sur.

El tercer conjunto de fallas normales en el sector Saguanchi, tiene un rumbo N45° a N55° buzando 40° hacia el SE y afecta a la formación Cangahua y suelos cuaternarios.

Existen fallas transcurrentes que se localizan en el sector de Guápulo y afectan a la formación Machángara. Tienen una dirección aproximada E-W y un buzamiento vertical cortando a la falla de Quito. Según Villagómez, (2003) estas estructuras tiene una cinemática transcurrente sinistral.

6.4. Hidrogeología

El área se encuentra definida dentro de la Cuenca del río Esmeraldas, y a su vez dentro de la subcuenca del Guayllabamba. Se evidencia que existe en el sector un drenaje dendrítico y permanente. El cauce del río Machángara divide la cuenca en dos partes y además existen importantes quebradas en el área como El Batán y La Vicentina que atraviesan la cuenca.

Dentro de la ciudad de Quito se consideran dos unidades hidrogeológicas:

- Acuífero Centro-Norte
- Acuífero Sur

Unidades hidrogeológicas que se describen a continuación

6.4.1. Acuífero Centro-Norte

Está limitado por el norte por la cuenca superior del río Monjas y drenado por la quebrada del Colegio y la quebrada del Batán y se une con el río Machángara, aunque es independiente de este y está separado por los relieves del Panecillo y de la loma Puengasi. Su límite sur, se encuentra en un eje Aeropuerto–barrio de Cotollao. El acuífero central, es un acuífero multicapa que consta de dos niveles de buenas características hidrogeológicas. El trazado afecta al acuífero centro en su totalidad y parte del norte desde el límite con el centro hasta el aeropuerto.

La recarga del acuífero se realiza por precipitación directa de las precipitaciones sobre el valle y por la infiltración producida en la vertiente del Pichincha. La profundidad media del nivel piezométrico de las aguas oscila entre 5 y 17 m, llegando a 43 en la zona del aeropuerto del Mariscal Sucre. La dirección de flujo es oeste-este.

6.4.2. Acuífero Sur

Está constituido por la parte superior de la cuenca hidrográfica del río Machángara, que abandona la cuenca por un valle estrecho y profundo. El acuífero sur se compone de un acuitado y de dos niveles de acuíferos, superior e inferior. Este acuífero es afectado por el trazado desde el sector de Quitumbe hasta zona central aproximadamente en el sector de Chimbacalle.

Esta unidad se compone de dos niveles, un nivel superior formado por un acuífero multicapa semiconfinado y el inferior formado por acuífero semiconfinado surgente.

El nivel del acuífero superior corresponde con la Unidad Fluvio-Lacustre el Pintado y la Unidad Volcanosedimentaria Guamaní de la Formación Machángara.

El material de mejores características hidrogeológicas es el flujo piroclástico “block and ash” por su espesor y tamaño de grano (arena media a fina). El nivel piezométrico del acuífero superior en las cercanías de la estación de Quitumbe tiene una cota de 2.920 m.s.n.m. en el sur y una cota mínima de 2810 m.s.n.m. en el norte de la subcuenca en las proximidades de la estación de la Magdalena.

La dirección de flujo es NNE-E. El espesor medio aproximado que se estima para este acuífero es de unos 50 m.

El nivel del acuífero inferior corresponde a depósitos de avalancha de escombros de la unidad de basamento de la Formación Machángara y se sitúa a partir de los 70 m de profundidad aproximadamente. Según los datos de varios pozos podría tener un espesor de 50 m, llegando hasta los 120 m de profundidad. En estos pozos exploratorios, el nivel piezométrico alcanzó 2 m de altura sobre el suelo, por lo que este nivel constituye un acuífero surgente, cuyo caudal artesiano es de 2 l/s aproximadamente.

Figura 14. Sectorización acuífero de Quito del “Estudio de Climatología, Hidrología, Hidrogeología, Drenaje y Bombeo para el Proyecto Metro de Quito”. EVREN 2012. (Fuente: EMAAP/Quito, 2009)

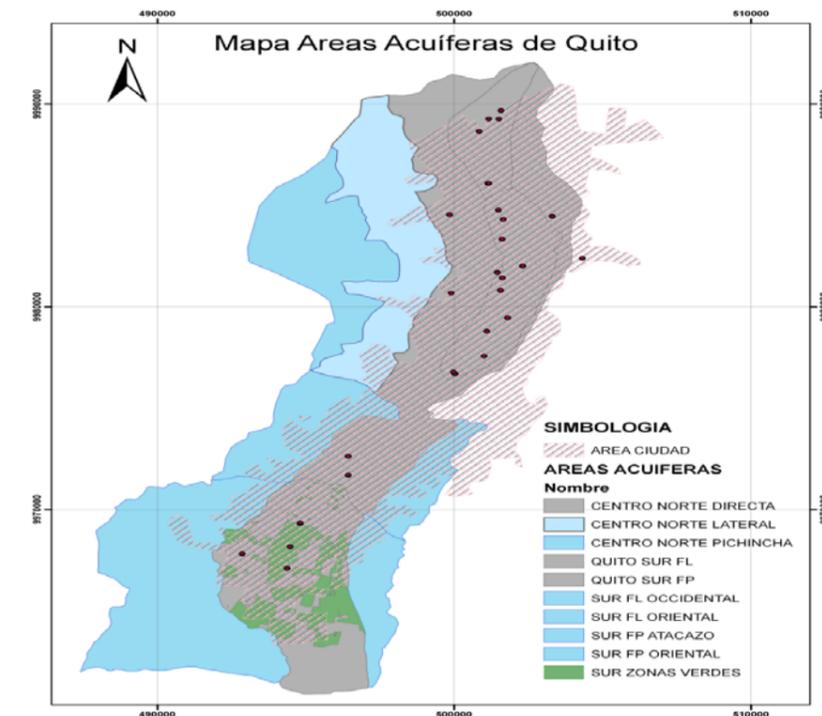


Figura 15. Mapa piezométrico del acuífero de Quito del "Estudio de Climatología, Hidrología, Hidrogeología, Drenaje y Bombeo para el Proyecto Metro de Quito". EVREN 2012

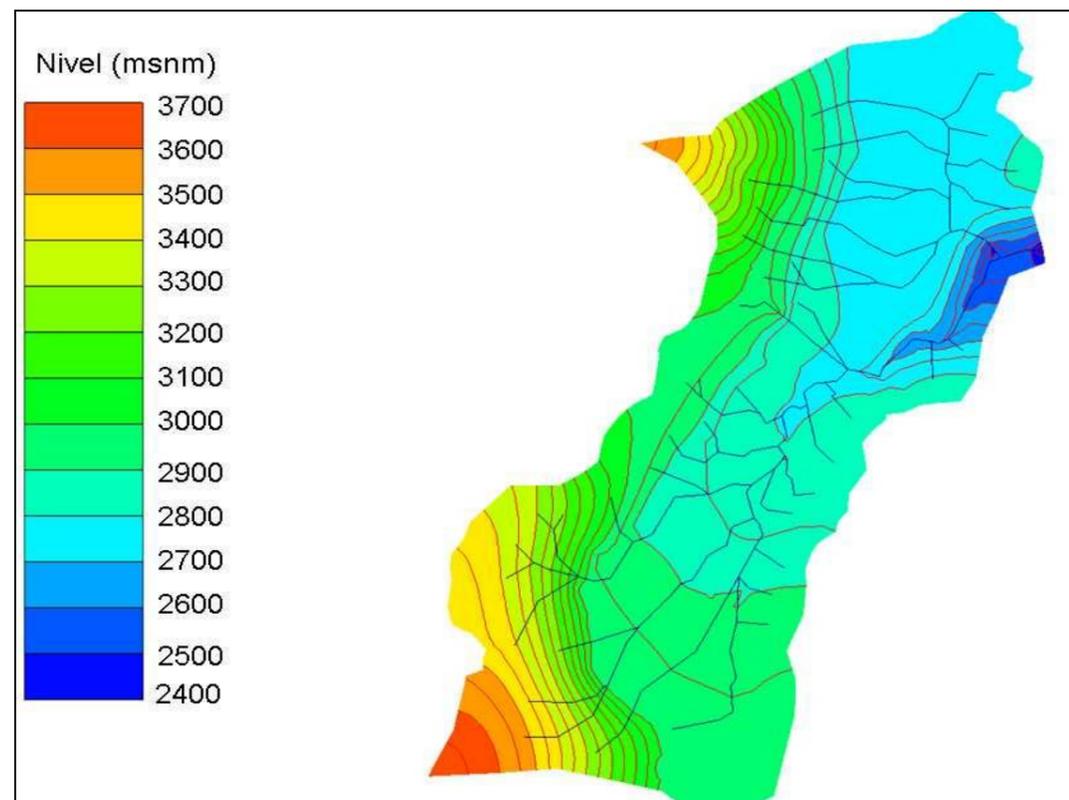
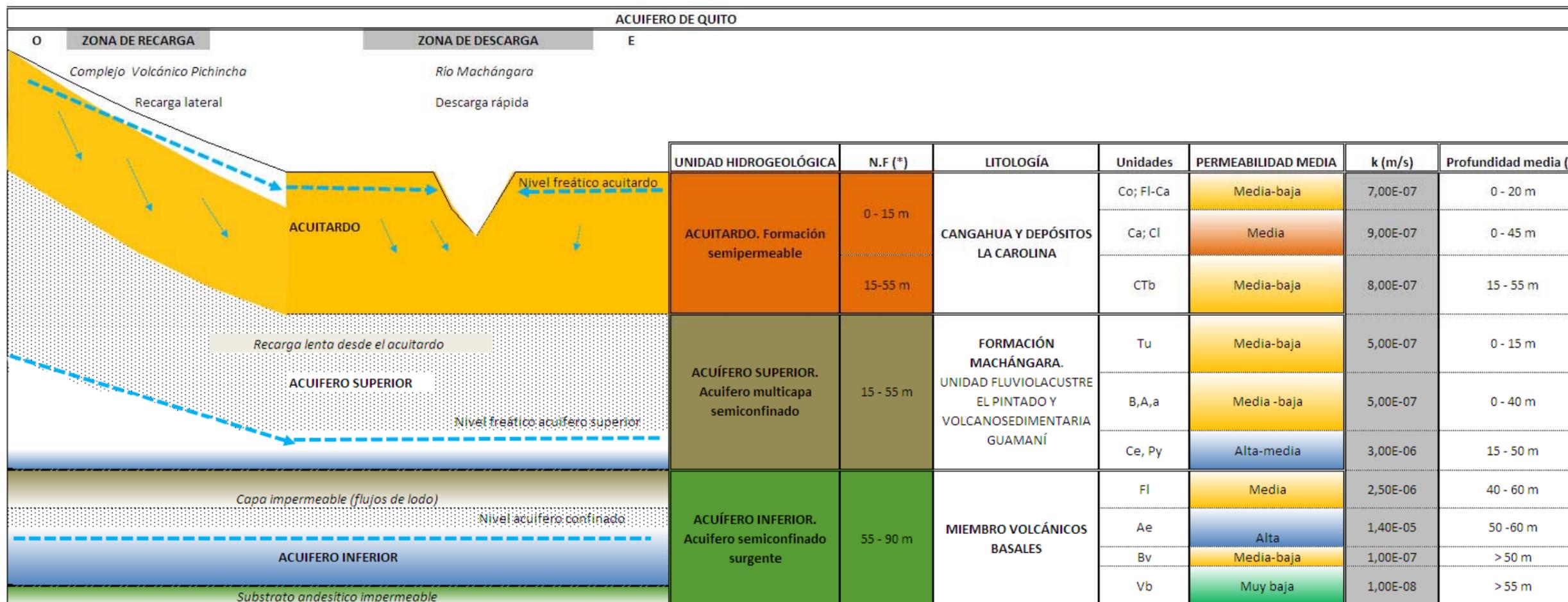


Figura 16. Modelo hidrogeológico para la cuenca sur-centro-norte de Quito



(*) Profundidades estimadas a partir de la información de los sondeos
 Valor adoptado

6.4.3. Nivel de agua

En la siguiente tabla se resumen los niveles de agua medidos en los sondeos:

Tabla 12. Resumen niveles de agua en sondeos

SONDEO	PK	Z (m)	Nivel de agua adoptado (m)	Fecha de lectura
SMQ-1	9+958	2.922,2	3,90	23/05/2012
SMQ-2	10+209	2.915,0	4,50	23/05/2012
SMQ-3	10+636	2.904,0	9,37	23/05/2012
SMQ-4	10+943	2.898,8	10,80	23/05/2012
SMQ-5	11+404	2.895,1	13,40	23/05/2012
SMQ-6	11+973	2.876,4	5,80	23/05/2012
SMQ-7	12+100	2.873,0	4,45	23/05/2012
SMQ-8	12+265	2.865,0	0,35	23/05/2012
SMQ-9	12+883	2.855,4	1,84	23/05/2012
SMQ-10	13+275	2.849,2	0,25	23/05/2012
SMQ-11	13+686	2.852,6	5,40	23/05/2012
SMQ-12	14+090	2.844,4	5,75	23/05/2012
SMQ-13	14+237	2.843,7	8,90	23/05/2012
SMQ-14	14+594	2.826,0	12,16	23/05/2012
SMQ-15	14+730	2.835,2	5,25	23/05/2012
SMQ-16	14+972	2.832,0	0,11	23/05/2012
SMQ-17	15+302	2.827,0	3,70	23/05/2012
SMQ-18	15+854	2.818,6	5,80	23/05/2012
SMQ-18B	16+203	2.807,0	5,05	23/05/2012
SMQ-19	16+390	2.804,6	2,85	23/05/2012

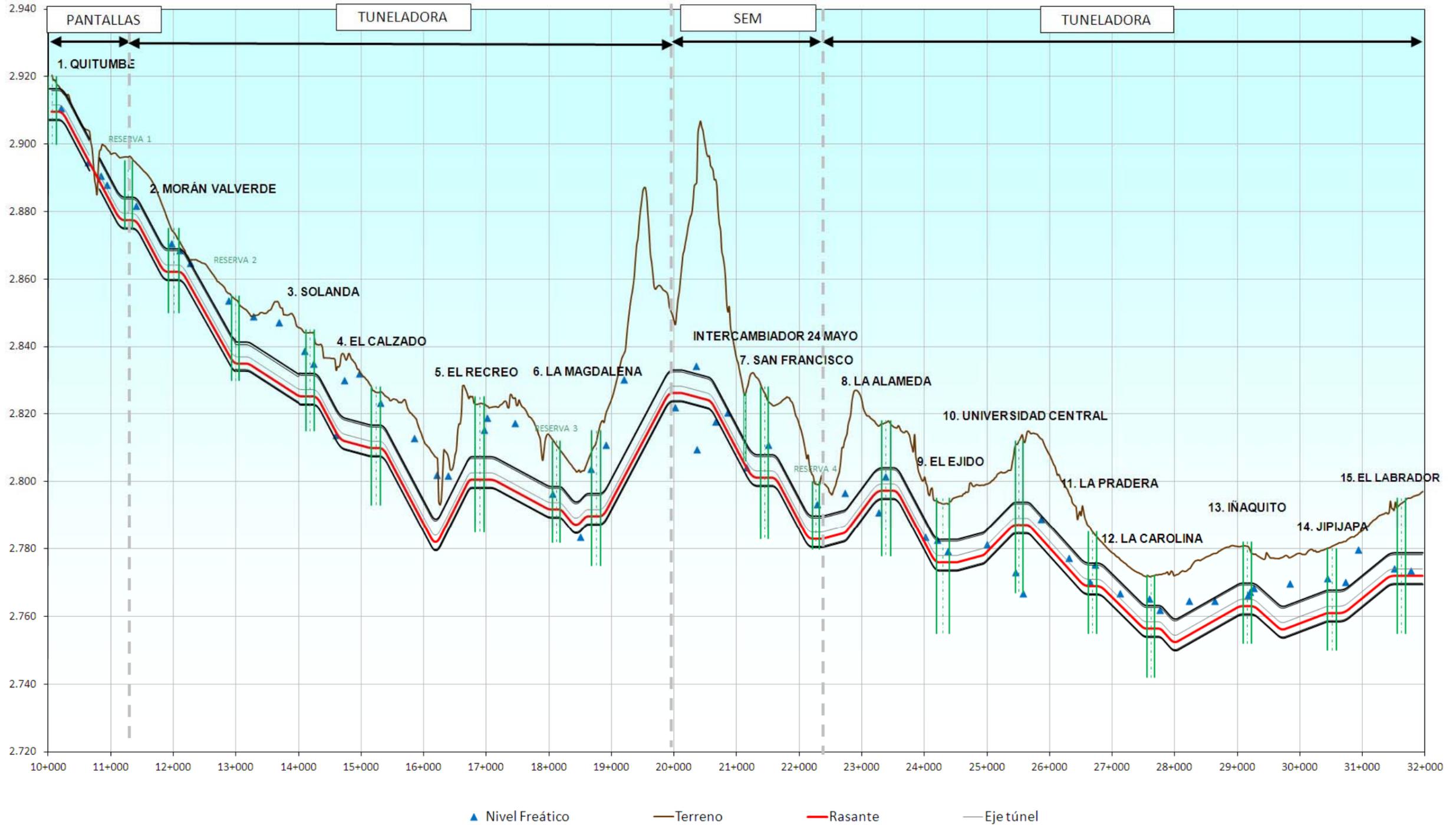
SONDEO	PK	Z (m)	Nivel de agua adoptado (m)	Fecha de lectura
SMQ-20	16+962	2.820,4	5,10	23/05/2012
SMQ-21	17+019	2.821,2	2,35	23/05/2012
SMQ-22	17+463	2.821,1	3,85	23/05/2012
SMQ-23	18+057	2.813,0	16,70	23/05/2012
SMQ-24	18+501	2.802,6	19,10	23/05/2012
SMQ-25	18+673	2.808,3	4,50	23/05/2012
SMQ-26	18+906	2.817,4	6,55	23/05/2012
SMQ-27	19+195	2.839,0	8,80	24/05/2012
SMQ-28	19+481	2.884,2	SECO	24/05/2012
SMQ-29	20+013	2.847,1	25,20	24/05/2012
SMQ-30	20+349	2.888,0	53,75	24/05/2012
SMQ-31	20+658	2.873,7	>56	24/05/2012
SMQ-31B	20+860	2.850,9	30,40	24/05/2012
SMQ-32	21+153	2.825,4	21,22	24/05/2012
SMQ-33	21+365	2.822,2	12,60	24/05/2012
SMQ-34	21+501	2.825,8	15,05	24/05/2012
SMQ-35	22+280	2.799,6	6,25	24/05/2012
SMQ-36	22+289	2.827,7	-	24/05/2012
SMQ-37	22+729	2.811,6	15,00	24/05/2012
SMQ-38	23+266	2.816,0	25,20	24/05/2012
SMQ-39	23+382	2.817,4	16,05	24/05/2012
SMQ-40	24+010	2.798,5	15,00	24/05/2012
SMQ-41	24+212	2.793,4	10,80	24/05/2012

SONDEO	PK	Z (m)	Nivel de agua adoptado (m)	Fecha de lectura
SMQ-42	24+371	2.793,1	13,80	24/05/2012
SMQ-43	24+993	2.799,5	18,15	24/05/2012
SMQ-44	25+460	2.807,1	34,15	24/05/2012
SMQ-45	25+573	2.808,0	41,17	24/05/2012
SMQ-46	25+863	2.813,6	SECO	24/05/2012
SMQ-47	26+306	2.797,0	19,75	24/05/2012
SMQ-48	26+646	2.785,6	15,50	24/05/2012
SMQ-49	26+685	2.785,4	SECO	-
SMQ-49A	26+732	2.785,0	9,70	24/05/2012
SMQ-50	27+123	2.777,1	10,30	24/05/2012
SMQ-51	27+588	2.771,9	6,75	25/05/2012
SMQ-52	27+760	2.770,9	9,00	25/05/2012
SMQ-53	28+225	2.774,9	10,35	25/05/2012
SMQ-54	28+642	2.778,6	14,00	25/05/2012
SMQ-55	29+167	2.780,5	14,35	25/05/2012
SMQ-56	29+199	2.780,2	12,95	25/05/2012
SMQ-57	29+259	2.778,3	9,90	25/05/2012
SMQ-58	29+843	2.778,4	8,85	25/05/2012
SMQ-59	30+732	2.784,0	13,90	25/05/2012
SMQ-60	30+443	2.780,1	8,80	25/05/2012
SMQ-61	30+930	2.783,9	4,20	25/05/2012
SMQ-62	31+767	2.796,6	23,10	25/05/2012
SMQ-63	31+504	2.791,7	18,50	25/05/2012

SONDEO	PK	Z (m)	Nivel de agua adoptado (m)	Fecha de lectura
SMQ-64	10+844	2.898,3	7,70	25/05/2012
SMQ-65	9+637	2.931,3	1,85	23/05/2012
SMQ-66	9+657	2.931,5	2,20	23/05/2012
SMQ-67	9+667	2.931,7	2,15	23/05/2012
SMQ-68	9+838	2.923,7	1,00	23/05/2012
SMQ-69	9+940	2.922,2	2,55	23/05/2012

Figura 17. Posición del nivel de agua a lo largo del trazado

PRIMERA LÍNEA DE METRO DE QUITO POSICIÓN DEL NIVEL DE AGUA. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CONSIDERADOS



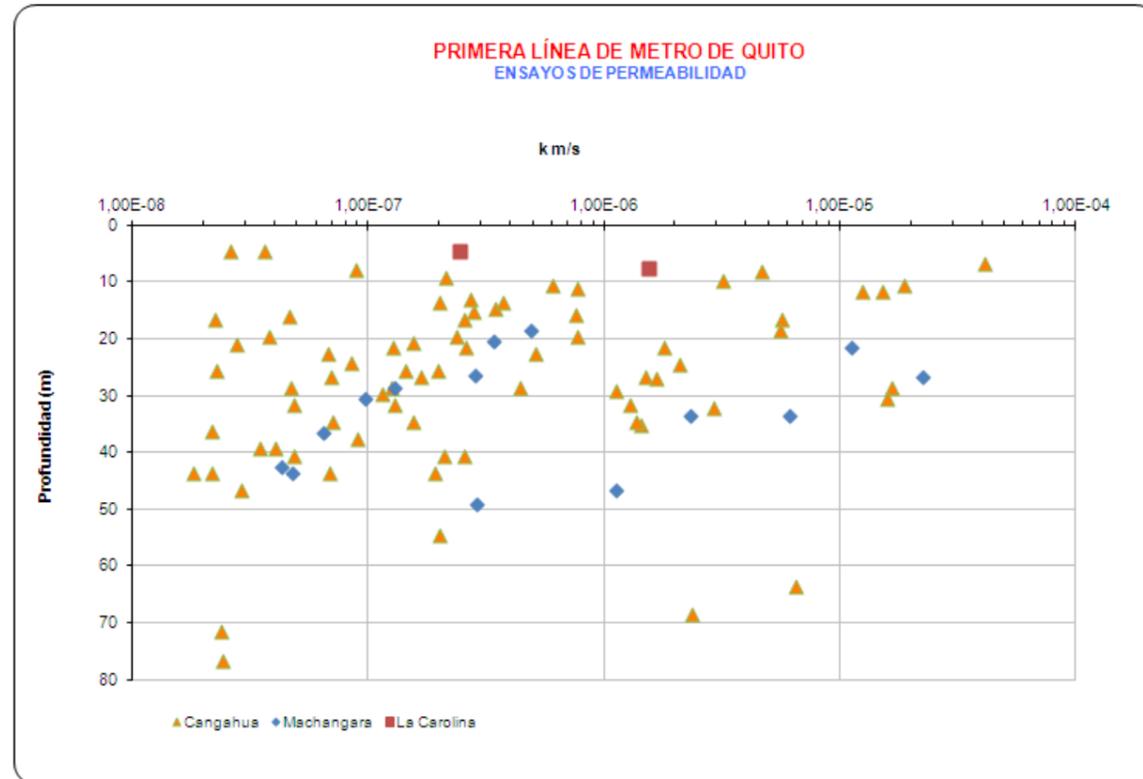
Página 35 de 53

6.5. Permeabilidad

Para la realización del presente anejo se ha dispuesto de 90 ensayos de permeabilidad realizados en los sondeos por HIGGECO a lo largo de todo el trazado de la primera línea de metro de Quito.

En la siguiente gráfica se observan los valores obtenidos:

Figura 18. Permeabilidad en función de la profundidad y de las formaciones geológicas



Del análisis de los valores obtenidos se extraen los siguientes datos:

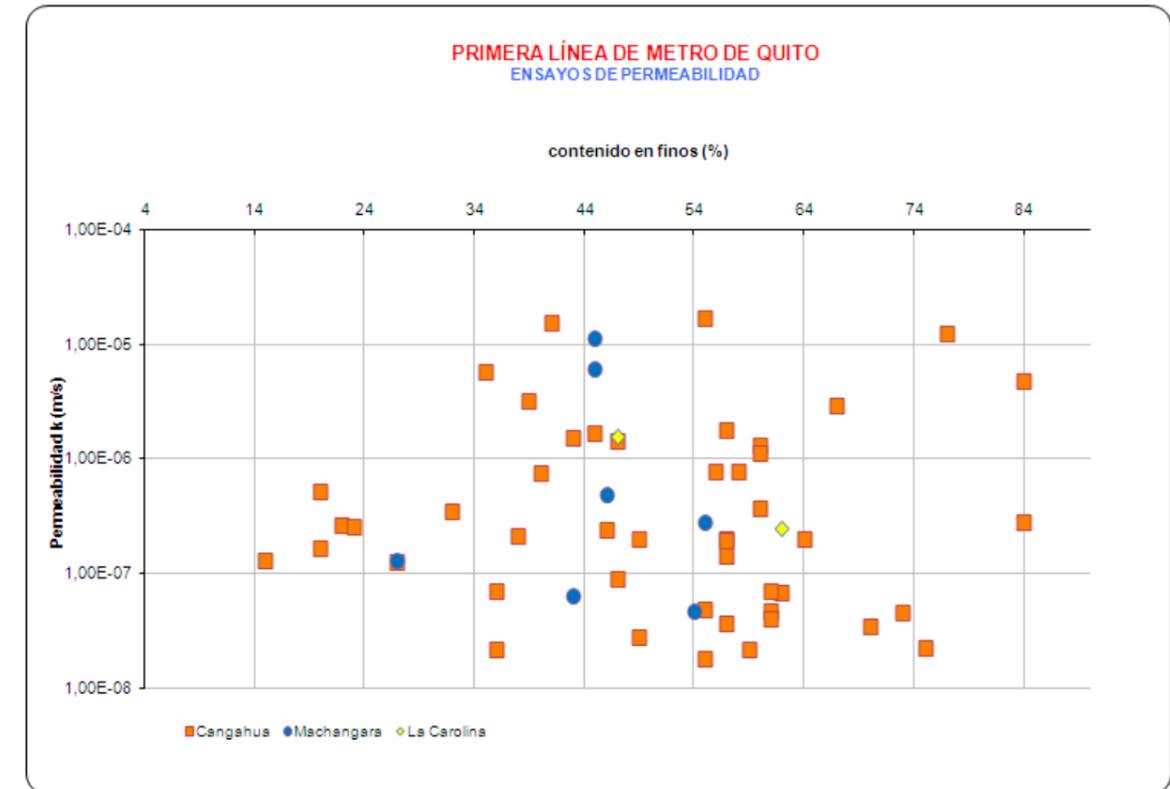
- La permeabilidad media obtenida en los 74 ensayos realizados en la formación Cangahua (Cl, Ca, Co, C_{Tb}) es de $k=2,34 \cdot 10^{-6}$ m/s. La permeabilidad máxima obtenida ha sido de $4,14 \cdot 10^{-5}$ m/s, siendo el valor mínimo obtenido de $1,81 \cdot 10^{-8}$ m/s. la desviación típica obtenida ha sido de $6,13 \cdot 10^{-6}$.
- La permeabilidad media obtenida en los 27 ensayos realizados en la formación Machángara es de $k=1,84 \cdot 10^{-5}$ m/s. La permeabilidad máxima obtenida ha sido de $9,14 \cdot 10^{-5}$ m/s, siendo el valor mínimo obtenido de $4,29 \cdot 10^{-8}$ m/s. la desviación típica obtenida ha sido de $2,46 \cdot 10^{-5}$.

- La permeabilidad media obtenida en los dos ensayos realizados en los depósitos la Carolina es de $k=8,97 \cdot 10^{-7}$ m/s. La permeabilidad máxima obtenida ha sido de $1,55 \cdot 10^{-6}$ m/s, siendo el valor mínimo obtenido de $2,44 \cdot 10^{-7}$ m/s. la desviación típica obtenida ha sido de $9,23 \cdot 10^{-7}$.

Los cuatro ensayos lugeon realizados en la unidad de basamento han resultado fallidos no pudiéndose realizar todos los escalones de presión que requiere el ensayo.

Se ha realizado un análisis de la permeabilidad en función del contenido en finos de las distintas formaciones con los siguientes resultados:

Figura 19. Permeabilidad en función del contenido en finos y de las formaciones geológicas



Asimismo también se ha realizado un análisis de las permeabilidades en función de la cota absoluta y formación geológica a la que pertenece con los siguientes resultados:

Figura 20. Permeabilidad en función de la cota absoluta y de las formaciones geológicas

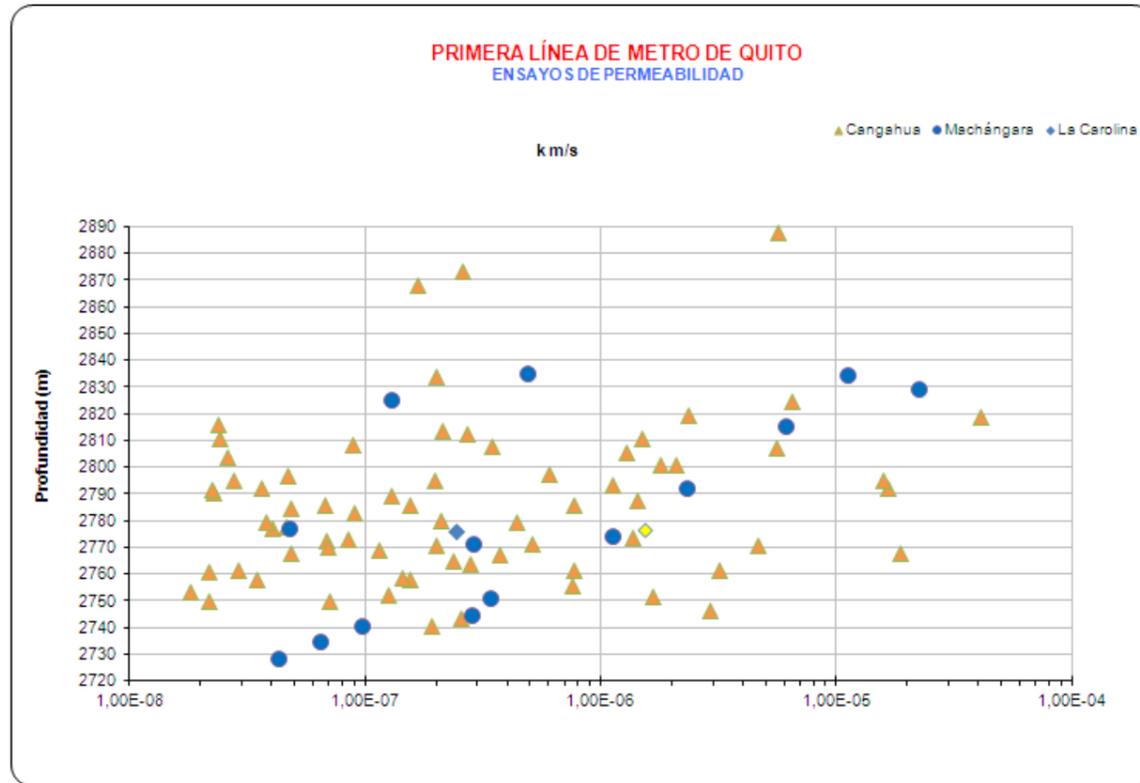


Tabla 13. Resumen permeabilidades obtenidas

Formación	Permeabilidad media (m/s)	Permeabilidad máxima (m/s)	Permeabilidad mínima (m/s)	Desv. estándar
Depósitos la Carolina	$8,97 \cdot 10^{-7}$	$1,55 \cdot 10^{-6}$	$2,44 \cdot 10^{-7}$	$9,23 \cdot 10^{-7}$
Formación Cangahua (Cl, Ca, Co, CTb)	$2,34 \cdot 10^{-6}$	$4,14 \cdot 10^{-5}$	$1,81 \cdot 10^{-8}$	$6,13 \cdot 10^{-6}$
Formación Machángara	$1,84 \cdot 10^{-5}$	$9,14 \cdot 10^{-5}$	$4,29 \cdot 10^{-8}$	$2,46 \cdot 10^{-6}$

Los resultados obtenidos han dado unos valores de permeabilidad algo dispersos en consonancia con la heterogeneidad de los materiales atravesados. Existen algunos valores de permeabilidad muy baja debido al contenido en arcillas como en el caso de los depósitos la Carolina.

En general, la formación Cangahua es más permeable que la formación la Carolina y más impermeable respecto de la formación Machángara. No obstante, se considera que debido a la

heterogeneidad de las formaciones y a posibles variaciones laterales de facies, la permeabilidad global puede ser en general algo superior a los valores locales.

En la siguiente tabla, se indican valores habituales de permeabilidad para materiales típicos:

Tabla 14. Coeficiente de permeabilidad de materiales típicos

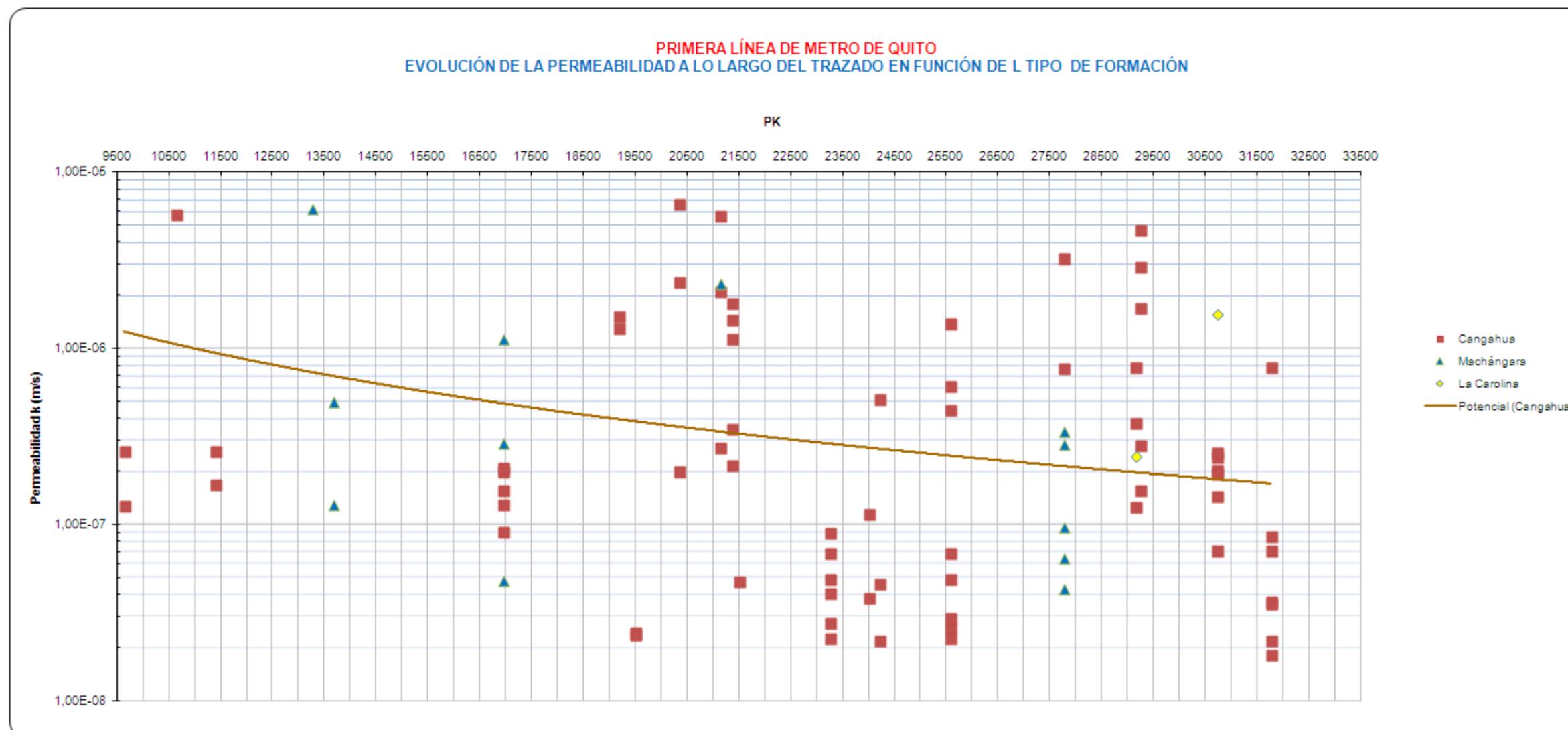
Tipo de suelo	Permeabilidad	Coefficiente de permeabilidad k(m/s)
Grava limpia	Alta	$1 \cdot 10^{-3}$
Arena limpia	Media	$1 \cdot 10^{-5}$
Grava arenosa	Media	$1 \cdot 10^{-5}$
Arena fina	Baja	$1 \cdot 10^{-5}$ a $1 \cdot 10^{-7}$
Limo	Baja	$1 \cdot 10^{-5}$ a $1 \cdot 10^{-7}$
Arena limo arcillosa	Muy baja	$1 \cdot 10^{-6}$ a $1 \cdot 10^{-9}$
Arcilla	Muy baja a impermeable	$1 \cdot 10^{-9}$

Comparativamente, los valores obtenidos en la tabla 13, con los valores expuestos en la tabla 14, las formaciones atravesadas por la primera línea de metro de Quito en general se comportan como limo y arena fina.

En la el apartado 5.2 del Anejo 7 “Geotecnia del Corredor” del Diseño Definitivo de Obra Civil, se resumen las permeabilidades finalmente adoptadas para cada formación en la tabla número 13.

Finalmente, en la Figura 21. Permeabilidad a lo largo del trazado en función de la geológica, se ha realizado un análisis de los valores de permeabilidad obtenidos a lo largo de todo el trazado. En esta figura se observa que en la primera parte del mismo, desde Quitumbe hasta la estación de la Magdalena aproximadamente, la permeabilidad obtenida es generalmente media-baja entre $1,00 \cdot 10^{-6}$ a $1,00 \cdot 10^{-7}$ m/s. Desde la estación de la Magdalena hasta la estación de San Francisco, se ha obtenido un rango de valores muy disperso, aunque es destacable que hay un gran número de ensayos con permeabilidad alta con valores entre $1,00 \cdot 10^{-6}$ a $1,00 \cdot 10^{-5}$ m/s. En la parte final del trazado desde San Francisco a el Labrador, la permeabilidad general obtenida ha sido media a baja, con numerosos valores de permeabilidad inferior a $1,00 \cdot 10^{-7}$ m/s, también bastantes valores entre $1,00 \cdot 10^{-6}$ a $1,00 \cdot 10^{-7}$ m/s de permeabilidad media. Destacar que algunos valores obtenidos han dado permeabilidades altas inferiores a $1,00 \cdot 10^{-6}$ m/s entre la estación de la Carolina y la estación de Jipijapa.

Figura 21. Permeabilidad a lo largo del trazado en función de la geológica



6.6. Riesgos geológicos

6.6.1. Vulcanismo

Los procesos de vulcanismo del Cotopaxi, Antisana, Ninahuilca, Pululahua y del Guagua Pichincha, pueden generar fenómenos de caída de ceniza transportada por el viento, fenómenos de caída de material piroclástico y especialmente el paso de lahares con capacidad erosiva en el fondo y márgenes del cauce en los ríos y quebradas atravesados por el trazado.

6.6.2. Sismicidad

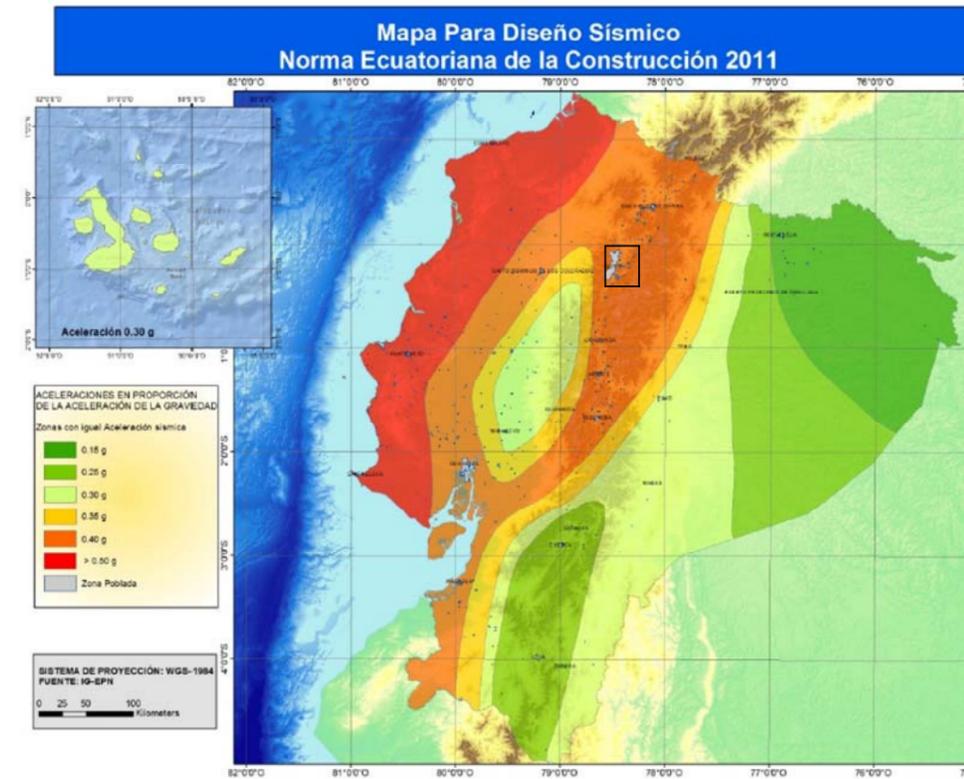
La región donde se encuentra la ciudad de Quito, puede ser afectada por sismos que se generen tanto desde la zona de subducción, como por las fallas activas, con magnitudes M_s (magnitud de ondas superficiales) superiores a 7,0.

Por un lado, se encuentra en un contexto general de compresión $N80^\circ E$ (Bonilla & Ruíz, 1992; Ego et al., 1995) debida a la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Suramericana que genera sismos de subducción que afectan a la zona costera y que podrían afectar a la ciudad aunque con menor influencia que las fallas activas.

Por otro lado, la falla de Quito o de Ilumbisi se extiende desde Pomasqui hasta Amaguaña se mueve con dirección N-S a una velocidad de 0,5 a 1 mm por año y tendría potencial para generar sismos de 6,9 a 7,5 M_s (magnitud de ondas superficiales), que darían intensidades MKS (escala de intensidad creada por Medvedev, Kamik y Sponheuer) superiores a los VII grados (muy fuerte) en la zona norte de Quito (Escuela Politécnica Nacional et al, 1995).

En la siguiente figura, se muestra el *mapa* de Zonificación sísmica del Ecuador, de acuerdo a las normas NEC (2011):

Figura 22. Zonificación sísmica del Ecuador, de acuerdo a las normas NEC (2011)



En el anejo nº 4 “Efectos Sísmicos” del presente proyecto, se desarrolla extensamente este apartado.

6.6.3. Riesgo por erosión y flujos de escombros

Corresponden a precipitaciones muy altas que generan inestabilidad morfológica en los cursos de zonas de drenajes naturales de suelos saturados, ocupados por escombros debido al poco caudal existente durante largos periodos sin lluvias, dando origen a crecientes aluviones con capacidad de arrastre y erosión de los cursos fluviales atravesados por el trazado, que originan aumentos de la presión hidráulica en las canalizaciones, lo que puede provocar la rotura y posterior erosión subterránea.

6.6.4. Licuefacción

Este fenómeno se produce en suelos arenolimosos en estado saturado, al experimentar esfuerzos cortantes anómalos y rápidos (terremotos), permiten un aumento de las presiones intersticiales por falta de drenaje, hasta valores del orden de la presión total existente. En este caso, la resistencia al corte desaparece y el material se comporta como un líquido dando

lugar a movimientos verticales y horizontales que puede generar deslizamientos, grandes asentamientos y el fallo de cimentaciones.

Los suelos potencialmente licuefactables, son en general, arenas finas y limos mal graduados con el nivel freático alto muy cerca de la superficie y el grado de compactación bajo, equivalente a valores de N de SPT inferiores a 20 golpes.

Además, en zonas afectadas por licuefacción se han dado las siguientes características:

- Terremotos de magnitud igual o superior a 5,5 con aceleraciones superiores a 0,3g.
- Por debajo de 15 m de profundidad no se ha producido el fenómeno.
- Nivel freático inferior a 3 m.

Además de los factores descritos anteriormente, para que se produzca el fenómeno de licuefacción, los materiales deben carecer de cohesión y su tamaño de grano debe ser de arena fina o limo. En los sectores donde se ha presentado el nivel freático alto, situado a menos de 3 metros de profundidad, en las muestras superficiales de los sondeos se ha obtenido un gran contenido de arcilla y un elevado grado de cohesión. En consecuencia, la probabilidad de que se pueda manifestar un fenómeno de este tipo afecte a la Primera Línea de Metro de Quito parece muy improbable.

6.6.5. Colapsabilidad

Se trata de un fenómeno que se refiere a la disminución brusca del volumen en un suelo al inundarse. Algunos autores sugieren que la Cangahua tiene un comportamiento físico-mecánico similar a los depósitos de loess, aunque su origen geológico es diferente. Este comportamiento geotécnico similar al loess se debe a la susceptibilidad a la erosión con la acción del agua.

Tanto en el “Estudio Geológico Geotécnico Subsuperficial de la Franja de la Primera Línea del Metro de Quito, Ing. Luis Torres (2011)” como en las distintas fases de campaña geotécnicas realizadas a lo largo del trazado planteado entre los meses de agosto de 2011 y febrero de 2012, realizadas para los informes “Estudio de Evaluación Geotécnica del Metro de Quito de agosto de 2011” y “Estudios de Evaluación de Detalle Mediante Sondeos a Rotación y Ensayos de laboratorio de febrero de 2012”, ambos elaborados por HIGGECO, no se han descrito fenómenos de colapsabilidad.

Dado que tanto el estudio del Ingeniero Luis Torres como las campañas y reconocimientos geológicos realizados se han prolongado en el tiempo y en condiciones meteorológicas muy distintas, en caso de existir materiales colapsables, la aparición de fenómenos de colapsabilidad se habría observado en algún punto del trazado. De este modo, a la vista de los datos geológico-geotécnicos proporcionados, se estima que el riesgo por colapsabilidad en la zona de estudio es muy bajo.

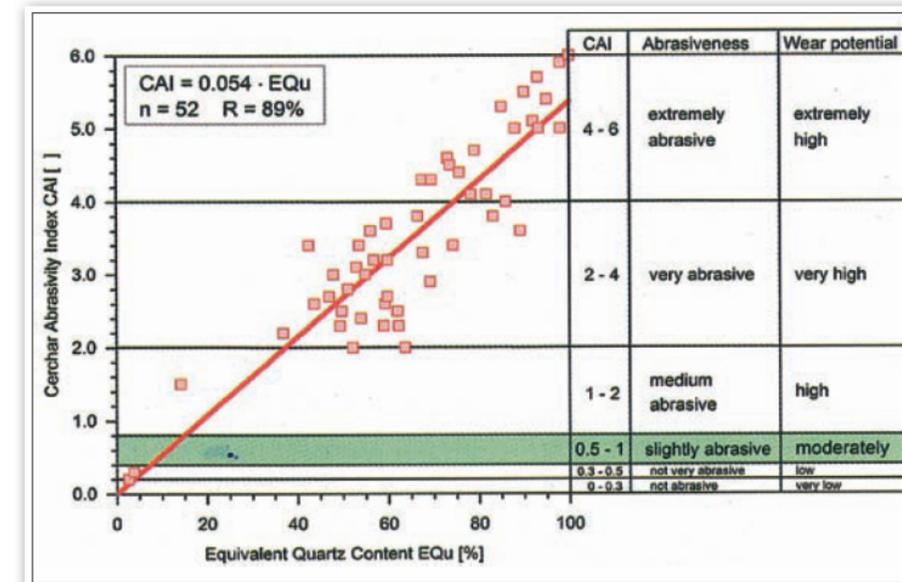
6.6.6. Abrasividad

La determinación de la abrasividad del terreno es un parámetro que permite valorar el desgaste que sufrirán las herramientas de corte de las tuneladoras durante la excavación de un túnel. Un elevado consumo de estas herramientas de corte implicará un mayor coste de excavación, al influir notablemente en el tiempo de ejecución del túnel.

El desgaste de las herramientas de corte depende de numerosos factores, entre los que destaca la naturaleza del terreno, el propio diseño de estos elementos por parte del fabricante de la tuneladora, su distribución en la cabeza de corte, la velocidad de avance de la máquina, etc.

Los principales métodos que se utilizan para determinar la abrasividad son el ensayo de abrasividad y dureza Cerchar, el ensayo Shimacek, el ensayo de perforabilidad-fragilidad DRI ó el análisis en lámina delgada de la composición de minerales de la muestra para determinar el índice Equ (contenido en cuarzo equivalente), entre otros. Nilsen et al (2006) y Thuro y Käsling (2009) llegaron a la conclusión de que el más representativo de todos es el índice de Abrasividad Cerchar (IAC). Este ensayo está correlacionado con el contenido de cuarzo equivalente de la muestra, tal y como se indica en la figura siguiente (Thuro y Käsling, 2009):

Figura 23. Relación entre el Índice de abrasividad Cerchar y el contenido de cuarzo equivalente



De acuerdo con la bibliografía consultada, las tobas de origen andesítico, de las que procede la Cangahua, que es el material predominantemente excavado por el túnel, presenta habitualmente un contenido de cuarzo libre variable entre un 10 y un 30%, y un contenido de sílice entre un 60 y un 70%.

Para este contenido en cuarzo, estos materiales se clasifican como de abrasividad moderada ó poco abrasivo, como se observa en la tabla siguiente:

Tabla 15. Grado de abrasividad según el IAC (Díaz Mendez, 1997)

índice Cerchar	Clasificación	Tipo de roca
> 4.5	Extremadamente abrasiva	Gneis, pegmatita, granito
4.25 – 4.5	Altamente abrasiva	Anfibolita, granito
4.0 – 4.25	Abrasiva	Granito, gneis, esquistos, piroxenita, arenisca
3.5 – 4.0	Moderadamente abrasiva	Granito, gneis, dolerita
1.2 – 2.5	Poco abrasiva	Arenisca
< 1.2	Muy poco abrasiva	Caliza

Tabla 2 Calificación cuantitativa, cualitativa y tipos de rocas según el índice Cerchar.

Por otra parte, son suelos potencialmente abrasivos aquellos en los que hay presencia de gravas con diámetro superior a 75 mm, y con un potencial abrasivo mayor aquellos suelos en los que haya bolos con diámetro superior a 300 mm ó bloques de roca intercalados.

En el caso del terreno atravesado por la nueva línea del Metro de Quito, de acuerdo con los sondeos efectuados, no es previsible la excavación de gravas o bolos de estos tamaños en los materiales de la formación Cangahua.

Como se ha mencionado anteriormente, existen aspectos que son desconocidos en fase de diseño, dado que dependen del fabricante de la tuneladora, de la velocidad de avance de la máquina en obra, etc, que dificultan realizar una estimación del desgaste de las picas, que de acuerdo con la información disponible se considera que será moderado.

No obstante, en fase de diseño se ha considerado de forma preventiva, distintos puntos de cambios de picas y demás elementos de corte de la tuneladora a lo largo de su recorrido, situados a una distancia en torno a los 400 m, además de las zonas de paso por estaciones.

7. TRAMIFICACIÓN GEOLÓGICA DEL TRAZADO Y CONDICIONES SUPERFICIALES

7.1. Estación de Quitumbe PK 9+410 al PK 13+000

En este apartado se indican las características geológicas de la traza en tramos homogéneos en cuanto a su geología, forma de desarrollarse el trazado y aspectos estructurales, geomorfológicos, hidrogeológicos y de problemática frente a la construcción.

- PK 9+410 al PK 10+000: Este tramo se inicia desde talleres y cocheras de Quitumbe y se prolonga hasta el inicio de la estación de Quitumbe. Consta de 5 m de longitud y discurre en subterráneo al resguardo de pantallas continuas de hormigón, salvo su paso por la quebrada Ortega que sorteará mediante un marco. La línea se desarrolla principalmente por la formación Cangahua la cual está constituida mayoritariamente, en el sector, por limos arcillo-arenosos de tonos marrones y compacidad media-densa con presencia esporádica de cantos pumíticos. Presenta una potencia homogénea de 10-11 m y constituye la unidad geotécnica principal del tramo. Tapizando la formación anterior se disponen rellenos y suelos orgánicos de carácter antrópico cuyo espesor es reducido (1-2 m). En el tramo final hacia el p.k. 9+880, la traza corta la unidad volcanosedimentaria Guamaní (Ce), unidad infrayacente a la formación Cangahua y constituida por arenas limosas sueltas de color marrón grisáceo con gránulos de pómez y compacidad densa-muy densa.

El nivel piezométrico se localiza a una profundidad subsuperficial y decreciente desde los 2 a 4 m de profundidad a lo largo del ramal, presentando cierto artesianismo en el sector de cocheras.

En general, no se afectan servicios salvo en los últimos 60 m de la línea donde se localizan numerosos servicios de alcantarillado y electricidad.

- PK 10+000 al PK 10+140: El tramo corresponde con la estación de Quitumbe. Se afecta mayoritariamente a rellenos antrópicos y/o suelos blandos pertenecientes previsiblemente a obras de construcción y a rellenos de una antigua vaguada. Estos se extienden desde el p.k. 10+000 al 10+140 con un espesor variable y creciente hacia la zona central donde se llega a alcanzar los 14 m de espesor (p.k. 10+050). Confinando a la unidad de rellenos antrópicos se emplaza la formación Cangahua de 5-7 m de espesor medio. Está formada mayoritariamente por intercalaciones decimétricas de arenas y limos arcillo-arenosos. La consistencia y compacidad es, en general, elevada. Infrayacente a la formación anterior se sitúa la unidad volcanosedimentaria Guamaní, primeramente constituida por cenizas y limos con gravas y bloques (unidad Ce) para dar paso en profundidad a un flujo piroclástico de arenas gruesas grises con bloques de dacita (unidad Py).

El nivel freático se encuentra paralelo a la superficie del terreno en toda la extensión del tramo y a una profundidad de 5-6 m. Los fenómenos de artesianismo son reducidos o prácticamente inexistentes.

Complementariamente la estación de Quitumbe afecta a numerosos servicios de alcantarillado y electricidad además de los propios de una zona urbanizada.

- PK 10+140 al PK 11+020: Se extiende con una pendiente descendente desde el cruce con la avenida Cóndor hasta la rotonda de la avenida Amaru-Rumichaca. Tiene una longitud de 880 m y presenta como puntos claves el paso por la zona de Pumapungo y el cruce con las quebradas Sanchayacu-Ortega, las cuales presentan un desnivel respecto superficie de 13 m. Mayoritariamente el trazado discurre sobre la formación Cangahua, constituida por limos arcillo arenosos marrones de consistencia firme-dura. Muestra una potencia decreciente de hasta 16 m en el inicio del trazado para ir reduciéndose hasta los 11 m al final del mismo, con espesores mínimos de 3 m. en el paso de la quebrada Ortega. Por debajo de la F. Cangahua aparecen arenas y limos pumíticos de tonos marrón-grisáceos pertenecientes a la unidad Ce con un espesor constante de 5-6 m bajo los cuales se disponen flujos piroclásticos de arenas gruesas grises con clastos dacíticos. Todo el trazado esta tapizado por rellenos antrópicos de escaso espesor, salvo los vertidos en los márgenes de la quebrada Ortega, el depósito entre los pp.kk. 10+400 y 10+500 que llega a alcanzar los 5 m de potencia y los rellenos pertenecientes a los colectores “2 de Febrero” y “Amaruñan 1 y 2” que dan lugar a suelos antrópicos de 5-6 m de espesor.

El nivel freático, al igual que en el tramo anterior, se adapta a la superficie del terreno; a una profundidad de 4,5 m en el inicio, a 9 m en el centro y a 8 m al final del tramo.

Como se ha comentado anteriormente se afecta principalmente, a los colectores “2 de Febrero” y “Amaruñan 1 y 2” además de a numerosos servicios de alcantarillado, electricidad y agua potable.

- PK 11+020 al PK 11+900: Este tramo se desarrolla completamente por la avenida Rumichaca hasta el inicio de la estación de Morán Valverde a una profundidad media respecto rasante de unos 20 m. Esta caracterizado por discurrir completamente por la unidad volcanosedimentaria Guamaní. Principalmente por la unidad Ce pero también afectando a la unidad Py en algunos puntos del trazado (P.K. 11+100, 11+540 a 11+760 y 11+870). La unidad Py es bastante homogénea y al igual que en toda la línea, lo constituyen arenas grises con bloques de dacita pertenecientes a un flujo piroclástico “Block and Ash”. En cambio la unidad Ce está formada por limos arenosos marrón-grisáceos con algunos intervalos más arcillosos cuyo origen es sedimentario y volcánico. Como cobertura a estas formaciones se encuentra la unidad Cl de la formación Cangahua la cual la forman arcillas limosas algo arenosas de tonos marrones y consistencia media-firme. Como unidad superficial se ha detectado un nivel de rellenos antrópicos cuya potencia suele ser de 2-3 m salvo el relleno de dos quebradas cuya potencia es muy

superior. La primera quebrada se extiende aproximadamente desde el p.k. 11+420 hasta el p.k. 11+600 con una profundidad máxima de 9,50 m en torno al p.k. 11+480 y la segunda, de menor entidad, que se localiza entre los p.k. 11+700 a 11+800 pero que también llega a tener una potencia de rellenos de hasta 9,5 m. En este tramo no se afecta a ningún colector de importancia pero si a algunas líneas de telecomunicaciones y sobre todo líneas de agua potable y alcantarillado.

El nivel freático se ubica entre los 11-13 m de profundidad en todo el trazado a excepción del final del mismo donde su profundidad decrece gradualmente hasta los 8 m.

- PK 11+900 al PK 12+300: Este tramo contempla desde la estación de Morán Valverde hasta aproximadamente el estudio del Aucas y se caracteriza litológicamente por la presencia de un nivel de limos arenosos con presencia de materia orgánica (eminentemente raíces) de hasta 10 m de profundidad; descritos como turbas en los sondeos y pertenecientes a una antigua laguna desecada denominada Turubamba cuyo significado en Inca es “llano de lodo” lo que da una idea de la problemática de la zona. Esta laguna se desecó con fines agrícolas mediante el sistema de “camellones” que consisten básicamente en una red de canales de agua para drenar las tierras. El nivel de turbas (unidad Tur) está formado principalmente por limos arcillosos con abundante materia orgánica de color negro o marrón oscuro con algunas gravillas esporádicas y con intercalaciones centimétricas de ceniza volcánica de color blanquecino. La consistencia es de blanda a muy blanda y se encuentra frecuentemente saturada. Infrayacente se localiza la formación Cangahua con una potencia reducida, sobre los 3-4 m. Está formada por limos arcillo-arenosos de tonos cafés y de consistencia firme-dura. Bajo la formación anterior, se dispone la unidad Guamaní formada en un primer lugar por cenizas, limos y arcillas con arenas y bloques (unidad Ce), para dar paso, a arenas con clastos de dacita (unidad Py), los dos con compacidades elevadas.

El nivel freático, al inicio del tramo, se localiza a 6,00 m, para ir ascendiendo gradualmente hasta situarse prácticamente en superficie (0,40 m) hacia el p.k. 12+240.

Las afecciones más destacables son los colectores Rumichaca-Borbón y José Pontón, además de la intensa red de alcantarillado y agua potable en la estación Moran Valverde.

- PK 12+300 al PK 13+000: El último tramo discurre desde el estadio Aucas hasta el final del trazado completamente, al igual que el tramo anterior, por la avenida Rumichaca a una profundidad comprendida entre los 18-22 m respecto rasante. Atraviesa las unidades volcanosedimentarias Guamaní Ce y Py las cuales están constituidas primeramente por limos arcillosos con arena de color verdoso y en segundo lugar por arenas con gravas de tonos grises.

Sobre las unidades anteriores se dispone la formación Cangahua e inmediatamente en superficie con un espesor considerable debido al encauzamiento del Colector José Pontón

y Cusubamba la unidad de rellenos antrópicos (R) que presenta un espesor medio de 5 m y potencias máximas de 8 m.

El nivel freático se sitúa próximo y paralelo a la superficie sobre los 1,5-3 m de profundidad.

El trazado afecta principalmente al colector José Pontón que discurre sobre la traza desde el inicio del tramo hasta prácticamente el final del mismo que se enlaza con el colector Cusubamba. Se emplazan en la zona central de la traza y a una profundidad media de 5-6 m. Complementariamente se afectan a algunos servicios de telecomunicaciones, electricidad y sobre todo alcantarillado y agua potable.

7.2. PK 13+000 a Estación de Solanda (PK 14+106)

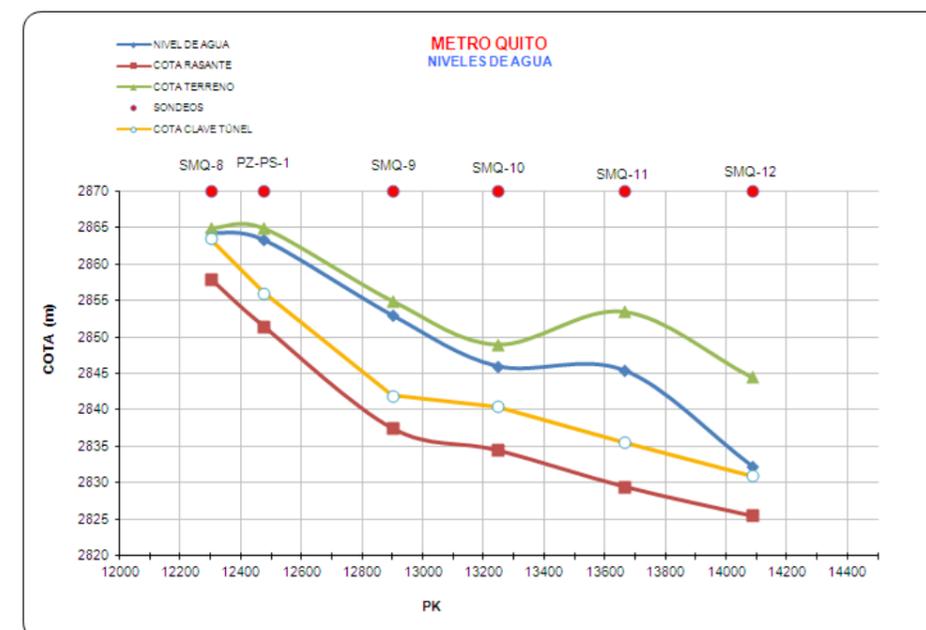
Desde el PK 13+000, a la estación de la Solanda situada en el PK 14+106, el trazado discurre en dirección SW-NE. La rasante del túnel va descendiendo suavemente desde la cota 2854 m hasta la cota 2844 m a la entrada de la estación.

Se ha previsto que la ejecución del tramo se realice con tuneladora, excavando en modo EPB, atravesando materiales volcanosedimentarios y fluviolacustres de la Formación Machángara del miembro Quito.

En este subtramo el nivel freático desciende paralelo al terreno desde la cota 2852 a la 2838 m, cota de nivel de agua medida en el sondeo SMQ-12, situado a la entrada de la estación de Solanda.

De acuerdo con la información disponible de niveles de agua hasta la fecha de redacción del presente documento, el nivel de agua se encuentra situado siempre por encima de la clave del túnel a unos 7-8 m.

Figura 24. Niveles de agua PK 13+000 a PK 14+106



Están previstas realizarse las siguientes estaciones y pozos:

Tabla 16. Estructuras previstas entre los PK 13+000 al PK 14+106

Estructura	PK
Pozo de ventilación PV-1	13+020
Salida de emergencia SE-3	13+680

El recubrimiento sobre clave de túnel varía entre los 7,5 m de recubrimiento mínimo en el PK 13+260 hasta los 17 m de recubrimiento máximo en el PK 13+680.

Superficialmente se atraviesa una zona de viviendas desde el PK 13+000 al PK 13+650, desde donde empieza una zona de parque y de instalaciones deportivas hasta el PK 14+106.

Al comienzo del tramo, el trazado discurre bajo el colector Manamalimpia, que discurre entre los PK 13+000 al PK 13+160, situándose a unos 4-5 m sobre de clave de túnel y el colector José Alemán, localizado en el PK 13+980, situado a unos 4 m por encima de clave del túnel.

7.3. PK 14+106 (Estación de Solanda) a PK 16+600

El trazado prosigue SW-NE desde el PK 14+106 hasta el 14+400, donde cambia de dirección hacia el norte hasta el PK 14+900 donde de nuevo vuelve a girar hacia el noreste hasta el PK 15+500. En este pk el trazado se dispone hacia el este hasta el 16+600.

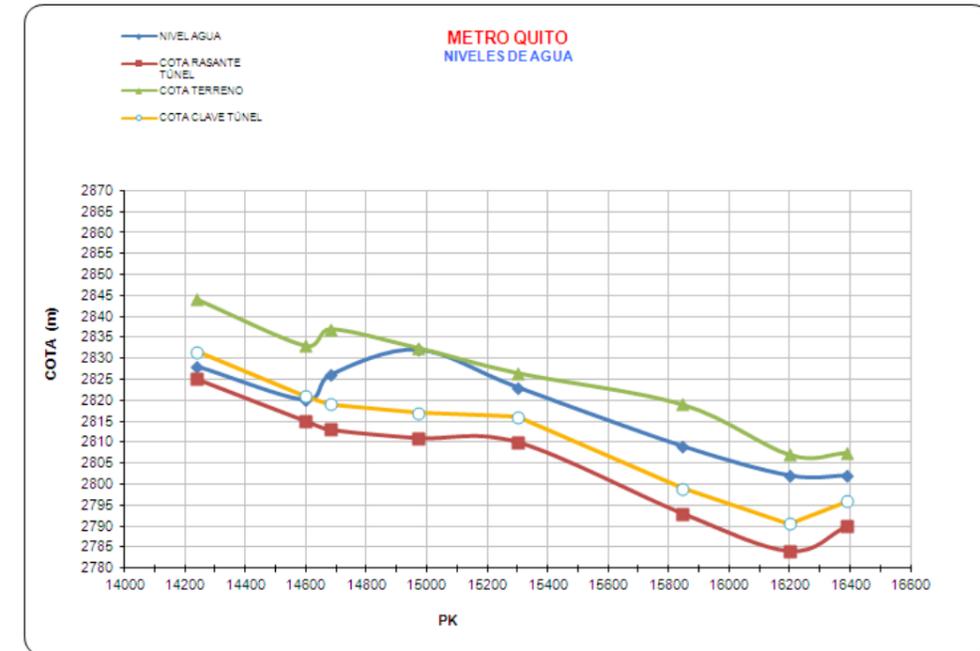
La rasante del túnel desciende desde la cota 2844 m en la estación de Solanda hasta la cota 2783 m en el PK 16+260, en la zona de cruce del trazado con la Quebrada del Machángara. Desde este punto hasta el final del tramo, el trazado asciende hasta la cota 2795 m, al final del tramo.

El túnel en este tramo se realiza mediante tuneladora, atravesando materiales de la formación Cangahua, volcanosedimentarios y fluviolacustres de la Formación Machángara del Miembro Quito y rellenos de quebradas.

En este subtramo el nivel freático discurre próximo a la clave del túnel en el entorno de la estación de Solanda, en torno a la cota 2834 m, descendiendo en el entorno de la quebrada del río Grande (PK 14+640), donde el nivel de agua se sitúa en torno a la cota de rasante del túnel (2814 m). A partir de este cruce, el nivel de agua asciende, hasta situarse próximo a la superficie, a la cota 2824 m, en el entorno de la estación del Calzado. El nivel de agua vuelve a descender suavemente hasta alcanzar la cota 2802 m en las cercanías del cruce con el río Machángara (PK 16+240), donde desciende hasta el nivel del cauce, situado en torno a la cota +2793 m. A partir de este punto, el nivel de agua asciende hasta situarse al final del tramo en torno a la cota +2810 m, asociado a los materiales de la formación Cangahua.

De acuerdo con la información disponible de niveles de agua hasta la fecha de redacción del presente documento, el nivel de agua se encuentra situado en el subtramo siempre por encima de la clave del túnel, salvo en el entorno del cruce con la Quebrada del río Grande (PK 14+640), donde se sitúa en torno a la cota de la rasante del túnel.

Figura 25. Niveles de agua PK 14+106 a PK 16+600



Están previstas realizarse las siguientes estaciones y pozos:

Tabla 17. Estructuras previstas entre los PK 14+106 al PK 16+600

Estructura	PK
Estación de Solanda	14+106-14+249
Pozo de bombeo PB-2	14+240
Pozo de ventilación PV-2	14+660
Estación El Calzado	15+172-15+307
Pozo de ventilación PV-3	16+020
Salida de emergencia SE-4 y Pozo de bombeo PB-3	16+210

El recubrimiento mínimo sobre clave de túnel es del orden de 3 m en la zona de cruce bajo la quebrada del río Machángara (PK 16+240), donde se ha previsto realizar un relleno, previo a la ejecución de la excavación de la tuneladora. El máximo recubrimiento se localiza en el entorno del PK 15+880, donde alcanza los 20 m de recubrimiento a clave.

Como se ha comentado anteriormente hay dos puntos de escasa montera y de rellenos de quebradas, el paso bajo el río Machángara en el PK 16+250 y el paso bajo la quebrada Clemencia.

Superficialmente continúa la zona de parque e instalaciones deportivas del tramo anterior hasta atravesar el río Grande en el PK 14+700 en donde de nuevo el túnel discurre por debajo de una zona de viviendas hasta el PK 14+940. En este punto el túnel se dispone por debajo de la avenida cardenal de la Torre hasta el PK 15+500 aproximadamente. Donde nuevamente, el túnel discurre por debajo de una zona de viviendas hasta el PK 16+600 a excepción del cruce con el río Machángara entre los PK 16+180 y PK 16+320.

En este tramo se atraviesan cuatro zonas de colectores, en el PK 14+620 el colector Machángara que discurre por el río Grande interceptando el trazado del túnel a cota de rasante lo que requiere la modificación del colector (ver Anejo 21 "Reposición de Servicios Afectados"). En el PK 15+290 el colector Cardenal de la Torre atraviesa la zona donde se ubica la estación de El Calzado, a unos 4 m por encima de la clave del túnel. El paso por debajo del río Machángara se realiza con unos 3 m sobre clave del túnel. En los PK 16+418 y 16+440 se atraviesan los colectores Teodoro Gómez y Clemencia respectivamente, encontrándose situados entre 2,5 y 3 m sobre clave del túnel.

7.4. PK 16+600 a PK 19+180 (salida de emergencia)

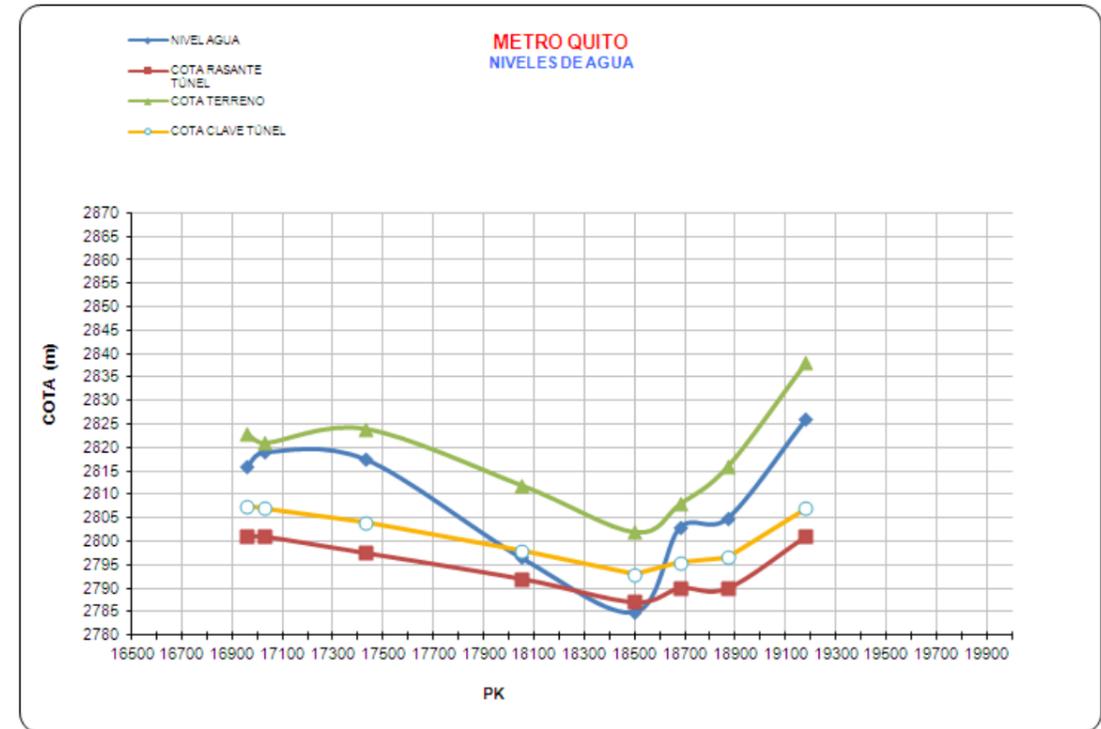
El trazado prosigue prácticamente con dirección norte desde el PK 16+600 hasta el 17+800, donde cambia de dirección hacia el noroeste hasta el PK 19+180.

El trazado se mantiene prácticamente subhorizontal, situándose en torno a la cota 2800 m hasta el entorno del PK 17+000, donde desciende suavemente hasta el cruce con la quebrada del Machángara situada en el PK 18+460, donde la rasante se sitúa a la cota 2787 m. A partir de este punto, y hasta el final del tramo, la rasante asciende suavemente hasta alcanzar la cota 2800 m al final del tramo.

El túnel en este tramo se realiza mediante tuneladora, atravesando materiales de la formación Cangahua, volcanosedimentarios y fluviolacustres de la Formación Machángara del Miembro Quito y rellenos heterogéneos de quebradas.

De acuerdo con la información disponible de niveles de agua hasta la fecha de redacción del presente documento, el nivel de agua se encuentra situado al comienzo del tramo, en torno a la cota 2810 m. Este nivel asciende hasta el entorno de la estación El Recreo, donde se ha reconocido a la cota 2815 m, asociado a los materiales de la formación Cangahua. Este nivel se mantiene, hasta el entorno del PK 18+000, donde en el sondeo SMQ-23 (PK 18+060), el nivel de agua se ha reconocido a la cota 2796 m, sobre los materiales tobáceos. En el entorno del PK 18+460, donde el túnel discurre bajo la Quebrada del río Machángara el nivel de agua desciende hasta la cota 2784 m, situado por debajo de la base del túnel. Esto es debido a que el cauce del río es una zona receptora de aguas, funcionando el propio río como una zona de descarga del acuífero superior. Desde este cruce con el Machángara, en nivel freático asciende suavemente hasta alcanzar la cota 2830 m al final del tramo.

Figura 26. Niveles de agua PK 16+600 a PK 19+180



Están previstas realizarse las siguientes estaciones y pozos:

Tabla 18. Estructuras previstas entre los PK 16+600 al PK 19+180

Estructura	PK
Estación El Recreo	16+825-16+961
Pozo de ventilación PV-4	17+480
Salida de emergencia SE-5	18+070
Pozo de bombeo PB-4	18+500
Estación La Magdalena	18+688-18+821
Salida de emergencia SE-6	19+180

El recubrimiento mínimo sobre clave de túnel es de 7 m en el PK 17+900 y también en el cruce por debajo del río Machángara en el PK 18+500. Estos dos puntos además coinciden con rellenos heterogéneos de quebradas, afectando este último a la propia traza.

Superficialmente este tramo discurre prácticamente por debajo de la avenida Rafael Arteta, pasando por debajo de las casas situadas al borde de la avenida. En el PK 17+700 el trazado del túnel gira suavemente atravesando el redondel de la Villaflora continuando el trazado por debajo de la avenida Rodrigo de Chávez hasta el final de este subtramo alejado de viviendas, a excepción de algunas viviendas existentes cerca de la estación de la Magdalena.

En el PK 17+240 se atraviesa el colector existente en la quebrada rellena Jarrín, con unos 17 m de montera sobre clave de túnel. En el PK 17+640 se atraviesa el colector existente en la quebrada rellena Boca del Lobo, situada a unos 13 m por encima de la clave del túnel. Además entre los PKs 17+725 y 17+782 este colector nuevamente cruza, subparalelo la traza del túnel con una montera mínima sobre clave del túnel de 10 m. En el PK 18+450 el colector existente en el río Machángara atraviesa el trazado del túnel unos 9 m por debajo de la base del túnel.

7.5. PK 19+180 a pk 19+990

El trazado inicia un giro de gran radio hacia el noreste hasta el PK 19+900, manteniéndose rectilínea con esta dirección a partir de ese punto.

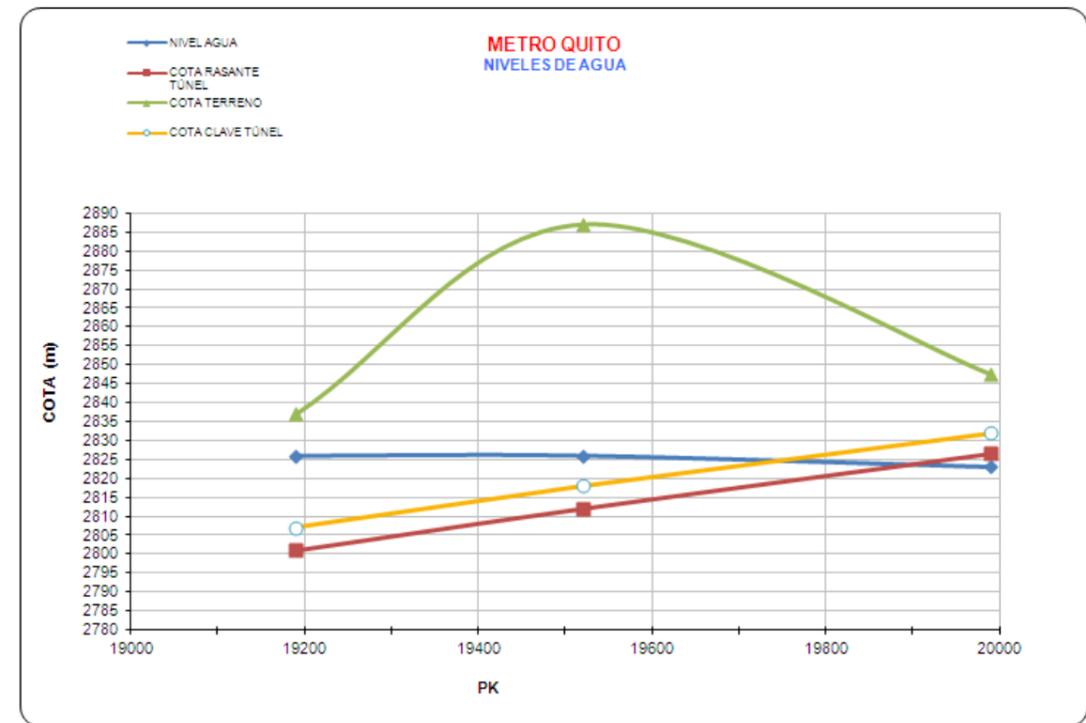
El trazado en este tramo es ascendente desde la cota 2801 en el PK 19+180 hasta la cota 2826 en el PK 19+990.

El túnel en este tramo se realiza mediante tuneladora, atravesando materiales de la formación Cangahua y volcanosedimentarios de la Formación Machángara del Miembro Quito.

De acuerdo con la información disponible de niveles de agua hasta la fecha de redacción del presente documento, parece que hay un nivel asociado principalmente a la capa de arenas limosas de la formación Cangahua, que probablemente proceda de la recarga de aguas que discurre desde las laderas cercanas en dirección al cauce de la quebrada del río Machángara, situada en el entorno del PK 18+460, al sureste de la estación de la Magdalena.

Se ha reconocido un nivel de agua en el sondeo SMQ-27 (PK 19+200) a la cota 2830 m, situado al comienzo del tramo (PK 19+200). Al final del tramo, en el emplazamiento del pozo de extracción, el nivel de agua medido en el sondeo SMQ-29 se sitúa a la cota 2822 m, por debajo de la cota de rasante del túnel.

Figura 27. Niveles de agua PK 19+180 a 19+990



Están previstas realizarse las siguientes estaciones y pozos:

Tabla 19 Estructuras previstas entre los PK 19+180 al PK 19+990

Estructura	PK
Pozo de ventilación PV-5 y Pozo de ataque/extracción tuneladora	19+990

El recubrimiento mínimo sobre clave de túnel es de 15 m en el PK 19+990 que coincide con el relleno de la quebrada de la calle Pomasqui.

Este subtramo discurre en su totalidad por debajo de una zona de edificaciones.

En el PK 19+690 se atraviesa el colector Paya, situado 29 m por encima de la clave de túnel. En el PK 19+780, el trazado discurre bajo el colector Macuma, situado a 17 m sobre la clave de túnel.

7.6. Pk 19+990 A pk 21+120 (Avenida del 24 de Mayo)

El trazado se mantiene con dirección noreste en todo este subtramo.

El trazado en este tramo se mantiene subhorizontal en torno a la cota 2825 m, desde el PK 19+990 hasta el PK 20+500 donde inicia un suave descenso hasta el final del subtramo, localizándose en este punto final la rasante a la cota 2803 m.

El túnel en este tramo se realiza mediante excavación en mina, atravesando materiales de la formación Cangahua, volcanosedimentarios de la Formación Machángara del Miembro Quito, llegando a afectar a la unidad de basamento formada por rocas andesíticas.

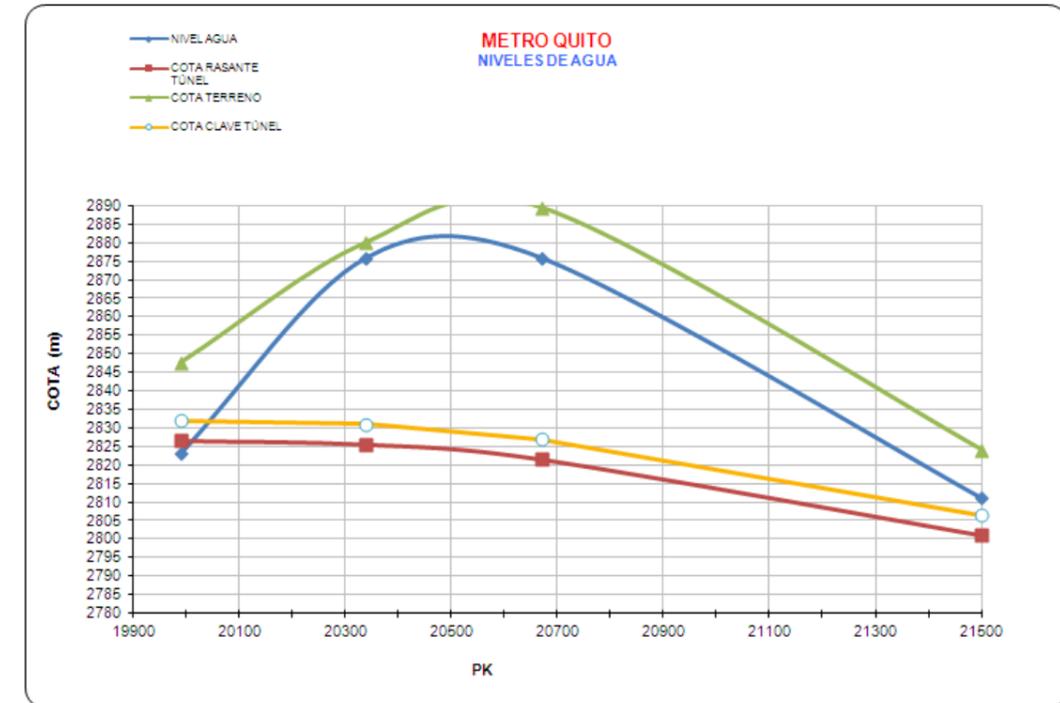
Al comienzo del tramo, en el emplazamiento del pozo de extracción, el nivel de agua medido en el sondeo SMQ-29 se sitúa a la cota 2822 m, por debajo de la cota de rasante del túnel.

Desde el comienzo del tramo, donde se ha reconocido en el sondeo SMQ-29 un nivel de agua situado a la cota 2822 m, y hasta el entorno del PK 20+900 el nivel de agua se ha reconocido en los sondeos entre las cotas 2820-2830 m, e incluso en algunos de los sondeos no se ha detectado presencia de agua en los mismos.

Al final del tramo, desde el PK 20+900 hasta el final del tramo se ha reconocido un descenso del nivel de agua, alcanzando en el entorno de la Quebrada Jerusalén (PK 21+140) el nivel de agua situado a la cota 2804 m (SMQ-32).

Aunque en principio el nivel freático está muy por encima de la clave del túnel, parte del túnel en este tramo está excavado en rocas andesíticas que son impermeables salvo en las zonas de fractura.

Figura 28. Niveles de agua PK 19+990 a PK 21+120



Están previstas realizarse las siguientes estaciones y pozos:

Tabla 20. Estructuras previstas entre los PK 19+990 al PK 21+120

Estructura	PK
Salida de emergencia SE-7	20+850

El recubrimiento mínimo sobre clave de túnel es de 15 m en el PK 21+120 que coincide con el relleno de la quebrada Jerusalén de la Avenida 24 de Mayo.

Prácticamente la totalidad de este subtramo discurre por debajo de edificaciones exceptuando los cruces con algunas avenidas.

En el PK 19+995 atraviesa el trazado el colector Pomasqui /Santa Ana a unos 5 m por encima de la clave el túnel. En el PK 20+010 atraviesa el trazado el colector Pomasqui Fase II a unos 2,5 m por debajo de la rasante del túnel. Desde el PK 20+900 hasta el PK 20+945 el colector Bahía discurre subparalelo al túnel a 20 m en la zona más desfavorable sobre la clave. En el PK 21+090 el colector Barahona atraviesa a 12 m por encima de la clave del túnel.

7.7. PK 21+120 a PK 23+480 (Estación de La Alameda)

En este subtramo, el trazado se mantiene con dirección noreste hasta el PK 21+800 donde inicia un giro de gran radio hacia el este, hasta el PK 22+200, donde, se pone rectilíneo manteniendo la dirección hacia el este, hasta el PK 22+400, donde de nuevo comienza un giro, esta vez hacia el norte hasta el PK 23+000. En este PK hay otro giro hacia el E-NE hasta llegar a la estación de la Alameda.

El trazado discurre bajo el centro histórico de Quito, por lo que a lo largo del tramo el túnel discurre bajo numerosos edificios históricos de carácter colonial, tanto edificios de viviendas como numerosas iglesias, conventos, etc.

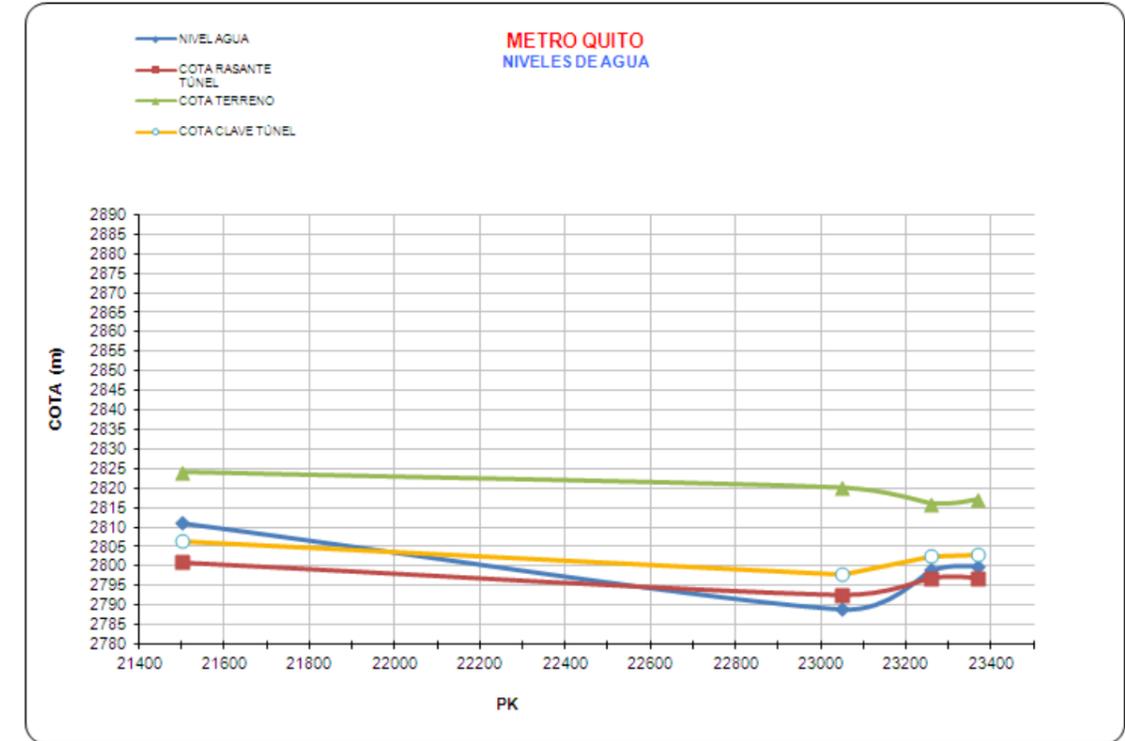
Entre el entorno del Intercambiador 24 de Mayo y la estación de San Francisco la rasante se mantiene sensiblemente horizontal, en torno a la cota 2801 m, descendiendo suavemente a partir del entorno del PK 21+600 hasta alcanzar la cota 2783 m en el PK 22+200. A partir de este punto, la rasante se mantiene sensiblemente horizontal hasta el entorno del PK 22+740, donde asciende hasta alcanzar la cota 2797,5 m al final del tramo, donde se localiza la Estación de la Alameda.

El túnel en este tramo se realiza mediante excavación en mina hasta alcanzar la Plaza del Teatro Nacional Sucre (PK 22+300), punto a partir del cual está previsto excavar mediante tuneladora.

En este tramo, el túnel atraviesa materiales de la formación Cangahua y volcanosedimentarios de la Formación Machángara del Miembro Quito.

En este subtramo el nivel freático desciende desde la cota 2810 m, donde se ha localizado en el entorno de la estación de San Francisco (PK 21+120), hasta la cota 2790 m, donde se ha reconocido en el sondeo SMQ-38, situado en el entorno del PK 23+200. En el entorno de la estación de la Alameda el nivel de agua asciende hasta localizarse a la cota 2800 m, situándose ligeramente por encima de la rasante. Es de prever que el nivel se encuentre por encima de la clave del túnel en la mayor parte del subtramo.

Figura 29. Niveles de agua PK 21+120 a 23+480



Están previstas realizarse las siguientes estaciones y pozos:

Tabla 21. Estructuras previstas entre los PK 21+120 al PK 23+440

Estructura	PK
Intercambiador 24 de Mayo	21+140
Acceso a metro en plaza de Santa Clara	21+265
Estación San Francisco	21+389-21+510
Salida de emergencia SE-8 y Pozo de bombeo PB-5	22+300
Pozo de ventilación PV-6	22+710
Estación Alameda	23+303-23+461

El recubrimiento mínimo sobre clave de túnel es de 5,5 m en el PK 22+500.

Superficialmente, el trazado discurre bajo edificaciones desde el PK 21+120 hasta el PK 23+100, partir del cual se desarrolla por debajo del parque de la Alameda.

En el PK 21+135, el colector 24 de Mayo atraviesa el trazado a cota de la clave del túnel (ver anejo 21 "Reposición de Servicios Afectados"). En el PK 21+500, el colector Sucre atraviesa el trazado en la zona de la estación de San Francisco a 11 m por encima de la clave del túnel. En el PK 21+605 el colector Manosalvas atraviesa el trazado a 9.5 m por encima de la clave del túnel. El colector Mejía atraviesa el trazado en el PK 21+835 y subparalelamente del PK 21+865 a PK 21+885 a 20 m por encima en ambos caso de la clave del túnel. En el PK 21+950 el colector la Independencia atraviesa el trazado a 18 m por encima de la clave del túnel. En el PK 23+090 y PK 23+480, el colector Gran Colombia atraviesa el trazado del túnel a 15.5 m y 9.5 m, respectivamente por encima de la clave del túnel.

7.8. PK 23+480 a final del tramo

El sector comprendido entre el p.k. 23+480 y el final del tramo objeto de estudio presenta alguna particularidad geológica respecto a los tramos anteriores. Este tramo se desarrolla sobre una topografía mas suavizada correspondiente a una amplia cuenca de relleno que acumula los sedimentos provenientes de la erosión de cotas superiores pertenecientes a las unidades geológicas principales del entorno. El conjunto del tramo a partir del pk. 24+000 y con una salvedad entre los pp.kk. 25+000 y 25+700 se desarrolla bajo los depósitos de la denominada Formación Fluviolacustre La Carolina. Estos depósitos de relleno de cuenca se apoyan en toda la amplitud de la vaguada sobre materiales de la formación Cangahua tanto en su facies limoarcillosa como en su facies arenolimososa.

El espesor de la formación superficial y la propia cota del trazado hacen que este se desarrolle en tramos con una cobertera mixta y en tramos exclusivamente sobre materiales de la formación Cangahua.

El nivel freático detectado se sitúa en la práctica totalidad del tramo en el entorno de las cotas 2765 y 2770 salvo en los 1500 m iniciales que lo hace en el entorno de la cota 2800 para descender progresivamente.

El total de este tramo se excavará mediante tuneladora salvo las estaciones que se realizarán mediante excavación entre pantallas. La cota de carril se sitúa a una profundidad entre los 15,0 y los 20,0 m salvo un tramo intermedio entre los pp.kk. 25+400 y 26+400 y el sector final en que lo hace a 25,0 m.

En el aspecto superficial se han diferenciado dos tipos de materiales. Cubriendo el conjunto de la zona urbana se han determinado un espesor del orden de los 2,0 m de material de relleno o simplemente removilizado correspondiente a los trabajos de regularización del terreno para la implantación urbana. El otro material corresponde al relleno de las "quebradas" o zonas de drenaje natural. En estas vaguadas de amplitud variable en función de su importancia y posición respecto a la red de drenaje se han instalado colectores de

recogida de aguas y se ha rellenado su desnivel para su posterior urbanización. El trazado mantiene en términos generales una dirección perpendicular a las quebradas pero en algunos puntos singulares discurre en forma paralela lo que aumenta la longitud del tramo afectado.

En total se han determinado un total de 8 sectores en función de la geometría del trazado y de la geología que atraviesa.

- PK 23+480 al PK 24+200: Este tramo comienza a la salida de la estación de Alameda y adaptándose a la topografía desciende en cota con una pendiente del 35 ‰ y un recubrimiento sobre la clave de entre 12,0 y 10,0 m. La geología que atraviesa el túnel corresponde a los materiales de la formación Cangahua. El material sobre la clave del túnel corresponde al tramo de Cangahua limoarcilloso formado por limos y arcillas con contenido variable de arena. Entre los pp.kk 23+480 y 23+900 el tramo excavado por el túnel corresponde a la formación Cangahua arenosa formada por arenas con bajo contenido en finos. A partir del p.k. 23+960 aparecen en superficie los depósitos de la formación fluviolacustre que alcanzan un espesor del orden de los 5,0 m reduciendo el espesor de la formación Cangahua sobre la clave del túnel hasta unos 3,0 m. En superficie aparece el relleno de urbanización. El nivel freático prácticamente acompaña a la clave del túnel y varía desde la cota 2800 hasta la cota 2785 y se sitúa en coincidiendo con la clave.
- PK 24+200 al PK 25+000: Este tramo comienza en la estación de El Ejido y salvo la estación con pendiente 0 se desarrolla con una pendiente ascendente del 5 ‰. El espesor de la cobertera está en torno a los 12,0 m salvo el tramo final coincidente con la estación en que se sitúa en unos 20,0 m. El trazado se desarrolla bajo los depósitos de la unidad fluviolacustre que presenta un espesor de entre 6,0 y 8,0 m formados por arena arcilla y arcillas con contenido variable de grava de pumita. Bajo estos aparecen los depósitos de la formación Cangahua limoarcillosa formada por arcilla y limos con contenido variable de arena. El contacto entre ambas formaciones coincide con la clave del túnel por lo que la excavación se realizará sobre la formación Cangahua. El nivel freático se localiza en el entorno de la cota 2780 dejando medio túnel en seco y medio túnel bajo el agua. En superficie y entre los pp.kk. 24+580 y 24+920 el trazado coincide con el trazado de una quebrada que presenta un espesor de rellenos de entre 3,0 y 4,0 m.
- P.K. 25+000 al 25+680: Este tramo presenta una pendiente ascendente del 19 ‰ para adaptarse a una topografía ascendente. Al final de tramo se localiza la estación de Universidad Central. El túnel presenta un espesor sobre la clave de los 12,0 m y salvo los rellenos de regularización superficial el material existente tanto a cota de túnel como por encima de la clave corresponde los materiales de la unidad Cangahua limoarcillosa forma por limos y arcillas con contenido variable de arena. El nivel freático se sitúa en el entorno de la cota 2780 y a partir del p.k. 25+200 se sitúa por debajo de la contrabóveda del túnel.

- PK 25+000 al P.K. 26+600: El trazado presenta, al igual que la topografía, una pendiente descendente de un 20,5 ‰. El espesor de la cobertera sobre la clave varía entre los 20,0 m en el tramo inicial y los 12,0 m en el tramo final descendiendo progresivamente. A partir del inicio de este tramo y hasta el final de trazado los materiales superficiales (salvedad de los rellenos y rellenos de quebrada) corresponden a la formación fluviolacustre. En este sector el espesor de estos depósitos aumenta progresivamente hasta los 20,0 m en el p.k. 25+900 y a partir de aquí desciende progresivamente hasta los 10,0 m. Por debajo de los materiales fluviolacustres formados por arcillas y arenas (CL/SM) aparece la formación Cangahua en su facies limosa formada por arcillas y limos con contenido variable de arena. El contacto entre ambas formaciones se sitúa en el entorno de la clave del túnel por lo que este será excavada en la formación Cangahua y la cobertera será Fluviolacustre. El nivel freático se sitúa por debajo de la contrabóveda en el entorno de la cota 2777 hasta el p.k. 26+040 y a partir de aquí se sitúa en una posición intermedia dentro del túnel dejando la clave en seco y la contrabóveda bajo el nivel de agua. En superficie aparecen los rellenos de urbanización y en los últimos 80 m aparecen los depósitos de relleno de una quebrada.
- P.K. 26+600 al P.K. 27+500: Al inicio de este tramo se sitúa la estación de La Pradera y partir de su salida el trazado desciende con una pendiente del 18,3 ‰. La cobertera sobre la clave es de unos 5,0 m y prácticamente coincide en toda su longitud con los rellenos de una quebrada dejando únicamente entre 1,0 y 2,0 m de material correspondiente a la formación fluviolacustre sobre la clave. Bajo la formación fluviolacustre aparece la formación Cangahua. El contacto entre ambas formaciones es prácticamente horizontal con un adelgazamiento progresivo de la formación fluviolacustre desde los 10,0 m iniciales hasta los 2,0 m en la parte final. Esto unido al descenso progresivo del trazado hace que el túnel se excave sobre la formación fluviolacustre en su totalidad en la parte inicial y progresivamente se excave sobre la formación Cangahua. El nivel freático se sitúa en una posición intermedia en el túnel y termina sobre la clave en la cota 2765.
- P.K. 27+500 al P.K. 28+000: En este tramo se sitúa la estación de la carolina y en el p.k. 27+600 y tras su salida el trazado desciende con una pendiente del 21 ‰. La cobertera sobre el túnel oscila entre los 9 y los 12,0 m. Los materiales corresponden en los primeros 8,0 m a los depósitos fluviolacustres tapizados por los 2,0 m superficiales de relleno de urbanización. Por debajo aparecen los depósitos de la formación Cangahua en su facies limoarcillosa con contenido variable de arena. La clave del túnel se sitúa de nuevo en el contacto entre ambas formaciones. El túnel se excavará sobre materiales de la formación Cangahua. El nivel freático se sitúa sobre la clave en el entorno de la cota 2765.
- P.K. 28+000 al P.K. 28+700: A partir de este p.k. el trazado asciende a una pendiente del 9,1 ‰ y el espesor de los depósitos fluviolacustres aumenta hasta los 20,0 m. El espesor de la cobertera es del orden de los 12,0 m. Tanto el material sobre la clave como el material en el que se excavará el túnel corresponde a la formación Fluviolacustre. La cota del nivel freático coincide prácticamente con la cota de la clave situándose a los 2765 m.

En la parte final del tramo el contacto entre ambas formaciones asciende suavemente reduciéndose el espesor de la unidad Fluviolacustre.

- P.K. 28+700 al P.K. 29+900: En el p.k.29+150 se encuentra la estación de Iñaquito y a partir de esta el trazado desciende con una pendiente del 14,5 ‰ hasta el p.k. 29+730 para empezar con una pendiente ascendente del 7 ‰. La cobertera de este tramo se sitúa en torno a los 10,0 – 12,0 m. en este tramo el contacto entre la formación fluviolacustre y la formación Cangahua es prácticamente horizontal y se sitúa en a la posición de la clave del túnel. A partir del p.k. 29+500 el túnel se excavará en su totalidad en la formación. El material sobre la clave corresponde a la formación fluviolacustre. Entre los pp.kk. 29+550 y 29+660 el trazado atraviesa una quebrada con un espesor de rellenos de unos 3,5 m. el nivel freático se sitúa sobre la clave del túnel en la cota 2768.
- P.K. 29+900 al 30+900: En el p.k. 30+500 de este tramo se sitúa la estación de Jipijapa. El trazado asciende a una pendiente del 7 ‰ en el tramo inicial y a partir de la estación asciende al 15,5 ‰. El espesor de la cobertera sobre la clave es de 12,0 m. Coincidiendo con el p.k. de inicio de este tramo el espesor de la formación Fluviolacustre aumenta significativamente hasta los 30,0 m por lo que tanto la excavación como el material sobre la clave corresponde a la formación Fluviolacustre. El nivel freático se sitúa sobre la clave a la cota 2770.
- P.K. 30+900 al P.K. 31+560: tramo con pendiente ascendente del 15,5 ‰ con una cobertera de 12,0 m sobre la clave. El p.k. de inicio coincide con la parición de la formación Cangahua en la contrabóveda del túnel y el progre progresivo adelgazamiento de la formación Fluviolacustre hasta un espesor entorno a los 6,0 m en el p.k. 31+250. A partir de este punto la totalidad del túnel se excavará sobre la formación Cangahua pero el material de la cobertera pertenece a la formación Fluviolacustre coincidiendo el contacto entre ambas formaciones con la clave del túnel. En superficie y a lo largo de todo el tramo el trazado discurre paralelo al de una quebrada rellena con un espesor de unos 6,0 m de material. El nivel freático se mantiene en torno a la cota 2770 pero el ascenso del trazado que a lo largo de todo el tramo este pase de estar por encima de la clave a situarse por debajo de la contrabóveda.
- P.K. 31+560 al final del tramo: En este tramo se sitúa la estación del labrador y el fondo de saco. Ambas estructuras se realizarán mediante la excavación entre pantallas y estarán unidas por un túnel de unos 100 m de longitud. La pendiente será nula. Los materiales presentes se resumen en una primera capa de material fluviolacustre de entre 8 u 10,0 m de espesor que desaparece progresivamente a partir del p.k. 31+800. Bajo estos materiales aparecen los depósitos de la formación Cangahua en su facies limoarcillosa. A la altura de la contrabóveda aparece un tramos de la formación Cangahua de carácter arenoso. En el tramo final entre el p.k. 31+900 y el final del trazado aparece el contacto de la formación Cangahua con la formación miembro Quito formado por brechas

y cenizas. En este material se empotrará el pie de las pantallas de la parte final del fondo de saco. El nivel freático se sitúa en la cota 2770 por debajo de la contrabóveda.

8. PROCEDENCIA DE MATERIALES

Para la construcción de la línea de metro de Quito es necesario el suministro tanto de hormigón procedente de plantas directamente, como de árido para la fabricación de diferentes tipos de hormigón con distintas propiedades, para la fabricación in situ con diferentes dosificaciones. El hormigón se puede aplicar tanto para vías para el tránsito vehicular dentro de la obra, el sostenimiento y recubrimiento del túnel, estabilización de los taludes de los portales o emboquilles del túnel, pozos y estaciones, obras menores, etc. A continuación se describe la posible procedencia de materiales para la obra.

8.1. Canteras de áridos

En cuanto al suministro de áridos o materiales pétreos, en los alrededores de la ciudad y poblaciones cercanas a Quito existen numerosas explotaciones de materiales, que se pueden diferenciar por sectores con las siguientes características:

8.1.1. Sector Norte de la ciudad

Este sector incluye la zona de San Antonio de Pichincha y de la Panamericana norte junto al río Guayllabamba.

En San Antonio de Pichincha existen 31 canteras que producen agregado (ripio) y arena, pero debido a problemas ambientales, se han clausurado 19 canteras. Explotan material volcánico, de buena calidad, aunque pueden contener estratos pumíticos o tobáceos de materiales menos resistentes.

La cantera ubicada en la Panamericana norte junto al río Guayllabamba explota depósitos aluviales de origen volcánico. Es de propiedad del Cabildo Metropolitano. Los agregados que se obtienen se emplean tanto para hormigón asfáltico como hidráulico por lo que es muy recomendable.

8.1.2. Sector Oriental-Valle de Tumbaco

En esta zona se encuentra la cantera Pifo (Disensa) perteneciente a la empresa Holcim. El material corresponde un flujo de lava, con transición a brecha. La brecha es una escoria de mala calidad, pero la lava es masiva y muy competente. Se encuentra a unos 30 km de distancia de la traza por una carretera de primer orden, en la vía Papallacta. El volumen estimado es de diez millones de metros cúbicos. Esta explotación también resulta apta para su aprovechamiento.

8.1.3. Sector Oriental-Valle de los Chillos

En esta zona se ha seleccionado las canteras activas de Pintag que explotan el flujo de lava del Antisana en Yana Urco o quebrada el Golpe, es un flujo muy masivo y competente. Esta cantera es la recomendada por el Municipio Metropolitano de la ciudad para proyectos viales. El acceso es mediante una carretera de primer orden hasta Pintag y con características de tercer orden en el tramo final. Se encuentra a unos 30 km de Quito (el Trebol) en la vía Laguna de la Mica. El volumen estimado es de diez millones de metros cúbicos.

8.1.4. Sector Occidental de Quito

La cantera seleccionada se ubica cerca de la población de Lloa. Se encuentra a unos 15 km de la zona de Quitumbe al comienzo del trazado. Se desconoce el volumen de reservas.

8.1.5. Resumen de canteras seleccionadas

Al final del presente documento se adjunta el apéndice 11 con una ficha con los principales datos de cada cantera seleccionada:

Tabla 22. Canteras Seleccionadas

Cantera	Ubicación	Material	Distancia a traza (km)
Cantera San Antonio-Mitad del Mundo	Sector norte. San Antonio de Pichincha	Depósitos piroclásticos	30
Cantera Guayllabamba	Sector norte. Guayllabamba	Gravas y arenas aluviales de origen volcánico	14
Cantera Pifo	Sector Oriental-Valle de Tumbaco. Pifo	Andesita dacita y brechas	27
Mina de Pintag (Yana Urco)	Sector oriental –valle de los Chillos. Pintag	Andesitas y dacitas	30
Cantera Lloa	Sector occidental. Lloa	Depósitos piroclásticos	15

8.2. Plantas de suministro

Las principales explotaciones de hormigón de los alrededores de Quito son:

Tabla 23. Plantas de suministro seleccionadas

Empresa	Planta	Distancia al punto medio traza (km)	Cantera utilizada
Mezclalista	Bartolomé Sánchez N71-116 y José Enrique Guerrero	16	Guayllabamba
Metrhorm.	De las Avellanas lote 34 y Av. Eloy Alfaro	16	Guayllabamba, Mitad del Mundo, Pifo
Hormigonera de Quito	Av. Libertador Simón Bolívar y Vía Interoceánica km 4 1/2	P.Norte: 4 km P.Sur: 6 km	
Holcim	P. Sur. Ayapamba y Manglaralto P. Norte: Manuel Zambrano 200	P.Sur: 3 km P.Norte: 20 km	Pifo
Hormasa	De las Avellanas E2 147 y los Cipreses	16	

A continuación, en el Apéndice 11 se adjunta una ficha de cada planta de suministro con los datos más relevantes de las mismas.



APÉNDICES

