



Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legal, de riesgos, técnico y financiero

Entregable 4
Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte
Anexo A

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Sección Modificada	Observaciones
A	18-02-2022	-	Versión Inicial
B	08-03-2022	10.18.1.1; 10.18.1.2; 10.18.1.3; 10.18.1.4; 10.18.1.5; 10.18.1.6; 10.18.1.7	Según comentarios EGIS, EMB y FDN
C	05-05-2022	-	-

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

J. C. Pantoja 18-05-2022
Director de estructuración

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Revisó: O. Véliz 05-05-2022	Revisó: F. Faria 05-05-2022	Revisó: C.L. Umaña 05-05-2022	Aprobó: J.M. Martínez 05-05-2022
VoBo. Director Técnico	VoBo. Director Financiero	VoBo. Director Legal	VoBo. Director General de Estructuración

TABLA DE CONTENIDO

DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO	8
10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN	8
10.18. TÚNEL	8
10.18.1. Túnel - Obras civiles	8
10.18.1.1. Antecedentes	8
Planteamiento inicial	8
Aspectos claves para los diseños de factibilidad	13
Opciones	13
Proceso de definición de las opciones	13
Criterios de diseño	14
Resultados del análisis de opciones	17
Tipología Mono Túnel frente a Tipología Bitunnel.	17
Análisis de Capex	17
Análisis de Opex	17
Corredor ALO - Comparación constructiva en Túnel con Máquina EPB frente a sistema soterrado o túnel en trinchera	18
10.18.1.2. Características de la solución técnica adoptada	19
Información de referencia	20
Normas o estándares de Referencia	21
Guías de diseño o publicaciones de referencia	21
Criterios de diseño	21
Programas informáticos a utilizar para los cálculos	22
Trazado en planta	22
Perfil longitudinal	24
Secciones constructivas del túnel	24
Pozos de entrada y salida de la máquina EPB.	26
Pozos de evacuación ventilación y bombeo	32
10.18.1.3. Caracterización geotécnica	35
Investigaciones geotécnicas	36
Perfil geotécnico	46
10.18.1.4. Proceso constructivo del Túnel	46
Sistema con máquina EPB	47
Parámetros y conceptos relevantes para la evaluación del tipo de máquina.	50
10.18.1.5. Diseño de dovelas	57
10.18.1.6. Análisis de subsidencias	59
Métodos analíticos	59
Modelación numérica	62
10.18.1.7. Tratamientos del terreno	68
10.18.1.8. Instrumentación geotécnica	72

10.18.1.9. Presentación de los costos de la solución técnica propuesta	75
Costos de inversión (capex)	75
Estimativo de cantidades de obra para el túnel	75
Costos operativos (opex)	76
10.18.1.10. Conclusiones	76
10.18.1.11. Anexos	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Secciones tipo y sistemas constructivos según estudio de prefactibilidad - Egis Steer (2021)

Tabla 2. Comparación de presupuestos totales. Esquema bitubo vs. esquema monotubo

Tabla 3. Presupuesto comparativo L2MB. Corredor ALO

Tabla 4. Ubicación de estaciones, tramo subterráneo y elevado de L2MB.

Tabla 5. Características del pozo de entrada.

Tabla 6. Características del pozo de salida.

Tabla 7. Pozos de evacuación, ventilación y bombeo

Tabla 8. Análisis de estabilidad para el pozo de entrada.

Tabla 9. Análisis de estabilidad para el pozo de salida.

Tabla 10. Resumen de investigaciones geotécnicas ejecutadas Fase 1.

Tabla 11. Cantidades de ensayos de laboratorio ejecutados del proyecto Línea 2 Metro Bogotá y de proyectos tomados como referencia.

Tabla 12. Áreas de aplicación y selección de máquinas EPB- Fuente: DAU(ITAS/AITES) -2022

Tabla 13. Estimativo de revoluciones, fuerzas de corte media y normal, empuje, torque y potencia

Tabla 14. Presión en el frente de la tuneladora

Tabla 15. Estimación de requerimiento de empuje de máquina según (JSCE 2007)

Tabla 16. Estimativo de la potencia total de la máquina

Tabla 17. Resumen de datos de la máquina tuneladora estimada

Tabla 18. Resumen de estimativo de asentamientos, desplazamientos horizontales (strain en %) y ángulos de distorsión angular

Tabla 19. Parámetros del modelo constitutivo aplicado

Tabla 20. Tratamientos tipo para mejoramiento del terreno.

Tabla 21. Tratamientos previstos a lo largo de la Línea 2 del Metro de Bogotá

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sección Tipo Bi-túnel. Fuente: Egis-Steer(2021)

Figura 2. Sección Típica túnel entre pantallas o soterrado- Fuente : Egis - Steer (2021)

Figura 3. Tipologías de túnel analizadas

Figura 4. Localización general del trazado de la L2MB

Figura 5. Sección constructiva del túnel. Trenes sin peralte.

Figura 6. Ubicación en planta del pozo de entrada.

Figura 7. Sección transversal pozo de entrada.

Figura 8. Planta. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas

Figura 9. Cortes. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas.

Figura 10. Excavación de pantalla preexcavadas. Cut & Cover. Método invertido.

Figura 11. Ubicación en planta del pozo de salida.

Figura 12. Sección transversal pozo de salida.

Figura 13. Pozos de evacuación, ventilación y bombeo. Planta y sección transversal.

Figura 14. Localización del trazado de L2MB en la Microzonificación Sísmica de Bogotá y la ubicación de las zonas para la caracterización.

Figura 15. Ubicación en planta de las investigaciones geotécnicas en el trazado de L2MB.

Figura 16. Variación de parámetros en las zonas homogéneas planteadas. Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Carta de plasticidad, diferenciando para cada zona homogénea.

Figura 18. Carta de plasticidad, Zona Homogénea 1, muestras entre 30.0 y 40.0 m.

Figura 19. Distribución de tipos de suelo en la Zona Homogénea 1 - muestras entre 30.0 y 40.0 m

Figura 20. Carta de plasticidad, Zona Homogénea 2, muestras entre 25.0 y 35.0 m.

Figura 21. Distribución de tipos de suelo en la zona homogénea 2 - muestras entre 25.0 m y 35.0 m

Figura 22. Distribución de tipos de suelo en la Zona Homogénea 3 - muestras entre 25.0 m y 35.0 m

Figura 23. Distribución de tipos de suelo en la zona homogénea 3 - muestras entre 22.0 m y 32.0 m

Figura 24. Comparación de los perfiles de índices de clasificación.

Figura 25. Granulometría de los terrenos y aplicación a los escudos EPB (Tobergte & Curtis, 2013).

Figura 26. El principio de funcionamiento de EPB Shield

Figura 27. Rangos de aplicación de la EPB y condicionantes del terreno

Figura 28. Detalles de la forma de aplicación de espumas u otros componentes condicionantes del terreno

Figura 29. Rangos de aplicabilidad de la máquinas EPB y condicionantes del terreno

Figura 30. Modelo tipo frame de análisis del túnel

Figura 31. Diagrama de momentos flectores en el anillo (kN-m)

Figura 32. Diagrama de axiles (kN)

Figura 33. Acero de refuerzo requerido para las dovelas

Figura 34. Comparación de cubeta de asientos entre Loganathan y Poulos versus Taylor y Grand

Figura 35. Análisis de subsidencias asentamientos y desplazamientos horizontales - Brazo Humedal Juan Amarillo

Figura 36. Geometría del modelo de análisis

Figura 37. Detalle del escudo y anillo de dovelas , como del gap detrás de la cola del escudo.

Figura 38. Malla de elementos finitos del suelo en la zona del túnel, considerando un plano de simetría por el eje del túnel.

Figura 39. Presión de frente (izquierda) y presión de poros (derecha), en MPa, para un túnel a 20 m de cobertura.

Figura 40. Deformaciones en el suelo y dovelas como resultado de la excavación al haber avanzado 38 m de la frontera del modelo.

Figura 41. Resultados del análisis de sensibilidad de asentamientos para varias profundidades de implantación a la clave del túnel

Figura 42. Desplazamientos horizontales para varias profundidades a la clave del túnel.

Figura 43. Curva de asientos con Modelo FEM 3D para profundidades máxima, mínima y promedio- 2% pérdida de volumen

Figura 44. Desplazamientos horizontales para profundidades máximo, mínimo y promedio - 2% pérdida de volumen.

Figura 45. Valores de strain(%) horizontal frente a distancia x del eje del túnel

Figura 46. Tratamiento A: Mejoramiento del terreno con Jet Grouting.

Figura 47. Tratamiento B: Mejoramiento del terreno con inyecciones de fracturación.

Figura 48. Tratamiento C: Mejoramiento del terreno con taladros cortos de inyección de mortero.

Figura 49. (Izquierda) Tratamiento D: Barreras de columnas de Jet Grouting. (Derecha) Tratamiento E: Barreras de pilotes de mortero.

Figura 50. (Izquierda) Tratamiento F: Barreras de micropilotes - encamisado acero. (Derecha) Tratamiento G: Barreras de micropilotes - prefabricados.

Figura 51. Planta tipo de instrumentación requerida para el túnel.

Figura 52. Sección tipo de instrumentación del túnel.

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO

10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN

10.18. TÚNEL

10.18.1. Túnel - Obras civiles

10.18.1.1. Antecedentes

Planteamiento inicial

La Línea 2 del Metro para Bogotá, previsto en los estudios de prefactibilidad consistió en una infraestructura mixta mediante la incorporación de dos (2) tipologías de metro: subterráneo y elevado, con una longitud de 15.8 km aproximadamente. La línea contempló además una cola de maniobras en su extremo oriental, y 11 estaciones y un patio taller, discurriendo por los corredores de la Calle 72, Avenida Ciudad de Cali, reserva vial ALO y la extensión de la Avenida Transversal de Suba. El K0+000 se localizó en la Calle 72, a 60 m al oriente de la Carrera 7. En dicho sector se contempló una cola de maniobras en tipología subterránea, donde se realizarían maniobras de retorno, con sus respectivos cambiavías y una zona para parqueo con capacidad para albergar tres trenes, todo ello con el fin de permitir una adecuada operación de la SLMB.

Desde el punto de vista de marco geológico los estudios consideraron que la Línea 2 del Metro de Bogotá estará comprendida en dos formaciones de sedimentos principalmente: La Formación Sabana y La Formación Chía. La Formación Sabana según el esquema de recorrido de la Línea de Metro ocuparía la mayor parte del recorrido, cerca del 98%, representada por materiales de arcillas, arcillas limosas con trazas orgánicas e inter laminaciones de limos y turbas, de génesis fluvio lacustre y aluvial respectivamente. Esta formación a lo largo del trazado tiene espesores mayores a los 200 m. La Formación Chía se haría presente exclusivamente en el cruce de los humedales de Juan Amarillo, en los bordes de cauces menores, y cerca del río Bogotá. Esta formación estaría compuesta por depósitos constituidos por sedimentos fluviales de grano fino que afloran a lo largo de los ríos principales, que generalmente están por debajo de las llanuras de inundación.

Para propósito de caracterización de los materiales a lo largo del trazado de la Línea 2 del Metro de Bogotá, el trazado fue dividido en tres zonas denominadas I, II y III que se describen a continuación:

- Zona I comprendida entre el K0+000 al K0+450 de la L2MB, ubicada en el sector de la cola de maniobras, la cual estaría compuesta por materia orgánica, con suelo limo-arcillosos o rellenos en la parte superficial, con un espesor del orden de 2 m y depósitos coluviales, con clastos de arenisca en matriz areno-arcillosa, no plástico en una profundidad que podría variar de los 2 m a 25 m. En esta zona se indicó que podían presentarse condiciones excepcionales en cuanto a la excavabilidad del material y los potenciales requerimientos de los métodos de excavación. Se menciona en la información de prefactibilidad que en términos generales el material en la zona

difiere de la condición de material matriz-soportado, con la presencia de clastos. Se indica además que la humedad del material puede estar cercana al 22% y los índices de plasticidad en promedio podrían ser del 17%.

- La zona II, definida desde K0+450 a K7+900 de la L2MB, y comprendida en el sector entre la Estación 1 y la Estación 6 - tramo del corredor de la Calle 72. En esta zona se reportó material de relleno antrópico y suelo con contenido orgánico de medio a alto en una profundidad entre 0,0 m a (1,20 - 3,0 m). De los (1,20 - 3,0 m) a (32,0 m - 40,0 m), se reportaron arcillas limosas y ocasionalmente arenas limosas, con humedad media a alta y plasticidad alta a muy alta. También se mencionó que la compresibilidad podía ser muy alta. De los 40,0 m a los 80,0 m, se menciona la presencia de arcillas con bajos contenidos de limos, con humedad media y plasticidad media a alta. El perfil del subsuelo es relativamente homogéneo, con altos contenidos de humedad, con valores máximos de hasta 216% y en promedio 102%, siendo decrecientes en profundidad. El comportamiento del material fue considerado ser muy plástico, con un índice de plasticidad promedio del 96%.
- La zona III, fue establecida desde K7+900 (cercano a la Estación 7) a K15+760 (cercano a la Estación 11) de la L2MB, es decir, el tramo del trazado que va por la Av. Ciudad de Cali hasta el Patio taller. En este sector entre los 0,0 m y (0,70 a 2,40 m), se previó material de relleno antrópico y suelos de contenido orgánico de medio a alto. Luego se consideró desde los (0,70 m - 2,40 m) a los 22,10 m de profundidad, una arcilla con bajos contenido de limos y con humedad de alta a muy alta, con plasticidad alta a muy alta. El perfil del subsuelo en esta zona fue considerado relativamente homogéneo, compuesto por arcillas o arcillas con bajo contenido de limos, con un nivel del de plasticidad (en promedio del 98% del índice de plasticidad) y con humedades altas (en promedio del 103%, con picos de hasta 242 %). En esta zona se presentan humedales, que se asocian con posible susceptibilidad a cambios de volumen por alta compresibilidad de los suelos y a la alta humedad respectivamente.

El estudio de prefactibilidad concluyó que el túnel del metro tendría que ser excavado en suelos blandos, por lo que se podrían construir con máquina tuneladora de presión de tierra balanceada en el frente (EPB). Además se indicó que existen a nivel mundial como local (p.e interceptores de la EEAB), algunas experiencias exitosas construidas en materiales de suelos con similares características con este sistema constructivo. Se menciona en el estudio que se podrían requerir también tratamientos especiales ocasionales, en sitios más blandos, para evitar o controlar cabeceos o desviaciones de la máquina ante presencia de contrastes marcados de rigidez. En esta parte es importante destacar que hacia la cola de maniobras dependiendo de la presencia de materiales mixtos como son: gravas o arenas y arcillas, sería necesario revisar el tema de la EPB o de una máquina mixta que también pueda trabajar como SPB (Slurry Pressure balance), analizando la granulometría y el tamaño de posibles cantos de roca.

Los estudios de prefactibilidad como los complementarios realizados por la Empresa Metro de Bogotá(EMB) realizaron un análisis multicriterio para establecer cuál de las dos opciones; sistema Bitúnel o Monotúnel debería ser implementado en la L2MB(Línea 2 del Metro de Bogotá). Un análisis multicriterio con siete criterios principales analizados por la Prefactibilidad (Egis Steer 2021), que luego fueron complementados y revisados por EMB, incrementando estos a 8, denominados; 1) obra civil/ estructuras subterráneas, 2) plan de obras, 3) Estaciones subterráneas, 4) Explotación comercial de Metro, 5) Riesgos constructivos, 6) Evacuación de emergencia, y 7) Adquisición predial y 8) análisis del Tramo Av. Caracas Estación E1. En cada uno de estos criterios se generaron varios subcriterios. El informe de prefactibilidad concluyó que cualquiera de las dos tipologías de infraestructura subterránea estudiadas propuestas podían ser perfectamente válidas, dando como recomendación continuar con la tipología de Bitubo ya que según el análisis reunía más ventajas que la opción mono túnel, conclusión que luego fue ratificada por el estudio complementario de matriz multicriterio realizado por la EMB aclarando que las diferencia en la valorización entre una ambas tipologías era muy pequeña.

Respecto a la secciones tipo, el estudio de prefactibilidad indicó que el sistema sería con un esquema bitúnel para ser excavado con dos máquinas TBM (Tunnel Boring Machine) bajo la denominación EPB (Earth Pressure Balance). Se menciona que se consideraron dos túneles (uno por cada vía), con radio de 3.085m y un espesor de pared de 0.425 m (con un espesor de dovelas prefabricadas de 0.30 m), para un diámetro de estructura de 7 m, con una separación entre

túneles de 7 m. Véase Figura 1. Está tipología fue planteada con un recubrimiento mínimo de una vez el diámetro del túnel a superficie y como máximo de dos veces el diámetro.

Como aspectos funcionales y geométricos en dicho estudio de prefactibilidad, se definió: la velocidad de diseño (de 90 km/h), parámetros en planta y alzado del sistema Metro (Pendiente máxima de 4%, radio de curvatura para velocidad de 90 km/h, de 400 m, ancho de vía de 1435 mm, parámetros funcionales, características del material rodante (longitud total máxima del tren (6 o 7 coches), de 145 m, ancho de tren 2.90 m, altura máxima desde la cabeza del riel al techo del tren de 3.90 m, radio mínimo horizontal de 200 m, radio mínimo vertical de 1000 m, parámetros para el diseño vial urbano, gálibos entre otros.

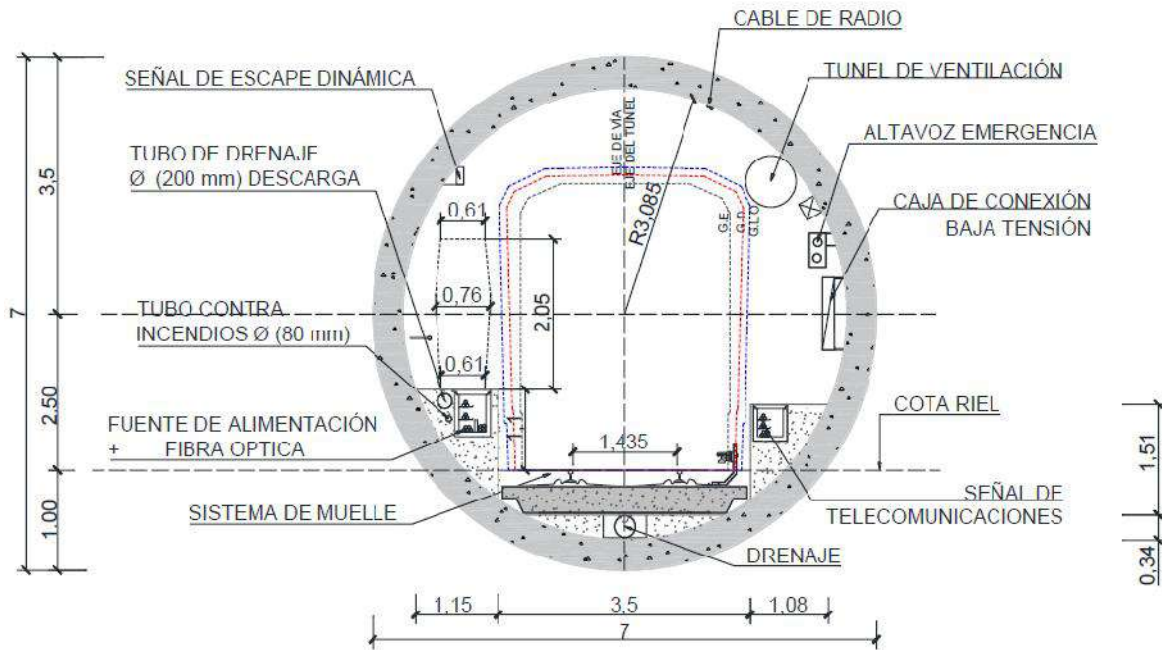


Figura 1. Sección Tipo Bi-túnel. Fuente: Egis-Steer(2021)

Además los estudios de la prefactibilidad plantearon un tramo de línea con pantallas, como único túnel para doble vía, el cual aplicaba para el tramo de túnel sobre el corredor de la ALO; así como en la cola de maniobras (inicialmente) y sector entre estación No. 1 y deprimido proyectado de la PLMB. El ancho de la sección de esta tipología fue de 10.40 m y con una cota riel de 6 m respecto al nivel de terreno existente, conservando un gálibo vertical de 5 m en el tramo de la ALO y en la cola de maniobra, la cota riel se desarrolló a una profundidad que varió desde 23 m y 38 m de profundidad respecto al terreno existente. En la Figura 2, se presenta un detalle de la sección típica para el túnel soterrado.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

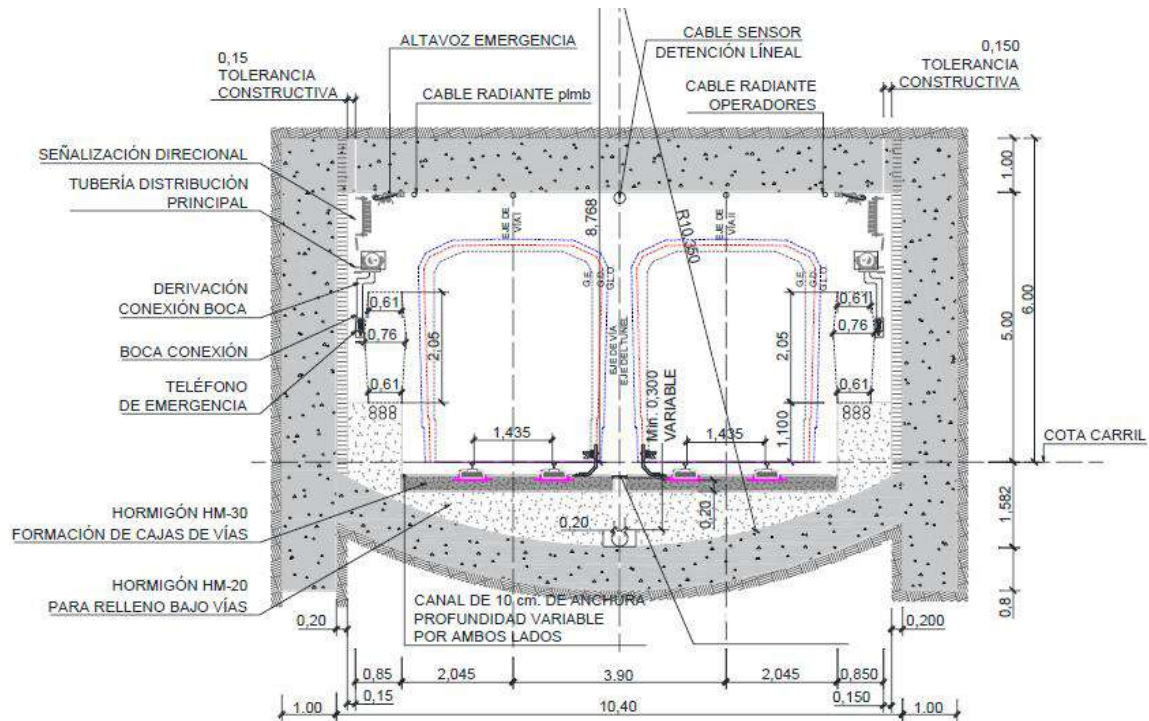


Figura 2. Sección Típica túnel entre pantallas o soterrado- Fuente : Egis - Steer (2021)

En la Tabla 1, se presenta un resumen de las secciones tipo y métodos constructivos que fueron adoptados en los estudios de prefactibilidad.

Tabla 1. Secciones tipo y sistemas constructivos según estudio de prefactibilidad- Egis Steer (2021)

PK Inicio	Pk final	Tipo de sección Metro	Método constructivo
00+000	00+791	Túnel entre pantallas	Trinchera cubierta
00+791	12+291	Túnel-bitubo	TBM
12+291	15+056	Túnel entre pantallas	Trinchera cubierta superficial
15+056	15+760	Viaducto	Vanos prefabricados

La Empresa Metro de Bogotá (EMB), en 2021 realizó algunos estudios complementarios relacionados con el sector de la cola de maniobras, donde el estudio de prefactibilidad había previsto realizar dicho tramo con el sistema en trinchera con pantallas preexcavadas, cuya profundidad fue prevista de ~25 m y ~40 m, aumentando a medida que el trazado se desarrollaría hacia el final de la cola de maniobras, es decir hacia el oriente. Debido a que el planteamiento de la prefactibilidad interfería con dos obras relevantes del corredor verde y la PLMB, se propusieron dos alternativas para su posible ejecución; 1) Profundizar la Estación 1 de la L2MB y que estas fuera usada como pozo de recepción de las tuneladoras, y 2) Construir la cola de maniobras con métodos convencionales. De estas dos opciones la primera fue descartada debido a que en la solución con Bitunel, se requeriría una solución de excavación sesgada entre tubos con implicaciones importantes en el mejoramiento del terreno para poder ser completada, además se requeriría la construcción de un pozo de recepción ubicado entre las Cra 7 y 5 (en una zona de edificios altos) teniendo que pasar

por debajo del Corredor Verde(deprimido de la Cra 7), y por otro lado al ser excavado el tramo con la sistema EPB en materiales mixtos, se requeriría modificaciones o ajustes de la máquina.

En el segundo caso analizado la cola de maniobras fue considerada con métodos de excavación convencionales(Sistema NATM (New Austrian Tunnelling Method), en donde se mencionó que está opción presentaba ciertas ventajas como fueron; adaptabilidad a las condiciones de terreno, como posible ampliación de la zona de parqueo (mayor a 3 trenes), con una desventaja relativa a los rendimientos de excavación que podían ser esperados con dicho sistema (es decir podían ser muy bajo). Está última solución para la cola de maniobras fue la que se estableció finalmente en los estudios de prefactibilidad.

Con la propuesta de realizar el tramo de la cola de maniobras con sistema de excavación convencional quedaba claro que se estaría incrementando el costo y el tiempo y el tiempo de construcción por lo que este aspecto debía ser revisado en la definición de las soluciones para este sector y contemplando cualquiera que sea el sistema final adoptado mono o bitunel.

Por otra parte a lo largo del trazo de la L2MB(Línea 2 del Metro de Bogotá), se establecieron varios sitios singulares que debían ser analizados con más detalle como fueron; a) paso por donde se cruza el canal Cafam en la zona de la ALO, b) El paso del Brazo del Humedal Juan Amarillo, c) El paso por debajo del canal Salitre y Canal Arzobispo, d) El paso por debajo de la tubería de de acueducto de 72” ubicada en la AV. Boyacá, como la de 24” en la Cra 29, e) el paso por debajo del Deprimido en las obras previsto debajo de la Av. Caracas de la Línea 1 del Metro de Bogotá y f) tramo de la cola de maniobras en la Calle 72 arriba de la Av. Caracas, todas ellas requiriendo de una análisis más detallado, con miras a establecer medidas o tratamientos del terreno para reducir los impactos tanto en superficie como durante la construcción del túnel.

Finalmente del estudio de prefactibilidad (Egis Steer, 2021) se sintetizaron las siguientes conclusiones:

- Es viable la construcción de la L2MB con sistema EPB (Earth Pressure Balance) a lo largo de todo el trazo, con la verificación de dicho sistema en la zona de cola de maniobras.
- La tipología Bitunel podría impactar en mayor grado el corredor del trazado de la Línea de Metro por ser una solución más superficial que en la tipología Monotubo, y por tener estaciones cuyos anchos sobrepasan el corredor existente impactando las estructuras y/o cimentaciones de esas construcciones.
- El trazado planteó pasar por debajo del canal Arzobispo a una profundidad de 7 m, donde se detecta muy baja cobertura. En este sector se haría necesario revisar el tema de subsidencia y establecer medidas de pretratamientos del terreno en caso de ser necesario.
- El paso por debajo de la red matriz del acueducto de Tibitoc de 78” en la Av. Boyacá, a menos de 1 diámetro de cobertura constituyó otro de los sitios críticos que debía ser revisado desde el punto de vista de análisis de subsidencia y redefinición de ubicación del túnel como de medidas de pretratamiento del terreno para reducir los impactos en desplazamientos.
- En la zona de paso de la Línea de Metro por debajo del canal Salitre, correspondió con otro tramo donde se pasa con baja cobertura (cerca de los 4 a 7 m). En esta zona se debía pasar a mayor profundidad para impactar en menor grado la estructura del canal, así como definir en caso de ser necesario pretratamiento del terreno para reducir asentamientos.
- En la zona del brazo del Humedal Juan Amarillo, el trazado previó pasar a una cobertura del orden de 12.60 m. En esta zona se requerirá profundizar aún más la línea, revisando el efecto de asentamientos y determinando si será necesario aplicar alguna otra medida de mitigación p.e pretratamientos del terreno y control del proceso constructivo del túnel con la máquina EPB.
- El tramo 7 previsto en la prefactibilidad para ser construido con sección soterrada (con sistema Cut & Cover) en la zona de la ALO, interfiere con el trazado del canal existente Cafam, por lo que se debía buscar una opción que permita reducir o eliminar el impacto de esta obra de acueducto y alcantarillado, así como costos y tiempos e interferencias en este sector de la ciudad.

- El tramo de la cola de maniobras debía ser revisado a la luz de la tipología de túnel como a la litología que sea confirmada con el conjunto de resultados del plan de exploración geotécnica y analizando la posibilidad de realizar algunas modificaciones al sistema EPB o aplicando sistema Slurry PB o una máquina mixta.

Aspectos claves para los diseños de factibilidad

Los diseños de factibilidad relativos a la geotecnia comprenden el túnel con su sistema constructivo con características básicas del tipo de máquina, medidas de condicionantes requeridos para sortear los diferentes tipos de materiales que serán atravesados por la máquina tuneladora, galerías subterráneas para conexión con pozos como con estaciones subterráneas, pozos para la evacuación de personal en caso de emergencia que además sirven para la ventilación y bombeo, pozos de entrada y salida de la máquina tuneladora, así como los tratamientos de terreno desde superficie en sitios singulares mediante inyecciones de jet grouting, micropilotes u otros con miras a reducir asentamientos en superficie como asegurar la estabilidad del túnel. Sistema de soporte y/o revestimiento del túnel como de galerías y pozos, con el diseño de sistema de impermeabilización y drenaje. Diseño de sistema de instrumentación geotécnica para control de subsidencias a lo largo del trazado del túnel como en estaciones.

Opciones

Proceso de definición de las opciones

En el Estudio de Prefactibilidad de la L2MB, se hizo la evaluación del tipo de obra subterránea para el proyecto, considerando trinchera cubierta, túnel con tuneladora y túnel minero. De la alternativa de túnel con máquina TBM(EPB), se evaluó la aplicabilidad de la opción de una línea de metro bidireccional, con tipología monotubo, de 10 m de diámetro útil o una línea de metro con dos túneles paralelos unidireccionales (tipología bitubo), de 7,0 m de diámetro separados a un diámetro.

Para estas opciones de tipología de túnel se realizaron análisis multicriterio, los cuales consideraron los siguientes aspectos:

- Obra civil. Estructuras subterráneas
- Plan de obras
- Estaciones
- Explotación comercial del sistema metro
- Riesgos de construcción
- Evacuación de emergencia
- Compra de predios

De ese análisis la prefactibilidad concluyó que: *“El análisis desarrollado en este informe, indica que las dos tipologías de infraestructura subterránea estudiadas propuestas son perfectamente válidas (túnel monotubo y túnel bitubo). Se obtiene que la tipología de bitubo es, para este caso, la propuesta que reúne más ventajas y, por lo tanto, es la solución recomendada”.*

Por otra parte, la Empresa Metro de Bogotá (EMB), considerando la viabilidad de las dos opciones de línea de metro con monotubo o con bitubo, preparó el documento denominado *“Estudio Multicriterio para Evaluación de Alternativa Monotubo - Bitubo para la Construcción del Tramo Subterránea de La Segunda Línea del Metro de Bogotá”*, con fecha de agosto de 2021. En esta evaluación se tomaron los mismos criterios y subcriterios evaluados en el informe de

prefactibilidad de Egis-Steer, adicionando otros como fue el criterio Tramo Av. Caracas Estación n°1 L2MB, variando además la metodología de calificación de los criterios considerados.

De este análisis, EMB concluyó lo siguiente: *“El resultado de la matriz multicriterio muestra que la tipología Bitubo tiene mayores beneficios para el proyecto L2MB con un valor ponderado de 4,52/5,00. Los resultados también muestran que la tipología Monotubo es factible con una valoración ponderada de 4,17, aproximadamente 8% menor que la obtenida por la opción Bitubo”.*

Una vez revisados los análisis multicriterio previos, comparativos de tipología bitubo vs. monotubo, los resultados fueron considerados en empate técnico, lo cual hizo necesario complementar con un análisis los criterios comparativos evaluados.

MOVIUS procedió a revisar este aspecto de comparación, considerando para la toma de decisiones en la comparación de las tipologías los criterios debían ponerse en términos de costos, por lo que para esto se evaluaron los ítems de mayor peso que hacían diferencia entre las dos opciones.

Para la comparación entre tipologías, se realizó el cálculo de cantidades de obra civil para cada una de las dos tipologías, con un estimativo del presupuesto a partir de precios unitarios referenciales obtenidos de proyectos similares o del banco de datos que dispone MOVIUS para los diferentes ítems considerados. También se incluyeron en el análisis los costos de las máquinas EPB y su equipo periférico adicional y otros costos como fueron servicio y mantenimiento, de acuerdo con datos de las cotizaciones suministradas por los fabricantes de este tipo de máquinas como fueron Herrenknecht y Robbins respectivamente.

De los análisis realizados, la opción monotubo resultó ser un 11,5% más económica que la opción bitubo, sin considerar otros aspectos que podrían incrementar la diferencia a favor de la opción monotubo como fueron: a) reducción de las adquisiciones prediales y los costos de relocalización de redes evitados debido a la reducción del ancho entre paramentos en las estaciones monotubo como su ubicación a mayor profundidad; c) el consecuente riesgo en plazo inherente a los dos anteriores; d) y el CAPEX de todos los sistemas radiantes, los cuales van a requerir doble cantidad de dispositivos en la opción bitubo, dado que en la opción monotubo irradian todo el espacio desde un solo eje (radio CBTC, Tetra, instalación contra incendio, entre otros).

Otros aspectos adicionales al presupuesto que fueron observados en este análisis fueron los siguientes; a) existe mayor experiencia en la región (centro y latinoamérica) más casos de tipología monotubo que bitubo, b) en la opción bitubo, se debe disponer de cambiavías excavados desde superficie, lo que impacta en mayor grado las zonas desde el punto de vista predial-social.

De acuerdo con los análisis realizados y presentados en el informe "Análisis Tipología de Túnel Monotubo versus Bitubo, y Tipología prevista en el tramo ALO, Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-GEO-EV-0002 y socializado ante EMB, FDN y EGIS, se consideró más conveniente para el proyecto construir la L2MB con una tipología monotubo.

Criterios de diseño

Los principales criterios de diseño que fueron tomados en cuenta para la definición de estas opciones se describen a continuación.

Tipología monotubo:

- Las estaciones son más estrechas pero más profundas.
- Los enlaces entre vías se hacen dentro del túnel sin más requerimientos.
- No requiere de obras singulares (Cajas de Cut & Cover de conexión) para disponer los enlaces entre vías. Estas excavaciones son de difícil inserción y construcción, y de alto costo; por lo que resultan inviables.
- A igualdad de condiciones de operación, es más económico el mono túnel que el bitubo.
- Un diseño de túnel de un solo tubo da lugar a un diseño de estación de andén lateral.

Tipología con bitubo:

- La inserción urbana de los túneles es más flexible por ser más pequeños e independientes entre sí.
- La inserción urbana de las estaciones es más flexible.
- Permite realizar hemi-estaciones.
- Permite desfazar longitudinalmente las hemi-estaciones.
- Por regla general, el diseño de un túnel de dos tubos da lugar a un diseño de estación de plataforma central. Desde el punto de vista funcional, la combinación de un andén central con una configuración de doble tubo tiene la ventaja de compartir el espacio y proporcionar una zona común para los pasajeros en el andén, independientemente de la dirección en que viajen. Sin embargo, este reparto del espacio puede causar problemas en caso de tráfico intenso con flujos cruzados. Además, la configuración central obliga a separar los túneles y, por tanto, las vías, lo que da lugar a curvas que repercuten en la velocidad comercial.

Desde el punto de vista de supuestos del análisis de las opciones Mono y Bitúnel se consideraron los siguientes aspectos:

a) criterios o supuestos para los túneles

- Diámetro externo de la opción bitubo - 7 m; Diámetro externo monotubo - 10 m.
- Separación de túneles entre paredes para el caso bitubo: 7 m (1 diámetro).
- Excavación con sistema EPB; Una máquina para la opción monotubo; 2 máquinas para la opción bitubo.
- Espesor de dovelas para la opción bitubo de 0.325 m; espesor dovelas para la opción monotubo de 0.40 m, estimados según información de proveedores de las máquinas (Herrenknecht), así como con cálculo aproximado para condición de profundidad a 1.5 D a la clave y con nivel freático en superficie.
- Cuantía de acero de refuerzo para las dovelas de 90 kg/m³, adoptada según experiencias similares de metros subterráneos, con diámetros similares y materiales del subsuelo parecidos.
- Gap (asumido para inyecciones de contacto) en la zona de escudo de 2.5 cm para opción bitubo y del orden de 3.5 cm para monotubo, y del orden de 15 cm en la cola del escudo.
- Profundidad de implantación a la clave, 1.5 D (D = diámetro), es decir para la opción bitubo a 10.5 m y para la opción monotubo a 15.0 m, con el fin de reducir asentamientos y anchos de cubeta de asientos y para tener un mejor efecto de arqueado del material sobre los túneles.
- Hormigón prefabricado para las dovelas de 35 MPa.
- Otros concretos convencionales = 21 MPa.
- En la contrabóveda de las opciones bitubo y monotubo se consideró una losa de concreto de 30 cm y un relleno en concreto.

Detalles de los esquemas considerados para el análisis fueron los indicados en la Figura 3.

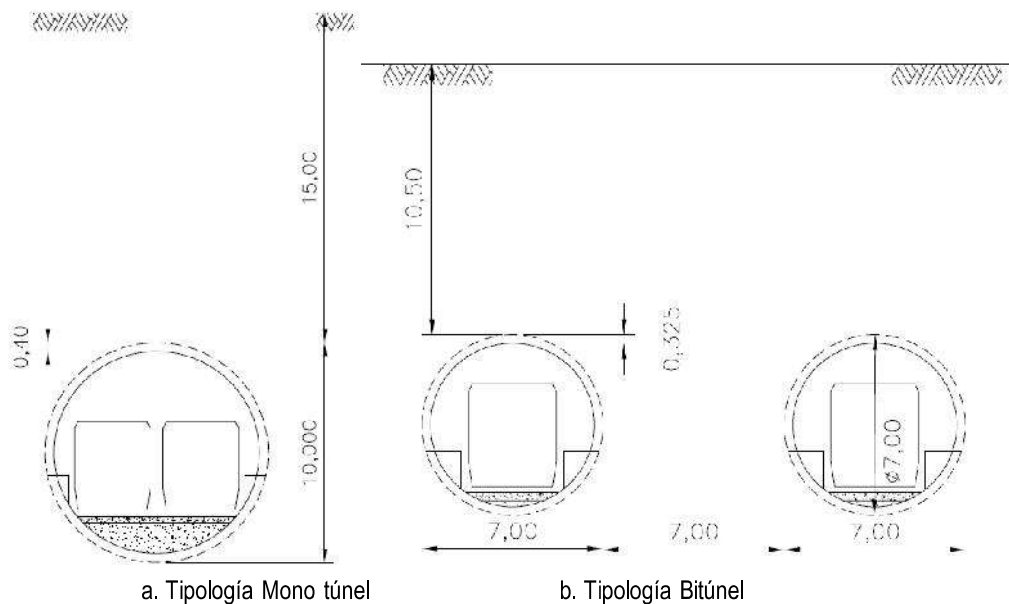


Figura 3. Tipologías de túnel analizadas

b) Criterios para pozos y galerías

- Galerías de interconexión entre túneles para evacuación de emergencia (opción bitubo), cada 250 m para cumplir Norma NFPA-130.
- Para la opción monotubo, pozos laterales de evacuación cada 760 m para cumplir con norma NFPA, y galería de conexión entre el pozo y el túnel.
- Longitud de galerías de interconexión para bitubo de 7 m (1 diámetro), y de 4,90 m para galerías de conexión con pozos de evacuación en la alternativa monotubo.
- Longitud de pozos de evacuación (opción monotubo), 21,7 m (a altura de andén).
- Diámetro de galería de interconexión 3,40 m, espesor total de concreto de 0,40 m.
- Pozos de evacuación (opción monotubo) de 5,20 m - espesor total soporte y revestimiento= 0,60 m.
- Acero de refuerzo para revestimiento en concreto convencional con cuantía de 65 kg/m³.
- Pretratamientos en las galerías de conexión antes de excavar, p.e. con enfilajes y sistemas de inyecciones.

C) Criterios o supuestos para las estaciones

- Longitud de estación, 160 m.
- Ancho de estaciones. Para bitubo, 30,0 m. Para monotubo, 9 estaciones de 26,0 m de ancho, y una de 23,0 m de ancho con accesos exteriores (estación Av. Caracas).
- Cotas riel a 14,50 m (bitubo), y 21,0 (monotubo).
- Profundidad de pantallas, 1,5 veces la altura libre, es decir 22,0 m para la opción bitubo y 31,0 m para la opción monotubo.
- Espesor de pantallas de 1,0 m en promedio.
- Acero de refuerzo a las pantallas 140 kg/m³.
- Concretos convencionales en la cubeta o infraestructura inferior.
- En la opción monotubo las estaciones dispondrán de andenes laterales. En el caso de la opción bitubo las estaciones dispondrán de andén central.
- Se consideraron mezanines intermedios con losas de 1,0 m de espesor y cuantía de acero de 100 kg/m³.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

- En la opción monotubo el tren puede retroceder por aparatos de vía dentro del túnel. En la opción bitubo se requieren recintos entre los dos túneles y la longitud de vía para los cambios. Para estos recintos, es necesario excavar pantallas preexcavadas desde la superficie. Para el caso de la L2MB, de acuerdo con el esquema funcional de prefactibilidad, se tienen previstos 10 cambiavías, de los cuales 7 serían subterráneos, y en donde se requieren pantallas preexcavadas para su construcción con sistema Cut & Cover.
- De acuerdo con lo anterior, para el desarrollo de los enlaces simples se estima una longitud de cambiavías de 110 m y de 200 m para cambiavías dobles. Por otra parte, se estima que se requiere un ancho de pantalla útil de 23 m.

Resultados del análisis de opciones

Tipología Mono Túnel frente a Tipología Bitunnel.

Análisis de Capex

Una vez valorados los diferentes elementos en cantidades y costos se obtuvo el siguiente resumen de comparación en Capex frente a la tipologías Monotúnel y Bitunnel respectivamente.

Tabla 2. Comparación de presupuestos totales. Esquema bitubo vs. esquema monotubo

CAPÍTULOS	COSTO US\$	CAPÍTULOS	COSTO US\$
COSTO EXCAVACIÓN Y SOPORTE TÚNEL	\$ 316.803.649	COSTO EXCAVACIÓN Y SOPORTE TÚNEL	\$ 311.061.741
GALERÍAS DE CONEXIÓN	\$ 4.779.285	COSTO GALERÍAS Y POZOS DE ESCAPE	\$ 5.353.629
COSTO MÁQUINA EPB	\$ 60.835.980	COSTO MÁQUINA EPB	\$ 47.496.200
COSTO MANTENIMIENTO EPB	\$ 10.646.335	COSTO MANTENIMIENTO EPB	\$ 8.311.835
COSTO CONSTRUCCIÓN ESTACIONES	\$ 157.718.170	COSTO CONSTRUCCIÓN ESTACIONES	\$ 174.223.649
COSTO CONSTRUCCIÓN CAMBIAVÍA	\$ 61.856.649	COSTO CONSTRUCCIÓN ACCESOS	\$ 2.868.064
TOTAL L2MB Bitubo	\$ 612.640.068	TOTAL L2MB Monotubo	\$ 549.315.119

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, el esquema bitubo resulta 63,3 millones de US\$ más costoso que el esquema monotubo.

Análisis de Opex

Por otra parte, respecto al análisis de opex se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

Evaluando los costos de operación y mantenimiento, la alternativa Monotúnel implica menores costos respecto a la alternativa bitúnel asociada a las siguientes actividades:

- Inspecciones de todos los sistemas.
- Vía y 3er riel.
- Bombeo.
- Comunicaciones: TETRA y Señalamiento.
- Iluminación.

Mientras que la opción Bitúnel respecto a la alternativa Monotúnel presenta menores costos de O&M en la siguiente actividad:

- Ventilación: menor energía necesaria para ventilar el mismo volumen por el efecto pistón.

Para los análisis comparativos de las opciones monotubo / bitubo se tuvieron en cuenta aspectos relativos al OPEX, indicando lo siguiente: a) que son esperables costos de operación muy similares, b) que a priori son menores los costos de operación en la tipología monotubo, y c) que aún cuando fueran mayores los costos de la tipología bitubo, su magnitud jamás alcanzaría los 8 MUSD anuales necesarios (en un flujo de fondos en 40 años con una tasa de descuento del 10%), para neutralizar la reducción de CAPEX que imprime la elección del monotubo, de 63,3 MUSD. De este análisis se concluye que los costos de la ventilación son imposibles alcanzar esos niveles de sobrecosto con lo cual se mantiene la diferencia a favor de la opción Monotubo.

Por otra parte se indicó que según la prefactibilidad, el costo total anual de operación de la L2MB es de 36,6 MUSD y el costo total anual de energía y repuestos, que es donde se vería reflejado este eventual mayor costo y que a su vez incluye la totalidad de los gastos en tracción ferroviaria más la alimentación eléctrica de las estaciones, es de 18,8 MUSD. De aquí surge que no son esperables magnitudes de costo diferencial anual de 8 MUSD, y por lo tanto no es admisible que un eventual menor costo de OPEX de variante bitubo compense y exceda las economías de CAPEX logrado por el monotubo.

Corredor ALO - Comparación constructiva en Túnel con Máquina EPB frente a sistema soterrado o túnel en trinchera

En el tramo del corredor de la ALO, en el Estudio de Prefactibilidad se previó el uso de estructuras soterradas entre pantallas de poca profundidad hasta la Estación N°10. Dado que el esquema de la prefactibilidad mostraba que habían interferencias con el canal Cafam y redes de acueducto y alcantarillado en esta zona de la ciudad, fue necesario incluir un análisis de opciones en esta parte del corredor de la L2MB.

Sobre este tema la EMB, solicitó a FDN/MOVIUS comparar el mencionado esquema de factibilidad con la alternativa de túnel excavado con máquina EPB.

Las consideraciones en este análisis fueron las siguientes:

- Para efectos comparativos, se consideró una longitud del trazado de la L2MB, a lo largo del corredor de la ALO de 1460 m.
- Se consideró que las alternativas de comparación transitan por debajo de las redes existentes con obras singulares y/o galerías, sin necesidad de remover las redes superficiales. En consecuencia, ninguna de las alternativas tiene impacto en redes y los costos están relacionados con la construcción de la obra civil.
- La alternativa con máquina EPB puede ofrecer mayor libertad de acción por cuanto el túnel se previó profundo (> 23 m) mientras que en el ejercicio desarrollado, la losa de la trinchera está relativamente superficial, es decir a

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

unos 5 m de profundidad, pudiendo limitar en alguna medida los proyectos por realizar en superficie y dependiendo de la magnitud y estructura de los mismos.

- Para la comparación se consideró la opción monotubo con máquina EPB.
- Para la alternativa soterrada, se utilizó la sección prevista en la prefactibilidad. Es decir una sección entre pantallas de 1,0 m de espesor, de 12,40 m de ancho y 8,5 m de altura desde la superficie, con una altura libre de 6,0 m. (véase Figura 2).
- De acuerdo con lo anterior, se establecieron secciones de pantalla con profundidad variable a lo largo del corredor ALO. Para efectos de estimativo de costos, se determinó un valor unitario de pantalla por metro correspondiente al promedio entre el soterrado convencional previsto en factibilidad y el túnel profundo entre pantallas.
- Para el cruce entre calles, se requeriría la construcción de un túnel con el método convencional (NATM), el cual debe quedar confinado entre pantallas transversales en la zona lateral al canal. De estas pantallas se requieren dos por cruce, excepto el cruce del canal Cafam cercano a la Estación N°10, donde solo se requiere una pantalla de confinamiento, debido a que se puede utilizar una de las paredes de dicha estación. En total, para los 7 cruces se requieren 13 pantallas transversales, de 15 m de ancho y 45 m de profundidad. La longitud total de túnel requerida para estos cruces es de 150 m.

De acuerdo con las premisas anteriores, se realizó el estimativo de costos unitarios de las trincheras profundas y de los soterrados como del costo del túnel excavado con el método NATM para los cruces de calles en el corredor ALO. El costo unitario del monotubo excavado con máquina EPB correspondió a un valor estimado del orden de 25 678 US\$/m de túnel.

En la Tabla 3, se presenta el análisis comparativo de costos entre solución con trinchera para paso a través de la ALO frente a paso mediante túnel con máquina EPB.

Tabla 3. Presupuesto comparativo L2MB. Corredor ALO

ITEM	PRECIO UNITARIO US\$	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO TOTAL US\$
TRINCHERA CORREDOR ALO	\$ 46.209	M	1.310	\$ 60.534.170
PANTALLA PARA NATM	\$ 390.825,0	UN	13	\$ 5.080.725
TÚNEL NATM	\$ 54.773	M	150	\$ 8.215.950
TOTAL TRINCHERA CORREDOR ALO				\$ 73.830.845
Monotubo túnel EPB	\$ 25.678	M	1.460	\$ 37.490.498

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, se estimó que la L2MB conformada con trincheras a lo largo del corredor ALO puede costar el doble de lo que costaría excavar el mismo tramo con un esquema monotubo con máquina EPB. Debido a esto se definió continuar en este sector con túnel EPB ubicado a una profundidad tal que no impacte las conducciones superficiales del canal como redes de acueducto.

10.18.1.2. Características de la solución técnica adoptada



La L2MB presenta una infraestructura de metro subterráneo tipo monotubo de 10.8 m de diámetro, con una longitud de 12.64 km en el tramo subterráneo y de 2.87 km en el tramo elevado, para un total de 15.51 km del trazado de la línea, la cual pasa por los corredores principales de la Calle 72, Avenida Ciudad de Cali, Avenida Longitudinal de Occidente - ALO y la extensión de la Avenida Transversal de Suba.

Información de referencia

La siguiente información de referencia fue utilizada para realizar el estudio para el aval técnico de las obras subterráneas del proyecto.

- Diseño geotécnico – deprimido vehicular calle 72. Documento L1T1-2430-541-CON-ED-GEO-IN-0001. METRO LÍNEA 1. Enero de 2022.
- Debida diligencia técnica. Proyecto túnel. Entregable 8 / ET24 - Proyecto túnel. Documento L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001. U.T. MOVIUS. Diciembre de 2021.
- Análisis tipología de túnel monotubo vs. bitubo y tipología en tramo ALO. Documento no. L2MB-0000-000-MOV-DP-GEO-EV-0002_RD. FND- MOVIUS-2021.
- Criterios de diseño geotécnicos túnel. Documento no. L2MB-1000-000-MOV-DP-GEO-CD-0001_RB- FND- MOVIUS-2021.
- E2 - Debida diligencia técnica – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _ VD- ET-ET 24 - Túnel. FND- MOVIUS-2021.
- Plan de exploraciones-Documento No. L2MB-L02-IFU-M-0001_VF. FND- MOVIUS-2021.
- Análisis preliminar de subsidencia y afectación en superficie con base en los resultados de la fase de prefactibilidad. EMPRESA METRO DE BOGOTÁ. Noviembre de 2021.
- Estudio multicriterio para evaluación de alternativas monotubo - bitubo para la construcción del tramo subterráneo de la segunda línea del metro de Bogotá (SLMB). EMPRESA METRO DE BOGOTÁ. Agosto de 2021.
- Alternativas para el tramo: paso Av. Caracas, pozo de lanzamiento/recepción, Estación 1 y cola de maniobras. EMPRESA METRO DE BOGOTÁ. Agosto de 2021.
- Estudio de prefactibilidad de la L2MB: Producto 4 Estudios y Diseños de Pre-factibilidad. Entregable 5.1 Revisión Geotécnica. EGIS STREER. Mayo de 2021.
- Estudio de prefactibilidad de la L2MB: Producto 4 – Estudios y diseños de pre-factibilidad. Entregable 6 – Prediseño geométrico del trazado. Definición estructura Metro ferroviarias. EGIS STREER. Mayo de 2021.
- Informe ejecutivo “Prefactibilidad avanzada Vía Cota desde la carrera 92 (cerro de la conejera) hasta la intersección con la variante Cota”. IDU. Mayo de 2021.
- Consultoría para la estructuración integral (técnica, jurídica, financiera, predial, ambiental, social y de riesgos) que permita el otorgamiento de una concesión bajo el esquema de app, del proyecto denominado Canal Salitre (el límite del distrito hasta la av congreso eucarístico y se bifurca por el canal salitre hasta la nqs y el canal Río Negro), Calle 92 hasta la Cr. 7a Bogotá D.C. Informe de factibilidad geotécnica. UNIÓN TEMPORAL INTEGRAL - ESFINANZAS. Marzo de 2021.
- Factibilidad, estudios y diseños para la adecuación al sistema Transmilenio de la troncal Avenida Congreso Eucarístico (Carrera 68) desde la Carrera 7 hasta la autopista sur y de los equipamientos urbanos complementarios, en Bogotá D.C. CONSORCIO CONSULTORES TRANSMILENIO. Noviembre de 2019.
- Factibilidad y actualización, complementación, ajustes de los estudios y diseños, y estudios y diseños para la ampliación y extensión de la Avenida Ciudad de Cali al sistema Transmilenio, entre la Avenida Circunvalar del Sur y la Avenida Calle 170 y de los equipamientos urbanos complementarios, en Bogotá D.C. Informe de diseño geotécnico tramos 2, 3 y 4 proyecto Avenida Ciudad de Cali. CONSORCIO TRONCALES BOGOTÁ. Octubre de 2019.
- Estudios y diseños de la Troncal Centenario desde el límite occidente del Distrito hasta la Troncal Américas con Carrera 50, y de la Avenida Longitudinal de Occidente, ramal Av. Villavicencio y hasta la Av. Cali, en Bogotá – factibilidad geotecnia. Contrato 1475 de 2017. UNIÓN TEMPORAL APP-ALO. 2018
- Estructuración técnica del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá (PLMB). Informe de diseño geotécnico de cimentaciones del proyecto. Documento N° ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-RB. CONSORCIO METRO BOG. SYSTRA - INGETEC. Noviembre de 2017.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

- Actualización, complementación, ajustes de los diseños existentes, y/o elaboración de los estudios y diseños para la adecuación al sistema Transmilenio de la Carrera 7 de la Calle 32 hasta la Calle 200, ramal de la Calle 72 entre Carrera 7 y Avenida Caracas. Patio taller, conexiones operacionales calle 26, calle 100, calle 170 y demás obras complementarias. INGETEC. Marzo de 2017.
- Diseño para la primera línea del metro en el marco del sistema integrado de transporte público-SITP-para la ciudad de Bogotá (Colombia). CONSORCIO L1. Febrero de 2015.
- Evaluación del derrumbe de la calle 72 con carrera 7. Costado sur occidental. Ocurrido el 9 de mayo de 1994. Informe de la comisión investigadora. SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS. Septiembre de 1994.

Normas o estándares de Referencia

- Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Año 2010, Decreto N° 926 de 2010. Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes.
- Normas Técnicas Colombianas – NTC
- NFPA 130 _Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems
- Standard Specifications for Tunneling- 2016: Shield Tunnels
- Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14

Guías de diseño o publicaciones de referencia

- Deep excavation and tunnelling in soft ground. G. Report. Int. Symp. on S.M. and F.E. Mexico. State of the Art Voluma: 225-258
- Mechanized Shield Tunnelling.2012. Maid. B., Herrenknecht, M., Maudl, U., Wehrmeyer, G.
- Recommendations and guidelines for tunnel boring machines (TBMs). Working group n° 14 - Mechanized tunneling – International Tunnelling Association (ITA).
- Guidelines for the Design of Segmental Tunnel Linings. ITA Working Group 2- Research.
- Settlements induced by tunneling in soft ground. ITA/AITES Report 2006.
- Building response to excavation-induced settlement. By Marco D. Boscardin and Edward J. Cording. Members, ASCE.
- Hejazi, Yousef & Dias, Daniel & Kastner, Richard. (2008). Impact of constitutive models on the numerical analysis of underground constructions. Acta Geotechnica. 3. 251-258. 10.1007/s11440-008-0056-1.
- Boscardin, M.N & Cording, J. 1989. Building Response to Excavation - Induced Settlement. Journal of Geotechnical Engineering. Vol 115. No. 1.
- Cording, E. a. (s.f.). Displacements Around Soft Ground Tunnels. 5th Pan American Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering (pág. 571). Buenos Aires:

Criterios de diseño

Los criterios adoptados para definir el túnel y las obras anexas subterráneas a la línea metro fueron los siguientes:

- Se define como sección transversal para el túnel circular debido a: a) según método constructivo con máquina TBM (EPB o SPB o mixta), b) adecuada para tomar presión externa del terreno y de agua, c) ventajas para poder colocar los elementos prefabricados(dovelas) de soporte y revestimiento del túnel, d) fácil de acoplar para realizar presiones del frente con el movimiento del escudo de la máquina. En principio se asume una sección circular de 10.80 de diámetro externo (10,0 m interno). El tamaño de la sección tiene en cuenta: a) holguras del centro de la pista, b) la presencia del revestimiento, c) estructuras de vías, d) espacios para mantenimiento, evacuación,

espacio para vías férreas e instalaciones como señalización, iluminación, ventilación y drenaje, e) espacio para eventuales errores de construcción con el método de tunelización del escudo debido a baches verticales y horizontales, deformaciones y asentamientos irregulares.

- El alineamiento de planta del túnel para ser excavado con maquina EPB, se planeó lo más recto posible, pero con algunas curvas graduales de radio amplio en consideración al trazado o sitios particulares para evitar interferencias y afectaciones en superficie y adaptado al tamaño del túnel y el método constructivo. El radio mínimo horizontal fue de 400 m.
- La pendiente longitudinal máxima no será mayor del 4%.
- La pendiente del túnel debe ser suficiente para facilitar la evacuación de agua, por lo que no deberá ser menor de 0.2%.
- Los pozos de entrada y salida servirán para montaje o desmantelamiento y retiro de la máquina como del equipo de backup.
- Para el pozo de entrada de la máquina tuneladora se utilizó una sección tipo trinchera o confinada de 14.80 m de ancho, de longitud de 225.0 m, entre pantallas de profundidad variable.
- Para el pozo de salida de la máquina, el cual podrá ser de sección rectangular, con dimensiones del orden de 18 m de ancho y 40 m de largo, de profundidad de 50.7 m.
- Para los pozos de evacuación, ventilación y bombeo se estableció una sección circular de diámetro de 14 m, de profundidades variables. Los pozos se ubican cada 760 m según lo establece la norma NFPA 130 y lateralmente o al costado del Monotúnel en predios preestablecidos. Dichos pozos se conectarán con el Monotúnel mediante galerías subhorizontales de 6.00 m de diámetro y de longitud del orden de 5.00 m.
- Para el caso de las galerías de interconexión para evacuación, ventilación y bombeo se definieron de una sección semicircular de 6.0 m de diámetro.
- La cobertura se refiere desde la superficie a la cota clave del túnel, la cual es variable a lo largo del trazado, y que depende de; a) las condiciones del terreno, b) la presencia o no de obstrucciones u obras construidas o por construir a lo largo del trazo planeado, c) del diámetro de excavación del túnel y d) del método de construcción.
- Se estableció una cobertura que redujera los asentamientos y mantuviera las condiciones de estabilidad del frente del túnel. La mínima cobertura fue de 1.5 D (donde D es el diámetro externo del escudo o túnel).

Los criterios de diseño para el estudio de la factibilidad del túnel se presentan en el Apéndice 24 - Proyecto Túnel

Programas informáticos a utilizar para los cálculos

Los análisis de subsidencias que puedan ser causados por el paso del túnel corresponden con uno de los temas importantes en el desarrollo de la excavación subterránea en medios urbanos. Por ello, con el objetivo de revisar el efecto de asentamientos que se producirán por las excavaciones, se revisó el trazado en varios sitios mediante métodos analíticos y empíricos, como con método de elementos finitos (FEM) utilizando programas como son: PLAXIS 2D, PLAXIS 3D y ABAQUS respectivamente. Para estos análisis se consideró el modelo constitutivo “Cam Clay Modificado”, el cual representa un modelo de comportamiento bajo el régimen elastoplástico, que permite representar adecuadamente las deformaciones resultantes para cada trayectoria de esfuerzos aplicada. También se considerará el modelo constitutivo “Soft Soil”, este modelo es de tipo Cam-Clay especialmente diseñado para la compresión primaria en suelos arcillosos normalmente consolidados.



Trazado en planta

En la siguiente Figura 4, se presenta la localización general del trazado y la ubicación de las estaciones previstas.

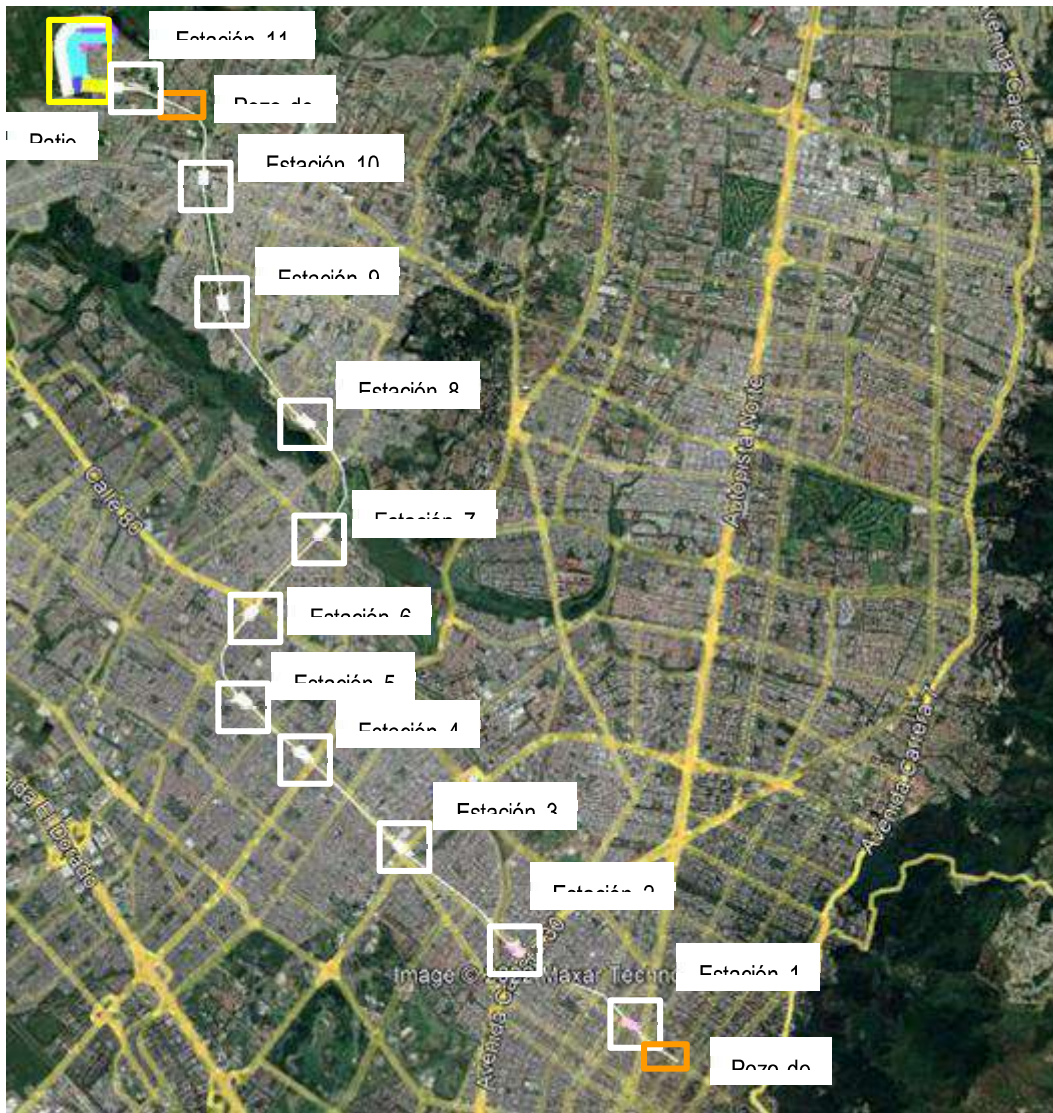


Figura 4. Localización general del trazado de la L2MB

En la Tabla 4 se muestra un resumen de la ubicación de las estaciones y del tramo subterráneo y elevado.

Tabla 4. Ubicación de estaciones, tramo subterráneo y elevado de L2MB.

INICIO	FIN	ABSCISA INICIO	ABSCISA FIN	Longitud (m)
POZO DE SALIDA (CRA. 10)		K0-000.75	K0+039.25	40.0
Pozo Salida	Estación 1	K0+039.25	K0+685	645.75
ESTACIÓN 1 (AV. CARACAS)		K0+685	K0+845	160.0
Estación 1	Estación 2	K0+845	K2+189.47	1344.47
ESTACIÓN 2 (AV. NQS)		K2+189.47	K2+349.47	160.0
Estación 2	Estación 3	K2+349.47	K3+960	1610.53
ESTACIÓN 3 (AV. 68)		K3+960	K4+120	160.0

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

Estación 3	Estación 4	K4+120	K5+415	1295.00
ESTACIÓN 4 (AV. BOYACA)		K5+415	K5+575	160.0
Estación 4	Estación 5	K5+575	K6+330	755.0
ESTACIÓN 5 (AV. CALI)		K6+330	K6+490	160.0
Estación 5	Estación 6	K6+490	K7+470	980.0
ESTACIÓN 6 (AV. CALLE 80)		K7+470	K7+630	160.0
Estación 6	Estación 7	K7+630	K8+670	1040.0
ESTACIÓN 7 (CRA. 91)		K8+670	K8+830	160,00
Estación 7	Estación 8	K8+830	K10+250	1420.0
ESTACIÓN 8 (HUMEDAL)		K10+250	K10+410	160.0
Estación 8	Estación 9	K10+410	K11+840	1430.0
ESTACIÓN 9 (ALO SUR)		K11+840	K12+000	160.0
Estación 9	Estación 10	K12+000	K13+210	1210.0
ESTACIÓN 10 (ALO NORTE)		K13+210	K13+370	160.0
Estación 10	Pozo Entrada	K13+370	K14+280	910.0
POZO DE ENTRADA (CRA. 129)		K14+280	K14+500	220.0
Pozo Entrada	Estación 11	K14+500	K14+880	380.0
ESTACIÓN 11 (FONTANAR)		K14+880	K15+040	160.0
Estación 11	Patio Taller	K15+040	K15+505.02	465.02
POZO DE SALIDA (km)				0.04
10 ESTACIONES SUBTERRÁNEAS (km)				1.6
TRAMO SUBTERRÁNEO (km)				12.64
POZO DE ENTRADA (km)				0.22
1 ESTACIÓN ELEVADA (km)				0.16
TRAMO ELEVADO (km)				0.85
TOTAL L2MB (km)				15.51



Perfil longitudinal

De acuerdo a las condiciones geológicas-geotécnicas del trazado y considerando la funcionalidad de las estaciones, las estaciones se encuentran lo más superficial posible, respecto al túnel. La cobertura del túnel varía en el trazado implantado de L2MB a la clave del túnel en promedio está a los 25 m desde la superficie, es decir 2.2 veces D. Respetando la cobertura mínima de 1.5 D, siendo D el diámetro de excavación del túnel, llegando a las estaciones. Por lo anterior, cuando se pasan las estaciones el túnel se profundiza en el terreno con la finalidad de tener mayor cobertura y así disminuyendo las subsidencias en la superficie. Cabe destacar que el túnel pasará por debajo de sitios particulares como es, 1) el paso deprimido vehicular de la calle 72 con Avenida Caracas, 2) el Canal Arzobispo en la calle 72 con transversal 56a, 3) la tubería de la red matriz del acueducto de Bogotá en la Avenida Boyacá, 4) el Canal Salitre en la Avenida Ciudad de Cali y diagonal 91, 5) el Club Los Lagartos entre las estaciones 7 y 8, 6) el brazo del humedal Juan Amarillo en la Avenida Ciudad de Cali y Carrera 100, y 7) el Canal Cafam en la Avenida Longitudinal de Occidente y la calle 142.

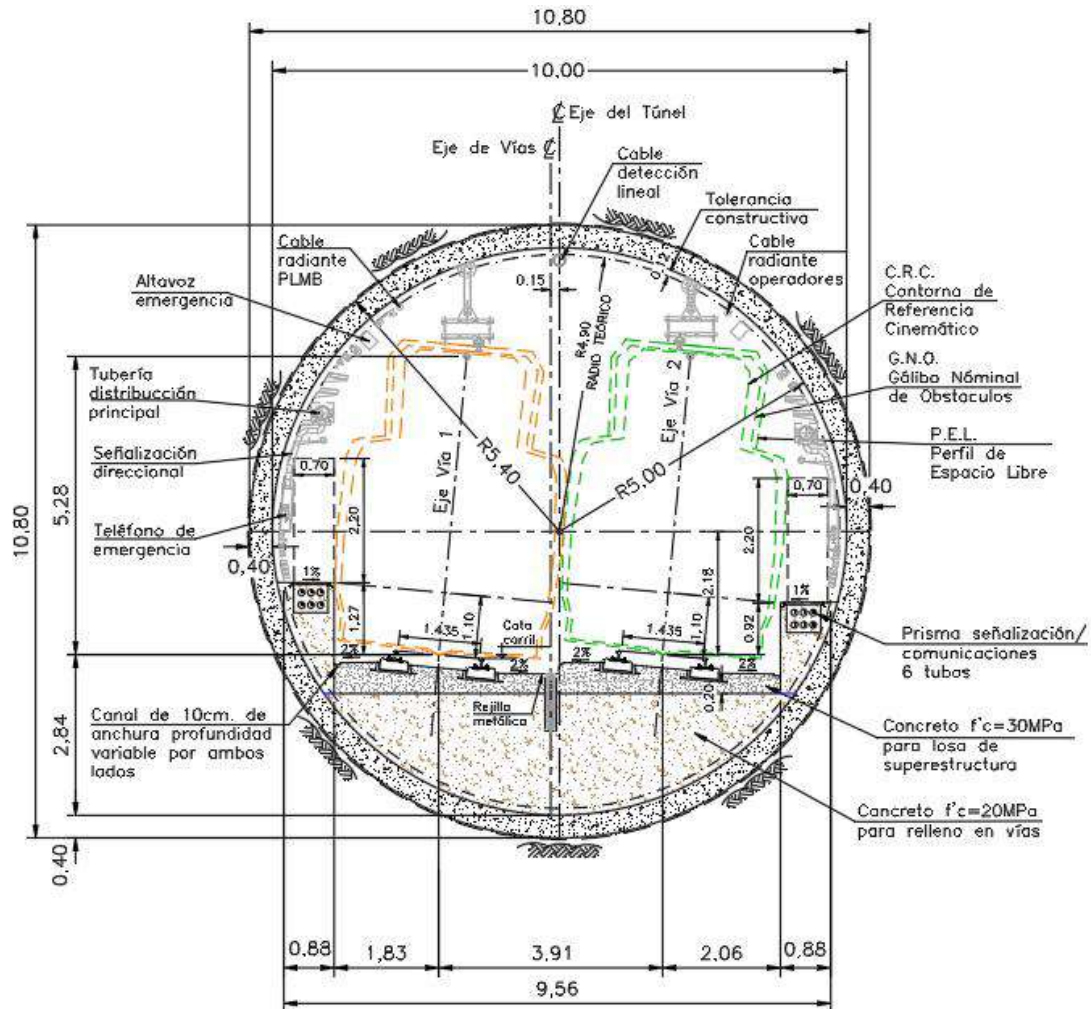


Secciones constructivas del túnel

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

El túnel del trazado será excavado con tuneladora considerando un diámetro interior de uso de 9,80 m, dejando una tolerancia constructiva de 10 cm en cada lado, considerando las convergencias que pueda tener el túnel y el requerimiento del gálibo. El diámetro teórico interior será de 10.0 m y el diámetro teórico exterior de 10.8 m del anillo de dovelas, considerando una espesor de dovelas de 0.4 m. (Ver Figura 5)



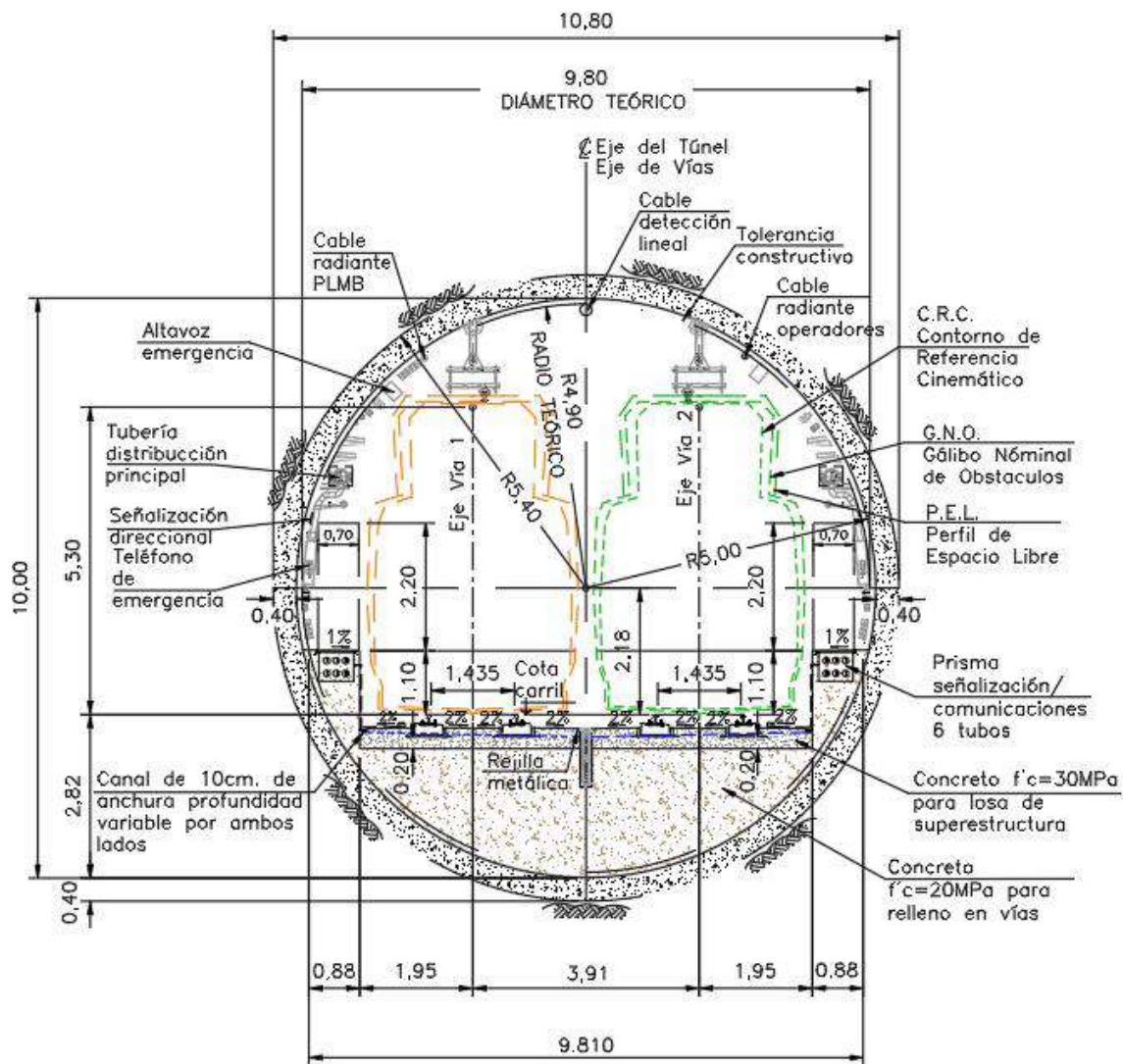


Figura 5. Sección constructiva del túnel. Trenes sin peralte.

Pozos de entrada y salida de la máquina EPB.

El pozo de entrada de la máquina EPB se ubicará en la localidad de Suba sobre el trazado del túnel entre las estaciones 10 (subterránea) y 11 (elevada), entre las abscisas K14+224 y K14+530. Se construirá con muros pantalla preexcavados de 1,20 m de espesor desde la superficie hasta la profundidad de empotramiento requerida. La separación entre las pantallas será de 14,80 m y la profundidad a riel variable de 10,6 m a 2,0 m. La profundidad de empotramiento de las pantallas variará de 9,5 m a 5,0 m. La excavación del pozo permite construir el empotramiento para el túnel en la abscisa K14+224 y las dimensiones requeridas para el armado de la máquina tuneladora.

En la Figura 6 se detalla la ubicación del pozo de entrada. En la Figura 7 se muestra la sección transversal típica del pozo de entrada.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

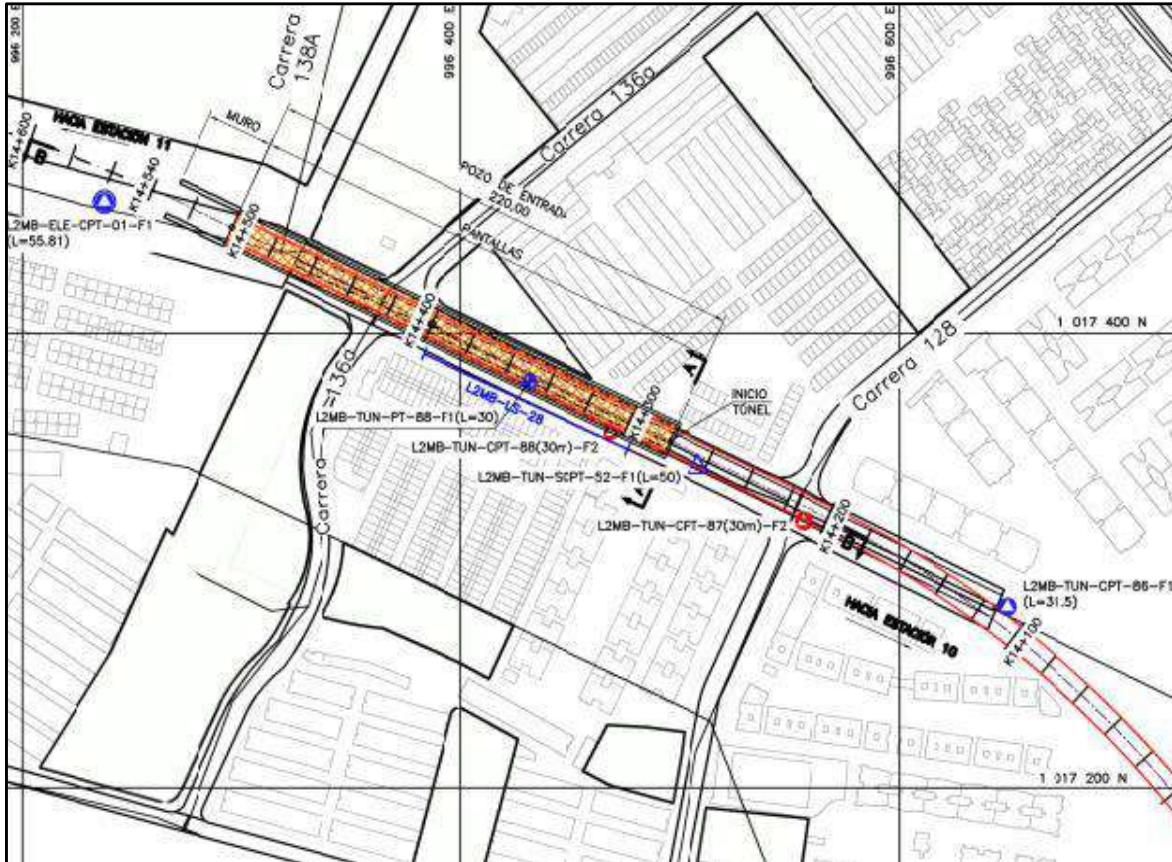


Figura 6. Ubicación en planta del pozo de entrada.

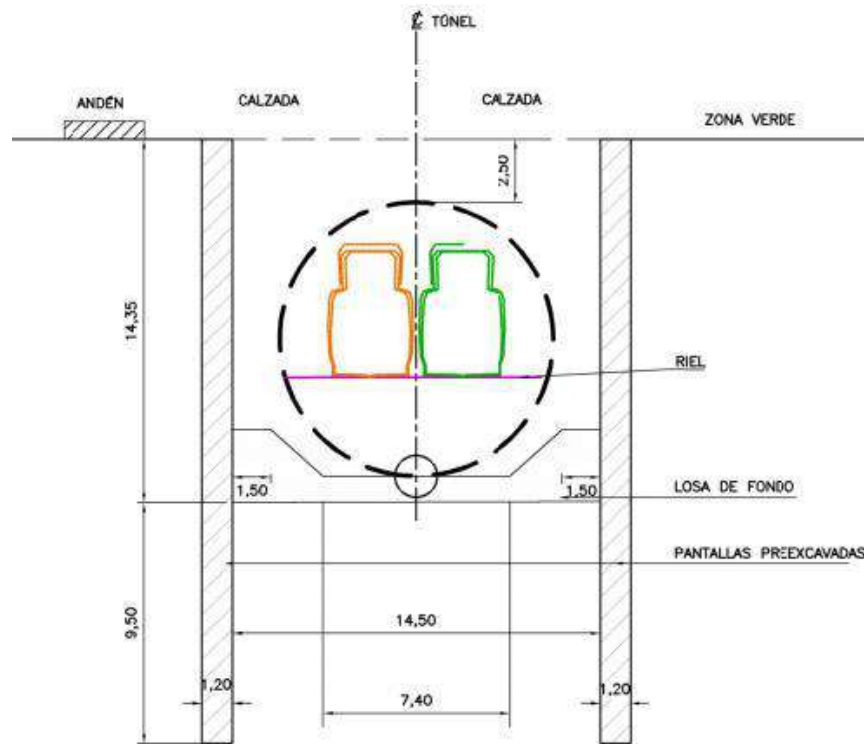


Figura 7. Sección transversal pozo de entrada.

El pozo de salida se ubicará en la localidad de Chapinero sobre el trazado del túnel antes de la estación 1 (subterránea), entre las abscisas K0+000 y K0+040. El cual se construirá con muros pantalla preexcavados de 1.20 m de espesor con una separación de 18 m y profundidad a losa de fondo de 51 m. El empotramiento de las pantallas será de 9,3 m. La excavación del pozo permite retirar la máquina tuneladora una vez finalice la excavación de la Línea 2 del Metro de Bogotá.

En la Tabla 5, se presenta una relación de las principales características del pozo de entrada.

Tabla 5. Características del pozo de entrada.

SECCIÓN	ABSCISAS		Profundidad media a riel (m)	Ancho útil (m)	Empotramiento (m)
	INICIAL	FINAL			
1	K14+280	K14+304	-9.5	14.80	9.5
2	K14+304	K14+344	-8.0	14.80	9.5
3	K14+344	K14+374	-6.2	14.80	8.0
4	K14+374	K14+404	-5.4	14.80	5.6
5	K14+404	K14+434	-3.7	14.80	5.6
6	K14+434	K14+464	-3.3	14.80	5.4
7	K14+464	K14+500	-1.9	14.80	5.0

El método constructivo del pozo de entrada para la será con el sistema Cut & Cover, método invertido. A continuación se resume este proceso constructivo.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

- Excavación del terreno a nivel de la losa de techo.
- Construcción de las pantallas preexcavadas.
 - ❖ La pantalla se construye en módulos de 5,0 m de longitud alternados. Posteriormente los espacios entre pantallas se llenan con los módulos siguientes, en una secuencia similar a la indicada en la Figura 8.
 - ❖ Cada módulo de pantalla se excava con equipos de excavación vertical tipo almeja en tres franjas verticales, primero las extremas y finalmente la del medio, llenando el hueco de la excavación con lodo bentonítico para mantener la estabilidad del hueco. En los extremos del muro se debe dejar formaletas para juntas temporales machihembradas. (Ver Figura 9)
 - ❖ Colocación de la jaula de acero de refuerzo.
 - ❖ Vaciado de concreto tremie, que por diferencia de densidades desaloja el lodo de bentonita del hueco.
- Una vez construida la pantalla, se puede iniciar la construcción de la tapa superior en concreto reforzado. Cuando la losa está terminada y ésta adquiere la resistencia suficiente, puede habilitarse la superficie mientras se continúan los trabajos en el interior.
- Excavación de material de suelo hasta el primer nivel de apuntalamiento, localizado en la parte media entre la losa de techo y la losa de fondo. Instalación de puntales.
- Excavación de material de suelo hasta la losa de fondo. Construcción de la losa de fondo. En la Figura 10 se puede apreciar la secuencia de excavación del sistema constructivo Cut & Cover, método invertido (top down).

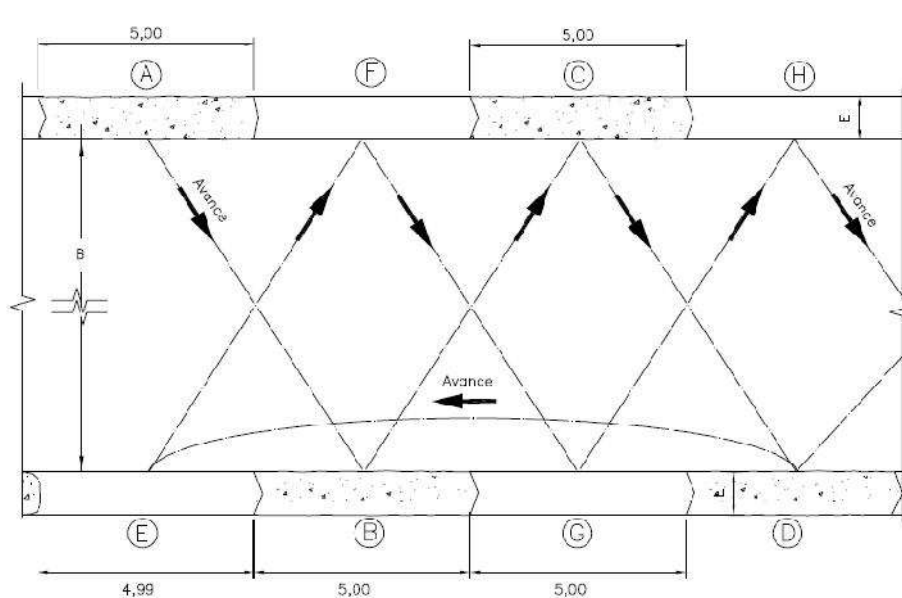


Figura 8. Planta. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas

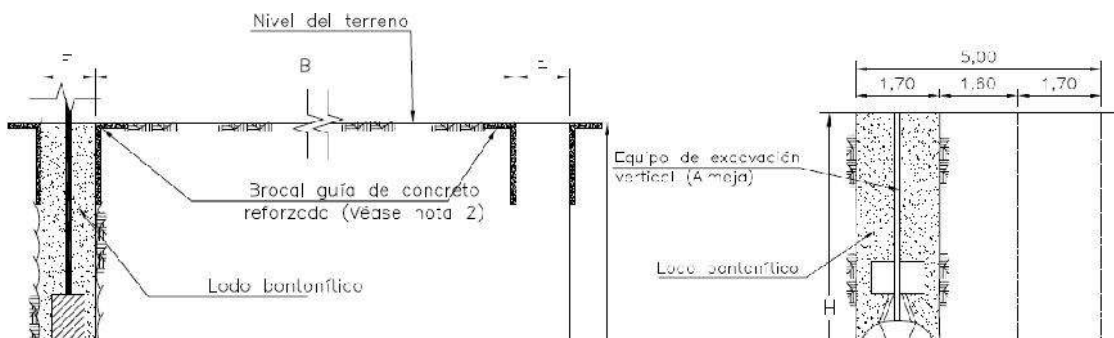


Figura 9. Cortes. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas.

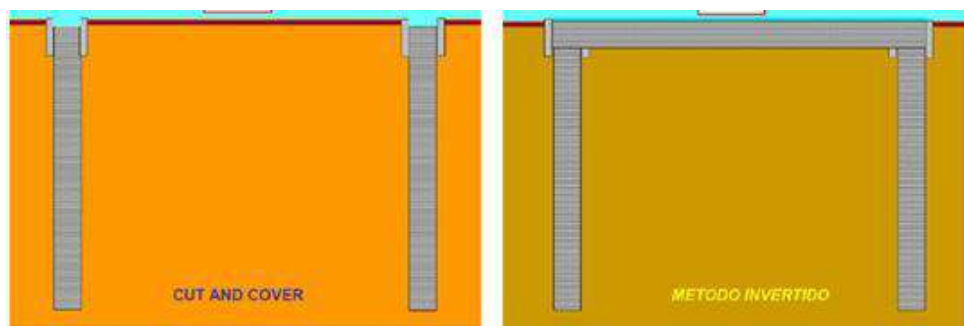


Figura 10. Excavación de pantalla preexcavadas. Cut & Cover. Método invertido.

En la Figura 11 se detalla la ubicación del pozo de salida y en la Figura 12 la sección transversal de este pozo.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

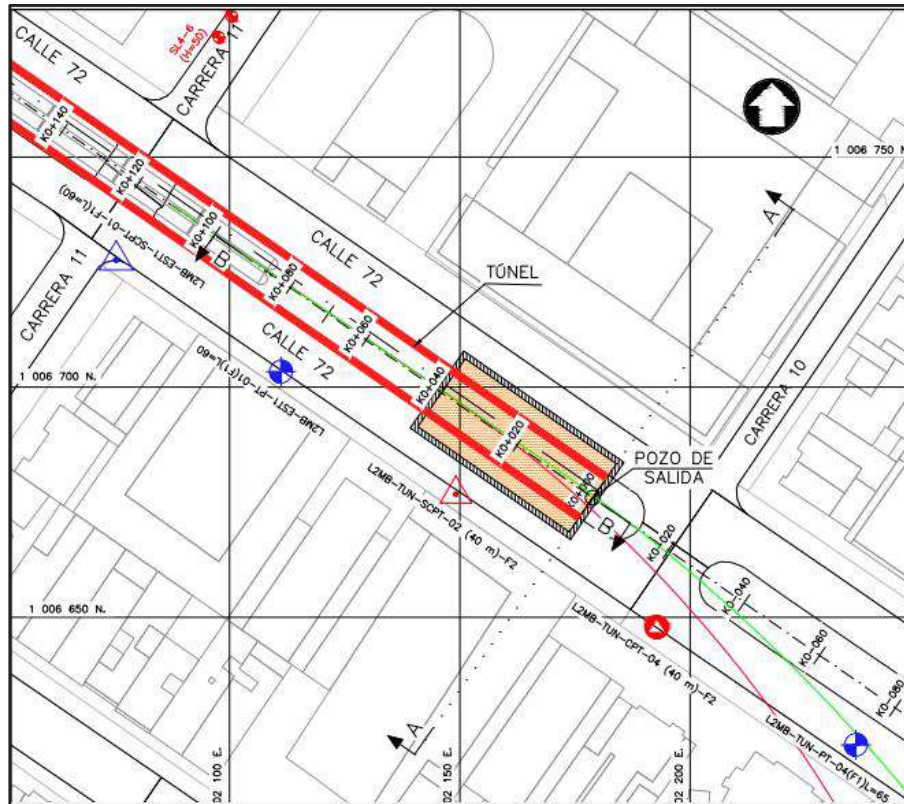


Figura 11. Ubicación en planta del pozo de salida.

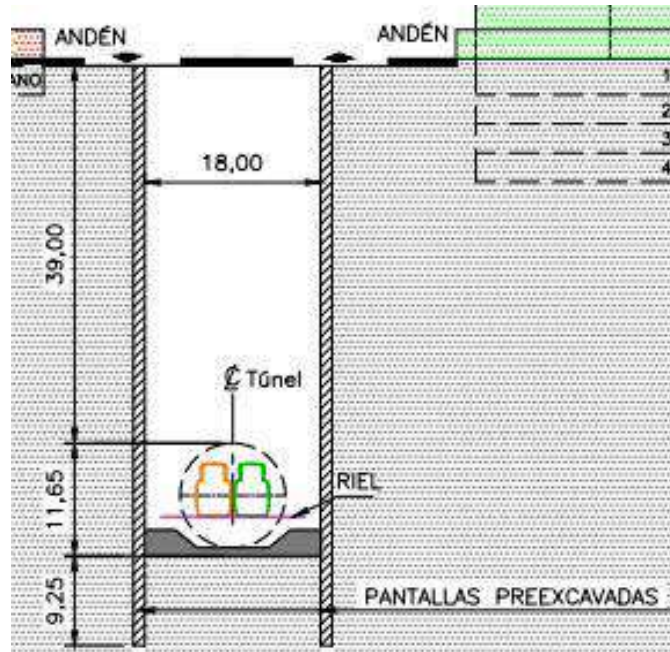


Figura 12. Sección transversal pozo de salida.

En la Tabla 6, se presenta una relación de las principales características del pozo de salida.

Tabla 6. Características del pozo de salida.

SECCIÓN	ABSCISAS		Profundidad media a riel (m)	Ancho útil (m)	Empotramiento (m)
	INICIAL	FINAL			
1	K0+000	K0+010	-46.5	18.0	9.25
2	K0+010	K0+030	-46.0	18.0	10.25
3	K0+030	K0+040	-45.7	18.0	11.25

El método constructivo del pozo de salida para la será con el sistema Cut & Cover, método invertido. A continuación se resume este proceso constructivo.

- Excavación del terreno a nivel de la losa de techo.
- Construcción de las pantallas preexcavadas.
 - ❖ La pantalla se construye en módulos de 5,0 m de longitud alternados. Posteriormente los espacios entre pantallas se llenan con los módulos siguientes, en una secuencia similar a la indicada en la Figura 8.
 - ❖ Cada módulo de pantalla se excava con equipos de excavación vertical tipo almeja en tres franjas verticales, primero las extremas y finalmente la del medio, llenando el hueco de la excavación con lodo bentonítico para mantener la estabilidad del hueco. En los extremos del muro se debe dejar formaletas para juntas temporales machihembradas. (Ver Figura 9)
 - ❖ Colocación de la jaula de acero de refuerzo.
 - ❖ Vaciado de concreto tremie, que por diferencia de densidades desaloja el lodo de bentonita del hueco.
- Una vez construida la pantalla, se puede iniciar la construcción de la tapa superior en concreto reforzado. Cuando la losa está terminada y ésta adquiere la resistencia suficiente, puede habilitarse la superficie mientras se continúan los trabajos en el interior.
- Excavación de material de suelo hasta el primer nivel de apuntalamiento, localizado en la parte media entre la losa de techo y el primer mezzanine. Instalación de puntales.
- Excavación de material de suelo hasta el nivel del primer mezzanine. Construcción de la losa de mezzanine. Cuando la losa adquiere la resistencia suficiente, se continúa la excavación hasta el siguiente nivel de apuntalamiento.
- La secuencia de construcción continua de igual forma hasta llegar al nivel del fondo para construir la losa de fondo. En la Figura 10 se puede apreciar la secuencia de excavación del sistema constructivo Cut & Cover, método invertido (top down).

Pozos de evacuación ventilación y bombeo

A lo largo del trazado y de acuerdo con la Norma NFPA 130 se definieron pozos de evacuación, ventilación y drenaje cada 760 m. Estos pozos fueron considerados con un diámetro útil del orden de 10 m y con profundidades variables dependiendo de la ubicación de la cota se superficie como de la cota a nivel del riel del túnel de Metro. En total se previeron 11 pozos, tal como se indica en la Tabla 7. El sistema de sostenimiento fue considerado con pilotes secantes de diámetro 1.20 m según se muestra en la Figura 13.

Por otra parte se previeron galerías de conexión entre el pozo y el túnel de 5 m de longitud de diámetro de excavación de 6.20m, con sección en herradura paredes curvas y solera curva, soportada con sistema de arcos metálicos HEB 140

cada 0.50 m , con concreto lanzado de 0.25 m de espesor y revestimiento en concreto convencional de 0.35 m reforzado con fibra además de sistema de enfilajes para ser colocados en la bóveda desde el fondo del pozo de longitud de 5, cada 0.30 m de diámetro de 50 mm(autoperforantes). En total se previeron 11 galerías de interconexión que serían excavadas con el método NATM.

Tabla 7. Pozos de evacuación, ventilación y bombeo

POZO	Nivel de riel	Nivel de terreno natural	Δ (m) a cota riel	Profundidad Pozo -m
E1				
Pique 1	2515	2553	38	41,9
E2				
Pique 2	2507	2548	41	44,9
Pique 3	2513	2549	36	39,9
E3				
Pique 4	2513	2551	38	41,9
E4				
Pique 5	2517	2551	34	37,9
E5				
Pique 6	2516	2551	35	38,9
E6				
Pique 7	2515	2551	36	39,9
E7				
Pique 8	2510	2551	41	44,9
E8				
Pique 9	2512	2547	35	38,9
E9				
Pique 10	2521	2551	30	33,9
E10				
Pique 11	2522	2551	29	32,9
E11				

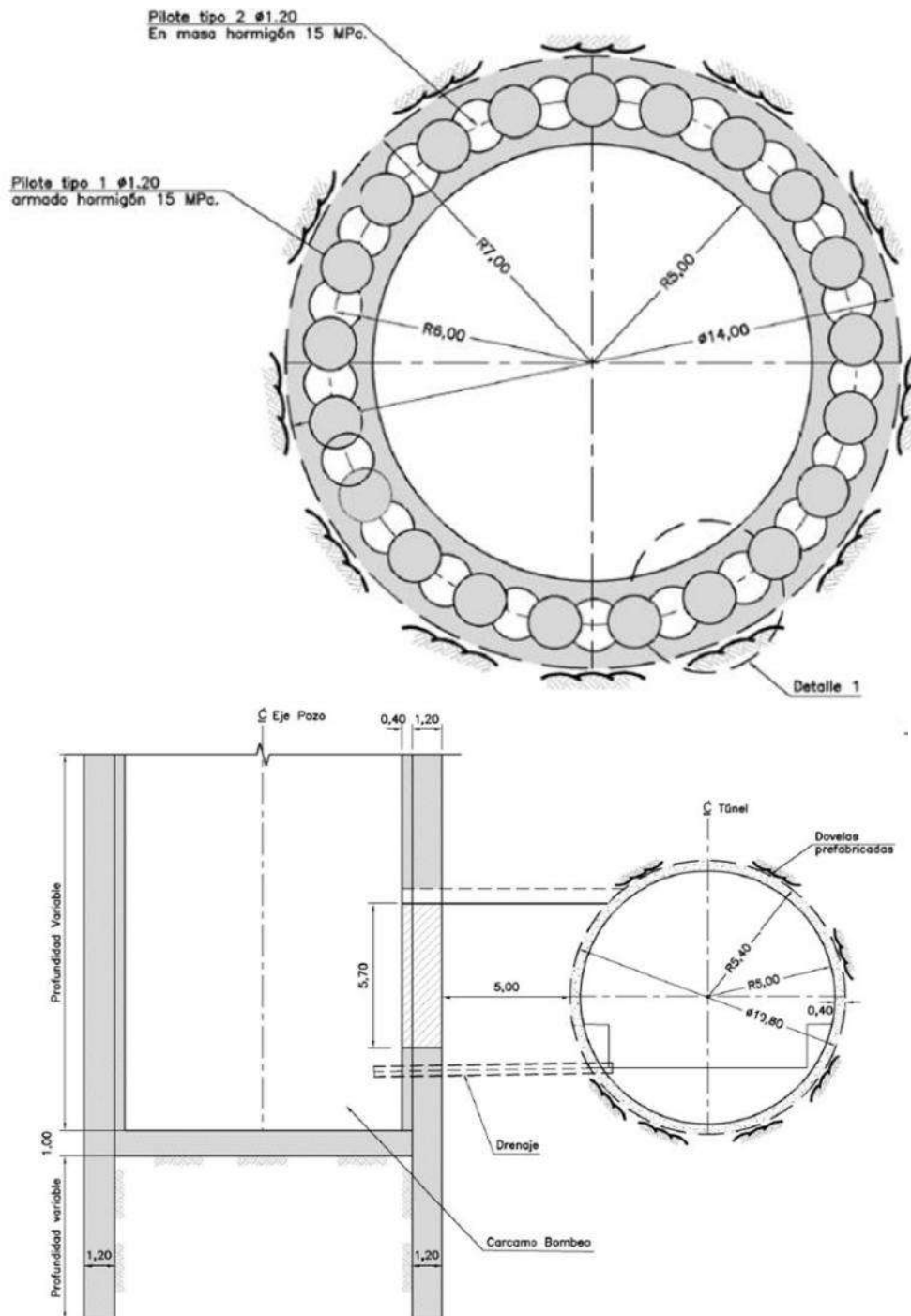


Figura 13. Pozos de evacuación, ventilación y bombeo. Planta y sección transversal.

Los pozos de entrada y salida se verificaron inicialmente para resistir las presiones de empuje del terreno, como la longitud de empotramiento para evitar falla de pandeo como falla por supresión o flotación. Los factores de seguridad contra falla por subpresión son del orden de 1.6 para la condición más profunda de pozo. El factor de seguridad para falla por pateó mayor de 2.0.

Estos factores de seguridad se detallan en las siguientes tablas.

Tabla 8. Análisis de estabilidad para el pozo de entrada.

ANÁLISIS	FACTOR DE SEGURIDAD		
	K14+280	K14+395	K14+480
ESTABILIDAD EMPOTRAMIENTO	1.7	2.0	3.7
FALLA DE FONDO	2.7	2.9	3.5
SUBPRESIÓN	1.6	1.6	2.0

Tabla 9. Análisis de estabilidad para el pozo de salida.

ANÁLISIS	FACTOR DE SEGURIDAD
	K0+000
ESTABILIDAD EMPOTRAMIENTO	1.6
FALLA DE FONDO	2.0
SUBPRESIÓN	1.6



10.18.1.3. Caracterización geotécnica

A lo largo del corredor de la Línea 2 del Metro de Bogotá se realizó una zonificación del corredor, así:

- Zona 1: entre el inicio del trazado(pozo de salida) y la intersección con la Avenida Caracas. Esta atraviesa las unidades Piedemonte B y Lacustre 100 en el mapa de zonas de respuesta sísmica del Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá.
- Zona 2: comprende el segmento del trazado que va por la calle 72, desde la intersección con la Avenida Caracas hasta la intersección con la Avenida Ciudad de Cali. Esta zona atraviesa las unidades Lacustre 100, Lacustre 200 y Lacustre 300 en el mapa de zonas de respuesta sísmica.
- Zona 3: corresponde con la zona que va desde la intersección de la Calle 72 con la Avenida Ciudad de Cali hasta el final del trazado (en el lote en el que se proyecta la construcción del Patio Taller).

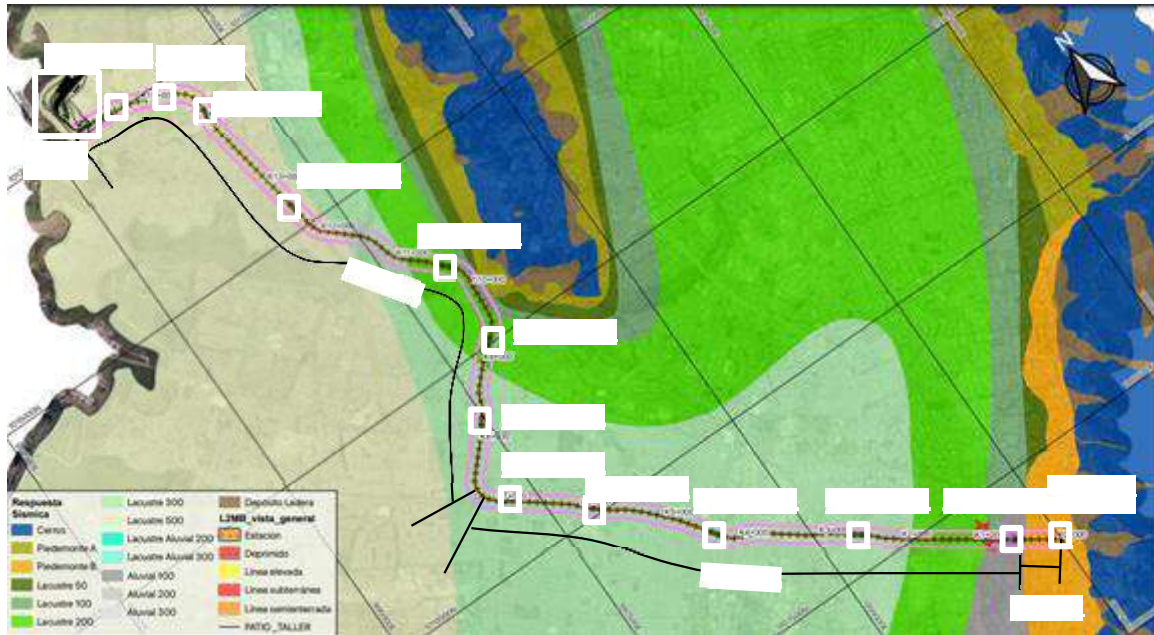


Figura 14. Localización del trazado de L2MB en la Microzonificación Sísmica de Bogotá y la ubicación de las zonas para la caracterización.

El enfoque utilizado para la caracterización del corredor pasó por la ejecución de las siguientes etapas:

1. Definición de un perfil longitudinal en el que se definieron materiales de características similares.
2. Definición de parámetros de resistencia y deformación de los materiales identificados en el perfil.
3. Ajuste del perfil longitudinal basado en el análisis de parámetros de resistencia y deformación.

Para la elaboración de la versión del perfil, se utilizó la resistencia en la punta registrada en los ensayos CPT, el tipo de comportamiento según la metodología normalizada de Robertson (que se basa en resultados de ensayos CPT), la humedad natural, el Límite Líquido, el Límite Plástico y la cantidad corregida de golpes del ensayo SPT (N60). El procedimiento es el siguiente:

1. Ubicación en planta de los sondeos.
2. Proyección de los sondeos sobre el alineamiento de la L2MB.
3. Generación de un perfil de la superficie del terreno.
4. Localización en el perfil de la superficie de cada uno de los sondeos.
5. En la localización de los sondeos en el perfil, se ubicaron representaciones gráficas de las propiedades mencionadas.
6. Se diferenciaron entre tres grupos los materiales encontrados: arcillas, limos y arenas y/o gravas. Para esta diferenciación se utilizó como principal insumo la resistencia en la punta registrada en los ensayos CPT, siguiendo esta lógica: en los suelos arcillosos esta resistencia es relativamente baja (lo que corresponde con el comportamiento predominante en el depósito lacustre), los incrementos y picos en la resistencia están asociados a la presencia de lentes de materiales más rígidos (p.e arenas, gravas y limos arenosos). Para confirmar la existencia de estos lentes se contrastó la resistencia en la punta del cono con la cantidad de golpes y con las humedades (natural, límite líquido y límite plástico). En los lentes de materiales más rígidos la cantidad de golpes es relativamente alta y las humedades, por el contrario, son más bajas que las observadas en los suelos arcillosos.

Investigaciones geotécnicas

Las investigaciones geotécnicas realizadas en la fase 1 sobre el trazado de L2MB, se basaron en el documento ET-10. Geotecnia y Pavimentos, siguiendo las indicaciones en cuanto a características, cantidad y variedad de investigaciones en sitio, laboratorio y especificaciones técnicas para estas exploraciones. En la Tabla 10, se muestra un resumen de las investigaciones geotécnicas ejecutadas. Para la ubicación y profundidad de estas investigaciones se siguieron los siguientes criterios.

Tabla 10. Resumen de investigaciones geotécnicas ejecutadas Fase 1.

TIPO	FASE 1 (EJECUTADAS)	
	PUNTOS DE EXPLORACIÓN	LONGITUD
PT	64	3091,2
CPT	22	991,52
SCPT	35	1593,32
Totales	121	5676,04

- Los sondeos realizados llegan hasta una profundidad mínima de 30 metros por debajo de la cota prevista para la solera del túnel. Igualmente se fijó como criterio de localización de sondeos tener como mínimo una exploración (1) cada 300 m a lo largo del trazado del túnel. Las exploraciones con sondeos fue considerado lo siguiente:
 - Perforación a rotación, con extracción de testigo continuo.
 - Ensayos CPTU. Así mismo, se efectuó un (1) ensayo SCPTU por cada dos (2) CPTU ejecutados.
- A lo largo de la estructura de línea elevada realizar como mínimo una (1) exploración cada 300 m, a una profundidad mínima de 60 m. Las exploraciones fueron las siguientes:
 - Perforación a rotación, con extracción de testigo continuo.
 - Ensayo CPTU. Así mismo, se efectuó un (1) ensayo SCPTU por cada dos (2) CPTU ejecutados.
 - En las estaciones se alcanza una profundidad de 10 m bajo la cota de fondo de las pantallas previstas, pero nunca a una profundidad inferior a 30 m bajo la cota de contrabóveda supuesta. Realizan al menos dos (2) sondeos y un (1) ensayo SCPTU. Adicionalmente, se ejecutó un (1) ensayo tipo downhole en cada estación.
 - Se realizó además la testificación geofísica (reflexión y refracción sísmica, SASW, MASW, resistividad, tomografía eléctrica o sísmica, ReMi, etc.), cada 600 m de trazado.

Como parte de información geotécnica secundaria incluida en los análisis para el Aval Técnico se tienen los siguientes proyectos, en los que el asesor ha participado:

- Factibilidad y actualización, Complementación, Ajustes de los Estudios y Diseños, y Estudios y Diseños para la Ampliación y Extensión de la Avenida Ciudad de Cali al Sistema Transmilenio entre la Avenida Circunvalar del Sur y la Avenida Calle 170 y de los Equipamientos Urbanos Complementarios. En este informe este nombre será abreviado con la sigla TACC.
- Estudios y Diseños de la Troncal Centenario desde el Límite Occidente del Distrito hasta la Troncal Américas con Carrera 50, y de la Avenida Longitudinal de Occidente, Ramal Av. Villavicencio hasta la Av. Cali y Ramal Av. Américas hasta la Av. Cali. En este informe el nombre de este proyecto será abreviado con la sigla ALO.
- Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá.

Además de los proyectos en los que ha participado el asesor, se tuvo acceso a resultados de exploración de los siguientes estudios:

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

- Diseño de la Primera Línea del Metro en el Marco del Sistema Integrado de Transporte Público SITP para la ciudad de Bogotá. Proyecto desarrollado por Consorcio L1 entre 2014 y 2015.
- Estudios y diseños de la Conexión Regional Canal Salitre y Río Negro desde el Río Bogotá hasta la NQS y la Carrera 7. Este proyecto fue desarrollado por INTEGRAL entre 2017 y 2021.
- Factibilidad, Estudios y Diseños para la adecuación al Sistema Transmilenio de la Troncal Avenida Congreso Eucarístico (Carrera 68) desde la Carrera 7 hasta la Autopista Sur y de los equipamientos urbanos complementarios, en Bogotá D.C.

En la siguiente imagen se detalla la distribución de las investigaciones geotécnicas realizadas, tanto para la Fase 1 como la información de referencia a lo largo del trazado de L2MB.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

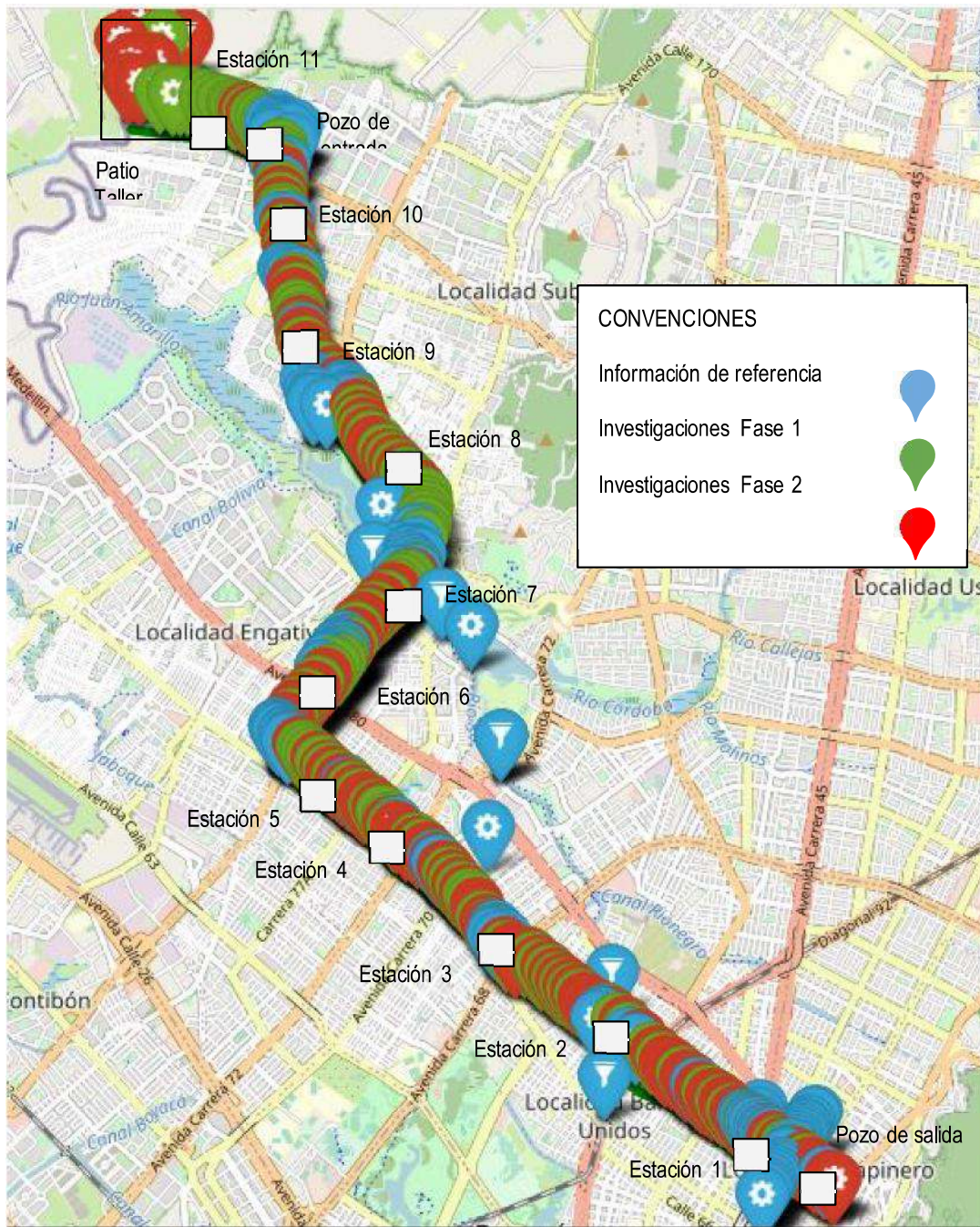


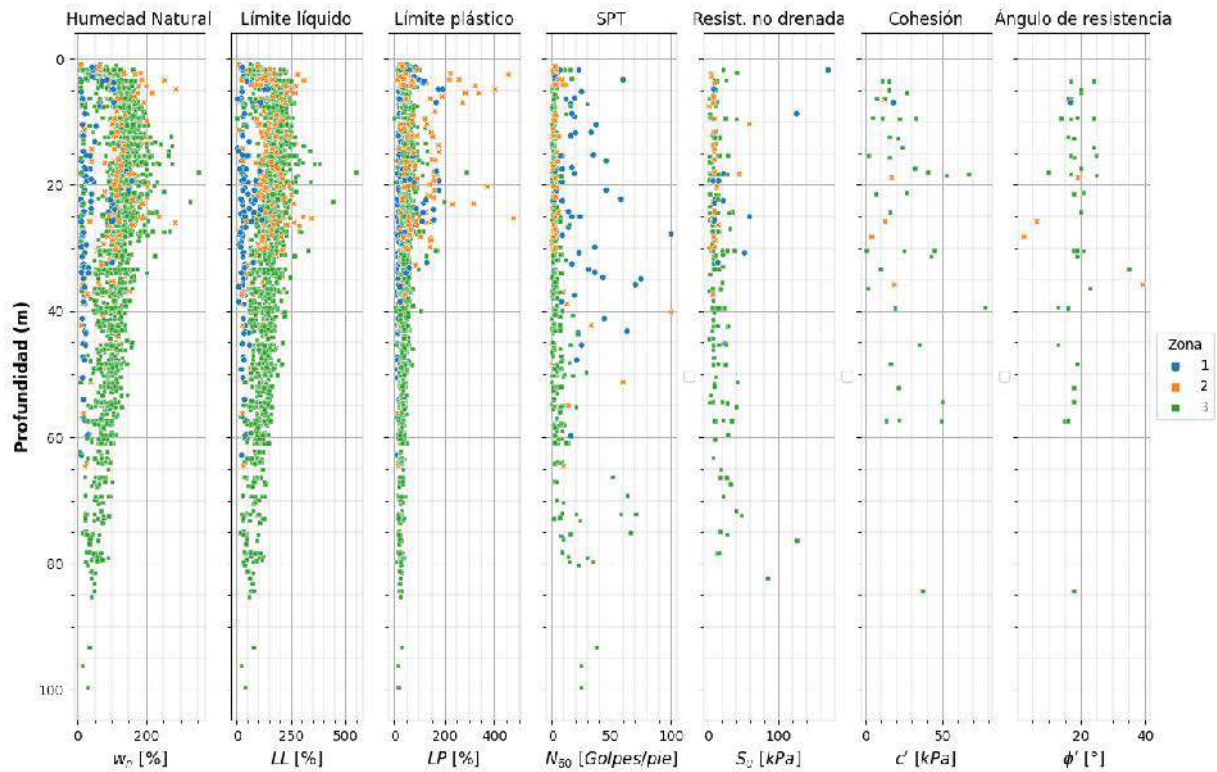
Figura 15. Ubicación en planta de las investigaciones geotécnicas en el trazado de L2MB.

La Tabla 11 muestra las cantidades de ensayos de laboratorio ejecutados para el proyecto Línea 2 Metro Bogotá para la Fase 1 y también muestra las cantidades de los ensayos recibidos para otros proyectos tomados como referencia.

Tabla 11. Cantidades de ensayos de laboratorio ejecutados del proyecto Línea 2 Metro Bogotá y de proyectos tomados como referencia.

Tipo de ensayo de laboratorio recibido	Línea 2 Metro Bogotá (Fase 1)	Información de referencia
Humedad natural	527	677
Límites Atterberg	766	1715
Análisis granulométrico con lavado	799	1018
Peso unitario (Parafina)	131	662
Peso unitario (Medidas y Peso)	37	N/A
Gravedad específica	350	317
Contenido de materia orgánica por ignición	82	68
Determinación del contenido de carbonatos en suelos	37	0
Determinación del contenido de sulfatos solubles	16	7
Compresión inconfinaada en muestras de suelos	240	400
Corte directo de suelos en condición consolidada drenada	39	82
Compresión triaxial bajo condiciones consolidado no drenado en suelos	10	0
Permeabilidad en cámara triaxial hasta dos semanas	0	0
Consolidación rápida - 1 ciclo carga y descarga	25	N/A
Expansión controlada en consolidómetro (Método A, B o C)	19	3
Consolidación unidimensional de los suelos	16	19
Determinación del módulo y las propiedades de amortiguamiento de los suelos usando el triaxial cíclico (Probetas de 2,8" de diámetro)	0	0
Bender element	0	0
Columna resonante	0	0
Corte directo torsional	0	0

Para mostrar de manera resumida una buena parte de la información recolectada se muestran la Figura 16 y la Figura 24 en donde se indican en la primera: humedades naturales, límites líquidos, plástico, valores de SPT, resistencia no drenada, cohesión y ángulo de fricción con la profundidad. En esta gráfica se diferencia en colores las tres zonas definidas por donde pasará el túnel con la máquina tuneladora. Como se puede observar las zonas 2 y 3 presentan un comportamiento geotécnico similar, mientras que la zona 1 muestra valores menores de humedad, límites líquidos, mayores valores de SPT.



La Figura 17 presenta la carta de plasticidad donde se indican los límites líquidos e índices de plasticidad de los materiales encontrados para cada una de las zonas. Se observa que los límites líquidos para la Zona 3 son variables entre 20 y 300 con índices de plasticidad desde 0 hasta 220, lo que hace que el material clasifique en su mayoría como una arcilla de baja plasticidad (CL). En la zona 2 el material muestra índices líquidos de 180 a 290, con índices de plasticidad de 30 a 200, lo que hace que este material clasifique en su mayoría como una arcilla de alta plasticidad (CH). El material de la zona 1 presenta índices líquidos de 0 a 150, con índices de plasticidad de 15 a 100, clasificando el material en su mayoría como una arcilla de alta plasticidad (CH).

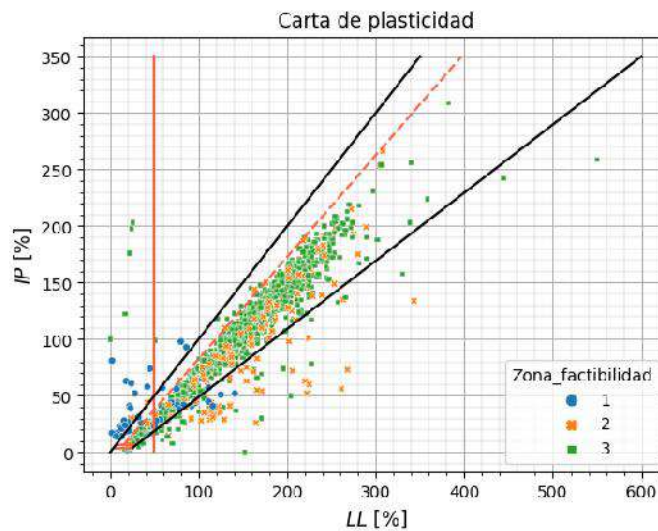


Figura 17. Carta de plasticidad, diferenciando para cada zona homogénea.
Fuente: elaboración propia.

La Figura 18 se detalla la carta de plasticidad indica los límites líquidos e índices de plasticidad de los materiales encontrados para la zona homogénea 1, para profundidades entre 30.0 y 40.0 m, rango de profundidad en la cual se ubica el alineamiento del túnel. Como lo muestra la Figura 18 los límites líquidos varían entre 10 y 80 y los índices plásticos varían entre 0 y 40.

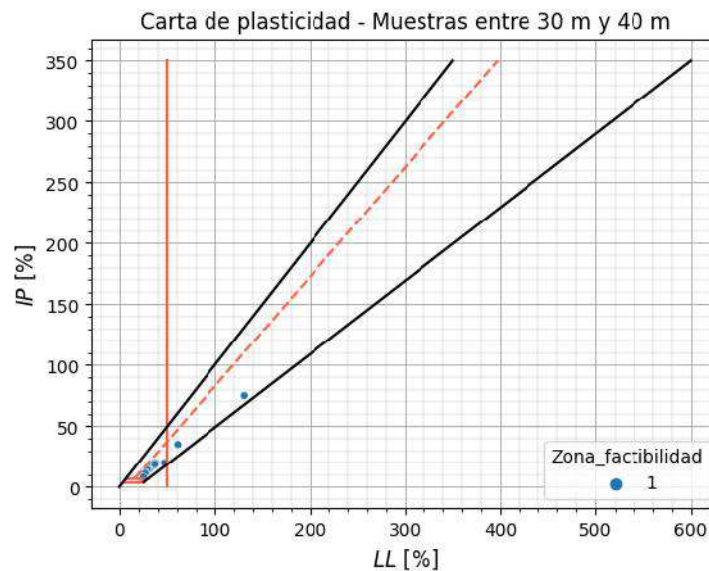


Figura 18. Carta de plasticidad, Zona Homogénea 1, muestras entre 30.0 y 40.0 m.

La Figura 19 muestra la distribución de tipos de suelo para la zona homogénea 1, para las profundidades entre 30 m y 40 m. Como se evidencia se encontraron con mayor frecuencia arcillas con baja plasticidad (CL).

Distribución de tipos de suelo en la zona 1 - Muestras entre 30 m y 40 m

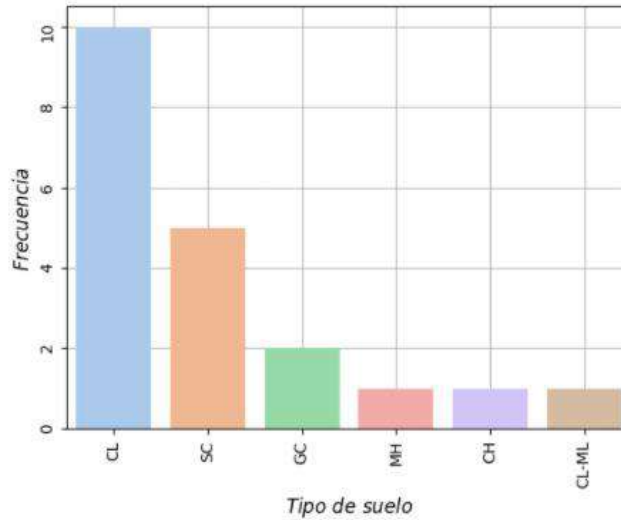


Figura 19. Distribución de tipos de suelo en la Zona Homogénea 1 - muestras entre 30.0 y 40.0 m

La Figura 20 muestra la carta de plasticidad indica los límites líquidos e índices de plasticidad de los materiales encontrados para la zona homogénea 2, para profundidades entre 25 m y 35 m, rango de profundidad en la cual se ubica el alineamiento del túnel. Como lo muestra la siguiente figura los límites líquidos varían entre 0 y 300 y los índices plásticos varían entre 0 y 200.

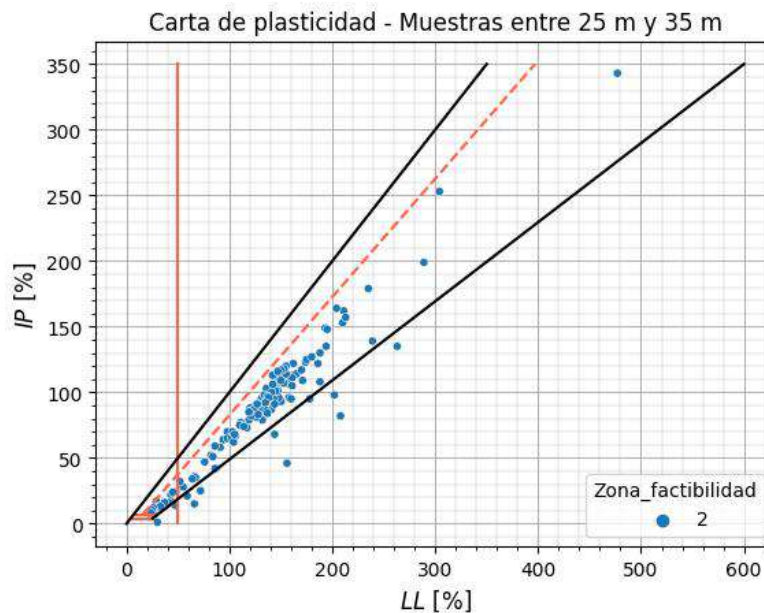


Figura 20. Carta de plasticidad, Zona Homogénea 2, muestras entre 25.0 y 35.0 m.

La Figura 21 muestra la distribución de tipos de suelo para la Zona Homogénea 2, para las profundidades entre 25.0 y 35.0 m. Como se evidencia se encontró con mayor frecuencia arcillas con alta plasticidad (CH).

Distribución de tipos de suelo en la zona 2 - Muestras entre 25 m y 35 m

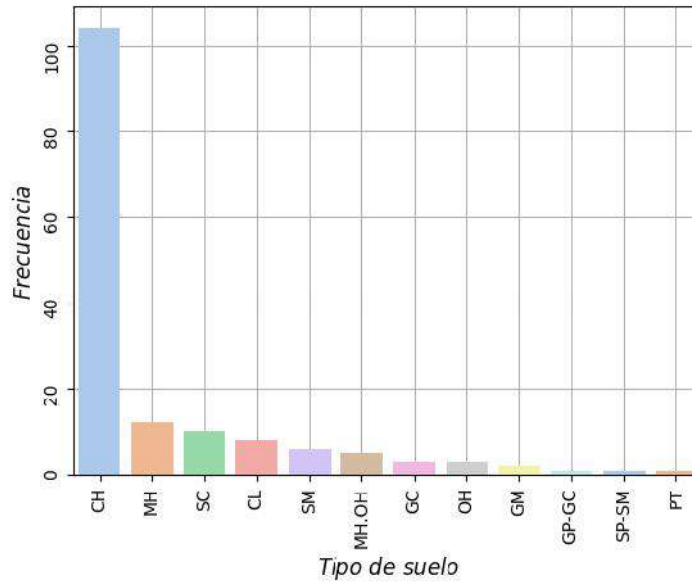


Figura 21. Distribución de tipos de suelo en la zona homogénea 2 - muestras entre 25.0 m y 35.0 m

La Figura 22 se muestra la carta de plasticidad indica los límites líquidos e índices de plasticidad de los materiales encontrados para la Zona Homogénea 3, para profundidades entre 22.0 m y 32.0 m, rango de profundidad en la cual se ubica el alineamiento del túnel. Como lo muestra la siguiente figura los límites líquidos varían entre 50 y 250 y los índices plásticos varían entre 40 y 200.

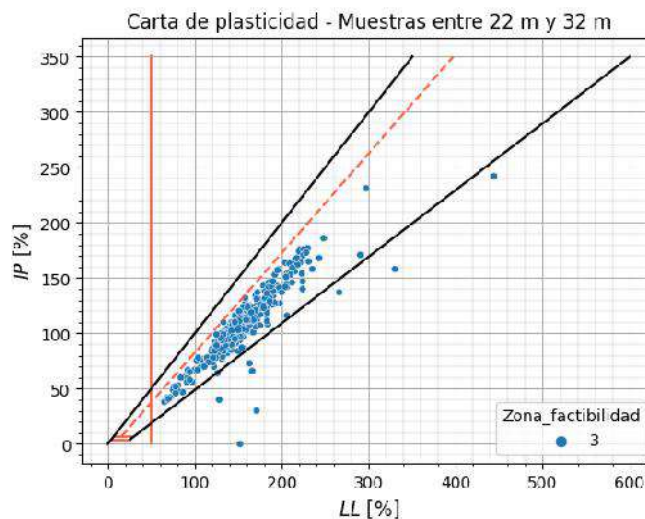


Figura 22. Distribución de tipos de suelo en la Zona Homogénea 3 - muestras entre 25.0 m y 35.0 m

La Figura 23 muestra la distribución de tipos de suelo para la zona homogénea 3, para las profundidades entre 22 m y 32 m. Como se evidencia se encontró con mayor frecuencia arcillas con alta plasticidad (CH).

Distribución de tipos de suelo en la zona 3 - Muestras entre 22 m y 32 m

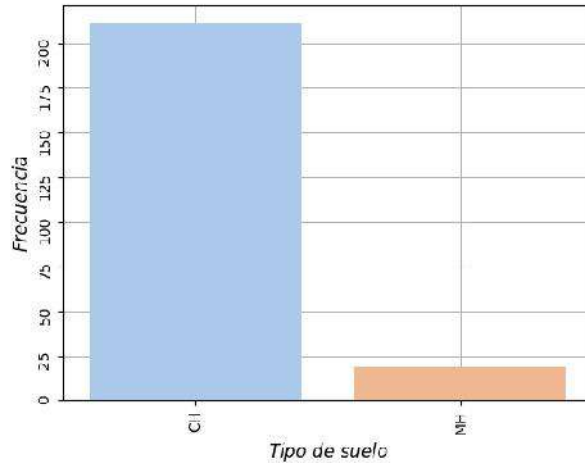


Figura 23. Distribución de tipos de suelo en la zona homogénea 3 - muestras entre 22.0 m y 32.0 m

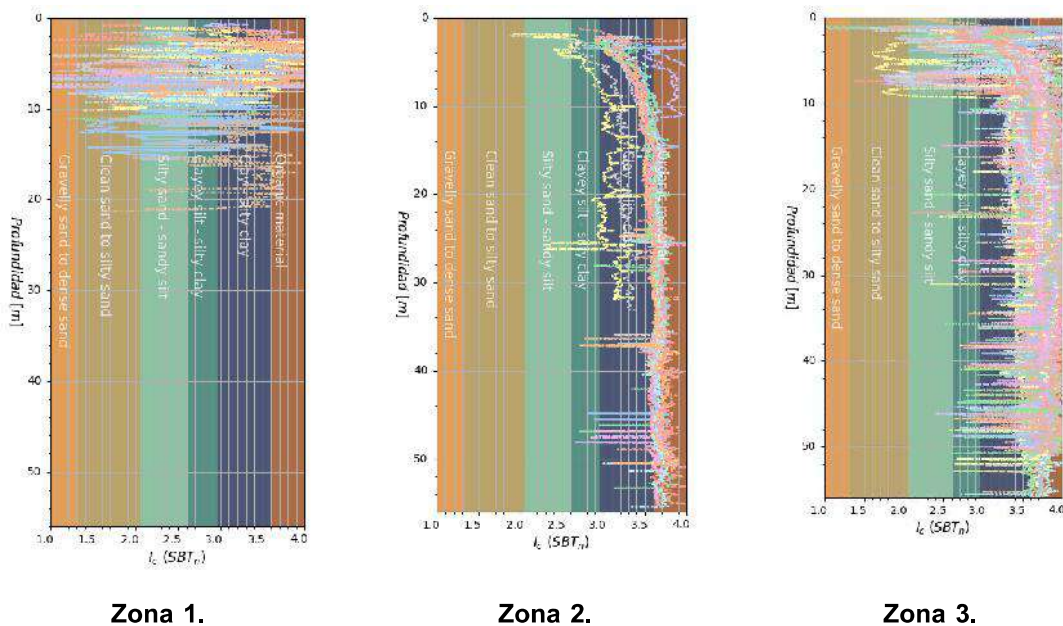


Figura 24. Comparación de los perfiles de índices de clasificación.
Fuente: elaboración propia.

De las anteriores gráficas se observa que en la Zona 1 tiene mayor variabilidad de estratos entre 0.0 - 14.0 m, con presencia de arenas, gravas y arcillas. Para la Zona 2, se tienen algunos estratos de limos arenosos entre 4.0 - 5.0 m; 6.0 - 7.0 m y 25.0 -26.0 m y después desde los 26.0 m hasta los 55.0 m, se observan estratos homogéneos de arcillas y limos. Para la Zona 3, hay una variabilidad de estratos hasta los 10.0 m, luego hasta los 55.0 m se presentan estratos homogéneos de arcillas y limos con algunos lentes puntuales de limos arenosos a las profundidades de 16.0, 22.0, 30.0 y 46.0 m respectivamente.

Perfil geotécnico

El perfil geotécnico del proyecto Línea 2 Metro Bogotá, fue construido empleando las perforaciones (visualizando los materiales físicamente de las muestras extraídas de los sondeos con su composición textural, color entre otros), ensayos de campo y ensayos de laboratorio llevadas a cabo para este proyecto de la Fase 1 del plan de exploraciones geotécnicas, también se tomó información de referencia de perforaciones, ensayos de campo y de laboratorio llevados a cabo en varios proyectos tales como el proyecto ALO y el proyecto Av. Cali.

La construcción del perfil geotécnico se basó en la clasificación de los suelos utilizando el sistema de clasificación de suelos USCS, los resultados de los ensayos de campo de prueba de penetración de cono, los resultados de campo SPT y en la observación visual de las cajas de perforaciones obtenidas de la Fase 1 de L2MB.

El perfil geotécnico muestra un material superficial de aproximadamente 1.5 a 4.0 m de espesor, conformado por estratos de gravas, arenas, y material orgánico, el cual se extiende a lo largo de todo el perfil del túnel. Los siguientes 50.0 m de profundidad muestran una arcilla de alta plasticidad, la cual es constante a lo largo de todo el perfil del túnel. También se evidenciaron lentes de limo de color gris muy oscuro en varias profundidades del perfil, de espesores que varían entre 2.0 a 6.0 m.

De los estudios existentes de las perforaciones realizadas cerca del trazado de L2MB, se encontró que los niveles freáticos son relativamente superficiales, entre 1.0 a 11.3 m de profundidad. De la información de referencia se reportaron los siguientes valores: a) Metro de Bogotá Línea 1, los niveles freáticos oscilan entre los 5.8 m y 8.9 m obtenidos a partir de las curvas envolventes de máximos y mínimos realizados a partir de todas las mediciones efectuadas en la Carrera 11 con Calle 72; b) Deprimido vehicular Avenida Caracas con Calle 72 se detectó el nivel freático a una profundidad promedio de 11.3 m; c) Proyecto Troncal Avenida ciudad Cali se identificaron los siguientes niveles: en la Calle 72 nivel a 1.7 m, en la Calle 80 nivel a 3.2 m, en la Calle 86 nivel a 2.0 m, en la Calle 90 nivel a 2.6 m, en la Calle 91 nivel a 3.9 m, en la Calle 95 nivel a 2.7 m, en la Calle 129 nivel a 3.0 m; d) Avenida Longitudinal de occidente el nivel freático definido varía entre 1.0 m y 7.5 m.



10.18.1.4. Proceso constructivo del Túnel

El tipo de máquina que se adecuará mejor a las condiciones existentes para la construcción de la Línea 2 del Metro de Bogotá, sería con escudo de balance de presión de tierras o EPB.

Este tipo de escudo se desarrolló inicialmente para resolver el trabajo en terrenos arcillosos, procurando lograr un sistema de trabajo continuo, lo que se hizo a través de tres aspectos básicos:

- Estabilizar el frente con un material a presión, que es el propio escombros excavado, una vez convertido con productos de adición en una mezcla de consistencia visco-plástica.
- Lograr que la mezcla tenga la consistencia adecuada para ser transportable por el tornillo sin fin y la cinta y vagón.
- Lograr que esa mezcla se pueda extraer sin perder la presión en el frente para garantizar una continuidad del proceso.

Las máquinas tipo EPB fueron ideadas para excavar suelos arcilloso-limosos y limo-arenosos de consistencia pastosa y blanda, con un contenido de finos superior al 25% - 30%, situados en el área izquierda (celeste) de la Figura 25. La zona señalada con color gris y flechas indica una extensión del rango de acción de los escudos EPB, posible gracias al acondicionamiento de las propiedades del suelo mediante la adición de aditivos en la cámara que forman una mezcla

adecuada. Para lograr esa mezcla hay que incorporar al escombro del frente suspensiones en agua de arcillas y/o espumas y polímeros en cantidades limitadas que se inyectan al frente y a la cámara de forma que el aditivo se reparta lo más uniformemente posible.

En otros tipos de suelo, puede ser necesario el uso intensivo de otros agentes acondicionadores como son los polímeros, agua y espumas. Por lo tanto, con los aditivos adecuados, la máquina EPBS se puede utilizar en una gama muy amplia de tipos de suelo (Véase Figura 25).

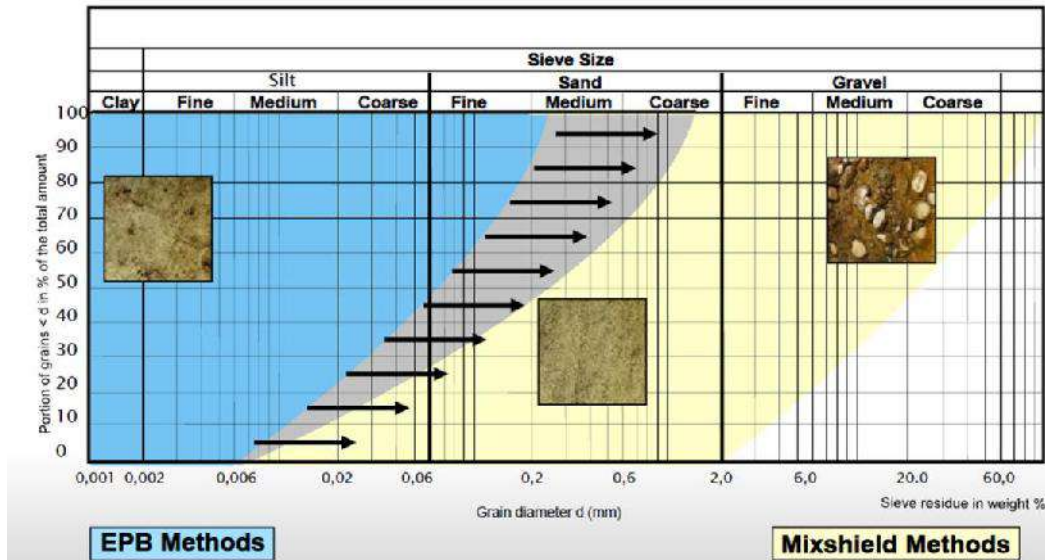


Figura 25. Granulometría de los terrenos y aplicación a los escudos EPB (Tobergte & Curtis, 2013).

Sistema con máquina EPB

La máquina tipo Earth Pressure Balance Shield (EPBS), o de (escudo de presión balanceada), se basa en el principio de utilizar los movimientos de empuje y avance de la tuneladora para mantener la presión en la cara. La presión de soporte frontal se aplica utilizando el suelo recién excavado, recolectado y presurizado en el plenum o recinto.

En la Figura 26, se muestra el esquema de un escudo de presión de tierra en el que se distinguen 3 partes: la anterior, denominada cabeza o rueda de corte; el escudo intermedio y la posterior o cola de la tuneladora.

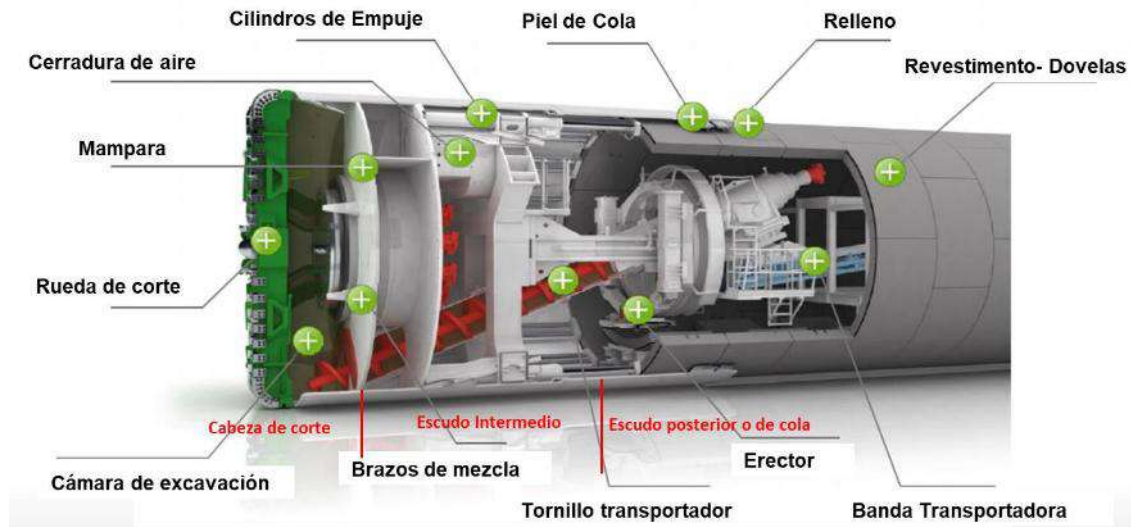


Figura 26. El principio de funcionamiento de EPB Shield
Fuente:Herrenknecht-(Moreno, J.C).2016

La cabeza lleva, en su cara frontal, las herramientas de corte y las toberas de los productos de adición, y, en su interior o cámara de presión, los dispositivos de homogeneización y preparación del terreno excavado para su extracción en forma de masa plástica. En la cámara se disponen también de dispositivos para el control de las presiones en la masa excavada para asegurar la estabilidad del frente.

El escudo intermedio, cuya parte anterior es una estructura metálica denominada mampara, que soporta toda la presión de la cámara, lleva los componentes de accionamiento de la máquina, así como el mecanismo para transmitir el movimiento a la rueda, que comprende la corona dentada y sus rodamientos de apoyo, a ese conjunto se le suele denominar cojinete principal de la máquina y es un producto del “know-how” de cada fabricante. En la parte inferior del mampara se monta un único tornillo sin fin encargado de extraer el material excavado. Los cilindros del escudo utilizados para su avance están distribuidos uniformemente en sentido circunferencial alrededor de la periferia exterior de la zona trasera del escudo intermedio.

Por último, la parte posterior o cola del escudo es el espacio en el que se desarrolla el montaje de los anillos de revestimiento mediante un erector de dovelas, y es donde el tornillo sin fin descarga el material excavado en una cinta transportadora que lo dirige fuera del túnel. En general, para facilitar la gestión de los trazados en curva, la junta entre escudo y cola está articulada.

El funcionamiento de la máquina EPB o de equilibrio de la presión de tierras, tiene por objetivo excavar una sección circular a cierta profundidad, contrarrestando la presión del terreno en el frente, evitando así deformaciones que se traducirían en asentamientos significativos en la superficie.

Una vez colocado el anillo, se está en condición de realizar otro empuje o avance, el cual comienza con el giro de la cabeza de corte y el empuje de los cilindros.

Simultáneo al empuje, se realiza la inyección de una mezcla o mortero en el espacio anular comprendido entre el terreno y los anillos de dovelas, con el fin de evitar deformaciones superficiales del terreno. Este proceso se ejecuta de manera simultánea a la excavación a lo largo de todo el túnel, en los anillos que vayan saliendo de la cola del escudo. Para tal fin se emplea un sistema de inyección basado en el concepto Bi-componente, con una mezcla donde el componente A

es una suspensión coloidal de una mezcla de conglomerantes hidráulicos y el B es un acelerante, generalmente silicato sódico, ambos reaccionan y endurecen en un tiempo que permite llenar todo el gap entre el anillo y el terreno excavado.

También en forma paralela a la excavación y colocación de anillos, se coloca una solera para el avance del back up y el sistema vagones que alimentan las dovelas, equipo y demás materiales al escudo, durante la excavación. Este sistema puede moverse sobre rieles o sobre ruedas neumáticas.

Al excavar el terreno, éste se introduce en la cámara frontal del escudo EPB y una inyección espuma - mezcla de agua, producto tensoactivo, polímeros estabilizadores y aire - a una determinada presión según la granulometría del material a excavar(Véase Figura 27 y Figura 28), y la agitación producida por la cabeza de corte, convierten el terreno excavado en un lodo que se presuriza debido a la presión ejercida por los cilindros hidráulicos de empuje.

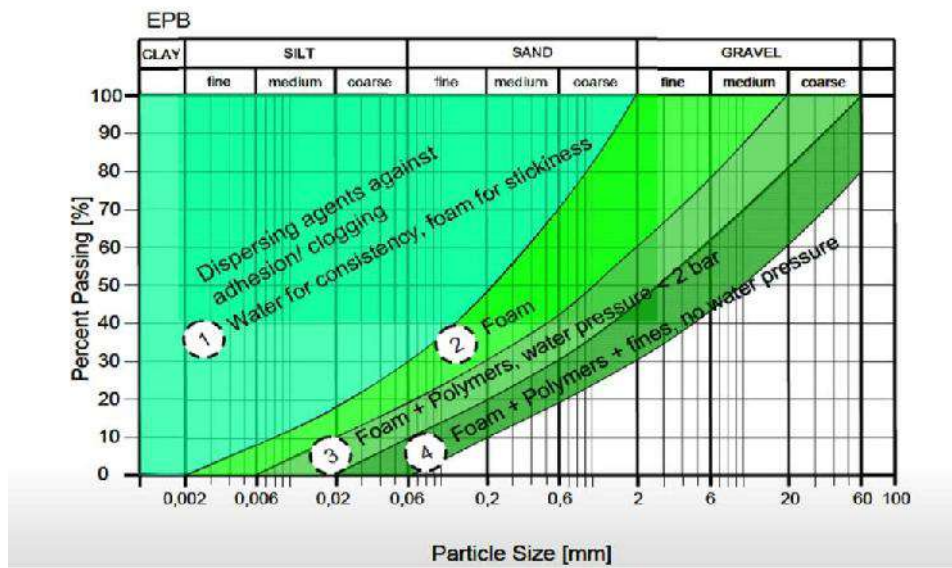
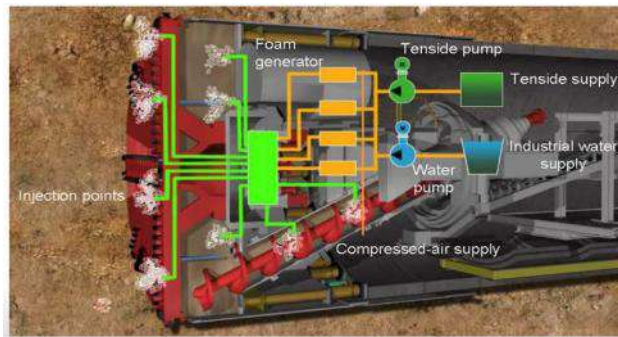


Figura 27. Rangos de aplicación de la EPB y condicionantes del terreno
Fuente:Herrenknecht-(Moreno, J.C).2016



a. Esquema de sistema de inyección de espumas



b. Ejemplo de aplicación de espumas

Figura 28. Detalles de la forma de aplicación de espumas u otros componentes condicionantes del terreno

Fuente:Herrenknecht (Moreno, J.C).2016

Parámetros y conceptos relevantes para la evaluación del tipo de máquina.

Para la selección del tipo de máquina se revisaron los siguientes aspectos con base en la litología y parámetros geotécnicos definidos a lo largo del trazado de la L2MB.

- Perfil longitudinal geológico con alineación vertical del túnel (pendientes máxima y mínima.) y ubicación de los pozos de entrada y salida.
- Estructura de la capa y condiciones de las aguas subterráneas (máximas entradas de agua esperadas/presión de las aguas subterráneas durante construcción).
- Alineación horizontal (radio máximos y mínimos) del túnel con ubicaciones de pozos.
- Detalles sobre las capas del suelo:
 - Curvas de distribución de tamaño de grano.
 - Pesos específicos γ / γ' .
 - Parámetros de cortante: ϕ , c, cu.
 - Permeabilidad k.
 - Mineralogía arcillosa y consistencia (Límites de Atterberg) del suelo a excavar.
 - Módulo de elasticidad Es.
 - En caso de que existan cantos rodados: tipo de roca, cantidad esperada, tamaños esperados, resistencia a la compresión no confinada (UCS), resistencia a la tracción (BTS), contenido de cuarzo, índice Cerchar (comportamiento de desgaste CAI).
 - Coeficiente de presión de tierra k_0 .

Para ser utilizable el material excavado como medio de soporte, el suelo deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Capacidad de extrusión.
- Cohesivo y plástico.
- Consistencia blanda a dura.
- Ángulo interno de fricción bajo.
- Baja permeabilidad al agua.
- Buena elasticidad.

Si los requisitos del suelo no se cumplen, el suelo tiene que ser acondicionado. El acondicionamiento dependerá de los siguientes parámetros del suelo:

- Distribución del tamaño de grano.
- Contenido de agua, w (%).
- Límite líquido, wL (%).
- Índice de Plasticidad, IP y
- Índice de Consistencia, IC

En la Figura 29, se presentan los rangos de aplicación de la EPB con la relación de condicionantes dependiendo del tipo de material o granulometría esperada. En esa figura se muestra según la información recabada para la L2MB por zonas donde se concentrarían los condicionantes del terreno

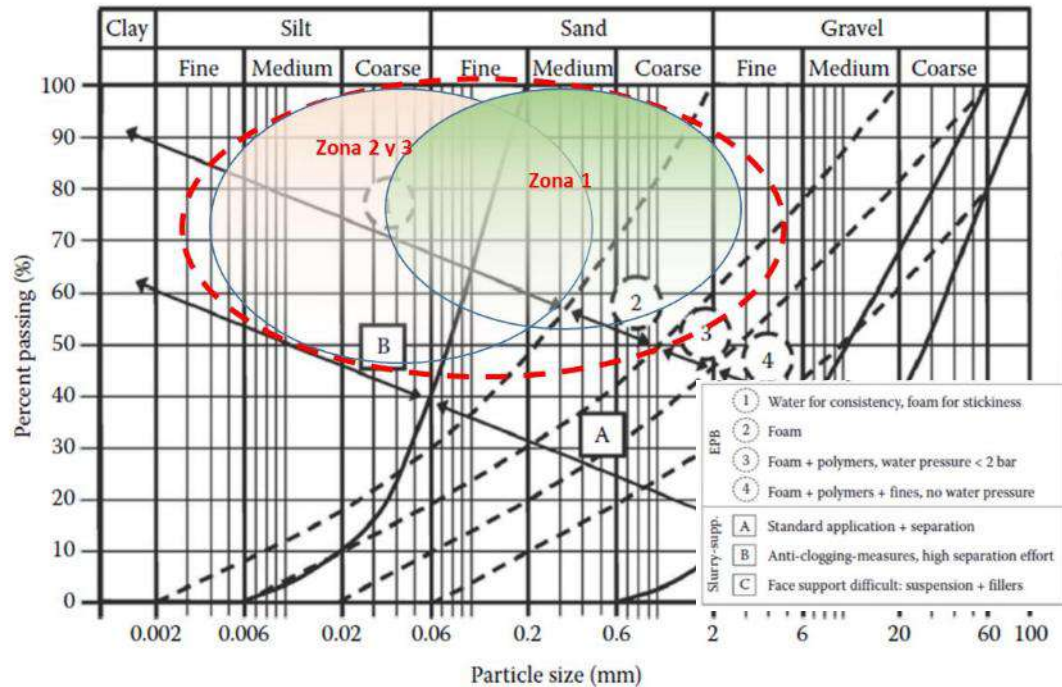


Figura 29. Rangos de aplicabilidad de la máquinas EPB y condicionantes del terreno
Fuente: Bilgin, N et al-2014

Como condicionantes del terreno se utilizan los siguientes elementos:

- Bentonita
- Agua
- Polímeros dependiendo de (Plasticidad/ Cohesión del suelo)
- Espumas (Tensioactivas) dependiendo de (permeabilidad/ consistencia)

El estado inicial del suelo se debe mantener sin cambios como sea posible; la consistencia de la masa de suelo debe garantizar el transporte hasta el sitio de depósito en forma económica.

Las ventajas que proporcionan los condicionantes del terreno son los siguientes:

- Baja densidad
- Mezcla óptima con el suelo
- Reducción de la fricción interna
- Reducción del par de la rueda de corte
- Reducen la adherencia del suelo al metal del escudo/rueda de corte
- Reducen la permeabilidad del suelo
- Reducción el desgaste
- Permiten una mayor estabilidad facial o del frente temporal

De acuerdo con los criterios de selección del tipo de máquina para EPB y según la DAU (ITA/AITES) - 2022 se presenta la Tabla 12. En esta tabla se definen los parámetros geotécnicos de mayor peso para definir la aplicabilidad del sistema constructivo. Los resultados de este análisis se comentan a continuación:

- En las primeras filas se establece que con granulometrías del material con diámetros menores a 0.006 mm y en porcentajes por encima del 15% a mayores la máquina puede ser viable. Según los resultados de la exploración geotécnica se concluye que este criterio se está cumpliendo para todas las tres zonas definidas de materiales que cruzara la tuneladora.
- Desde el punto de vista de permeabilidad k (m/s) los valores para las capas de arcillas o arcillas limosas que cubren la mayor parte de los suelos lacustres de la zonas 2,3 e incluso la 1 presentan valores por debajo de 10^{-8} (m/s), por lo que encaja bastante bien el sistema constructivo. En la zona 1 se detectaron algunos bancos o lentes de arenas y/o gravas con valores menores a 10^{-6} m/s, por lo que sigue siendo válido el sistema constructivo.
- En relación con el índice de Consistencia IC los valores registrados con las exploraciones geotécnicas indican una gran porcentaje con valores menores a 1.25, por lo que se considera adecuado el sistema.
- Desde el punto de vista de la densidad relativa no se observa que pueda existir inconvenientes.
- Con respecto a las presiones de confinamiento los valores máximos esperados no pasan de 5 bares, por lo que es viable el sistema constructivo propuesto.
- Relativo al potencial expansivo del material, si bien desde el punto de vista de la carta de plasticidad y límite líquido indican que las arcillas encontradas para las zonas 2 y 3 principalmente podría ser catalogadas como expansivas, pero de acuerdo con ensayos de expansión los valores de presiones son relativamente bajo, por lo que este índice para evaluar el tipo de máquina muestra que no habría problemas.
- En las exploraciones se han detectado relativamente pocas capas de gravas y/o arenas a lo largo del trazado en las zonas 2 y 3, con una mayor frecuencia en el sector más oriental en la calle 72 arriba de la Av. Caracas. Muchas de ellas por fuera del corredor en profundidad donde excavará la máquina.

Tabla 12. Áreas de aplicación y selección de máquinas EPB- Fuente: DAU(ITAS/AITES) -2022

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

Parámetros geotécnicos	EPB = Earth Pressure Balance					+	Campo de aplicación principal
						0	Aplicación extendida
						-	Aplicación limitada
Suelo							
Contenido de finos (<0.006 mm)	<5%	5-15%	15-40%		>40%		
	-	0	0	+	+		
Permeabilidad k (m/s)	Muy alta	Alta	Permeable		Baja		
	$>10^{-2}$	$10^{-2}-10^{-4}$	$10^{-4}-10^{-6}$		$<10^{-6}$		
	-	-	0		+		
Consistencia (Ic)	Muy blanda	Blanda	Rigida		Muy Rigida	Dura	
	0-0.5	0.5-0.75	0.75-1.0		1.0-1.25	1.2-1.50	
	0	+	+		0	0	
Densidad Relativa	Densa	Densidad Media	Suelta				
	+	+	+				
Presión de confinamiento (Bares)	0	1- 4 bares			4a 7 bares	7 bares	
	+	+			0	-	
Potencial de hinchamiento	Ninguno	poco	Regular		Alto		
	+	+	0		-		
Abrasividad	0-5	5 a 15	15-35		35-75	75-100	
	+	+	0		0	-	
(Contenido de cuarzo equivalente (%))	+	+	0		0	-	

En la Tabla 13, se presentan resultados de análisis de revoluciones de la cabeza de corte, fuerzas de corte media y normal, torque y potencia está siguiendo la metodología de Bilgin, N. (2014). Para el estimativo se adoptaron los siguientes parámetros y valores: Constante K experimental para simular condiciones diferentes de 2.5 para máquinas con escudo cerrado. Ángulo de fricción de terreno de 17 kN/m^3 . Ángulo del rastrillo de herramientas de corte de 30° (valor que varía entre 20° y 70°).

Tabla 13. Estimativo de revoluciones, fuerzas de corte media y normal, empuje, torque y potencia

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

VARIABLE	Valor	Notas
REVOLUCIONES DE LA CABEZA CORTADORA		
Velocidad máxima del cortador - C_{sam} - m/min =	45	
Revoluciones de la cabeza cortadora- RPM- rpm=	1,33	
PENETRACION POR REVOLUCIÓN		
Penetración por revolución- p - mm/rev=	23,6	
FUERZA DE CORTE MEDIA Y FUERZA NORMAL		
Contante experimental para condiciones de corte diferentes - k=	2,5	Para TBM de escudo cerrado
Angulo de fricción entre el corte y terreno- d - °=	30	
Penetración por revolución -p- m/rev=	0,0236	
Ancho del cortador - W- m=	0,1	Asumido de varios casos revisados
Angulo de fricción del terreno - f - °=	17	
Resistencia la corte (Cohesión del terreno)- c- kPa=	40	
Angulo de rastrillo de herramientas - a- °=	30	Valores entre 20° y 70°
Angulo z - °=	262	
Fuerza de corte - FC - kN/cortador=	0,534	
Fuerza normal - FN- kN/Cortador =	0,534	
FC corregido- kN/cortador =	1,1	
FN corregido - kN/cortador =	1,9	
EMPUJE, TORQUE Y REQUERIMIENTO DE POTENCIA PARA LA EPB		
Numero de radios o herramientas de corte en la esquina - S_n	6	Asumido según casos revisados
Numero total de cortadores - N_c =	60	
Constante por pérdidas friccionales - f =	1,2	Asumido según Bilgin et al 2014
Torque - T_{q1} - kN-m=	208	
Sumatoria de FN - kN=	135	
Requerimiento de potencia neta - $P_{cutting-net}$ -kW=	29,0	

En la Tabla 14, se presenta el estimativo de presión del frente para la excavación de la máquina tuneladora. Este estimativo se realizó sobre la base de que el túnel queda en promedio implantado a una profundidad de 25.0 m medido desde superficie hasta la clave del túnel. El diámetro del túnel es de 10.80 m, y el nivel freático está a 2.0 m (asumido) de profundidad medida desde superficie. Por otra parte se asumió un peso promedio del suelo de 16 kN/m³. El ángulo de fricción promedio del suelo es del orden de 17°, la resistencia no drenada del material en profundidad (promedio) es del orden de 40 kPa y el coeficiente de reposo se adoptó del orden de 0.75. Además se consideró una sobrecarga en superficie de 30 kN/m²(para contemplar el peso de edificaciones de hasta 3 pisos).

En la Tabla 15, se presenta el estimativo del requerimiento de empuje de la máquina según JSCE (2007). Para esta parte se siguió las recomendaciones de la JSCE (2007) y lo indicado por Bilgin. N (2014). Para el estimativo se consideró un coeficiente de fricción entre el escudo y el suelo de 0.35, el gap detrás de la cola se asumió del orden 0.125 m y se estimó una peso total de la máquina del orden de 9582 tn (aprox. 10000 tn). Con base en la metodología mencionada se calculó una fuerza de empuje del orden de 100245 kN (10025 tn).

Tabla 14. Presión en el frente de la tuneladora

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

DATOS DE ENTRADA	Valores	Notas
Altura suelo seco- h_s - m=	0	
Altura de nivel freático- h_w =	25,0	
Peso unitario de agua - q_w - kN/m ³ =	10,0	
Sobrecarga - $ssur$ - kPa=	30,0	
Resistencia al corte no drenada- C_u - kPa=	40,0	
Angulo de fricción interna f - °=	17,0	
Peso unitario del suelo- q_b - kN/m ³ =	16,0	
Diametro excavación del túnel - D_{tbm} - m=	10,8	
Profundidad a la clave - h - m=	25,0	
Presión del frente- st - kPa=	239,0	
Numero de estabilidad N- Broms y Benenmark(1967)	7	
Relacion h/D_s =	2.31	
Longitud del escudo - L - m=	10,00	
Relación L/D_s =	0.93	
N_{cri} - estimado de la curvas en f L/D_s y h/D_s =	7,00	
Cohesión no drenada crítica $C_{u cr}$ (Mair y Taylor, 1997)	73,8	
Condición del Frente=	Inestable	Requiere presión del frente para garantizar estabilidad
Presión st min - kPa=	236,0	
Presión st max- kPa=	796,0	
Presión del Frente st - kPa=	376,0	
Ancho medio del arco del prisma de suelo- b_s - m=	16,4	
Angulo de fricción del prisma de suelo- d - °=	17,0	
Coefficiente de reposo- K_o =	0.75	
Altura H_o - m=	19,19	
Altura $2D_{tbm}$ =	21,60	
Esfuerzo sv - kPa=	180,0	
Esfuerzo vertical P_a - kPa=	250,0	En la clave del túnel
Esfuerzo horizontal- sh - kPa=	405,0	En la parte superior
Presión en el frente st - kPa=	483,3	

Tabla 15. Estimación de requerimiento de empuje de máquina según (JSCE 2007)

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

VARIABLE	Valor	Notas
Coefficiente de fricción entre escudo y suelo- μ_1 =	0,35	
Peso de la máquina W_s = k N=	9582	
Presión de adhesión (entre escudo y suelo cohesivo)- CA - kPa=	50	Asumido
Presión promedio actuando vertical y horizontalmente- PM - kPa	328	
Suelo Cohesivo (1) o Granular(2)	1	Suelo Cohesivo
Fuerza de empuje requerida para superar fricción (adhesión)entre escudo y terreno debido a presión de tierra - F_1 -kN=	16964,6	
Fuerza de empuje requerida para superar la presión en la cámara actuando en la mampara- F_2 -kN=	44275	
Fuerza de empuje requerida para superar la fuerza de impulso- F_3 -kN=	3827	
Gap en la cola del escudo - G_a - m=	0,125	
Diámetro exterior de segmentos del túnel - D_o - m=	10,55	
Longitud de contacto entre segmento y el sello de cola - L_{sc} - m=	0,30	
Coefficiente de fricción entre sello y segmentos - μ_2 =	0,25	Valor entre 0,20 y 0,30
Fuerza de empuje requerida para superar la fuerza de fricción actuando entre segmentos y sello de cola - F_4 -kN=	814	
Coefficiente de fricción entre ruedas y riel- μ_3 =	0,15	
Peso de engranajes - G - kN=	5525,8	
Fuerza de empuje requerida para superar la fuerza de arrastre del backup - F_5 -kN=	829	
Empuje Total de la máquina - T_h -kN=	66844	
Factor de seguridad =	1,5	
Empuje Total de la máquina - T_h -kN=	100266	
Factor de empuje según JSCE(2007) - K_n/m^2 =	1000-1500	
Coefficiente de Factor de empuje - a - =	1095	
Fuerza de empuje instalada- $T_{h\ inst}$ según Jancsez et al ,1999- kN=	99144	

El estimativo de la potencia neta de la máquina se presenta en la Tabla 16. Para este cálculo se tomó un factor de torque del orden de 20, cuyo valor está en el rango de 10 a 25 para máquinas EPB y la eficiencia de los motores de los cortadores se adoptó del orden de 0.75. La potencia neta en KVA estimada es del orden de 4920 KVA(Es decir del orden de 5000 KVA).

Tabla 16. Estimativo de la potencia total de la máquina

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

DATOS DE ENTRADA	VALORES	Notas
Diámetro de la máquina D _{tm} - m=	10,8	
Factor de torque - a - =	20	Sugerido de 10 a 25 para EPB y de 8 a 20 para SPB
Torque de la cabeza cortadora - T _q - kNm	25194	
Revoluciones por minuto- RPM =	1,33	
Potencia de la cabeza cortadora- P cutterhead- inst- Kw=	3499	
Eficiencia de los motores de cortadores N =	0,75	Asumido según revisión de varios casos
Potencia de la cabeza cortadora- P cutterhead- neta- Kw=	2624	
Factor por otros componentes	1,5	
Potencia total neta- kW=	3936	
Potencia en KVA=	4920	

De acuerdo con los resultados de las tablas anteriores la máquina perforadora de túneles tendría los siguientes datos:

Tabla 17. Resumen de datos de la máquina tuneladora estimada

DATO	VALOR
Diámetro - m	10.80
Longitud del escudo - m=	aprox. 10 m
Tipología del escudo -	EPB cerrada con presión en el frente de excavación y posibilidad de aplicar condicionantes del terreno(espumas o polímeros)
Presión máxima en el frente- bares	4.8 bares
Potencia de la rueda de corte - KVA	5000
Fuerza de empuje - tn	10000
Sobre corte -cm	2.5 a 3.5 cm
Revestimiento	Anillos de dovelas prefabricadas de f'c de 45 MPa reforzadas



10.18.1.5. Diseño de dovelas

Para estimar las densidades de refuerzo de las dovelas del túnel se realizó un análisis del túnel considerando una profundidad promedio de la corona del túnel de 24 m y una altura del nivel freático por encima de la corona del túnel de 21 m. Para la estimación de presiones verticales y horizontales del suelo se consideró un peso específico del suelo de 14,5 kN/m³ y un coeficiente de empuje lateral de 0,75. Adicionalmente, se consideró una sobrecarga vertical de 40 kN/m² actuando encima del túnel. Las presiones estimadas a partir de la información anterior se aplicaron en un modelo de elementos *frames*, con el cual se representa un anillo de ancho unitario (ver Figura 30).

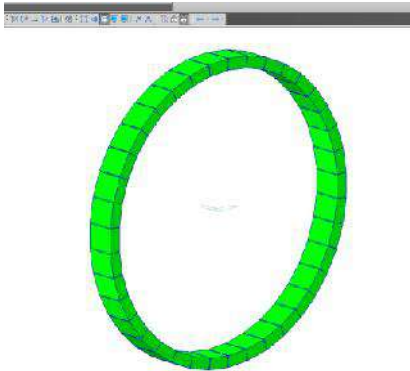


Figura 30. Modelo tipo frame de análisis del túnel

De acuerdo con los diagramas de momento y axiales obtenidos del análisis del anillo de dovelas se obtuvo el acero de refuerzo requerido, el cual es de 18250 mm^2 de acero longitudinal, a partir del cual se estimó una densidad de acero de 220 kg/m^3 .

En la Figura 31 y Figura 32 se muestran los diagramas de momento y axiales obtenidos en las dovelas del anillo a partir de los cuales se obtuvo el acero de refuerzo requerido en las dovelas, el cual se muestra en la Figura 33, obteniéndose 18250 mm^2 de acero longitudinal, a partir del cual se estimó una densidad de acero de 220 kg/m^3 .

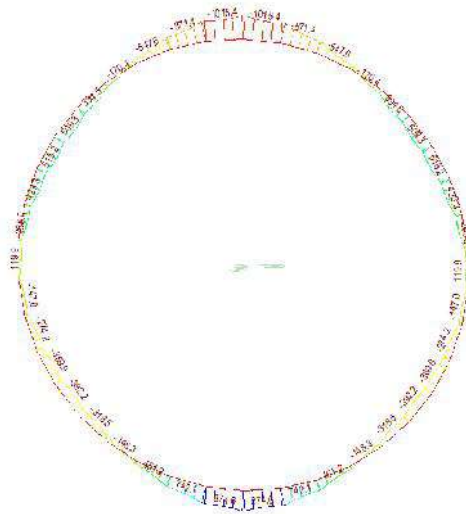


Figura 31. Diagrama de momentos flectores en el anillo (kN-m)

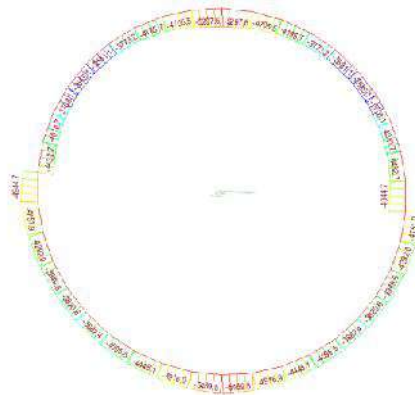


Figura 32. Diagrama de axiles (kN)

Code : AASHTO-LRFD12 Unit : kN , mm Primary Sorting Option

Sorted by Member SECT MEMB

Section

MEMB	SE	Section	Bc	Hc	fc	fy	CHK	LC	PO	Pu	Mc	Ast	Vu	Asv	Ties/Spirals
SECT	L	t	a	b	Height	fys		B	S	Rat-P	Rat-M		Rat-V	Asvz	
0		Dovela	1000.	400.0	0.03500	0.42000	OK	1	J	5297.61	1015382	18250	879.001	53.333	2.0-#5 @190
1		0.0000	0.000	0.000	825.79	0.42000				0.976	0.972		0.990	53.333	

Figura 33. Acero de refuerzo requerido para las dovelas



10.18.1.6. Análisis de subsidencias

Para revisar el efecto en superficie de la construcción del túnel con máquina EPB se aplicaron criterios de análisis de tipo analítico y/o semi empírico, así como modelación numérica.

Métodos analíticos

Los asentamientos que pueden llegar a ocurrir durante el proceso de construcción del túnel se deben principalmente a tres componentes:

1. Los asentamientos a corto plazo (o inmediatos) provocados por la excavación del túnel.
2. También pueden ocurrir parte del asentamiento debido a la deformación del revestimiento del túnel.
3. Otra parte se debe a los asentamientos a largo plazo, debido a: (1) la consolidación primaria (que ocurre en suelos cohesivos por disipación del exceso de presión de poro) y (2) a la consolidación secundaria.

Durante el proceso de excavación, el suelo sin apoyo o parcialmente apoyado alrededor del túnel se mueve hacia adentro a medida que se produce el alivio de los esfuerzos. Por lo tanto, siempre será necesario eliminar un volumen de suelo mayor que el volumen teórico del vacío terminado. Este volumen extra excavado se conoce como "pérdida de volumen" (o "pérdida de terreno").

Para efectos de estimar asentamientos con el método analítico se aplicó lo sugerido por Loganathan y Poulos (1998) para el caso de Mono túnel. Comprobaciones mediante otros métodos como fue el de Taylor y Grand (2000) también se realizaron como verificación. Ambos métodos resultan con valores muy similares de la cubeta de asentamientos.

Para el análisis de subsidencias se adoptaron 36 secciones representativas a lo largo de todo el trazado de la L2MB puntualizando en los sitios más críticos con miras a definir los pretratamientos para reducir impactos en superficie.

Como referencia en la Figura 34, se presenta la cubeta de asentamientos para el caso bajo el paso del Humedal Juan Amarillo para una profundidad de implantación a clave del túnel de 23,45 m. Según los resultados en este análisis el asentamiento máximo esperado puede ser del orden de 23 mm, con un distorsión angular 0.06% a 0.025% respectivamente.

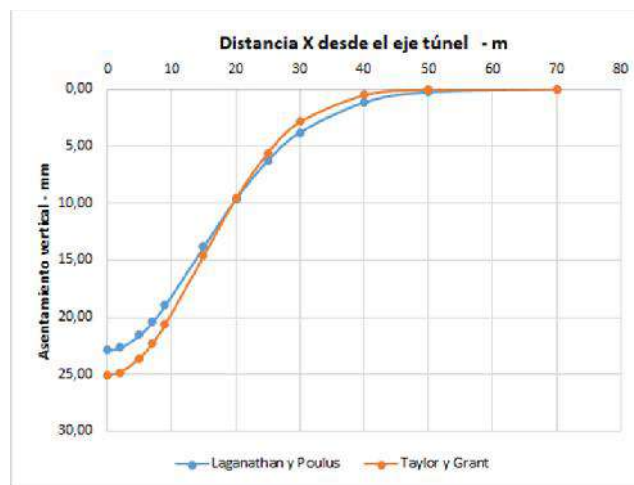


Figura 34. Comparación de cubeta de asientos entre Loganathan y Poulos versus Taylor y Grand

Para establecer el efecto de posibles daños o afectaciones en superficie se revisó el criterio de Boscardin y Cording (1989). Para este efecto en un gráfico se colocaron los valores de los ángulos de distorsión versus el strain horizontal en %. Con estos valores y los máximos strain horizontales esperados en ambas tramos de la curva de asientos se establece que la incidencia de asientos en superficie es baja en esta zona del trazado. (Véase Figura 35).

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

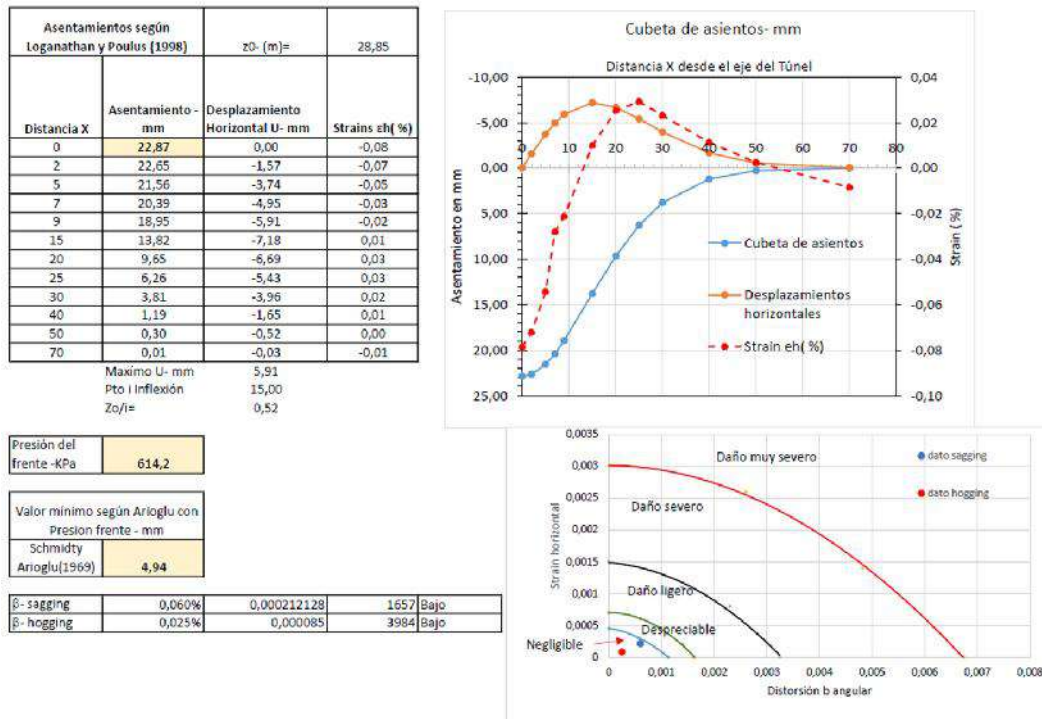


Figura 35. Análisis de subsidencias asentamientos y desplazamientos horizontales - Brazo Humedal Juan Amarillo

Según los resultados en este análisis para la zona de brazo del humedal Juan Amarillo muestran que el asentamiento máximo esperado para la profundidad de implantación mencionada puede ser del orden de 23 mm y con un distorsión angular en la zona de sagging de 0.06% y en el hogging de 0.025% respectivamente. Con estos valores y los máximos strain horizontales esperados en ambas tramos de la curva de asientos, se establece que la incidencia de asientos en superficie es baja en esta zona del trazado.

En el caso del paso del túnel por el humedal Juan Amarillo y con base en la información analizada como las comprobaciones de magnitud de asientos para la profundidad de implantación establecida del túnel en este sector, se aplicará la técnica constructiva con una tuneladora tipo EPB (Earth pressure Balance). El tipo de soporte estará conformado por dovelas prefabricadas de concreto reforzado que se colocan inmediatamente con el avance del túnel, las cuales son diseñadas para ser completamente estancas e impermeables. La máquina estará compuesta por un escudo cerrado, con una cámara donde se aplica presión de agua y tierra, en el frente balanceada, con el fin de controlar los desplazamientos. El efecto de soporte y balance de presiones se logra con el material de la excavación, el cual es mezclado con agua o aditivos condicionantes dependiendo del tipo de material por excavar, para formar un lodo de consistencia suave a muy suave que se retira a través del tornillo sin fin ubicado detrás de la cámara y la cabeza cortadora, para luego ser evacuado hasta la zona de depósito. El “gap” que deja la cabeza cortadora se rellena con inyecciones de lechada inmediatamente se va avanzado para reducir el efecto de desplazamiento y, en consecuencia, la subsidencia. Al ser hermético el sistema se elimina la posibilidad de tener infiltraciones hacia el túnel y en consecuencia efectos en el humedal. Además es importante aclarar que los bicomponentes que se utilizan para acondicionar el material de suelo y garantizar la presión del frente algunos proveedores garantizan bajo normas que estos elementos no tengan impactos ambientales.

El método constructivo permite un contrabalance de presiones del terreno y de las aguas, manteniendo la hermeticidad con los escudos de la máquina, como con los sellos previstos en los segmentos de los anillos de dovela, evitando así que se afecte el nivel freático, el desecamiento de la fuentes hídrica superficial entre otros. En el proceso de excavación

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

se utilizarán aditivos para el acondicionamiento y corrección de los cambios en la humedad y granulometría del terreno excavado en el frente. Para ese propósito, se utilizan espumas para sustituir los finos faltantes y el agua intersticial.

En la Tabla 18 se resume el estimativo de asentamientos, desplazamientos horizontales (strain en %) y ángulos de distorsión angular de las 36 secciones representativas analizadas. Si bien los resultados de los análisis analíticos de subsidencia muestra baja afectación a lo largo del corredor del trazado de la L2MB, se resaltan al menos 9 sitios particulares que fueron considerados de mayor cuidado debido a la presencia de estructuras o cuerpos de agua o tuberías de la Empresa de Acueducto de Bogotá, que requieren de pretratamientos con miras a reducir asentamientos y/o desplazamientos horizontales.

Tabla 18. Resumen de estimativo de asentamientos, desplazamientos horizontales (strain en %) y ángulos de distorsión angular

Abcisa inicial	Abcisa final	Long-m	Causa o problemática	Secciones Tipo de analisis	Profundidad a clave del túnel -m	Asentamiento maximo -mm	Beta sagging	Maxima strain sagging	Beta Hogging	Maxima strain Hogging
14400	14360	40	Bajo cobertura - suelos poco competentes - mejora terreno para el sector contiguo al pozo de entrada	1	2	91,51	0,82%	0,0028	0,29%	0,00031
13370	13350	20	Cruce Canal Cafam -	2	19,82	26,16	0,08%	0,00023	0,03%	0,0001
11920	11760	160	Estación Aio sur	3	14,42	33,29	0,11%	0,00011	0,04%	0,00015
11440	11390	50	Cruce túnel por debajo de edificaciones	4	25,07	21,65	0,05%	0,00022	0,03%	0,0000776
11280	11250	30	Cruce túnel por debajo de edificaciones	4	25,07	21,65	0,05%	0,00022	0,03%	0,0000776
11200	11140	60	Cruce túnel por debajo de edificaciones	5	22,35	23,78	0,07%	0,000199	0,03%	0,0000903
10990	10940	50	Brizo humedal Juan Amarillo	6	23,45	22,87	0,06%	0,00021	0,03%	0,000085
10460	10120	340	Estación humedal y Juan amarillo- edificaciones costado izquierdo - Suelos blandos	7	25,62	21,27	0,05%	0,00022	0,03%	0,000075
10120	10020	100	Estación humedal y Juan amarillo- edificaciones costado izquierdo - Suelos blandos	8	26,97	20,38	0,05%	0,00023	0,02%	0,0000704
8940	8920	20	Suelos blandos	9	17,43	28,9	0,10%	0,0000688	0,03%	0,00012
8940	8920	20	Canal Salitre - Suelos blandos	10	13,98	35,13	0,13%	0,0002	0,04%	0,00016
8720	8690	30	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	11	21,31	24,7	0,07%	0,00018	0,03%	0,0000959
8630	7940	750	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	12	20,8	25,18	0,08%	0,000173	0,03%	0,0000985
7940	7660	280	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	13	26,31	20,18	0,05%	0,00023	0,03%	0,000072
7610	7580	30	Paso Av. CIBO	13	26,31	20,18	0,05%	0,00023	0,03%	0,000072
7580	7100	480	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	14	20,4	25,57	0,08%	0,00016	0,03%	0,0001
7100	6240	860	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	15	25,75	21,18	0,05%	0,00022	0,03%	0,0000749
6240	5320	920	Suelos blandos - paso por debajo de la tubería de 72" de Tibitoc- Av. Boyaca	16	24,39	22,16	0,06%	0,00022	0,03%	0,0000805
5320	5290	30	Suelos blandos	17	23,68	22,53	0,06%	0,00021	0,03%	0,0000827
5210	4680	530	Suelos blandos	18	30,52	18,37	0,04%	0,00023	0,02%	0,0000827
4680	4300	380	Suelos blandos	19	25,45	21,39	0,06%	0,00022	0,02%	0,0000922
4100	3900	200	Av. CRA 68- Puente- Suelos blandos	20	15,39	31,74	0,10%	0,000043	0,04%	0,00014
3900	3100	800	suelos blandos	21	20,15	25,82	0,08%	0,00015	0,03%	0,00011
3120	2800	320	Suelos blandos	22	33,25	17,07	0,04%	0,00022	0,02%	0,000078
2800	2500	300	Suelos blandos	23	30,52	18,37	0,04%	0,00023	0,02%	0,000079
2500	2450	50	Zona Canal Arzobispo- suelos blandos	24	20,17	25,8	0,08%	0,000159	0,03%	0,0001649
2450	2400	50	Zona Canal Arzobispo- suelos blandos	25	21,39	24,63	0,07%	0,00018	0,03%	0,00011
2400	2220	180	Suelos blandos	26	22,95	23,27	0,06%	0,0002	0,03%	0,0001
2220	2100	120	Suelos blandos	27	22,00	23,31	0,06%	0,00011	0,03%	0,000105
2220	2100	120	Av. NQS- Suelos blandos - canal	28	24,00	22,4	0,06%	0,00021	0,03%	0,0001
2100	1590	510	Suelos blandos	29	26,16	20,91	0,05%	0,000279	0,03%	0,000093
1590	760	830	Suelos blandos	30	27,24	20,21	0,05%	0,00023	0,02%	0,000089
760	600	160	Estación 1- Edificaciones - suelos blandos	31	23,76	22,63	0,06%	0,000215	0,03%	0,000101
760	600	160	Estación 1- Edificaciones - suelos blandos	32	24,42	22,13	0,06%	0,00022	0,03%	0,0000992
600	500	100	Deprimido Abajo Av. Caracas-	33	24,53	22,04	0,06%	0,00022	0,03%	0,000098
500	460	40	Deprimido doble - Arriba Av. Caracas	34	27,33	20,16	0,05%	0,00023	0,02%	0,0000878
460	300	160	Av. Calle 72 - Edificaciones altas costados derecho e izquierdo	35	30,97	18,14	0,04%	0,00023	0,02%	0,0000819
300	0	300	Pozo de salida- Edificaciones altas costados derecho e izquierdo	36	36,95	15,58	0,03%	0,00021	0,02%	0,0000725

Modelación numérica

Para evaluar los asentamientos y desplazamientos horizontales a lo largo de la Línea 2 de Metro de Bogotá, durante el proceso de excavación con la máquina EPB, fue necesario realizar un análisis de sensibilidad de asentamientos y desplazamientos horizontales aplicando el método numérico en 3D mediante el software Abaqus, en función de varias profundidades posibles de implantación del túnel, como porcentajes de pérdida de volumen y considerando parámetros del modelo constitutivo para arcillas como se indica más adelante.

Existen diversos modelos constitutivos para representar el comportamiento de suelos arcillosos sobre-consolidados como aquellos que se encuentran en la sabana de Bogotá. Uno de los más conocidos es el Modified Cam-Clay (Simulia, 2021), el cual se ha implementado en el modelo tridimensional de subsidencias debido a su simplicidad y su capacidad de representar varios de los aspectos del comportamiento de suelos.

El suelo considerado como representativo de las condiciones en las que se realizarán las excavaciones de la Línea 2 del Metro de Bogotá, se definieron según las exploraciones geotécnicas realizadas en el proyecto Avenida Ciudad de Cali, a la altura de la Estación Calle 80. Los ensayos de laboratorio realizados, en combinación con correlaciones que involucran el índice de plasticidad, permiten estimar los siguientes parámetros geotécnicos para los suelos en cuestión:

Tabla 19. Parámetros del modelo constitutivo aplicado

Estrato	De (m)	A (m)	Su (kPa)	γ (kN/m ³)	Cc* (-)	Cr* (-)	e0 (-)	OCR	Es (MPa)
1	1,50	3,50	40,00	15,60	0,77	0,10	1,53	5,00	18
2	3,50	8,00	20,00	14,00	2,01	0,27	3,93	2,00	15
	8,00	15,00	25,00	14,00	1,69	0,22	3,30	1,18	15

En la Figura 36, se presenta un esquema de la geometría del modelo numérico. Se definió un ancho de 300 m, una profundidad de 80 m y una longitud de largo de 50 m para evitar problemas de borde. La dimensión lateral de 300 m surge de un análisis de sensibilidad a dicha dimensión para garantizar una adecuada extensión lateral de la condición de frontera.

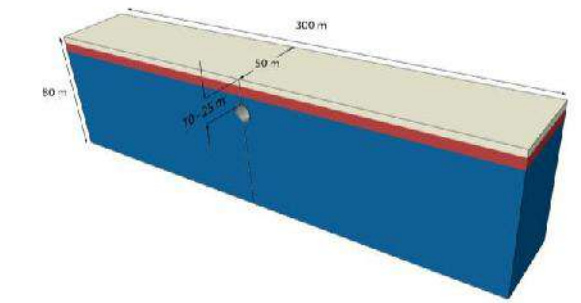


Figura 36. Geometría del modelo de análisis

En la Figura 37 se presenta un detalle del escudo, el anillo de dovelas y el gap simulado detrás de la cola del escudo.

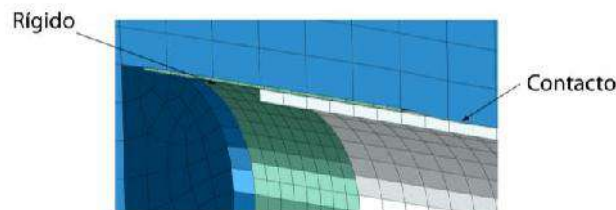


Figura 37. Detalle del escudo y anillo de dovelas , como del gap detrás de la cola del escudo.

La malla de elementos finitos para el análisis de subsidencias puede apreciarse en la Figura 38, cerca de la zona del escudo.

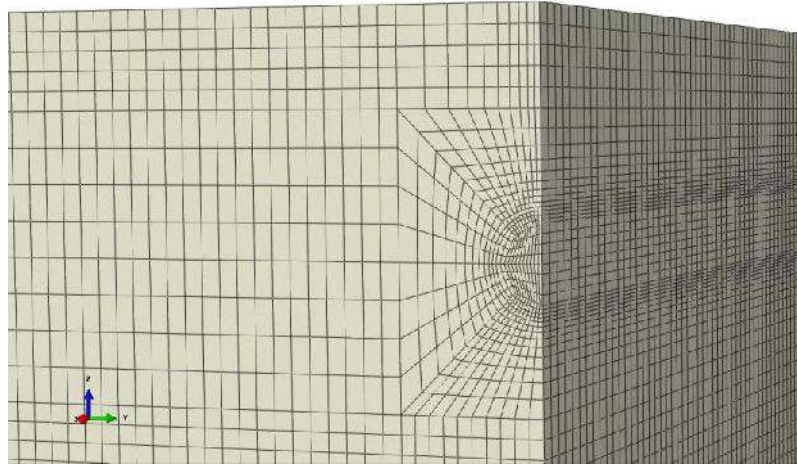


Figura 38. Malla de elementos finitos del suelo en la zona del túnel, considerando un plano de simetría por el eje del túnel.

La presión del frente de excavación se determinó mediante prueba y error para obtener deformaciones horizontales despreciables en la dirección del eje del túnel, habiéndose encontrado un valor de aproximadamente 409 kPa en la clave, variando hasta 571 kPa en la contrabóveda, lo cual representa un excedente de 170 kPa sobre la presión de poros; un valor levemente superior a lo sugerido en el reporte 22 de ITA (69 - 150 kPa por encima de la presión del agua). La presión hidrostática en el frente y la presión de poros en el suelo se pueden apreciar en la Figura 39

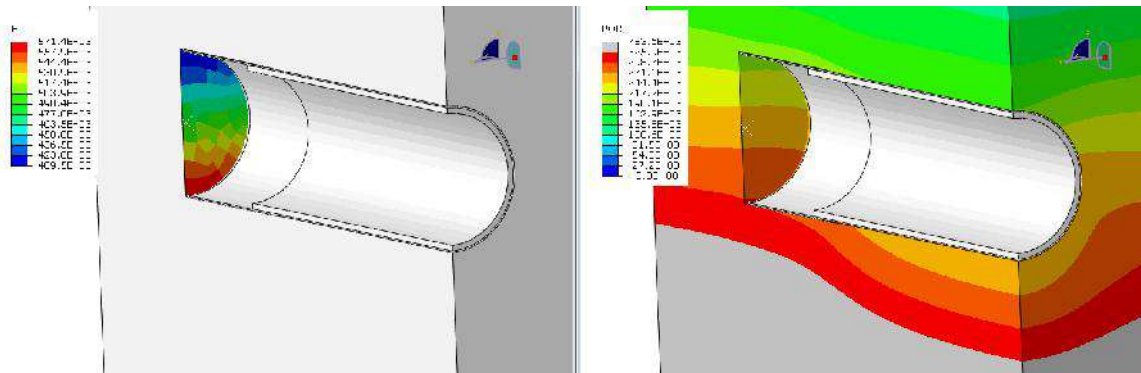


Figura 39. Presión de frente (izquierda) y presión de poros (derecha), en MPa, para un túnel a 20 m de cobertura.

Vale resaltar que el gap considerado fue de 16 cm, lo cual se considera representativo de máquinas tuneladoras de 10 m de diámetro, y que la pérdida de volumen se presenta en el modelo como resultado de una deformación libre del terreno por debajo de aproximadamente 5 cm radiales (lo que en promedio corresponde a 2% de pérdida de volumen). Al reducirse la luz que existe entre el suelo y el concreto de las dovelas por debajo de 5 cm, se considera que el suelo entra en contacto con éstas, induciendo esfuerzos y deformaciones en el concreto, pero generando deformaciones despreciables en el suelo. En otras palabras, las deformaciones en la periferia del túnel correspondientes a 2% de pérdida de volumen son del orden de 5 cm (en promedio) en dirección radial como se aprecia en la Figura 40.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

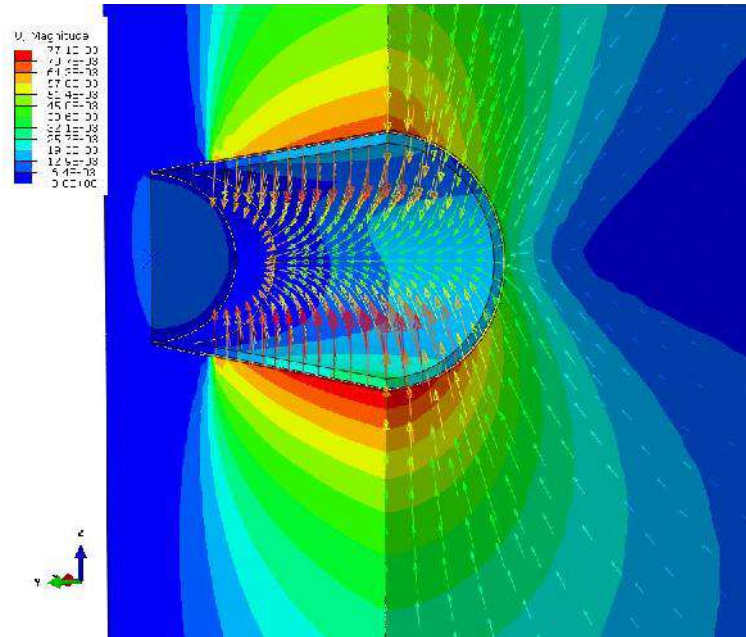


Figura 40. Deformaciones en el suelo y dovelas como resultado de la excavación al haber avanzado 38 m de la frontera del modelo.

En la Figura 41 se presentan los resultados de los análisis de asentamientos obtenidos del análisis de sensibilidad para diferentes profundidades de ubicación del túnel (10, 15, 20, 25, 30 y 35 m), así como para varios porcentajes de pérdida de volumen (0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%).

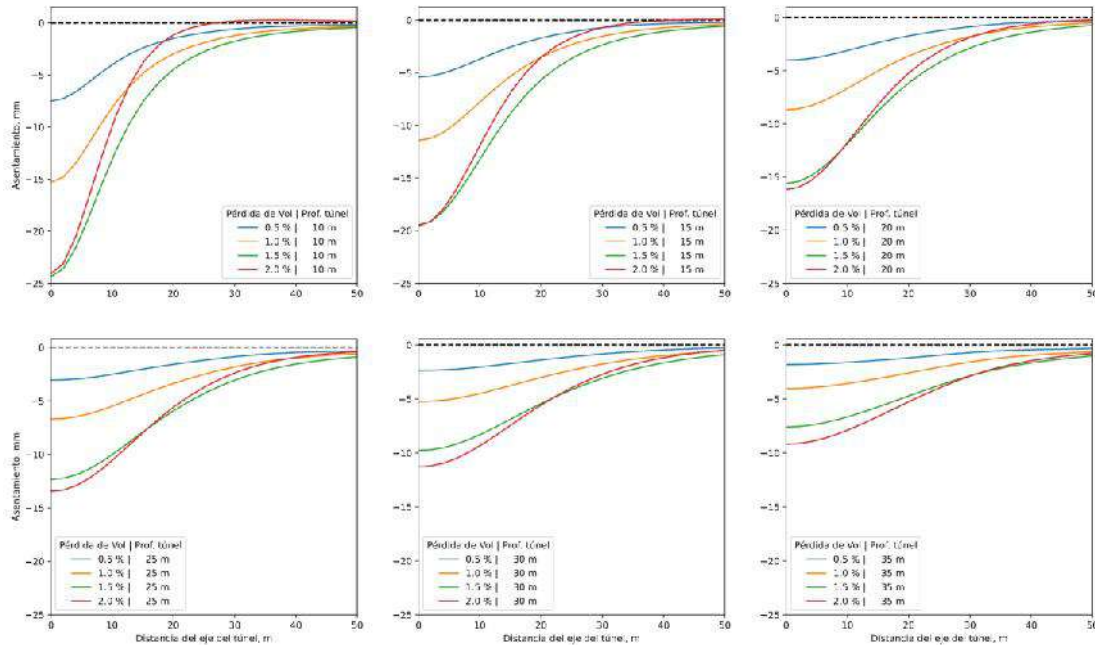


Figura 41. Resultados del análisis de sensibilidad de asentamientos para varias profundidades de implantación a la clave del túnel

En la Figura 42, se presentan resultados de los desplazamientos horizontales para varias profundidades de implantación del túnel como para varios porcentajes de pérdida de volumen.

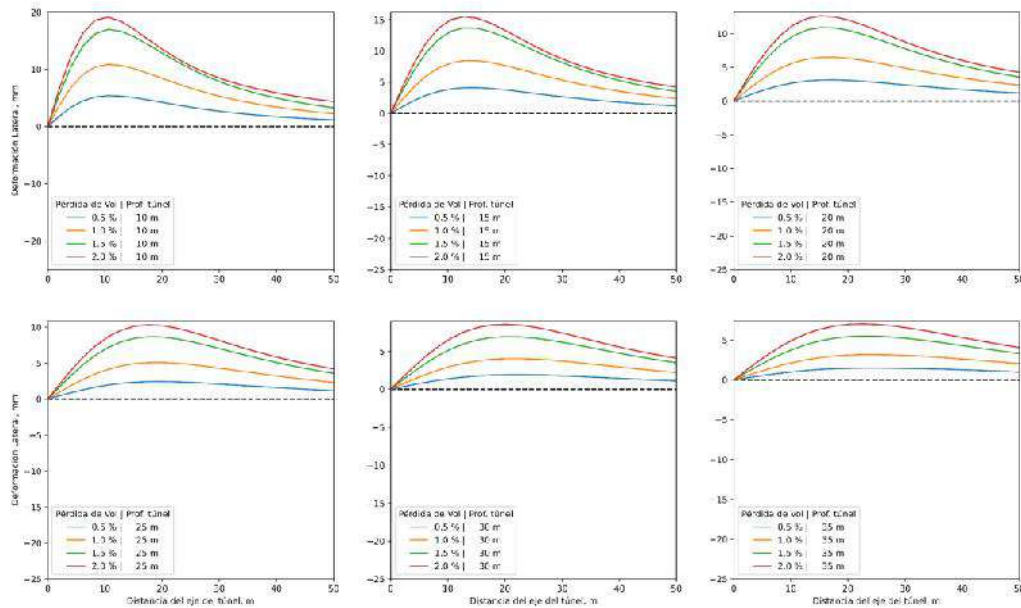


Figura 42. Desplazamientos horizontales para varias profundidades a la clave del túnel.

En la Figura 43, se presentan los resultados de asentamientos máximos para la mayor profundidad establecida del túnel (35.0 m aprox.) y que corresponde por el paso por debajo del deprimido de la Av. Caracas. Por otra parte se presentan también los resultados de asentamientos para el sector de menor profundidad de la Línea y que corresponde por debajo del canal Salitre. Finalmente en la gráfica se presentan los resultados para la mayoría de las profundidades de implantación de la línea que está cerca de los 25 m. Se observa que a mayor profundidad se reduce el asentamiento máximo sobre el eje del túnel. Los valores máximos para 35.0 m son del orden de 9.0 mm, para 25.0 m de 13.5 mm y para 13.5 m de profundidad del orden de 21.0 mm respectivamente.

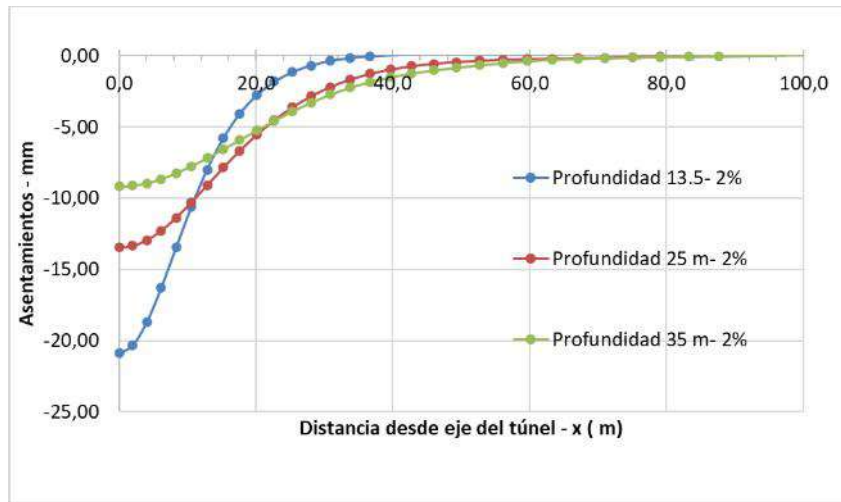


Figura 43. Curva de asentamientos con Modelo FEM 3D para profundidades máxima, mínima y promedio- 2% pérdida de volumen

Por otra parte, en la Figura 44 se presentan los desplazamientos horizontales máximos para las diferentes profundidades de implantación de la Línea 2 del Metro de Bogotá. El desplazamiento horizontal incrementa en la medida en que se hace más superficial la línea del metro. Los valores de desplazamiento con el método numérico resulta de aproximadamente 12,6 mm para una profundidad de 13,5 m, 10 mm para profundidad de 25 m y del orden de 7 mm para una profundidad de 35 mm.

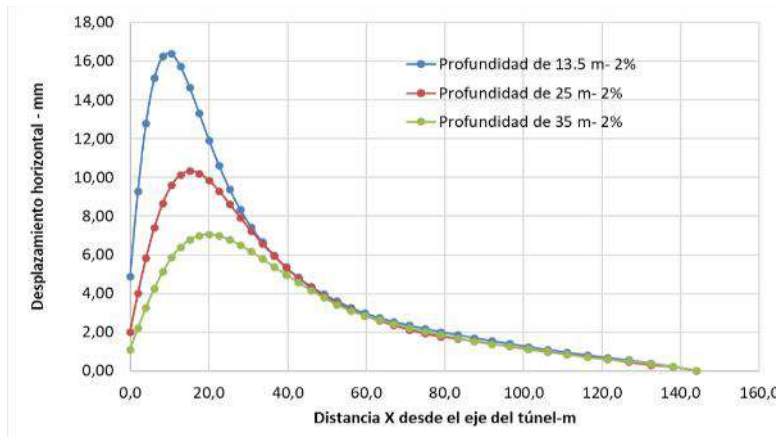


Figura 44. Desplazamientos horizontales para profundidades máximo, mínimo y promedio- 2% pérdida de volumen.

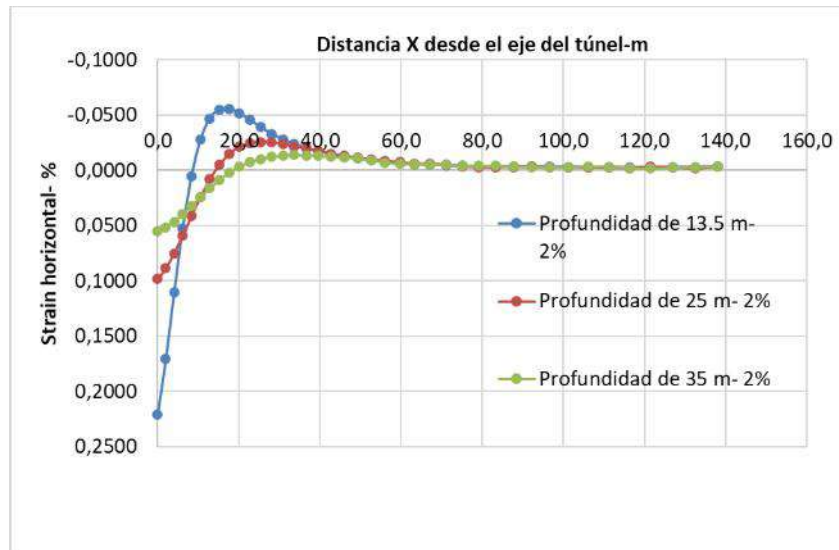


Figura 45. Valores de strain(%) horizontal frente a distancia x del eje del túnel

De acuerdo con los resultados de asentamientos de la modelación numérica del túnel, se observa que en general los valores obtenidos son menores a los obtenidos con métodos analíticos, indicando baja afectación a lo largo del corredor del trazado de la L2MB. No obstante en sitios particulares se debe verificar el efecto de la construcción del túnel con máquina EPB.

10.18.1.7. Tratamientos del terreno

En el corredor del metro se requerirá en algunos sitios particulares realizar tratamientos del terreno con el fin de reducir asentamientos en superficie como problemas de estabilidad del túnel.

Los sitios donde se pueden requerir de estos tratamientos, son los siguientes. 1) Tratamientos del terreno en los lugares de entrada/salida de la máquina tuneladora; 2) Tratamientos del terreno durante el avance de la excavación del túnel, y 3) Soporte temporal durante la excavación del túnel.

- El primer tipo de tratamiento corresponde con sitios ubicados en las entradas/salidas de la tuneladora, de pozos de ataque, pasos de estaciones en vacío, pozos de emergencia, etc. Su finalidad será evitar la entrada de suelo/agua en la estación/pozo al comienzo o finalización de la perforación de la tuneladora.
- El segundo tipo de tratamientos se refiere a los tratamientos necesarios en los tramos de túnel para reducir las deformaciones y evitar daños a edificios y estructuras.
- El tercer tipo se refiere a los tratamientos necesarios para garantizar la estabilidad de la excavación durante la ejecución del túnel.

A continuación se describen los tipos de tratamientos del terreno que fueron analizados para efectos del aval técnico para la L2MB.

Tabla 20. Tratamientos tipo para mejoramiento del terreno.

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	SOLUCIÓN TRATAMIENTO	ESQUEMA TIPO
-------------	-------------	----------------------	--------------

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

A	Jet Grouting- Tipo tienda Canadiense	Asegurar la estabilidad sobre la clave del túnel y reducir los asentamientos generados en superficie	Figura 46
B	Inyecciones de fracturación- Tipo Tienda Canadiense		Figura 47
C	Taladros cortos de inyección de mortero		Figura 48
D	Barreras de columnas de Jet Grouting	Reducir las subsidencias en la zona de influencia de los edificios con riesgo de daño moderado (de manera que su riesgo de daño se reduzca hasta valores aceptables).	Figura 49
E	Barreras de pilotes de mortero		Figura 49
F	Barrera de micropilotes (encamisado)		Figura 50
G	Barrera de micropilotes (prefabricados)	Proteger los edificios y/o estructuras en superficie, cercanos al túnel (<50.0 m desde el eje del túnel) durante la excavación.	Figura 50

En las siguientes figuras, se presentan los esquemas típicos de los tratamientos tipo para el mejoramiento del terreno.

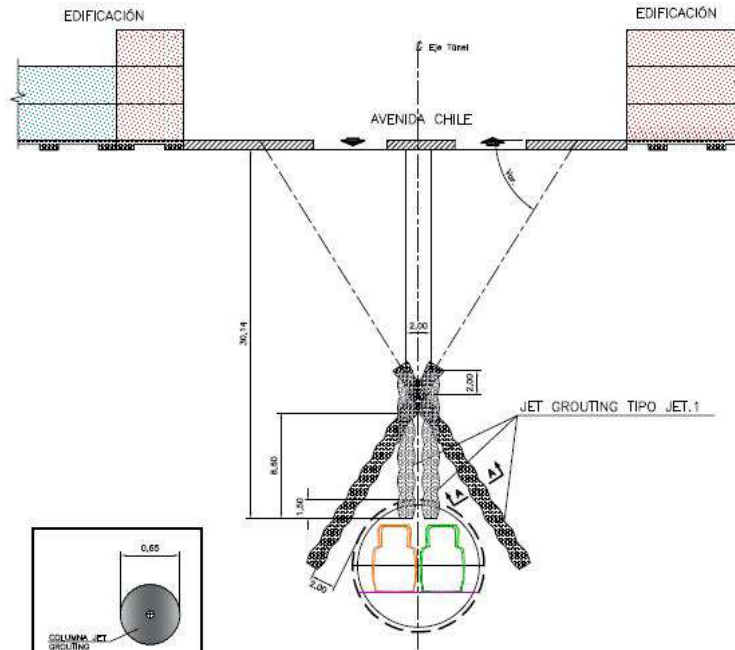


Figura 46. Tratamiento A: Mejoramiento del terreno con Jet Grouting.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

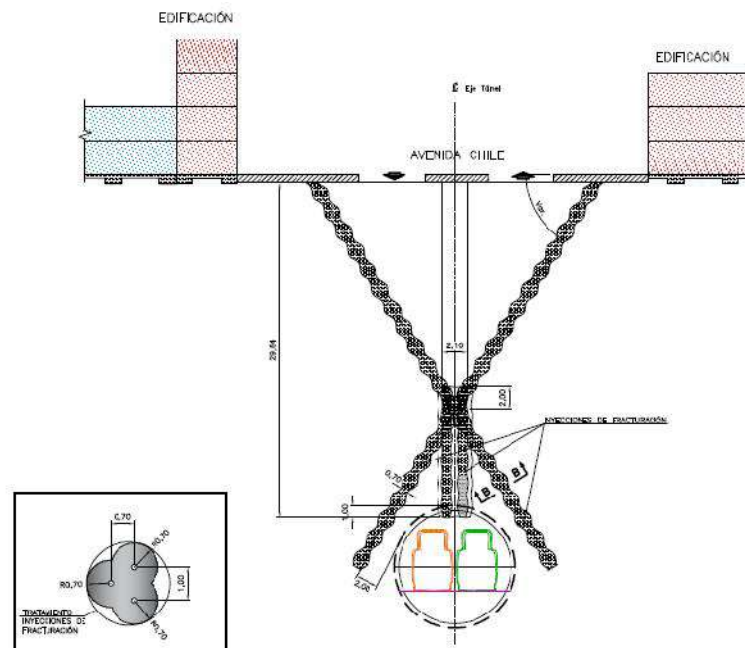


Figura 47. Tratamiento B: Mejoramiento del terreno con inyecciones de fracturación.

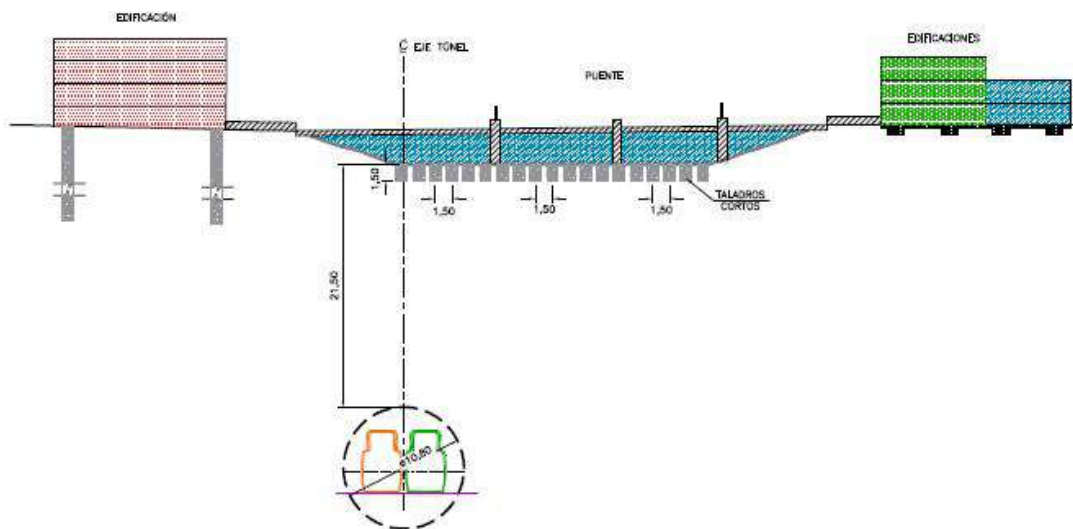


Figura 48. Tratamiento C: Mejoramiento del terreno con taladros cortos de inyección de mortero.

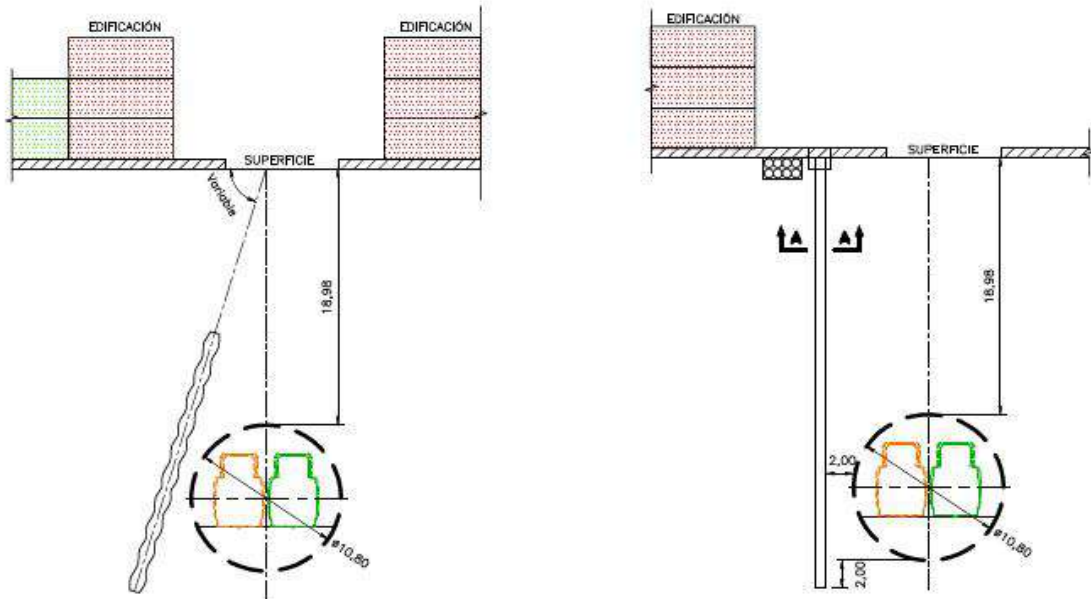


Figura 49. (Izquierda) Tratamiento D: Barreras de columnas de Jet Grouting. (Derecha) Tratamiento E: Barreras de pilotes de mortero.

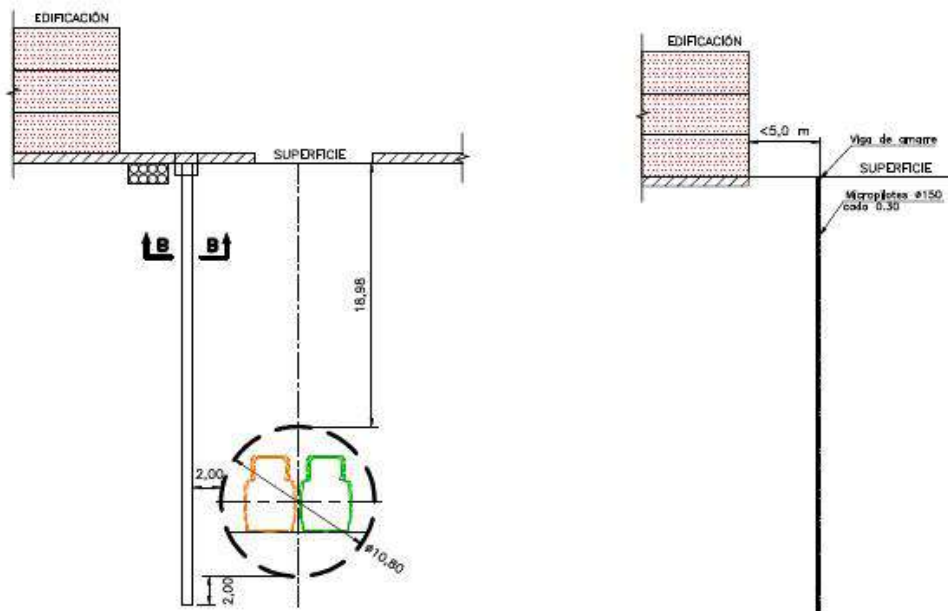


Figura 50. (Izquierda) Tratamiento F: Barreras de micropilotes - encamisado acero. (Derecha) Tratamiento G: Barreras de micropilotes - prefabricados.



Con base en el análisis de subsidencias y con el fin de reducir aún más los posibles asentamientos en superficie se previó a lo largo del trazado y en algunos sitios críticos, la ejecución de tratamientos según los esquemas anteriores en tramos que se muestran en la Tabla 21.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

Tabla 21. Tratamientos previstos a lo largo de la Línea 2 del Metro de Bogotá

Abscisa inicial	Abscisa final	Long-m	Causa o problemática	Tratamiento A	Tratamiento B	Tratamiento C	Tratamiento D	Tratamiento E	Tratamiento F	Tratamiento G
				Col. Jet Grouting 1	Col. Jet Grouting 2	Taladros cortos de inyección	Barrera de columna de jet grouting	Barrera de pilotes de mortero	Barrera de micropilotes	Barrera de micropilotes
14400	14360	40	Baja cobertura - suelos poco competentes - mejora terreno para el sector contiguo al pozo de entrada	50				50		
13370	13350	20	Cruce Canal Cañan	20				20		
11920	11760	160	Estación Alo sur							
11440	11390	50	Cruce túnel por debajo de edificaciones							
11280	11250	30	Cruce túnel por debajo de edificaciones							
11200	11140	60	Cruce túnel por debajo de edificaciones							
10990	10940	50	Brzo humedal Juan Amarillo							
10460	10120	340	Estación humedal y Juan amarillo- edificaciones costado izquierdo - Suelos blandos					160		
10120	10020	100	Estación humedal y Juan amarillo- edificaciones costado izquierdo - Suelos blandos					60		
8940	8920	20	Suelos blandos							
8940	8920	20	Canal Salitre - Suelos blandos	100		20				
8720	8690	30	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos					30		
8690	7940	750	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos				560			
7940	7660	280	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	100						
7610	7580	30	Paso Av. CIBO					30		
7580	7100	480	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos							
7100	6240	860	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos							
6240	5320	920	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos							
5320	5290	30	Suelos blandos - paso por debajo de la tubería de 72" de Tibiré- Av. Boyaca	30				30		
5210	4680	530	72" de Tibiré- Av. Boyaca							
4680	4300	380	suelos blandos					120		
4100	3900	200	av. c/RA 68- Puente- Suelos blandos				120	240		
3900	3100	800	suelos blandos	20			340			
3120	2800	320	Suelos blandos				320			
2800	2500	300	suelos blandos							
2500	2450	50	Zona Canal Arzobispo- suelos blandos	80		40				
2450	2400	50	Zona Canal Arzobispo- suelos blandos							
2400	2220	180	Suelos blandos							
2220	2100	120	Suelos blandos							
2220	2100	120	Av. NQS- Suelos blandos - canal	120		60				
2100	1590	510	Suelos blandos							
1590	760	830	Suelos blandos							
760	600	160	Estacion 1- Edificaciones - suelos blandos							
760	600	160	Estacion 1- Edificaciones - suelos blandos							
600	500	100	Deprimido Abajo Av. Caracas-	100				200		
500	460	40	Deprimido doble - Arriba Av. Caracas	160				320		
460	300	160	Av. Calle 72 - Edificaciones altas costados derecho e izquierdo	160				320		
300	0	300	Pozo de salida- Edificaciones altas costados derecho e izquierdo	300				600		
				1240	0	120	1340	2180	0	0

10.18.1.8. Instrumentación geotécnica

Durante el proceso de construcción del túnel, como de las estaciones y luego durante la etapa de operación o explotación de la Línea del Metro es necesario disponer de una serie de instrumentos con el fin de controlar el comportamiento del túnel, así como los desplazamientos en superficie.

El sistema de auscultación previsto controlará los elementos de las obras, niveles freáticos, desplazamientos del entorno de las excavaciones, lectura de los datos, análisis de datos e interpretación de los mismos. Los elementos a controlar son los siguientes.

- Para la excavación del túnel, se medirán las convergencias y divergencias que puedan manifestarse durante el proceso constructivo.
- El comportamiento de las obras, tanto en pantallas (túnel entre pantallas) y dovelas (tuneladora) se comprobarán los esfuerzos a los que estarán sometidas por los desplazamientos inducidos por los empujes del terreno.
- Los desplazamientos del terreno, se controlarán con la medición de movimientos en el terreno tanto horizontal y vertical, tanto en la superficie del terreno como en profundidad.
- Los niveles freáticos, se controlarán durante el procedimiento constructivo de las excavaciones.
- Para las estructuras y/o edificaciones existentes, durante los procesos de excavación del túnel, pozos o estaciones, se considera esencial el control de eventuales movimientos inducidos en los elementos existentes en la zona de influencia de las excavaciones, fundamentalmente edificaciones, vías urbanas y férreas, y estructuras subterráneas (redes y otros). Los parámetros de medición serán los movimientos horizontales y verticales, giros, y seguimiento de fisuras y/o grietas (sean nuevas o existentes).

Los instrumentos que se utilizarán para la medición y control serán los siguientes:

- Cinta extensométrica, o bien dianas reflectantes y estación total.
- Celdas de presión instaladas en dovelas para medir empujes del terreno
- Extensómetros de cuerda vibrante para conocer las tensiones de trabajo en el interior de los elementos estructurales
- Inclinómetros en pantallas y en el terreno
- Se realizará un inventario de los edificios que puedan resultar afectados por las excavaciones, revisando en especial las fisuras y grietas existentes en estos. Este control también se realizará en redes de servicios públicos.
- Puntos de control topográfico en el piso y en edificaciones vecinas
- Escalas graduadas de nivelación en fachadas y muros de edificios
- Piezómetros de hilo vibrátil
- Piezómetros de tubo abierto tipo casagrande
- Extensómetros de posición múltiple o de varilla
- Mojoneros de referencia
- Equipos de medición



En la Figura 51, se presenta una planta tipo de instrumentación requerida para el túnel y en la Figura 52, se detalla una sección tipo de instrumentación transversal al eje del túnel, donde se muestran extensómetros de varilla, piezómetros de tubo abierto (casagrande), piezómetros de hilo vibrátil, extensómetros incrementales, inclinómetros, puntos de control topográfico en superficie, puntos de medición de convergencias, celdas de presión (dovelas) y extensómetros de hilo vibrátil.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

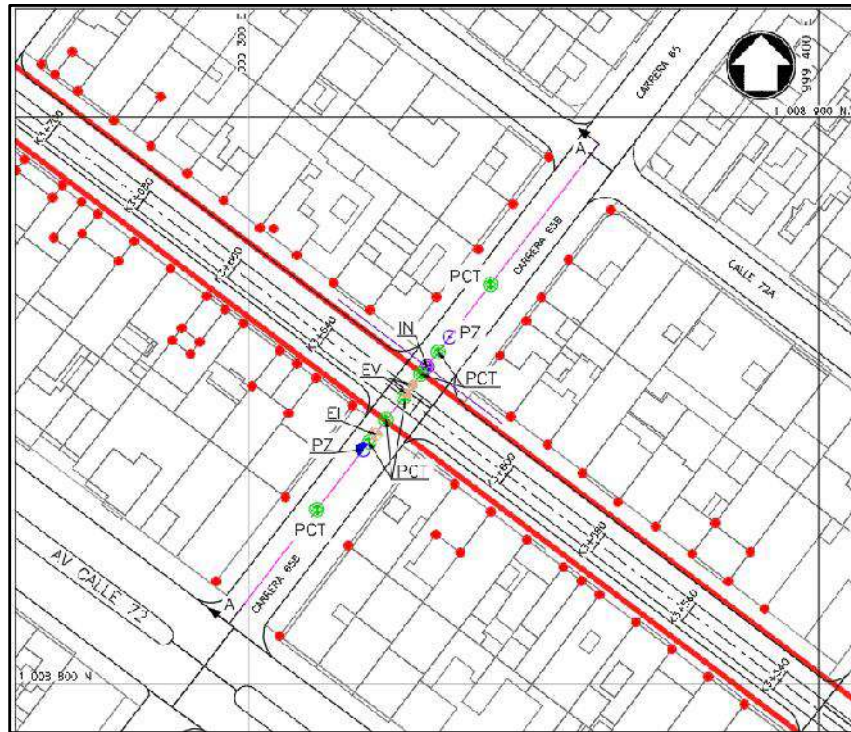


Figura 51. Planta tipo de instrumentación requerida para el túnel.

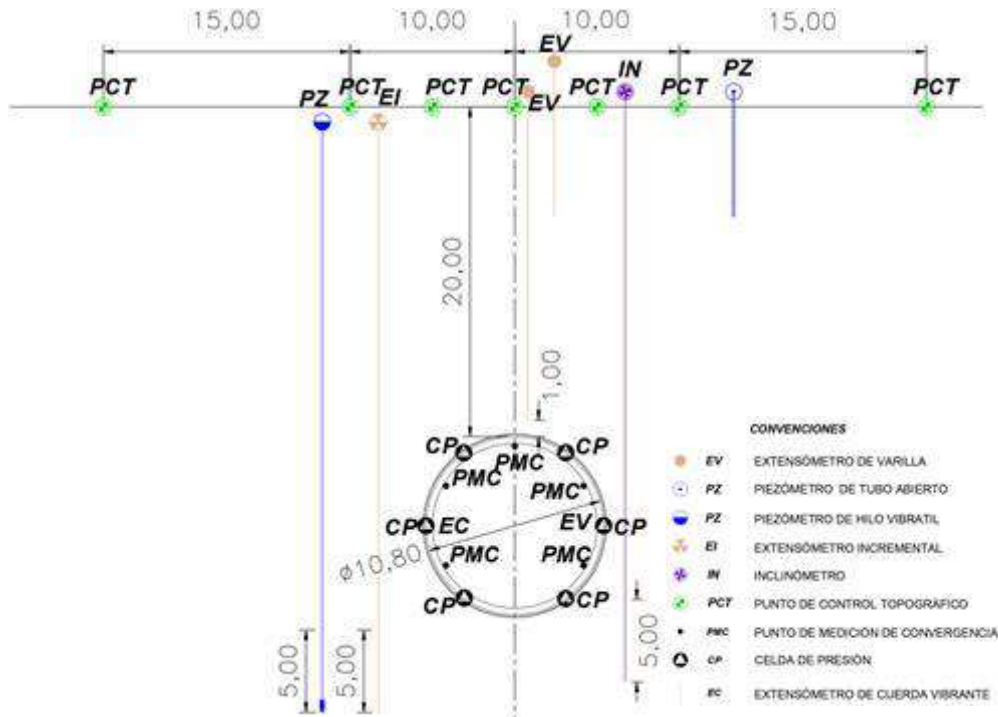


Figura 52. Sección tipo de instrumentación del túnel.

10.18.1.9. Presentación de los costos de la solución técnica propuesta

Costos de inversión (capex)

Estimativo de cantidades de obra para el túnel

En este numeral se presenta el presupuesto de las excavaciones y el soporte para la construcción del túnel de la L2MB.

- Para el cálculo de cantidades de obra se ha considerado la geometría del túnel en configuración de monotúnel que se presenta en el numeral 4.2.3, el cual tiene una longitud de 12640.75 m, un diámetro útil de 10.0 m y un espesor de dovelas de 0.40 m.
- Una máquina EPB para la excavación del túnel, donde se incluye el sistema de Back Up.
- Se estimó el túnel revestido con elementos prefabricados (dovelas) de soporte y revestimiento, con espesor de 0.40 m, para la cual se estableció según prediseño estructural una cuantía de acero de 140 kg/m³. Con una longitud del anillo de dovelas de 1.50 m.
- Así mismo, se estimó un relleno en la solera del túnel para alcanzar la cota del riel con el área del túnel por debajo del riel como se observa en la Figura 5.
- Por otra parte, para reducir las subsidencias en superficie y la protección de edificios se consideró para la construcción del túnel algunos tratamientos especiales. Como lo son los tratamientos del terreno explicados en el numeral 4.7.
- Para la instrumentación del túnel se previeron varios instrumentos como medidas de convergencias, celdas de presión, extensómetros de cuerda vibrátil, extensómetros de varilla o de posición múltiple, inclinómetros, piezómetros de tubo abierto y de hilo vibrátil, mojoneros de control, puntos de control topográfico en superficie, medidas de control de asentamientos y movimientos en estructuras existentes, estaciones totales e interrogadores portátiles.
- También se calculó el acarreo de material excavado suponiendo un botadero cercano al patio taller.
- Se incluyó la estimación de cantidades de los pozos de evacuación y ventilación, los pozos de entrada y salida de la tuneladora y las galerías de interconexión entre el túnel y los pozos de evacuación y ventilación.

Para el cálculo de cantidades de los pozos de evacuación y ventilación se ha considerado realizar con pilotes secantes de 1.20 m de diámetro a una profundidad de 45.0 m, con un empotramiento de 3.0 m. Para los pilotes se estableció según prediseño estructural una cuantía de acero de 44 kg/m³.

Para el cálculo de cantidades de obra de las galerías de interconexión entre los pozos de evacuación y ventilación y el túnel, se ha considerado una galería en herradura paredes curvas solera curva de 6.20 m de diámetro, con un soporte estimado de 0.25 m de espesor y un revestimiento de 0.35 m de espesor. La longitud de la galería de interconexión es de 5.0 m.

Para el cálculo de cantidades de obra de los pozos de entrada y salida se ha considerado realizar con pantallas preexcavadas que se presentan en el capítulo 4, estas se diseñaron de 1.20 m de espesor para la cual se estableció según prediseño estructural una cuantía de acero de 200 kg/m³. La profundidad de los pozos de entrada y salida se

estableció 14.35 y 50.0 m respectivamente. Con un empotramiento de 9.25 m para el pozo de entrada y un empotramiento de 11.25 m para el pozo de salida.

En el ET26, correspondiente al Capex de la L2MB, se presenta el presupuesto de la obra, en donde se pueden observar los ítems relacionados con las excavaciones subterráneas (túnel, pozos, galerías de interconexión), su soporte y revestimiento, como también con los costos para los pretratamientos, y la instrumentación geotécnica.

Costos operativos (opex)

Los costos operativos son detallados en la ET27.

10.18.1.10. Conclusiones

- El trazo de la L2MB se construirá principalmente en arcillas limosas con algunas trazas orgánicas con laminaciones de limos y turbas de origen fluvio lacustre y aluvial con espesores mayores a 200 m. Entre la carrera 9 y la avenida Caracas se tienen depósitos de suelo aluvial compuestos por arenas arcillosas sueltas compactas y algunos lentes de gravas. El resto del trazo de la línea del metro transcurrirá en depósito lacustre conformado por arcillas limosas o limos arcillosos muy blandos y compresibles.
- De las experiencias existentes en materiales similares a los que se encontrarán en la Línea 2 del Metro de Bogotá, con arcilla de alta plasticidad, baja resistencia y alta humedad como la posibilidad de encontrar hacia la zona de cola de maniobras materiales mixtos de gravas, arenas, limos y arcillas, se consultó una experiencia similar presentada para la Línea 1 del Metro de México, la cual muestra que es posible construir el túnel con el sistema de máquinas EPB, en arcillas y terrenos mixtos, realizando algunos ajustes a la máquina y aplicando algunos condicionantes en el frente de excavación (bentonita, espumas y/o polímeros), tal como se describió en el caso dentro del benchmark presentado en la Debida Diligencia, MOVIUS (2022). También es importante resaltar que en el caso de la Línea 12 del Metro de México, el túnel cruzó bajo un río y otras estructuras enterradas, con baja cobertura, sin que se produjeran mayores problemas de subsidencia en superficie. Para el control de la excavación en estos sitios críticos fue fundamental la instrumentación geotécnica en forma continua durante el proceso de construcción llevada a cabo tanto externamente en superficie como internamente dentro del túnel.
- Los resultados de análisis de subsidencias con base en la información previa de estudios de prefactibilidad como la recabada con en la fase 1 de exploraciones y mediante verificación con métodos analíticos y numéricos en 3D, que para las profundidades donde se ha implantado el túnel no se esperan mayores problemas de asentamiento ni afectaciones importantes a construcciones. No obstante y para mayor seguridad se definieron algunos pretratamientos desde superficie con inyecciones de jet grouting, inyecciones de mortero como barreras de pilotes con miras a reducir los efectos de excavación del túnel durante la construcción.

10.18.1.11. Anexos

- Anexo 1. Planta trazado Línea 2 Metro de Bogotá.
- Anexo 2. Perfil longitudinal Línea 2 Metro de Bogotá.
- Anexo 3. Planta, perfil y sección transversal - Pozo de entrada.
- Anexo 4. Planta, perfil y sección transversal - Pozo de salida.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO
LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-
IN-0003_VC

- Anexo 5. Planta, perfil y sección transversal - Pozos de evacuación, ventilación y bombeo.
- Anexo 6. Perfil geológico y geotécnico - Línea 2 Metro de Bogotá.
- Anexo 7. Esquemas de tratamientos del terreno. Línea 2 Metro de Bogotá.
- Anexo 8. Planta y sección tipo de instrumentación. Línea 2 Metro de Bogotá.
- Anexo 9. Sección dovelas túnel. Línea 2 Metro de Bogotá.



Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legal, de riesgos, técnico y financiero

Entregable 4
Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte
Anexo A

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Sección Modificada	Observaciones
A	18-02-2022	-	Versión Inicial
B	08-03-2022	Integración general de modificaciones solicitadas	Observaciones de FDN/Interventoría/EMB.
C	05-05-2022	-	-

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

J. C. Pantoja 18-05-2022
Director de estructuración

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Revisó: O. Véliz 05-05-2022	Revisó: F. Faria 05-05-2022	Revisó: C.L. Umaña 05-05-2022	Aprobó: J.M. Martínez 05-05-2022
VoBo. Director Técnico	VoBo. Director Financiero	VoBo. Director Legal	VoBo. Director General de Estructuración

TABLA DE CONTENIDO

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO	5
10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN	5
10.18 TÚNEL	5
10.18.2 Sistema de ventilación	5
10.18.2.1. Estándares de referencia	5
10.18.2.2. Criterios de diseño	5
10.18.2.2.1. Condiciones climáticas externas	5
10.18.2.2.2. Criterios de confort y tenabilidad	6
10.18.2.2.3. Nivel de ruido	7
10.18.2.2.4. Potencia de fuego	7
10.18.2.2.4.1. Modelo de combustión	8
10.18.2.2.5. Requerimientos operacionales	9
10.18.2.3. Arquitectura del sistema	9
10.18.2.4. Metodología y principios de dimensionamiento	10
10.18.2.4.1. Funcionamiento normal	10
10.18.2.4.2. Funcionamiento en emergencia	11
10.18.2.4.3. Tren incendiado en el túnel	11
10.18.2.4.4. Tren incendiado en estación	14
10.18.2.5. Interfaces con otras disciplinas	14
10.18.2.6. Resultados del dimensionamiento preliminar	15

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. - Criterios de confort y tenabilidad

Tabla 2. - Nivel de ruido

Tabla 3. - Características de los elementos combustibles

Tabla 4. - Interfaces entre la ventilación del túnel y otras disciplinas

Tabla 5. - Equipos preliminares de ventilación del túnel - opción 1

Tabla 6. - Equipos preliminares de ventilación del túnel - opción 2

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. - Potencia de fuego por el tren en llamas

Figura 2. - Fenómeno de “backlayering” - Ventilación longitudinal insuficiente

Figura 3. - Humo controlado - Ventilación longitudinal eficaz

Figura 4. - Estrategia de ventilación en caso de tren incendiado a lo largo del túnel, por los tramos donde no se requiere el pozo de ventilación en interestación (presencia de un solo tren por sentido en la sección de ventilación)

Figura 5. - Estrategia de ventilación en caso de tren incendiado a lo largo del túnel, por los tramos donde se requiere el pozo de ventilación en interestación (presencia de dos trenes por sentido en sección de ventilación)

Figura 6. - Estrategia de ventilación en caso de tren incendiado en el túnel de estación

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO

10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN

10.18 TÚNEL

10.18.2 Sistema de ventilación

El sistema de ventilación de túnel está constituido por el conjunto de ventiladores, silenciadores, compuertas y ductos/caminos de aire destinados a dirigir y canalizar el aire fresco y los humos, tanto en caso de normal operación como en caso de incendio.

La función prioritaria de este sistema es manejar correctamente los humos durante una emergencia de incendio, facilitando la evacuación de los pasajeros tanto en el caso que el tren en fuego sea situado en el túnel entre estaciones como en el túnel de estación.

El sistema de ventilación de túnel también servirá para asegurar las apropiadas condiciones de confort en lo interior del túnel durante el normal funcionamiento de la línea, disminuyendo la temperatura ocasionada por los trenes y equipos de la red, limitando las fluctuaciones de presión debidas al efecto pistón generado por el paso de trenes, y garantizando la renovación de aire.

10.18.2.1. Estándares de referencia

A continuación, se presentan los estándares y los documentos contractuales con los cual se debe cumplir para la ejecución de los estudios y diseño del sistema de ventilación de túnel:

- [1] NFPA 92B – 2009: Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces
- [2] NFPA 130 – 2020: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems
- [3] NFPA 502 – 2020: Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways
- [4] ASHRAE Handbook Fundamentals – 2017: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
- [5] SEDH: Subway Environmental Design Handbook, Volume I, Principles and Applications
- [6] ET24 - Proyecto túnel

10.18.2.2. Criterios de diseño

A continuación, se definen los criterios y requerimientos seguidos para el diseño del sistema de ventilación de túnel de la Segunda Línea de Metro Bogotá.

10.18.2.2.1. Condiciones climáticas externas

El sistema de ventilación de túnel está dimensionado a partir de las siguientes condiciones climáticas externas que han sido extraídas del estándar ASHRAE [4] y se refieren al mes más caluroso (condición más gravosa: Cooling 0.4%):

- Temperatura de bulbo seco: 21.2°C
- Temperatura media coincidente de bulbo húmedo: 13.4°C

10.18.2.2.2. Criterios de confort y tenabilidad

Estos criterios se refieren a los principales parámetros de confort y tenabilidad (temperatura y velocidad del aire, visibilidad y concentración de monóxido de carbono), los cuales deben ser controlados y gestionados en lo interior de túnel y estación tanto en funcionamiento normal como en operaciones de emergencia. Por tanto, la siguiente tabla muestra los valores límite de dichos parámetros de diseño, definidos en base a los estándares o las buenas prácticas derivadas de proyectos similares:

Tabla 1. - Criterios de confort y tenabilidad

Parámetro	Ubicación	Funcionamiento normal (criterios de confort)	Funcionamiento en emergencia (criterios de tenabilidad)
Temperatura	Túnel	- T < 40°C en funcionamiento normal - T < 46°C en funcionamiento congestionado	T < 60°C durante 10min [2]
Velocidad	Área pública de estación	- V < 5m/s durante un periodo de 30s - $V_{promedio} = 3m/s$ sobre el intervalo de trenes	V < 11m/s [2]
	Túnel	V > 0,75m/s [2]	V < 11m/s [2]
	Rejillas de acceso/ extracción de aire	- Aire extraído [6]: V < 2,5m/s en zona peatonal V < 3,5m/s en jardines - Aire insuflado [6]: V < 3,5m/s en zona peatonal V < 5m/s en jardines	V < 11m/s [2]
Visibilidad	Rutas de evacuación	No aplica	Los niveles de oscurecimiento del humo deben mantenerse por debajo del punto en el que las puertas y las paredes son perceptibles a 10 m, es decir que la visibilidad debe ser superior a 10m. [2]
Monóxido de carbono	Rutas de evacuación	No aplica	FED (Fractional Effective Dose) < 0.3 [2]

El estándar NFPA 130 [2] define también algunas condiciones para la correcta evaluación de los parámetros de tenabilidad a asegurar en las rutas de evacuación. Estas son listadas a continuación:

- La tenabilidad de la ruta de evacuación debe evaluarse en una altura libre de humo de 2m desde el suelo.
- La aplicación de los criterios de tenabilidad en el perímetro de un incendio no es factible. El área inmediatamente próxima al incendio creará inevitablemente condiciones insostenibles. La zona de tenabilidad debe definirse para aplicarse fuera de un límite alejado del perímetro del incendio. Esta distancia dependerá de la tasa de liberación de calor del fuego, la tasa de liberación de humo del fuego, la geometría local y la ventilación, y podría ser de hasta 30 m.
- El tiempo de evacuación del andén debe ser de máximo 4 minutos.
- El tiempo de evacuación desde el punto más remoto en el andén a un punto seguro debe ser de máximo 6 minutos.

10.18.2.2.3. Nivel de ruido

La siguiente tabla muestra los valores límite de los niveles de ruido en las diferentes áreas del sistema metro, definidos en base a los estándares o las buenas prácticas derivados de proyectos similares. Sin embargo, estos datos deben ser confirmados por la norma local (si aplica):

Tabla 2. - Nivel de ruido

Parámetro	Ubicación	Funcionamiento normal (criterios de confort)	Funcionamiento en emergencia (criterios de tenabilidad)
Nivel de ruido	Área pública de estación	Presión de nivel de sonido < 55dBA	Presión de nivel de sonido < 75dBA
	Túnel	Presión de nivel de sonido < 85dBA	Presión de nivel de sonido < 85dBA [2]

10.18.2.2.4. Potencia de fuego

Siendo que la potencia de fuego (HRR – Heat Release Rate) a considerar para el dimensionamiento del sistema de ventilación de túnel no está indicada ni en los documentos contractuales ni en el estudio de prefactibilidad, se propone asumir el siguiente valor derivado en base a la experiencia y el estado de la técnica en proyectos similares:

- Potencia de fuego para el tren en llamas (en túnel y en estación): 10 MW

En acuerdo con el estándar NFPA 92B [1], el fuego producido por un tren en llamas se asume del tipo inestable con una curva de crecimiento según el modelo t-cuadrado, seguida por una etapa estable/constante. El modelo de crecimiento t-cuadrado se define en acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Q = at^2$$

Donde:

- Q es la potencia de fuego, 10 000kW
- α es la constante que gobierna el crecimiento del fuego, asumida igual a 0.012kW/s² para modelar un crecimiento medio
- t es el tiempo en segundos.

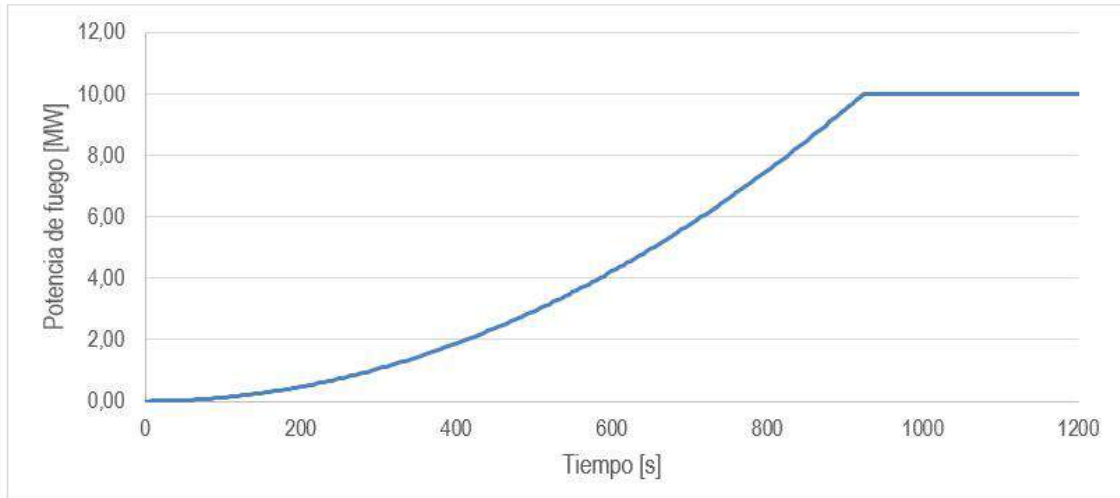


Figura 1. - Potencia de fuego por el tren en llamas

10.18.2.2.4.1. Modelo de combustión

Se propone un modelo de química de equilibrio basado en fracción de mezcla para combustión.

La modelización del fuego se basa en un modelo de combustión del 65% de poliéster (FRP) y el 35% de caucho de estireno-butadieno (SBR).

Los detalles de las fórmulas químicas se presentan en la tabla a continuación, donde:

- ΔH_c : valor de la producción de calor
- y_s : valor de la producción de rendimiento de hollín
- y_{CO} : valor de producción de CO (monóxido de carbono)

Tabla 3. - Características de los elementos combustibles

Materiales	Fórmula	ΔH_c	y_s	y_{CO}
FRP	C5.77H6.25O1.63	16 000 kJ/kg	0,06 kg/kg	0,0705 kg/kg
SBR	C10H13	20 000 kJ/kg	0,16 kJ/kg	0,0481 kg/kg

10.18.2.2.5. Requerimientos operacionales

Los ventiladores que constituyen el sistema de ventilación del túnel deben ser resistentes al fuego para garantizar su funcionamiento en caso de emergencia. Deben cumplir las normas IEC 60331, IEC 34-1 y IEC 34-5 y deben estar homologados con certificado clase 3 para garantizar dicho funcionamiento hasta una temperatura de 400 °C durante un tiempo mínimo de 2 horas [6].

Se proponen ventiladores de túnel de tipo canalizado, totalmente reversibles y equipados con dos difusores (uno por cada lado) y una compuerta de aislamiento que se cierra cuando el ventilador no está en funcionamiento. Se prevé de instalar silenciadores (dos por cada ventilador), integrados en el ventilador.

El funcionamiento de los componentes del sistema de ventilación de emergencia se iniciará desde el centro de control de operaciones. El centro de control de operaciones debe recibir verificación de la respuesta adecuada de los ventiladores de emergencia y dispositivos interrelacionados. Se debe permitir que el control local sobrepase el centro de control de operaciones en caso de que este último deje de funcionar o cuando la operación de los componentes del sistema de ventilación de emergencia se dirija específicamente a otro sitio [2].

La esperanza de vida debe ser de 30 años para todos los equipos [2].

10.18.2.3. Arquitectura del sistema

El sistema de ventilación de túnel tendrá la siguiente configuración general:

- Cada estación subterránea presenta dos salas de ventilación para albergar los ventiladores de túneles, una por cada extremo de la estación.
- Estas salas son conectadas por conductos de hormigón (pozos) tanto al túnel como a la atmósfera a nivel del suelo.
- La superficie de los pozos de ventilación es de mínimo 20m².
- Cada sala de ventilación de túnel será dimensionada para albergar los ventiladores de túnel, en redundancia. En el desarrollo de la fase 3 se establecerá el tipo de redundancia más conveniente por este proyecto, es decir dos (1+1) ventiladores: 1 en operación y 1 en posición de espera, o tres (2+1) ventiladores: 2 en operación y 1 en posición de espera.
- En esta fase, se asume que cada sala de ventiladores incluye un conducto de compensación abierto o cerrado por una compuerta en modo de gestionar el efecto pistón de los trenes. En la fase 3, en función de la presión debida al efecto pistón, se evaluará la posibilidad de eliminar este conducto de compensación y dejar pasar el aire de efecto pistón directamente a través de los ventiladores, reduciendo así los espacios necesarios.
- Para cada tramo de túnel distribuido entre dos estaciones se prevén pozos de evacuación cada 762m en acuerdo con NFPA 130. En esta fase se asume de equiparlos todos con ventiladores de túnel para reducir la longitud de las secciones de ventilación y garantizar que solo un tren viaje en cada dirección según lo recomendado por el NFPA 130.

Todavía, en la Fase 3, junto con el plan de operación, se valorará si y en qué tramo entre estaciones es posible garantizar la presencia de un solo tren por sentido, considerando:

- la distancia entre estaciones
- la velocidad comercial de los trenes y el intervalo entre trenes

Por estos tramos, los ventiladores de túnel se colocarán sólo en las estaciones y los pozos entre las estaciones se utilizarán únicamente para la evacuación (equipados con un sistema de presurización a protección de las escaleras de emergencia).

El pozo al final de la línea será equipado con ventiladores para asegurar la ventilación también en el túnel utilizado como cola de maniobra.

10.18.2.4. Metodología y principios de dimensionamiento

Como mencionado, el sistema de ventilación de túnel debe ser diseñado por permitir los dos siguientes modos de funcionamiento:

- Modo en funcionamiento normal: remover el calor producido por los trenes y asegurar las condiciones de confort para los pasajeros.
- Modo en funcionamiento de emergencia: garantizar una ruta de evacuación segura para la fuga de los pasajeros en caso de incendio del tren.

10.18.2.4.1. Funcionamiento normal

Las operaciones se consideran "normales" cuando los trenes se mueven a través del sistema de acuerdo con el horario y los pasajeros viajan sin problemas a través de las estaciones hacia y desde los trenes.

La velocidad máxima de operación de los trenes y el intervalo entre trenes serán extraídos por el plan de operación.

El propósito del análisis en funcionamiento normal es determinar la velocidad y la temperatura del aire al interior del túnel y verificar si los valores de estos parámetros están dentro de los umbrales límite indicados en la Tabla 1, en modo de garantizar el confort de los pasajeros.

Generalmente, durante el funcionamiento normal, la extracción de aire caliente del túnel y la entrada de aire fresco se realiza mediante el efecto de pistón del tren a través de los ductos de compensación presentes en cada pozo de ventilación.

De hecho, el movimiento del tren en el túnel produce los dos efectos siguientes:

- Un tren que se acerca a un pozo de compensación abierto induce un aumento de presión que produce un caudal de aire que sale del entorno del túnel a través del pozo.
- Un tren que se aleja de un pozo de compensación abierto, debido a la región de baja presión en la vecindad de la cola, induce un flujo de aire que ingresa al ambiente del túnel.

En condiciones normales de funcionamiento, todas las compuertas de efecto pistón en los pozos de ventilación/compensación están abiertas, mientras que todas las compuertas de aislamiento de los ventiladores están cerradas.

Si la temperatura del túnel aumenta excesivamente, los ventiladores del sistema de ventilación del túnel se operarán para suministrar aire fresco y descargar el aire caliente, con el fin de compensar el intercambio de aire generado por el efecto pistón del tren.

En la fase 3, simulaciones mono-dimensionales a través del programa SES serán desarrolladas para calcular estos parámetros y confirmar las condiciones de confort para los pasajeros a lo largo de la línea.

10.18.2.4.2. Funcionamiento en emergencia

Las operaciones de emergencia consisten en la explosión de un incendio en un tren que puede pararse en el túnel o en la estación. Cabe destacar que, si es posible, la primera acción siempre será intentar llevar el tren en llamas hasta la siguiente estación.

10.18.2.4.3. Tren incendiado en el túnel

En este caso, el objetivo fundamental del sistema de ventilación de túnel es de proporcionar suficiente flujo de aire para lograr una velocidad del aire en el túnel que permite el confinamiento de los humos e impide su retorno (backlayering) en modo de mantener condiciones sostenibles a lo largo de la ruta de evacuación hacia arriba del incendio y facilitar la intervención de los bomberos.

La velocidad mínima de los humos en el área del incidente, para evitar cualquier movimiento de los humos en sentido contrario al inducido por la ventilación forzada, se denomina "velocidad crítica". Cabe mencionar que esta depende de la potencia de fuego y la geometría del túnel.

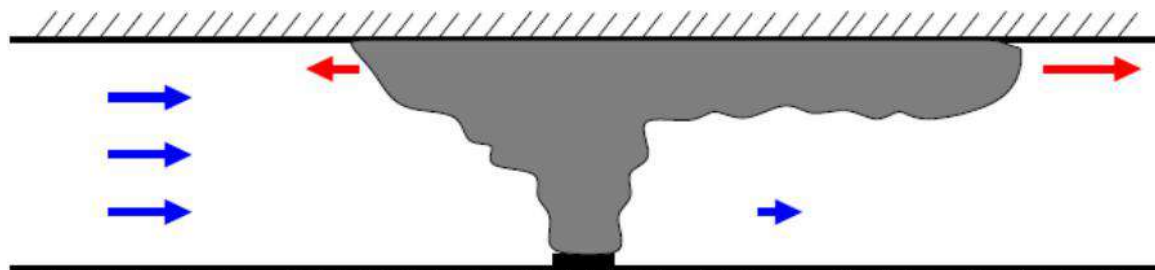


Figura 2. - Fenómeno de "backlayering" - Ventilación longitudinal insuficiente

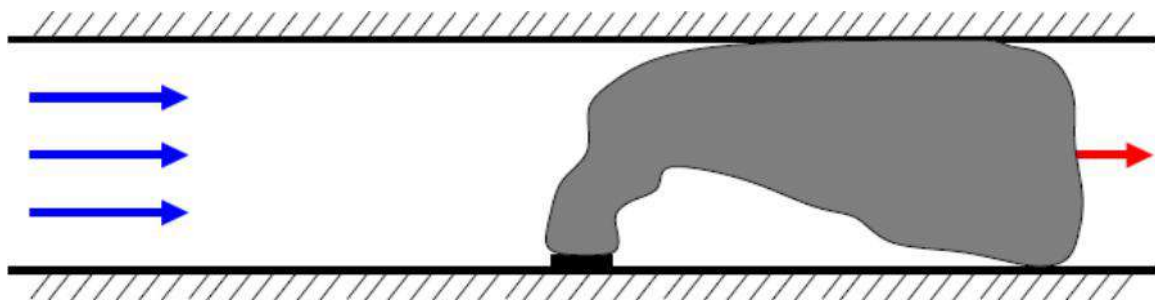


Figura 3. - Humo controlado - Ventilación longitudinal eficaz

Entonces, la velocidad crítica es el criterio para determinar el flujo de aire requerido en la vía del tren y, por lo tanto, las capacidades de los ventiladores del sistema de ventilación.

Considerando la tipología de túnel y su sección, se consideró adecuado calcular la velocidad crítica de acuerdo con las siguientes ecuaciones propuestas en el estándar NFPA 502 – 2020 [3], que en comparación con las versiones anteriores garantiza valores más conservadores.

$$\frac{V_c}{\sqrt{gH}} = \begin{cases} 0.81K_g \left(\frac{\dot{Q}}{\rho C_p T g^{\frac{1}{2}} H^{\frac{5}{2}}} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{H}{W} \right)^{\frac{1}{12}} e^{\left(\frac{-L_b}{18.5H} \right)}, & \frac{\dot{Q}}{\rho C_p T g^{\frac{1}{2}} H^{\frac{5}{2}}} \leq 0.15 \left(\frac{H}{W} \right)^{-\frac{1}{4}} \\ 0.43K_g e^{\left(\frac{-L_b}{18.5H} \right)}, & \frac{\dot{Q}}{\rho C_p T g^{\frac{1}{2}} H^{\frac{5}{2}}} > 0.15 \left(\frac{H}{W} \right)^{-\frac{1}{4}} \end{cases}$$

donde:

V_c : Velocidad crítica [m/s]

K_g : Factor de pendiente, $K_g = 1 + 0.034(\text{pendiente})^{0.8}$

g : Aceleración provocada por la gravedad [m/s²]

H : Altura del túnel en el lugar del incendio [m]

W : Ancho del túnel [m]

\dot{Q} : Potencia de fuego total [kW]

ρ : Densidad media del aire (corriente arriba) [kg/m³]

C_p : Calor específico del aire [kJ/kg K]

T_f : Temperatura media del humo en el lugar del incendio [K]

T : Temperatura del aire [K]

L_b : Longitud de “backlayering” [m], donde $L_b = 0$ define la velocidad crítica

El efecto de la pendiente del túnel se logra multiplicando la velocidad crítica calculada V_c por el factor de pendiente K_g .

El flujo de aire de total requerido por los ventiladores para lograr la velocidad crítica se evalúa con las siguientes reglas:

- Mantener la velocidad crítica arriba del tren para evitar el fenómeno de “backlayering”;
- Mantener un mínimo de 0.5 m/s en el otro lado para evitar que entre humo en la estación
- Considerar la expansión térmica.

Por lo tanto, el caudal de aire de suministro/extracción total se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_e = V_c A t + \frac{\dot{Q}_c}{\rho_0 C_p T_0} + V_{adj} A$$

donde:

Q_e es el flujo de aire de extracción / suministro total del ventilador

$\frac{Q_c}{\rho_o c_p T_o}$ es la dilatación térmica, donde Q_c es la potencia calorífica.

V_c velocidad crítica anular.

V_{adj} es la velocidad adyacente mínima requerida 0.5 m/s.

At es la sección anular del túnel.

A es la sección libre de túneles.

A esto se le suma un margen de seguridad de 10%.

Básicamente, para cada lugar de incendio a lo largo del túnel, la estrategia de ventilación consiste en el modo “push&pull”, es decir que el aire se inyecta desde un pozo puesto a un extremo de la estación y se extrae por el pozo puesto en el extremo de la estación adyacente. La dirección del flujo de ventilación depende de la posición del fuego y la dirección de evacuación. El sistema es totalmente reversible.

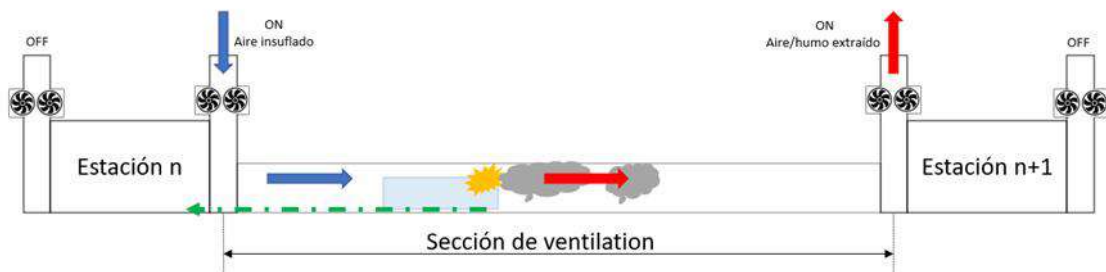


Figura 4. - Estrategia de ventilación en caso de tren incendiado a lo largo del túnel, por los tramos donde no se requiere el pozo de ventilación en interestación (presencia de un solo tren por sentido en la sección de ventilación)

En el caso que más de un tren este presente en el tramo de túnel entre dos estaciones, la estrategia “push&pull”, se hará utilizando también los ventiladores en los pozos entre estaciones para evitar empujar el humo al tren no dañado y garantizar la reversibilidad del sistema.

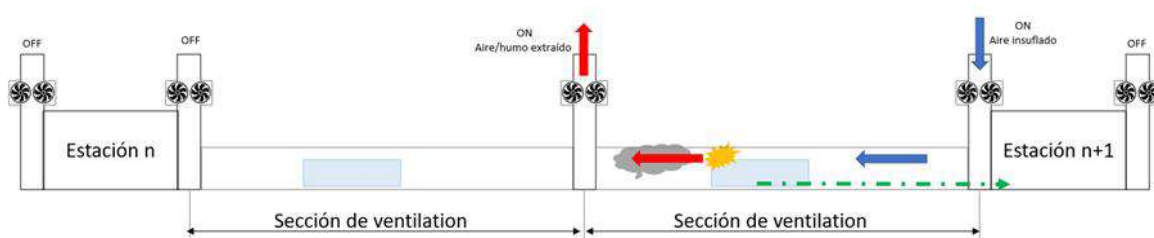


Figura 5. - Estrategia de ventilación en caso de tren incendiado a lo largo del túnel, por los tramos donde se requiere el pozo de ventilación en interestación (presencia de dos trenes por sentido en sección de ventilación)

En la fase 3, simulaciones mono-dimensionales a través del programa SES serán desarrolladas para confirmar que la capacidad de los ventiladores es adecuada para lograr la velocidad crítica y asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

10.18.2.4.4. Tren incendiado en estación

El objetivo fundamental del sistema de ventilación de emergencia en caso de tren incendiado en el túnel de estación es proporcionar un entorno sostenible a lo largo de la ruta de evacuación durante el tiempo de permanencia de los pasajeros. Las condiciones de sostenibilidad a lograr por medio de la ventilación son listadas en la Tabla 1.

Básicamente, para cada lugar de incendio a lo largo del túnel, la estrategia de ventilación consiste en el modo “pull&pull”, es decir que el humo es extraído por ambos los pozos de ventilación en cada extremo de la estación.

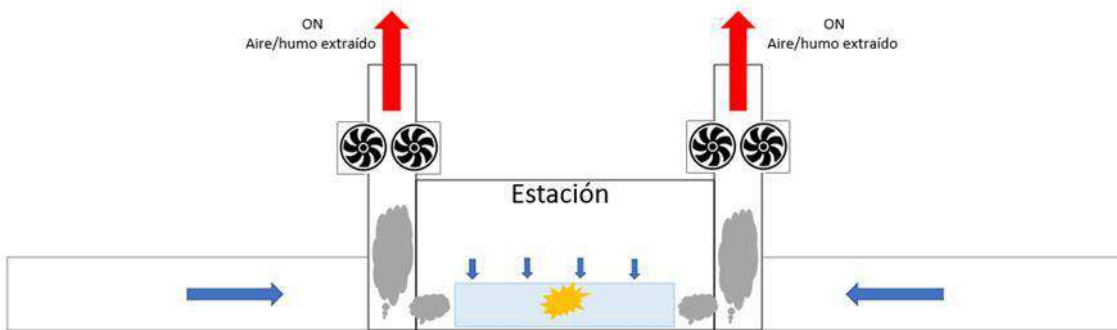


Figura 6. - Estrategia de ventilación en caso de tren incendiado en el túnel de estación

En la fase 3, simulaciones tridimensionales a través del programa FDS serán desarrolladas por una estación tipológica para evaluar el logro de las condiciones de tenabilidad a lo largo de las rutas de evacuación.

10.18.2.5. Interfaces con otras disciplinas

Tabla 4. - Interfaces entre la ventilación del túnel y otras disciplinas

Disciplina	Interfaz
Trazado	<ul style="list-style-type: none"> Ubicación de los pozos de ventilación de estación; Ubicación de los pozos de evacuación y ventilación (si requeridos) a lo largo de la línea; Perfil plano-altimétrico.
Obra civil	<ul style="list-style-type: none"> Dimensionamiento de los pozos de ventilación y compensación (efecto pistón); Dimensionamiento de las salas de ventiladores y rejillas nivel de la calle; Bases de equipos para ventiladores, silenciadores, piezas de transición, etc.
Arquitectura	<ul style="list-style-type: none"> Rutas de evacuación.
Sistema eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> Demanda y suministro de energía; Tendido de cables.
Material rodante	<ul style="list-style-type: none"> Geometría del tren y otras características; Potencia de fuego del tren.

Operación	<ul style="list-style-type: none"> Intervalo entre trenes y plan de operaciones; Operaciones de emergencia y evacuación de pasajeros; Número de pasajeros en estaciones y trenes.
Señalización	<ul style="list-style-type: none"> Detección de congestión de trenes en túnel; Detención de la ubicación del tren en llamas.
Puertas de andén	

10.18.2.6. Resultados del dimensionamiento preliminar

A continuación se indican los resultados principales del dimensionamiento preliminar basado sobre la condición más gravosa.

Cabe destacar que estos resultados son estimaciones que deben ser verificadas en el desarrollo de la Fase 3 de acuerdo a los resultados de las simulaciones y de los datos más actualizados de la infraestructura.

Estos resultados han sido utilizados para la preparación del CAPEX presentado.

Tabla 5. - Equipos de ventilación del túnel - opción 1

Ítem	Descripción	Cantidad
Ventiladores axiales, incluidos: - 2 difusores, - 2 silenciadores, - 1 compuerta de aislamiento	<ul style="list-style-type: none"> Caudal: 100 m³/s Presión total: 1500 Pa Diámetro: 2200mm Totalmente reversible Resistencia a la temperatura: 400 °C durante 2h Potencia nominal: 230kW 	3 per cada pozo al extremo de la estación + 3 per cada pozo entre estaciones Total: 96
Compuertas para efecto pistón	- Dimensiones: 3000mmx5000mm (15m ²)	1 per cada pozo al extremo de la estación + 1 per cada pozo entre estaciones Total: 22
Armario eléctrico para suministrar 230kW de potencia, incluyendo el variador de frecuencia (VFD), las bandejas de cables y los cables para el control del ventilador entre el armario eléctrico y el motor del ventilador		1 por cada ventilador Total: 96

Tabla 6. - Equipos de ventilación del túnel - opción 2

Ítem	Descripción	Cantidad
Ventiladores axial, incluidos: - 2 difusores, - 2 silenciadores, - 1 compuerta de aislamiento	<ul style="list-style-type: none"> Caudal: 200 m³/s Presión total: 1500 Pa Diámetro: 2500mm Totalmente reversible Resistencia a la temperatura: 400 °C durante 2h 	2 per cada pozo al extremo de la estación + 2 per cada pozo entre estaciones Total: 64

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

	- Potencia nominal: 460kW	
Compuertas para efecto pistón	- Dimensiones: 3000mmx5000mm (15m ²)	1 per cada pozo al extremo de la estación + 1 per cada pozo entre estaciones Total: 22
Armario eléctrico para suministrar 460kW de potencia, incluyendo el variador de frecuencia (VFD), las bandejas de cables y los cables para el control del ventilador entre el armario eléctrico y el motor del ventilador		1 por cada ventilador Total: 64



Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legal, de riesgos, técnico y financiero

Entregable 4
Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte
Anexo A

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Sección Modificada	Observaciones
A	18-02-2022	-	Versión Inicial
B	08-03-2022	Integración general de modificaciones solicitadas	Observaciones de FDN/Interventoría/EMB.
C	05-05-2022	-	-

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

J. C. Pantoja 18-05-2022
Director de estructuración

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Revisó: O. Véliz 05-05-2022	Revisó: F. Faria 05-05-2022	Revisó: C.L. Umaña 05-05-2022	Aprobó: J.M. Martínez 05-05-2022
VoBo. Director Técnico	VoBo. Director Financiero	VoBo. Director Legal	VoBo. Director General de Estructuración

TABLA DE CONTENIDO

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO ...	4
10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN ...	4
10.18 TÚNEL	4
10.18.3 Sistema de lucha contra incendio	4
10.18.3.1. Estándares de referencia	4
10.18.3.2. Criterios de diseño	5
10.18.3.3. Metodología de dimensionamiento	5
10.18.3.3.1. Red de hidrantes	5
10.18.3.3.2. Extintores	6
10.18.3.4. Interfaces con otras disciplinas	6
10.18.3.5. Resultados del dimensionamiento preliminar	7
10.18.4 Sistema de detección de incendio	7

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. - Interfaces entre la red de hidrantes de túnel y otras disciplinas

Tabla 2. - Equipos preliminares de lucha contra incendio en el túnel

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. - Esquema de la red de hidrantes

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO

10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN

10.18 TÚNEL

10.18.3 Sistema de lucha contra incendio

El túnel se prevé la instalación de un sistema de extinción de incendios con hidrantes de clase I. Este sistema proporciona conexiones de manguera de 65 mm a lo largo del túnel para suministrar agua solo para uso de los departamentos de bomberos. Por lo tanto, no se incluyen armarios de mangueras, ya que los bomberos utilizarán sus propias mangueras.

Cada estación tendrá una sala de bombas y tanque de agua conectadas a la sección adyacente de la red de hidrantes.

Cada tramo de túnel entre estaciones estará equipado con dos tuberías (una en cada lado) instaladas a lo largo del túnel con conexiones de manguera accesibles para los bomberos cada 100 m y válvulas de aislamiento cada 244 m.

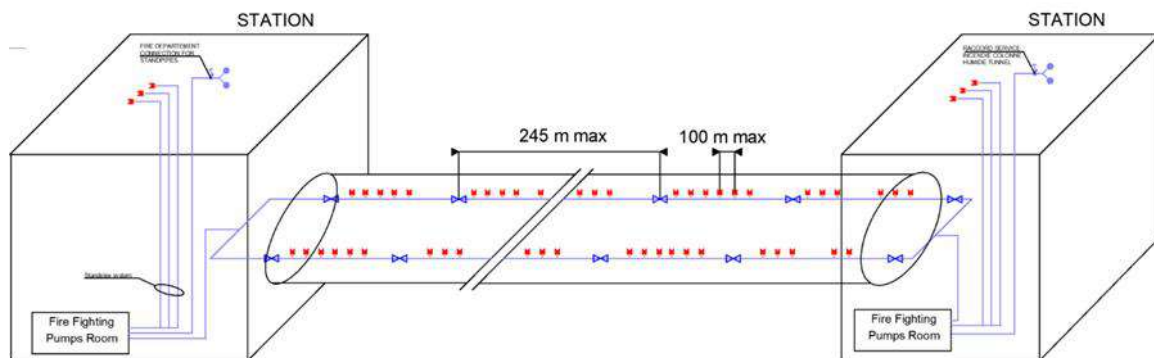


Figura 1. - Esquema de la red de hidrantes

10.18.3.1. Estándares de referencia

A continuación, se presentan los estándares y los documentos contractuales con los cual se debe cumplir para la ejecución de los estudios y diseño del sistema de extinción de incendios de túnel y en estación:

- [1] NFPA 130 – 2020: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail System
- [2] NFPA 10 – 2018: Standard for portable fire extinguishers
- [3] NFPA 1963 – 2019: Standard for fire hose connections
- [4] NFPA 14 – 2019: Standard for standpipe and hose systems

- [5] NFPA 101 – 2021: Life safety code
- [6] NFPA 20 – 2019: Standard for the installation of stationary pumps for fire Protection,
- [7] NFPA 70 – 2020: National Electrical Code
- [8] ET24 - Proyecto túnel

10.18.3.2. Criterios de diseño

De acuerdo con NFPA 14 [4], en el túnel se debe instalar un sistema de extinción de incendios con hidrantes de clase I; el diámetro de las conexiones de manguera debe estar de acuerdo con las normas locales, todavía la NFPA recomienda 65mm.

El sistema de tubería debe tener el tamaño adecuado para garantizar el suministro de tres conexiones de manguera que operan simultáneamente a una presión residual de 6,9 bares con un flujo mínimo de 2840 l/min (946 l/min por cada hidrante).

El sistema debe estar conectado a un suministro de agua con la capacidad de satisfacer la demanda del sistema durante un mínimo de 60 minutos de acuerdo con NFPA 130 [1].

Los sistemas de bombeo de la red de hidrantes de túnel serán comunes con los sistemas de bombeo de los hidrantes de estación.

Para las bombas se debe asegurar una redundancia de energía, y se debe tener en cuenta: 1 o 2 bombas en funcionamiento + 1 bomba de reserva + 1 bomba jockey (para red de tipo húmedo).

Se prevé la instalación de un solo tanque de agua por todos los sistemas de extinción a agua. El volumen del tanque se considerará como máximo de los tres sistemas: red de hidrantes por estación, red de hidrantes por túnel y rociadores de estación.

De acuerdo con NFPA 10 [2], también se proporcionarán extintores de agua y polvo químico seco (DCP) a lo largo de los túneles.

10.18.3.3. Metodología de dimensionamiento

10.18.3.3.1. Red de hidrantes

De acuerdo con los requisitos de NFPA 14 [4], el sistema de tubería debe tener el tamaño adecuado para suministrar agua por tres conexiones de manguera que operan simultáneamente a las siguientes características:

- Presión residual de 6,9 bar
- Flujo mínimo de 2840 l/min (946 l/min por cada hidrante)

Este requisito se define para un hidrante de 65 mm y se acordará con la autoridad local que tenga jurisdicción.

El sistema se conectará a un suministro de agua con capacidad para satisfacer la demanda del sistema durante un mínimo de 30 minutos en la estación, de acuerdo con NFPA 14, y 60 minutos en túnel, de acuerdo con NFPA 130.

La presión de la bomba se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula.

Los cálculos hidráulicos se realizan utilizando:

- Las pautas proporcionadas por el NFPA 14
- Las dimensiones de la tubería de acero tipo "Schedule 40"
- La tabla de longitud de tubería equivalente
- El valor C de Hazen William de 120 (tubos de acero galvanizado)
- La fórmula de pérdidas de presión de Hazen Williams:

$$P_m = 6.05 \left(\frac{Q_m^{1.85}}{d^{4.87} C^{1.85}} \right) 10^5$$

donde:

P_m = Resistencia a la fricción en bar por metro de tubería
 Q_m = Caudal en l/m
 C = Coeficiente de pérdida por fricción
 d = Diámetro interno real en mm

La pérdida de carga total se incrementará en un 20% como margen de seguridad.

10.18.3.3.2. Extintores

En el túnel, deben utilizarse los siguientes extintores de incendios:

- Extintores portátiles de agua
- Extintores portátiles de polvo químico seco (DCP)

10.18.3.4. Interfaces con otras disciplinas

Tabla 1. - Interfaces entre la red de hidrantes de túnel y otras disciplinas

Disciplina	Interfaz
Trazado	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación de las tuberías a lo largo del túnel; • Perfil plano-altimétrico.
Obra civil	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamiento de la sala de bombas; • Dimensionamiento del tanque de agua; • Bases de equipos.
Sistema eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda y suministro de energía; • Tendido de cables.

10.18.3.5. Resultados del dimensionamiento preliminar

En seguida se indican los resultados principales del dimensionamiento basado sobre la condición más gravosa.

Cabe destacar que estos resultados son estimaciones preliminares que deben ser verificadas en el desarrollo de la Fase 3 de acuerdo con los resultados de los cálculos detallados y de los datos más actualizados de la infraestructura.

Estos resultados han sido utilizados para la preparación del CAPEX

Tabla 2. - Equipos preliminares de lucha contra incendio en el túnel

Ítem	Cantidad
Tubería (túnel) DN200, incluye soporte, válvulas, accesorios	Total: 29.040 m
Conexión de manguera 65mm	Total: 290 unidades
Extintor portátil -6L de agua	Total: 145 unidades
Extintor portátil -6kg ABC	Total: 145 unidades

Las bombas y el tanque de agua para la red de hidrantes de túnel están cotizadas en el entregable de estación siendo que serán compartidas entre más sistemas.

10.18.4 Sistema de detección de incendio

El sistema de detección de incendios será con tecnología Fibra Láser.

El sistema consiste en un sistema de fibra óptica con un diámetro de aproximadamente 1 cm instalado en un camino de base en el techo del túnel.

La solución de detección incluye un panel de control de aproximadamente 70cm x 70cm x 35cm instalado aproximadamente cada 5 km de túnel con un generador de rayo láser y cables de fibra óptica. La fibra de vidrio refleja la luz generada por el láser y la envía de regreso a la central de detección de incendios localizada en la estación. Las señales varían según la temperatura de la fibra óptica.

Cada cable sensible puede tener 10 km de largo, es decir, 5 km en un lado en un bucle, y 5 km en el otro lado también en un bucle.

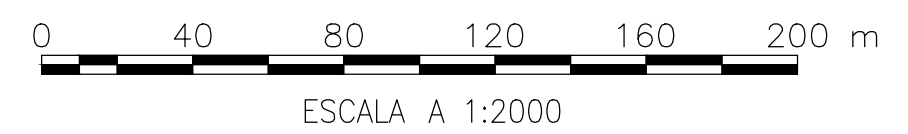
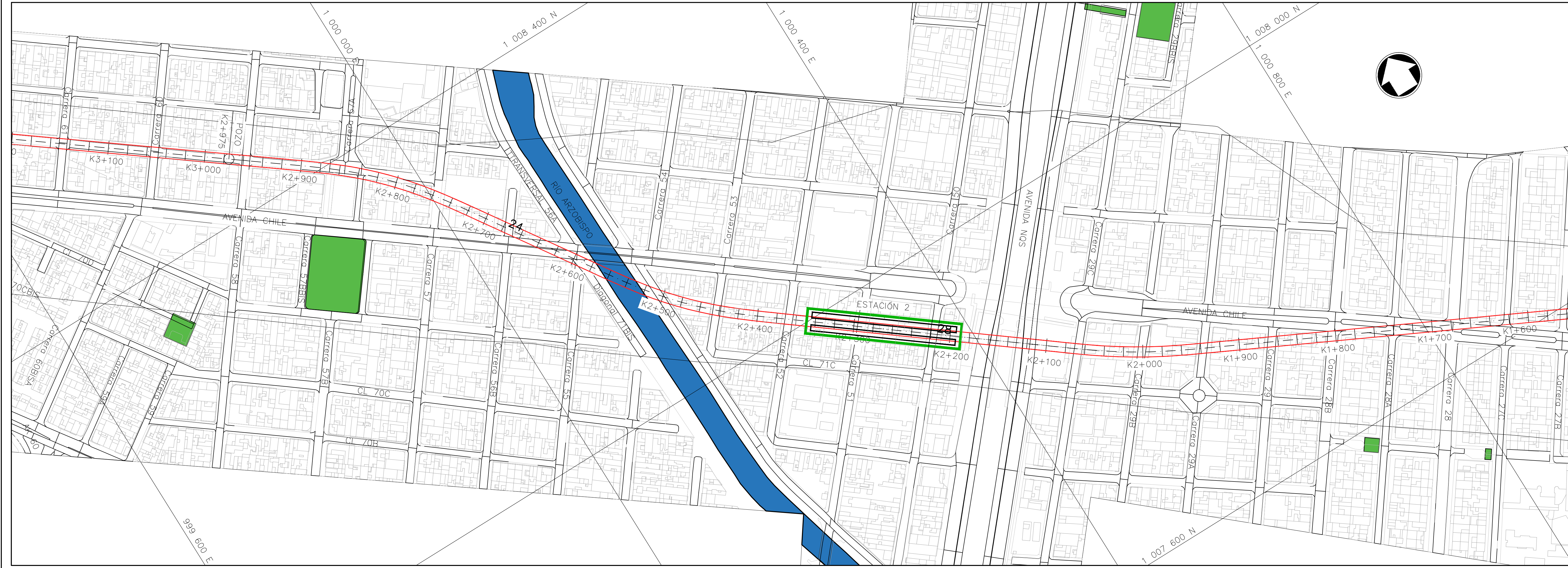
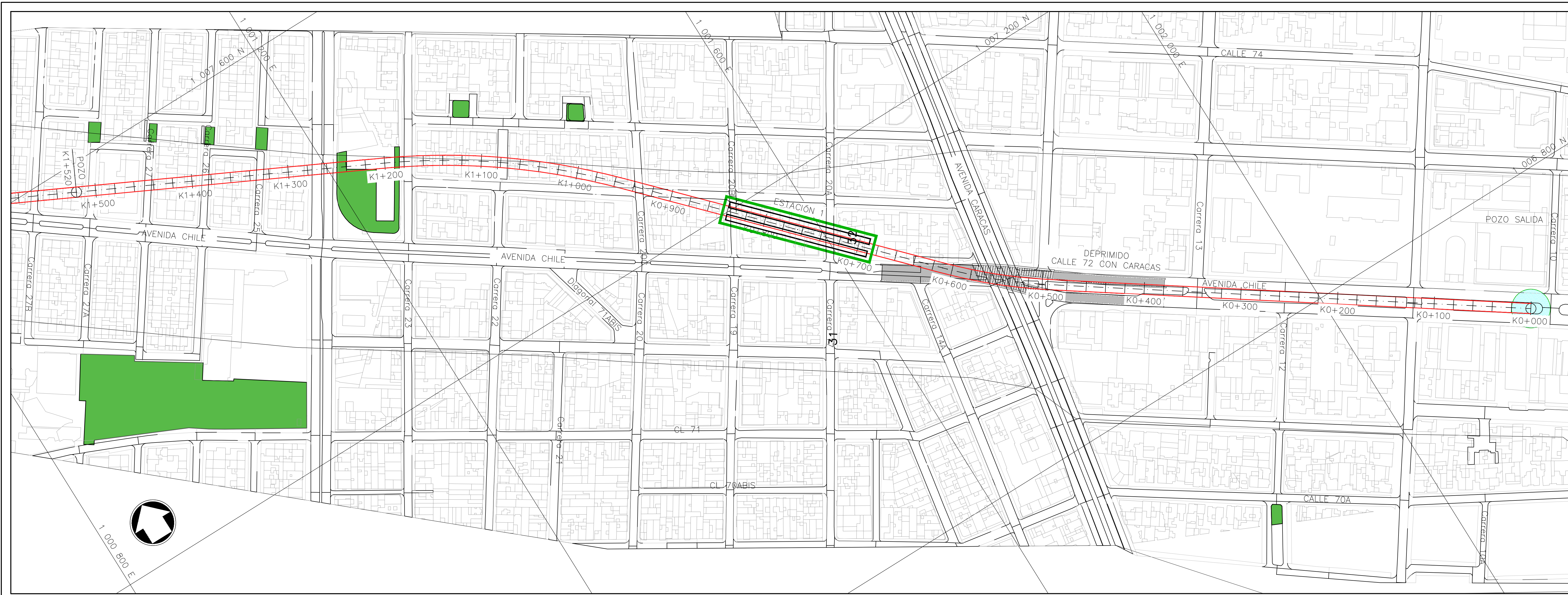
Cada cable puede tener 1000 zonas que permitirán la identificación de los sectores en alarma. Considerando la longitud del túnel de cerca 15 km y la presencia de 10 estaciones subterráneas, es posible incluir una cantidad casi infinita de cables y tramos.

El sistema debe garantizar que también los cambios leves de temperatura, como un aumento de algunos grados Celsius por minuto, se pueda detectar de forma fiable y segura.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

Preferiblemente, las centrales de detección de incendio, cuya dimensión son 600mm x 600mm x 2050mm, estarán ubicadas en las 10 estaciones junto a los sistemas de gestión de la estación.



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

▲				
▲				
▲				
▲	03/03/2022	Versión original.	A. RICO	
			NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA

PLANTA GENERAL - K0+000 A K3+180

ESCALA: INDICADAS

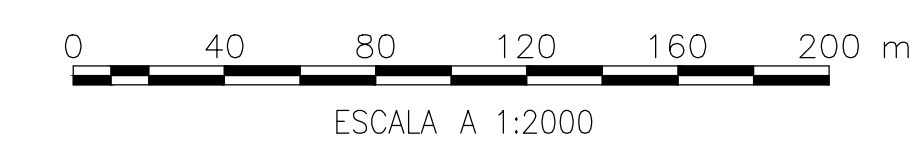
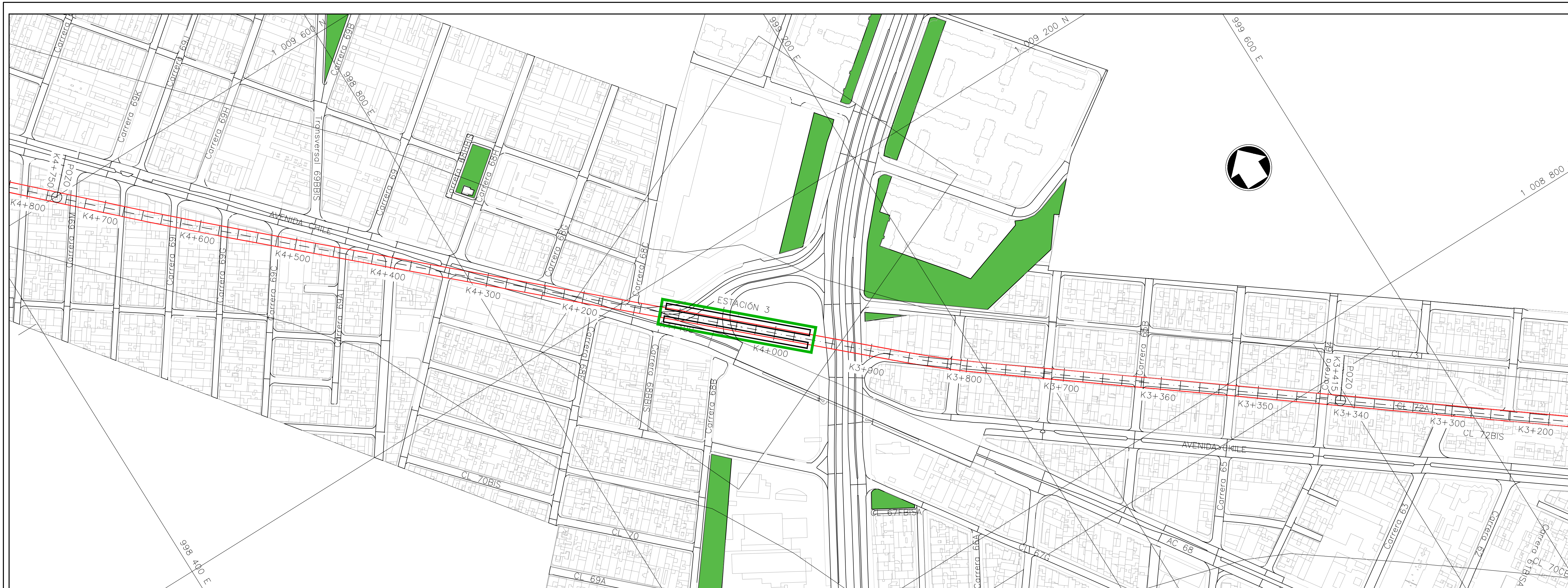
HOJA N°: 1 DE 5

ASESORIA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

INTERVENTORIA **egis**

Plano No: 0559201-PG-BB-TUNE-01-0001

Doc: NOMBRE DEL MODELO



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

▲					
▲					
▲					
▲	03/03/2022	Versión original.	A. RICO		
		MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA	

PLANTA GENERAL - K3+180 A K6+380

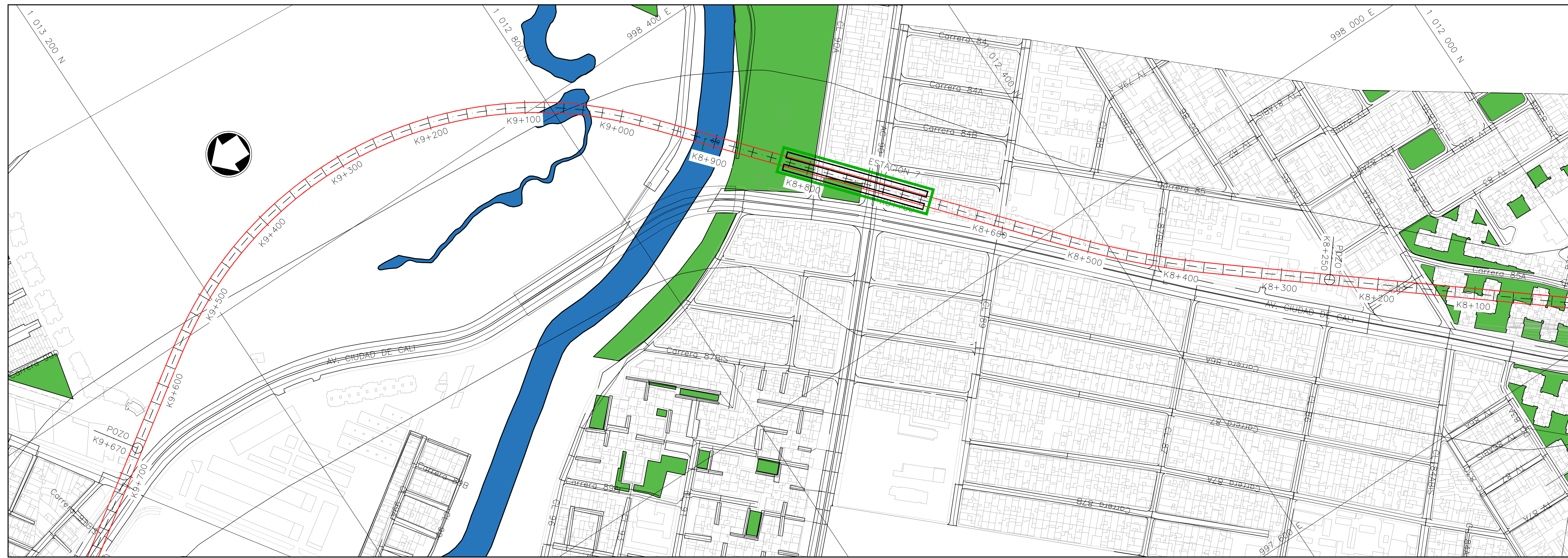
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 2 DE 5



Plano No:
0559201-PG-BB-TUNE-01-0001

Doc:
NOMBRE DEL MODELO



0 40 80 120 160 200 m
ESCALA A 1:2000



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

△			
△			
△			
△	03/03/2022	Versión original.	A. RICO NOMBRE RESPONSABLE
		MODIFICACIÓN	FIRMA

PLANTA GENERAL - K6+380 A K9+780

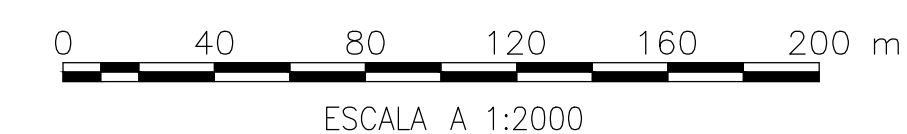
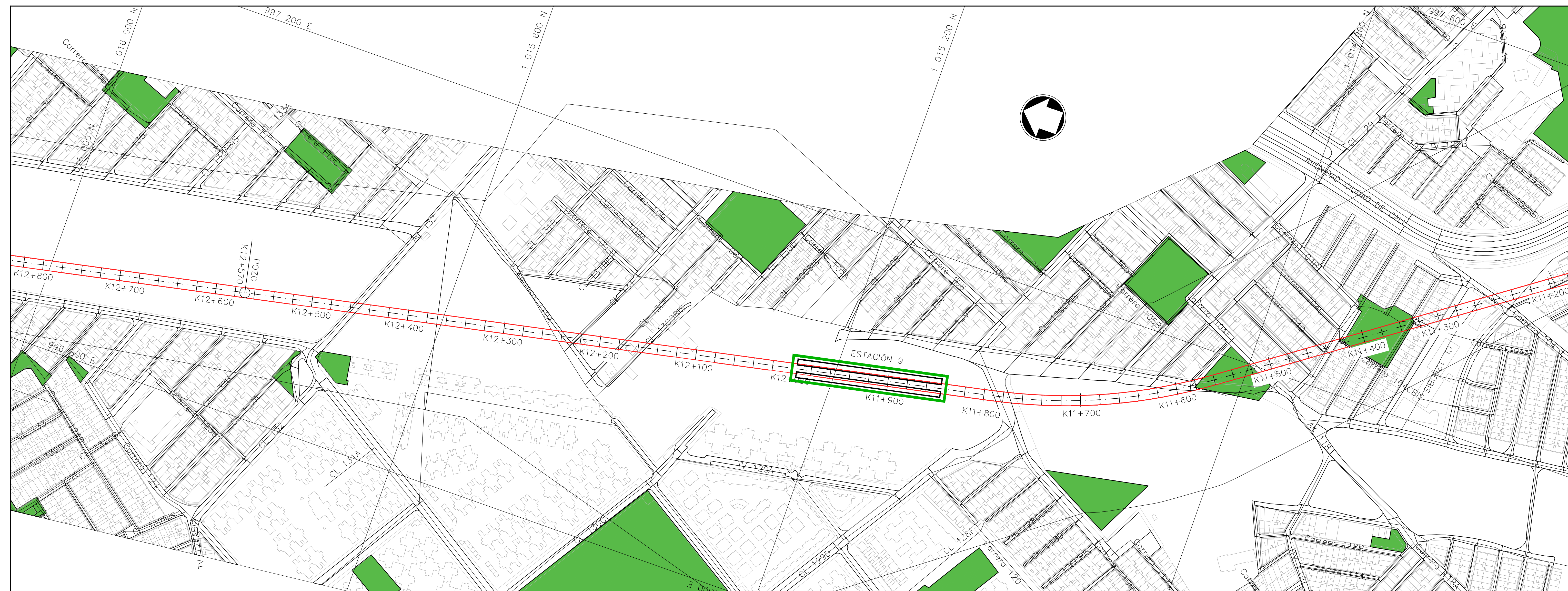
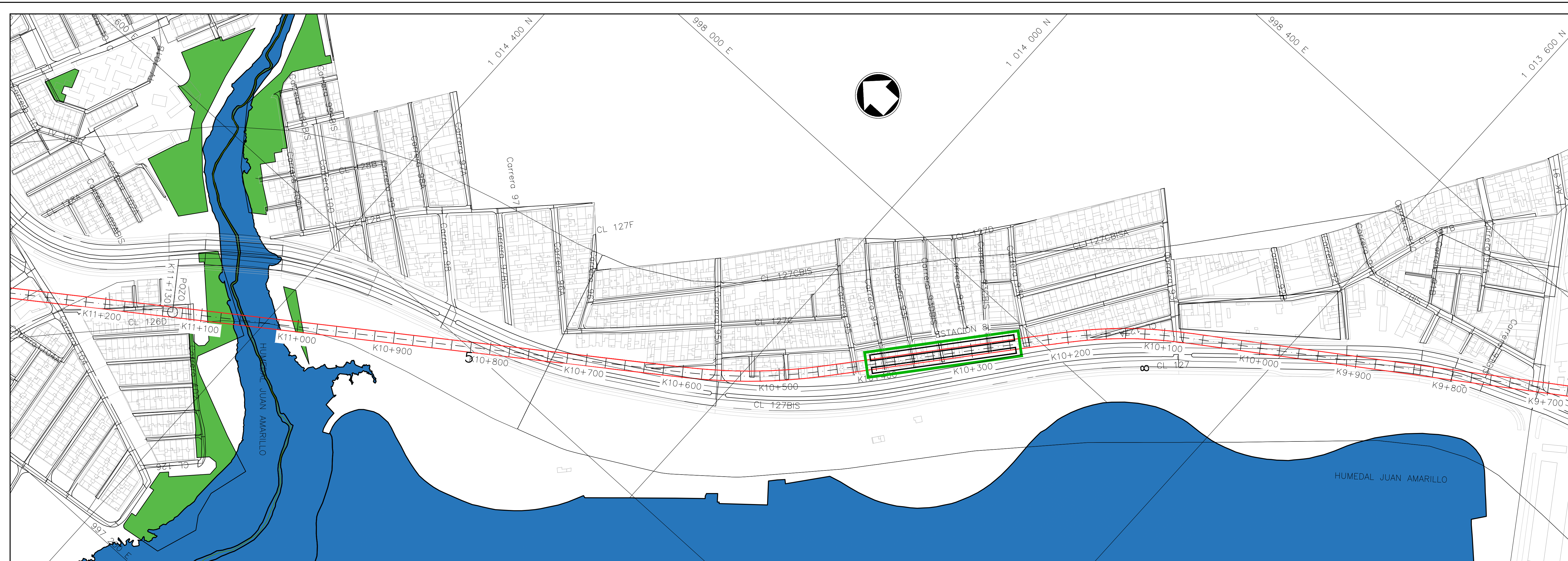
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 3 DE 5



Plano No:
0559201-PG-BB-TUNE-01-0001

Doc:
NOMBRE DEL MODELO



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

▲				
▲				
▲				
▲	03/03/2022	Versión original.	A. RICO	
			NOMBRE INGENIERO RESPONSABLE	FIRMA

PLANTA GENERAL - K9+780 A K12+800

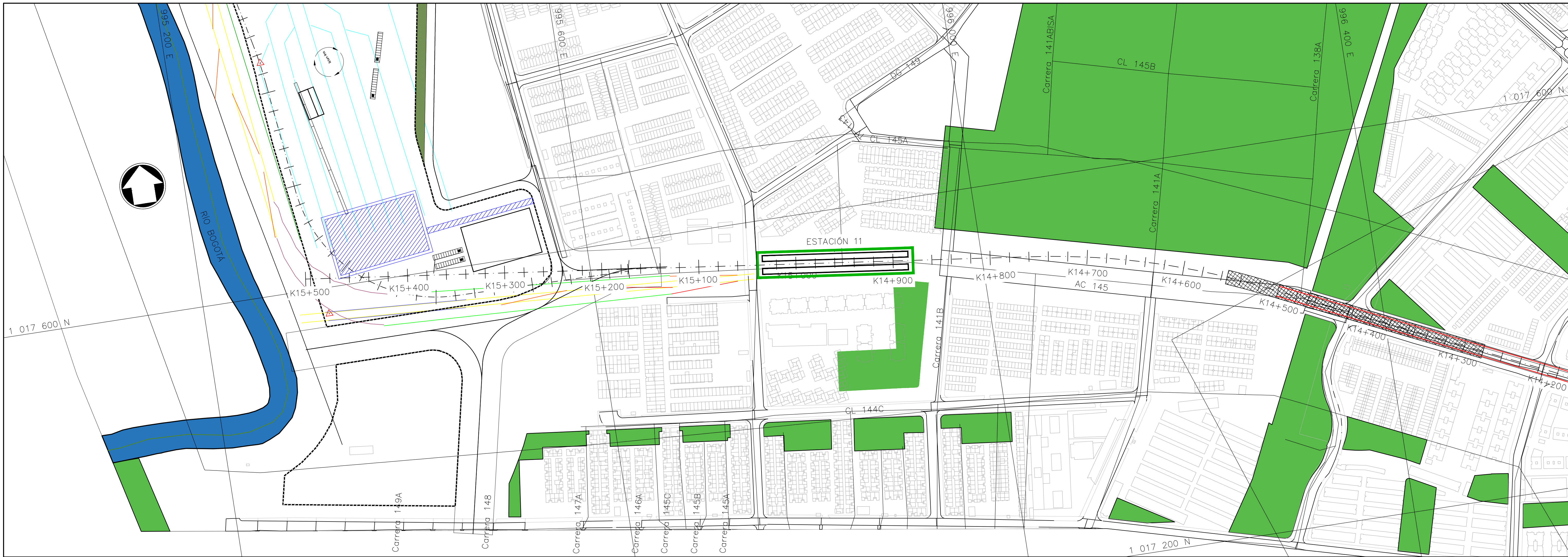
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 4 DE 5



Plano No:
0559201-PG-BB-TUNE-01-0001

Doc:
NOMBRE DEL MODELO





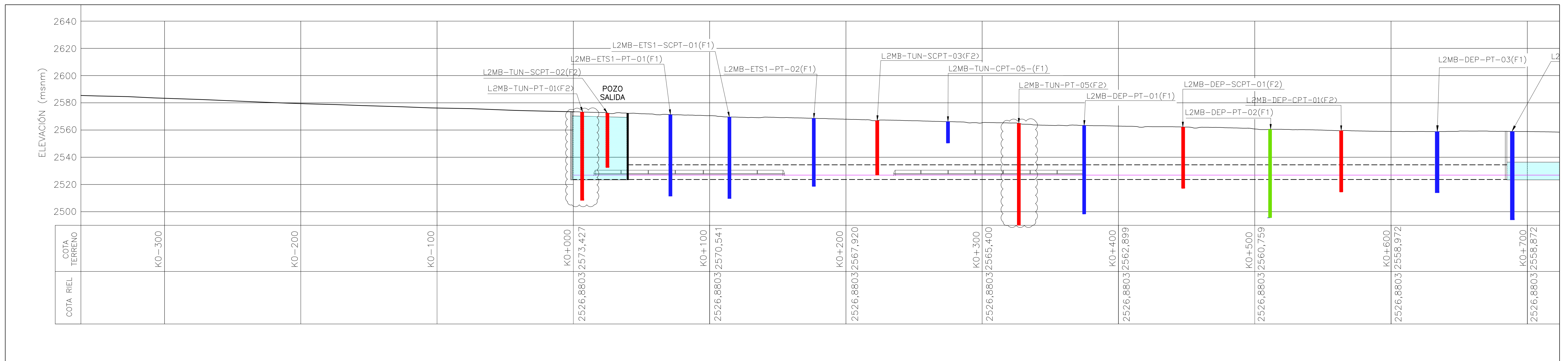
 CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

   	03/03/2022 Versión original.	A. RICO NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA
MODIFICACIÓN			

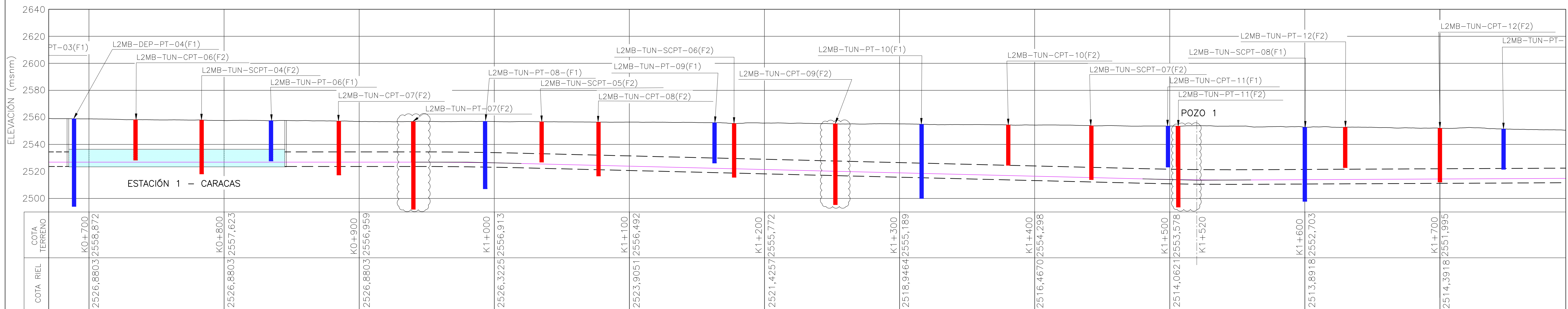
PLANTA GENERAL - K12+800 A K15+500
 ESCALA: INDICADAS
 HOJA N°: 5 DE 5

ASESORIA INTERVENTORIA


 Plano No: 0559201-PG-BB-TUNE-01-0001
 Doc: NOMBRE DEL MODELO

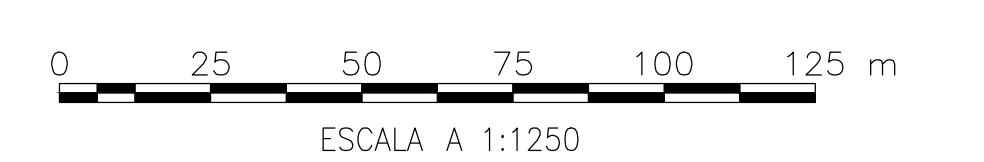


PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A

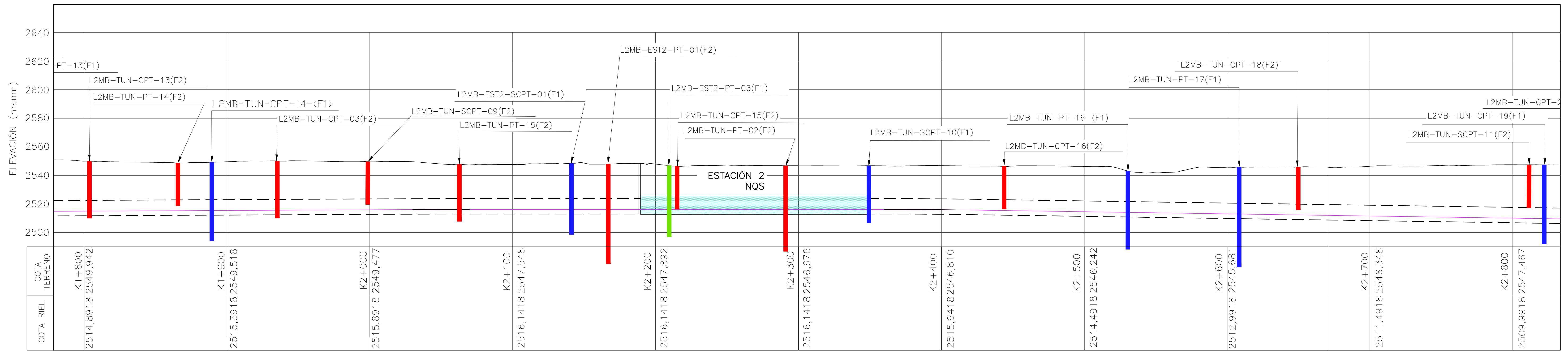


PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A

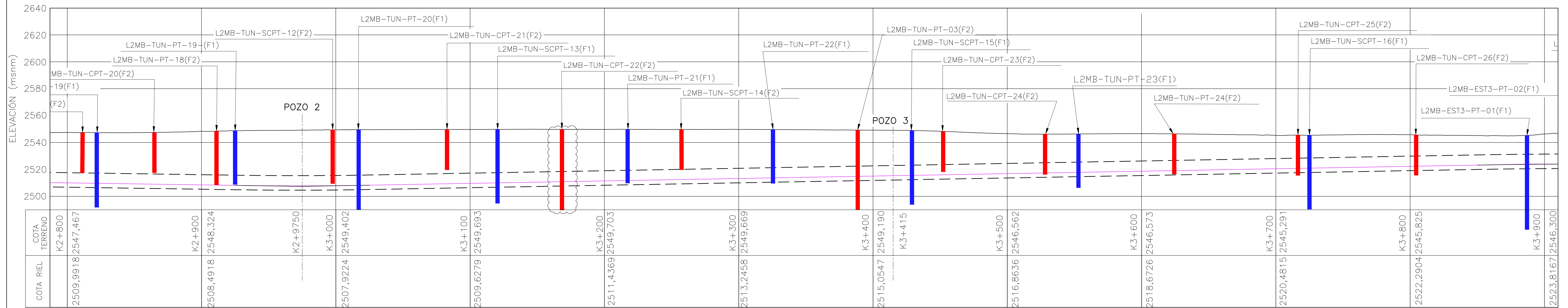
NOTAS
1. Todas las dimensiones están dadas en metros, excepto otra indicación. Elevaciones en msnm.



03/03/2022	Versión original	A. Rico	
	MODIFICACIÓN	NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA



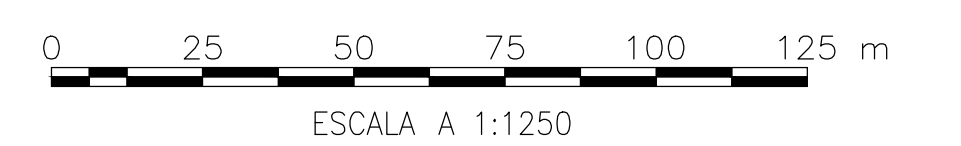
PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A

NOTAS

1. Todas las dimensiones están dadas en metros, excepto otra indicación. Elevaciones en msnm.



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

△			
△			
△			
△	03/03/2022	Versión original	A. Rico
	MODIFICACIÓN		NOMBRE ING. RESPONSABLE FIRMA

PLAN DE EXPLORACIONES DEL SUBSUELO - PERFIL LONGITUDINAL

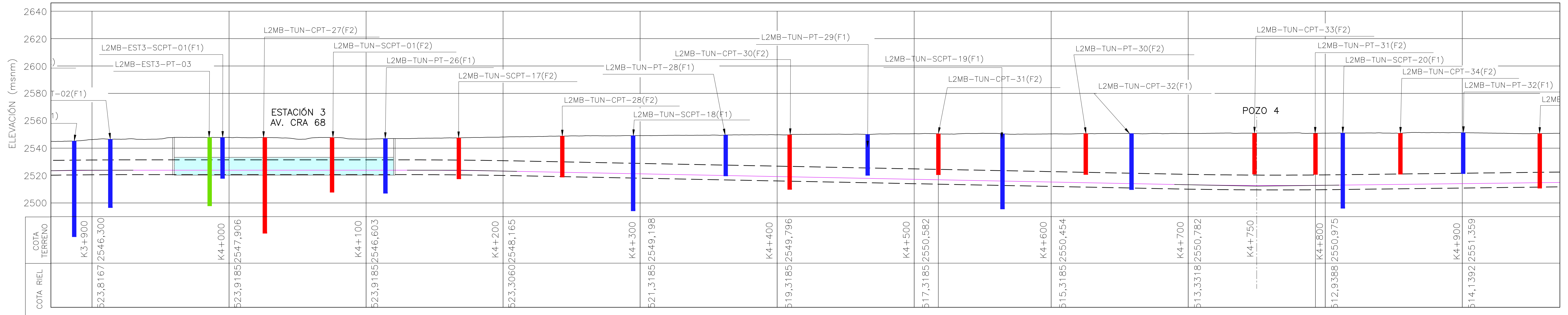
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 2 DE 8

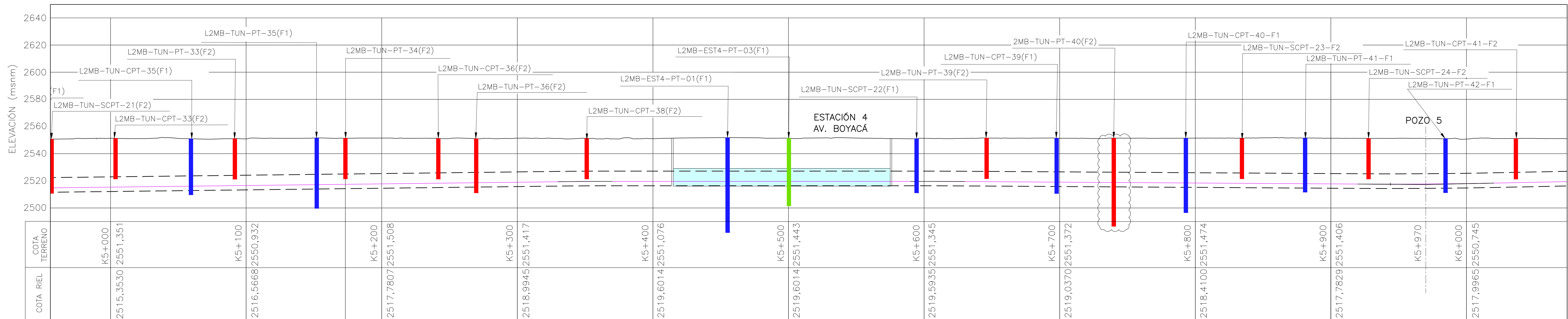


Plano No: 0559201-PG-BB-TUNE-02-0002

Doc: NOMBRE DEL MODELO

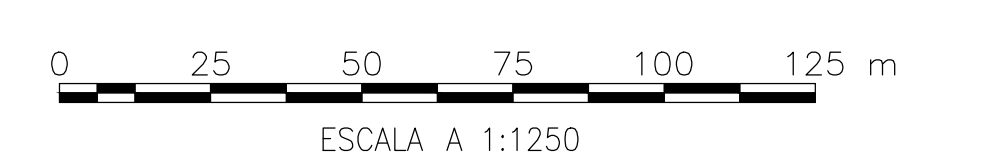


PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A

NOTAS
1. Todas las dimensiones están dadas en metros, excepto otra indicación. Elevaciones en msnm.



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

△			
△			
△			
△	03/03/2022	Versión original	A. Rico
	MODIFICACIÓN		NOMBRE RESPONSABLE
			FIRMA

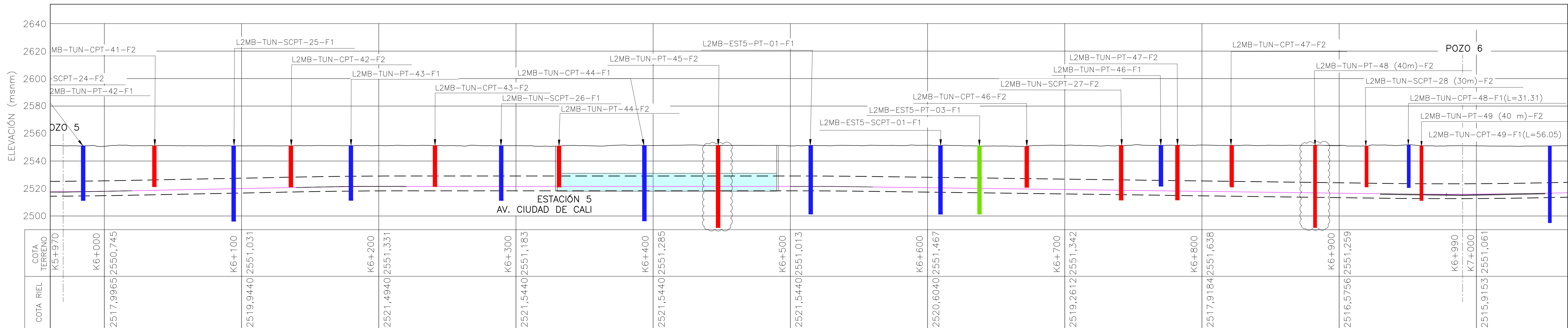
PLAN DE EXPLORACIONES DEL SUBSUELO - PERFIL LONGITUDINAL

ESCALA: INDICADAS

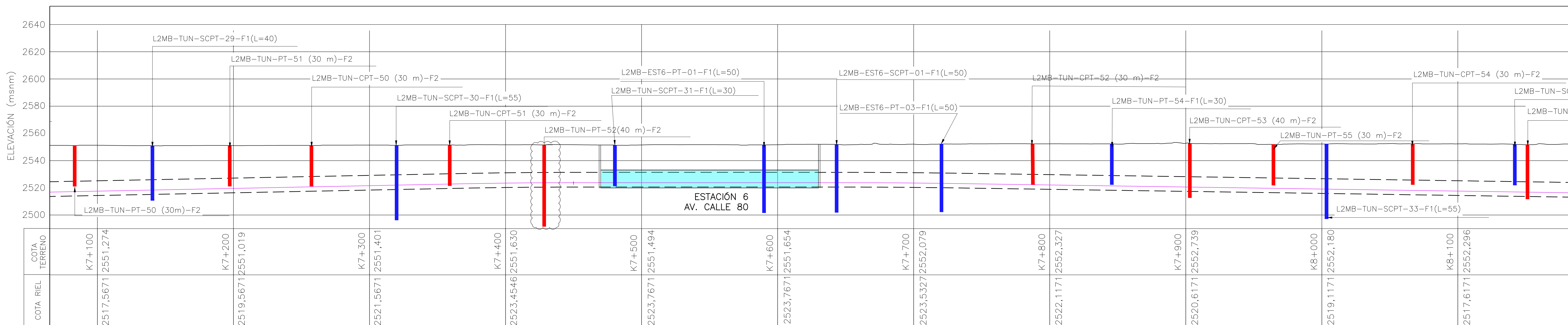
HOJA N°: 3 DE 8



Plano No: 0559201-PG-BB-TUNE-02-0002
Doc: NOMBRE DEL MODELO



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A

NOTAS

1. Todas las dimensiones están dadas en metros, excepto otra indicación. Elevaciones en msnm.



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

▲				
▲				
▲				
▲	03/03/2022	Versión original	A. Rico	
		MODIFICACIÓN	NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA

PLAN DE EXPLORACIONES DEL SUBSUELO - PERFIL LONGITUDINAL

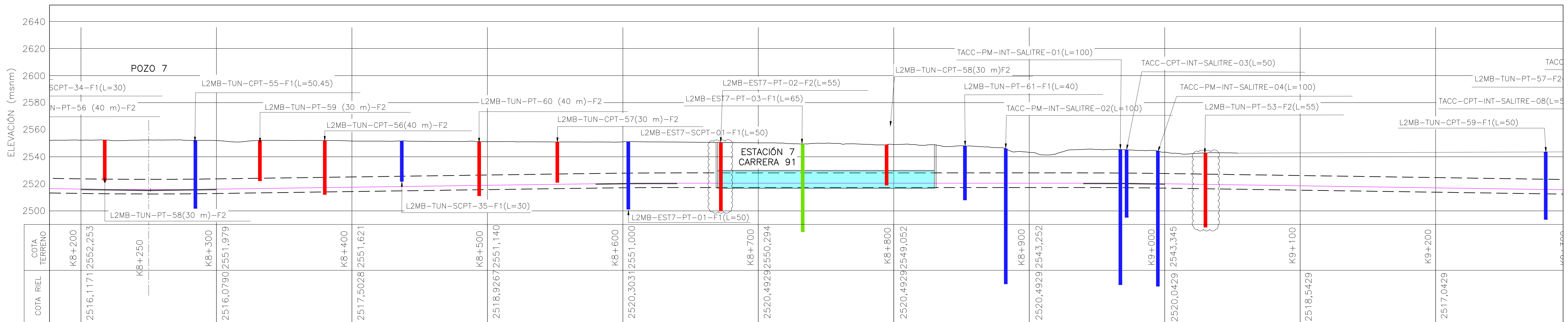
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 4 DE 8

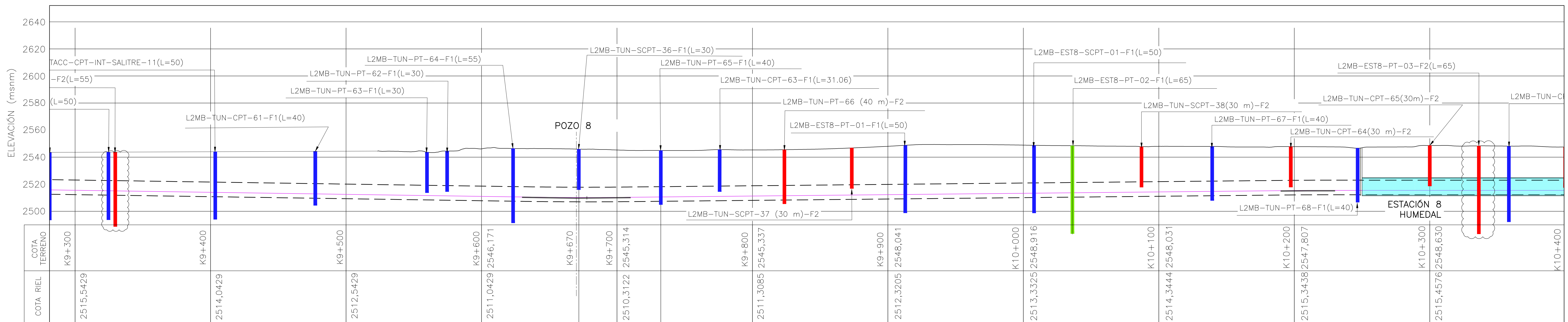


Plano No:
0559201-PG-BB-TUNE-02-0002

Doc:
NOMBRE DEL MODELO



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A

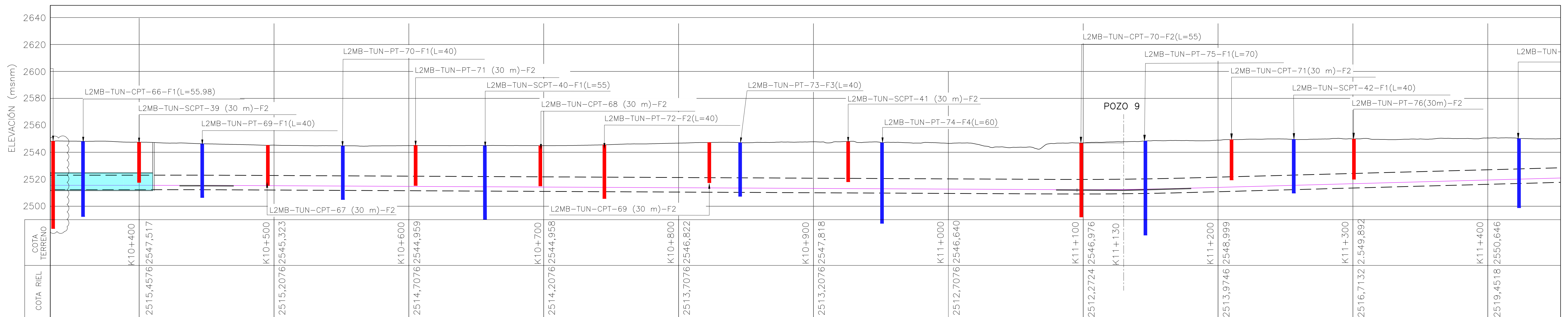


PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A

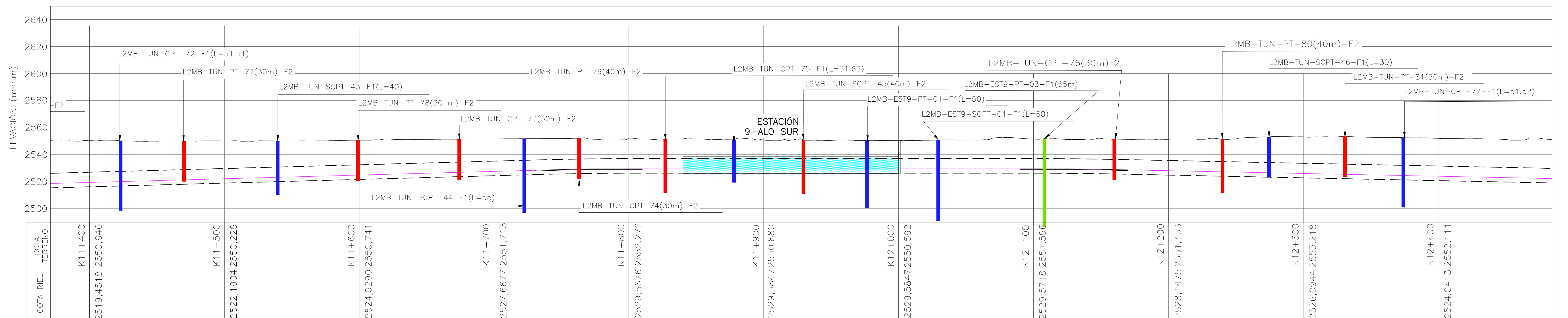
NOTAS

1. Todas las dimensiones están dadas en metros, excepto otra indicación. Elevaciones en msnm.

ESCALA A 1:1250



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A

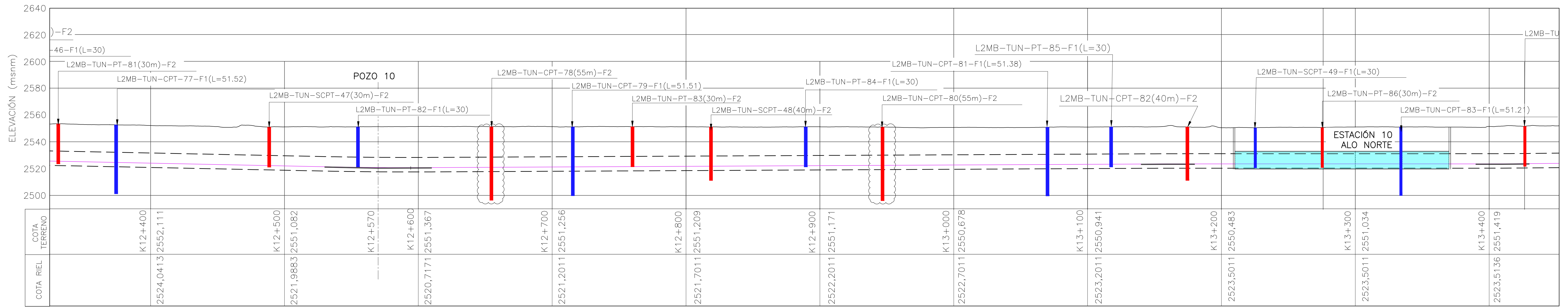


PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A

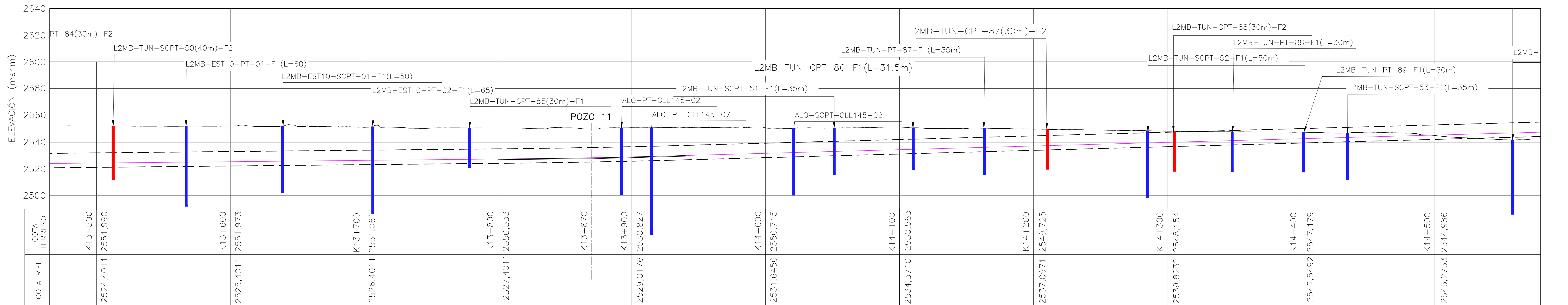
NOTAS

1. Todas las dimensiones están dadas en metros, excepto otra indicación. Elevaciones en msnm.

ESCALA A 1:1250



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A

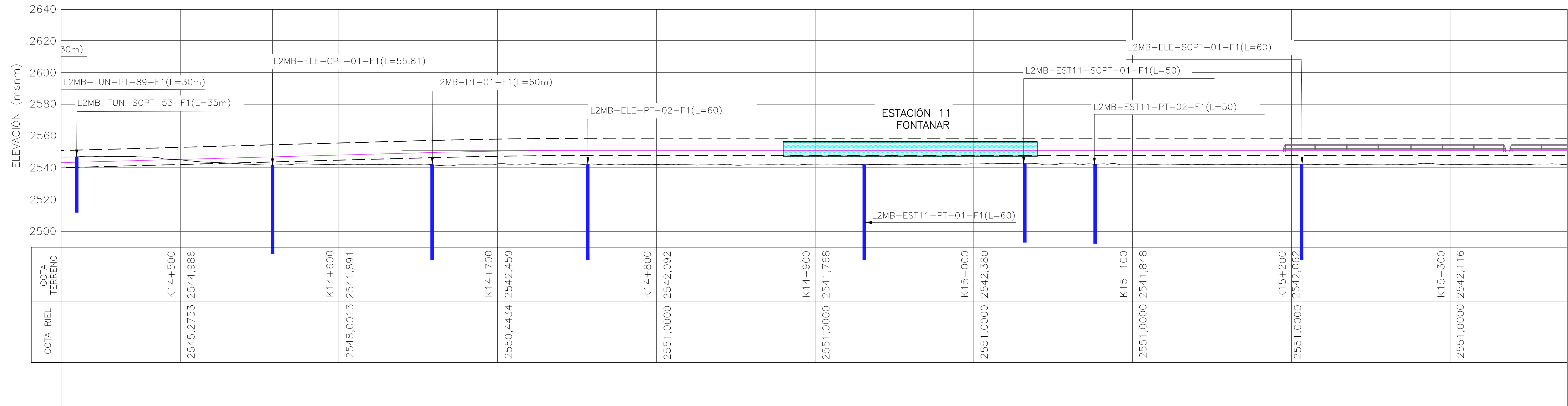


PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A

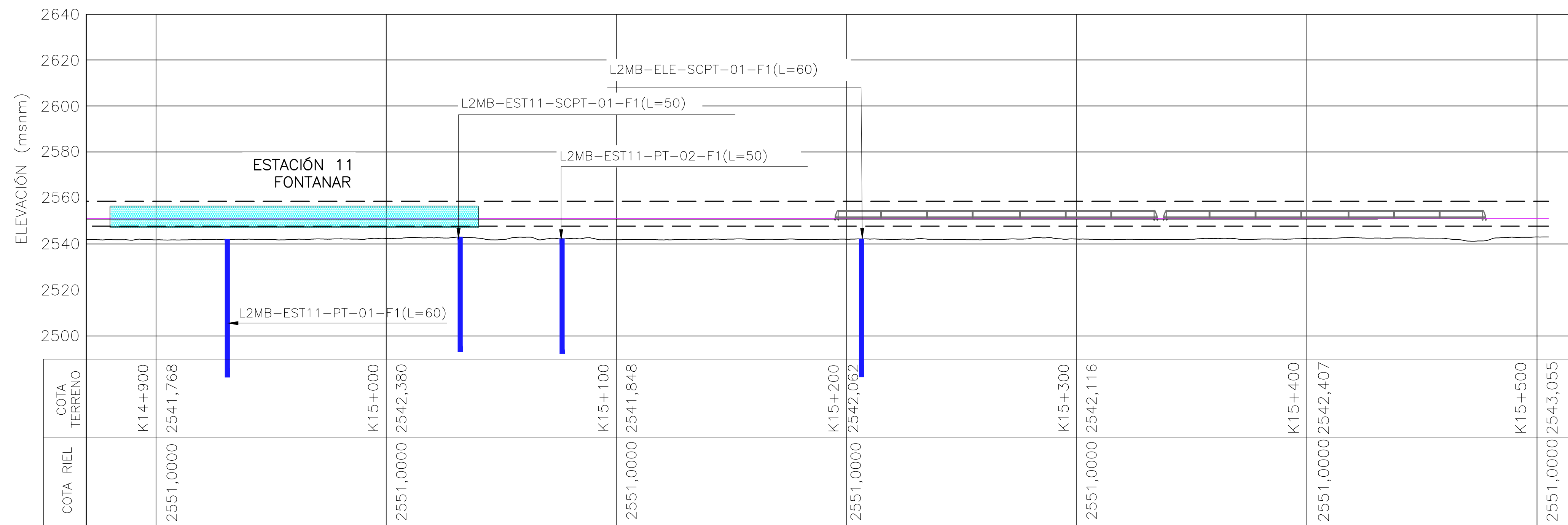
NOTAS

1. Todas las dimensiones están dadas en metros, excepto otra indicación. Elevaciones en msnm.

ESCALA A 1:1250



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A

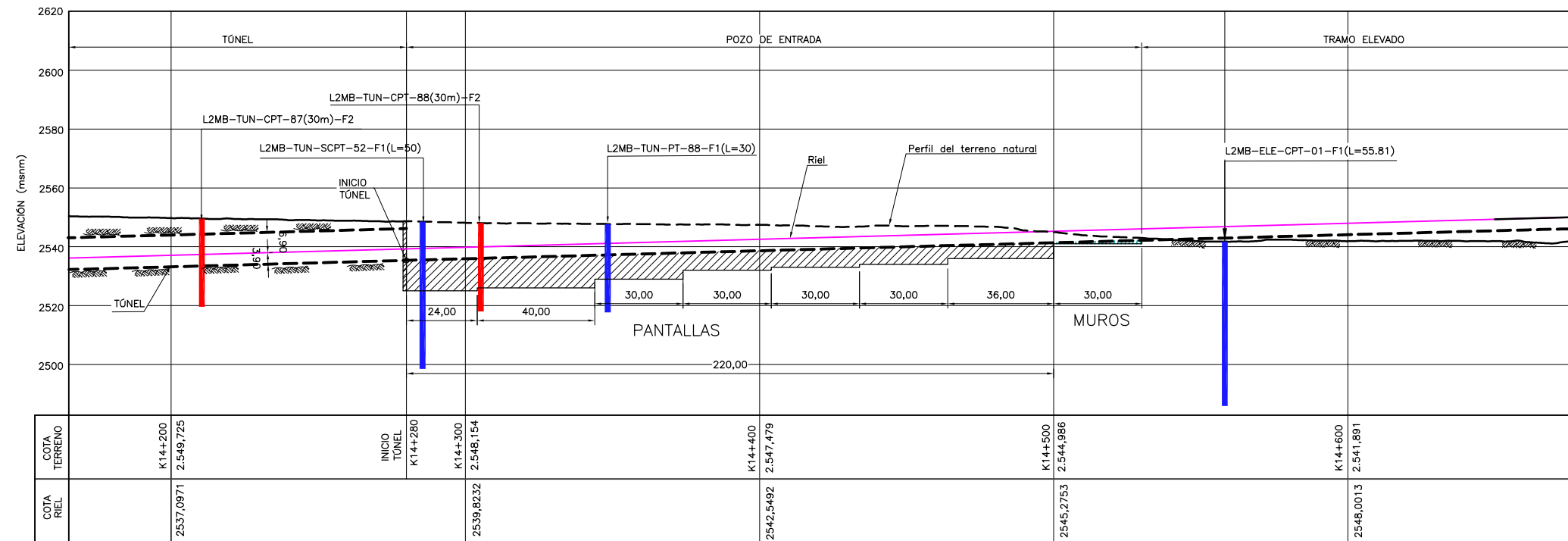
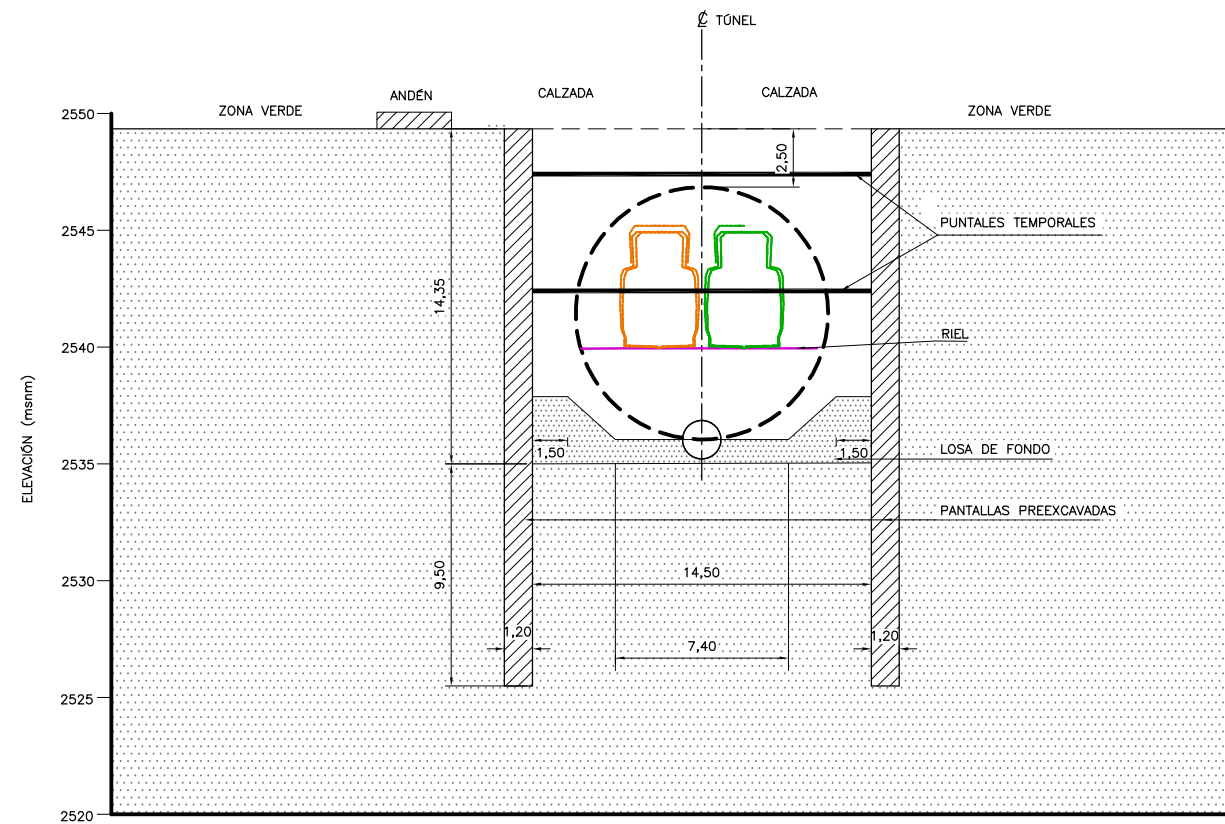
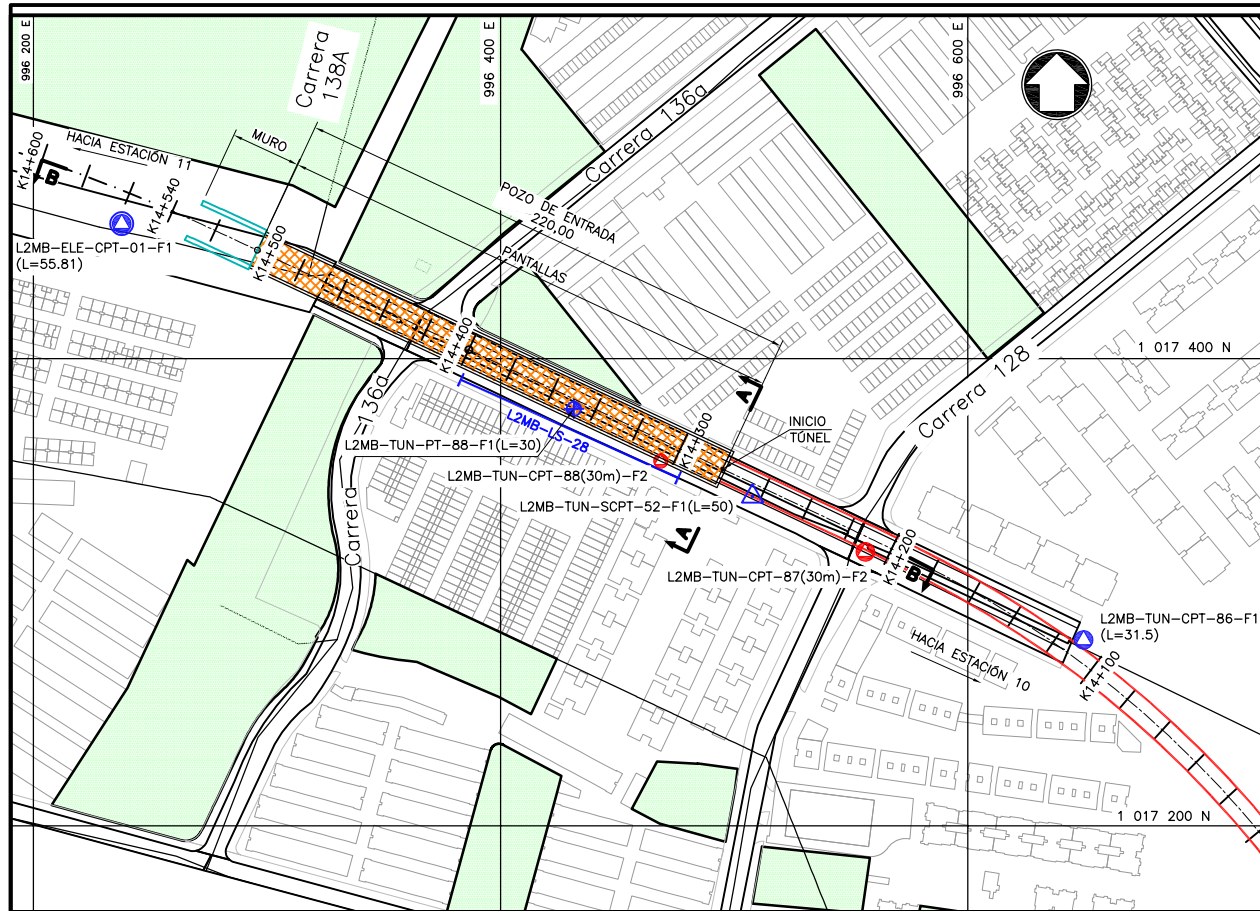


PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA A

NOTAS

1. Todas las dimensiones están dadas en metros, excepto otra indicación. Elevaciones en msnm.

ESCALA A 1:1250



- NOTAS**
- Las dimensiones mostradas están en metros, las elevaciones en msnm, excepto otra indicación.
 - La grilla de coordenadas se refiere al Sistema de Coordenadas planas cartesianas MAGNA-SIRGAS-BOGOTÁ.
 - El abscisado está referido a la proyección horizontal del eje túnel.
 - No se muestran detalles de las estructuras.
 - No se muestran detalles de pantalla, losa y muros.

CONVENCIONES

- Perforación tipo CPT
- Perforación tipo PT
- Perforación tipo SCPT
- Pozo

0 25 50 75 100 125 m
ESCALA A 1:1250

0 2,5 5,0 7,5 10 12,5 m
ESCALA B 1:125

0 15 30 45 60 75 m
ESCALA C 1:750



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

FECHA	MODIFICACIÓN	ING.	NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA
03/03/2022	Versión original		A. Rizo	

POZO DE ENTRADA- PLANTA, PERFIL Y SECCIÓN

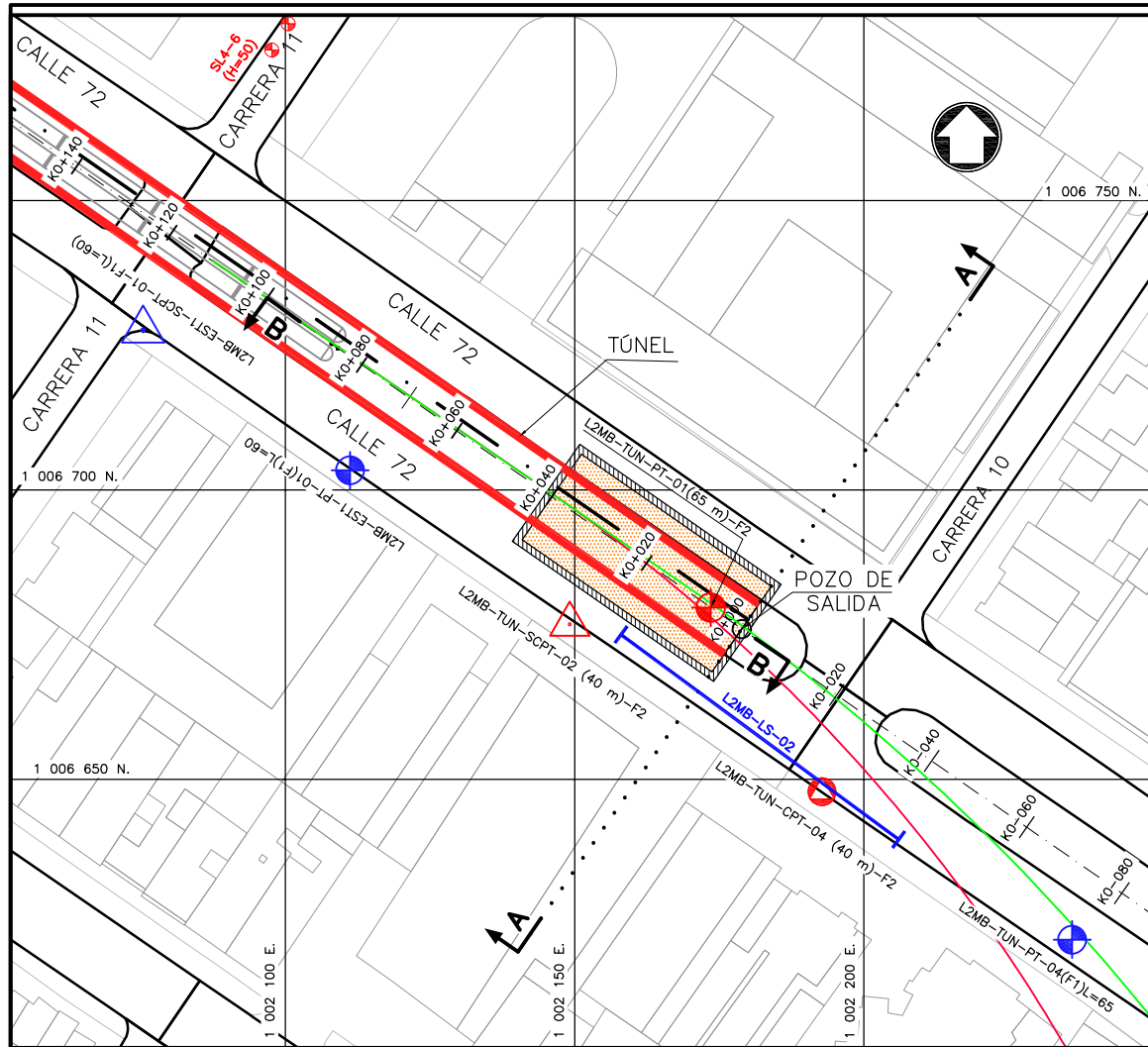
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

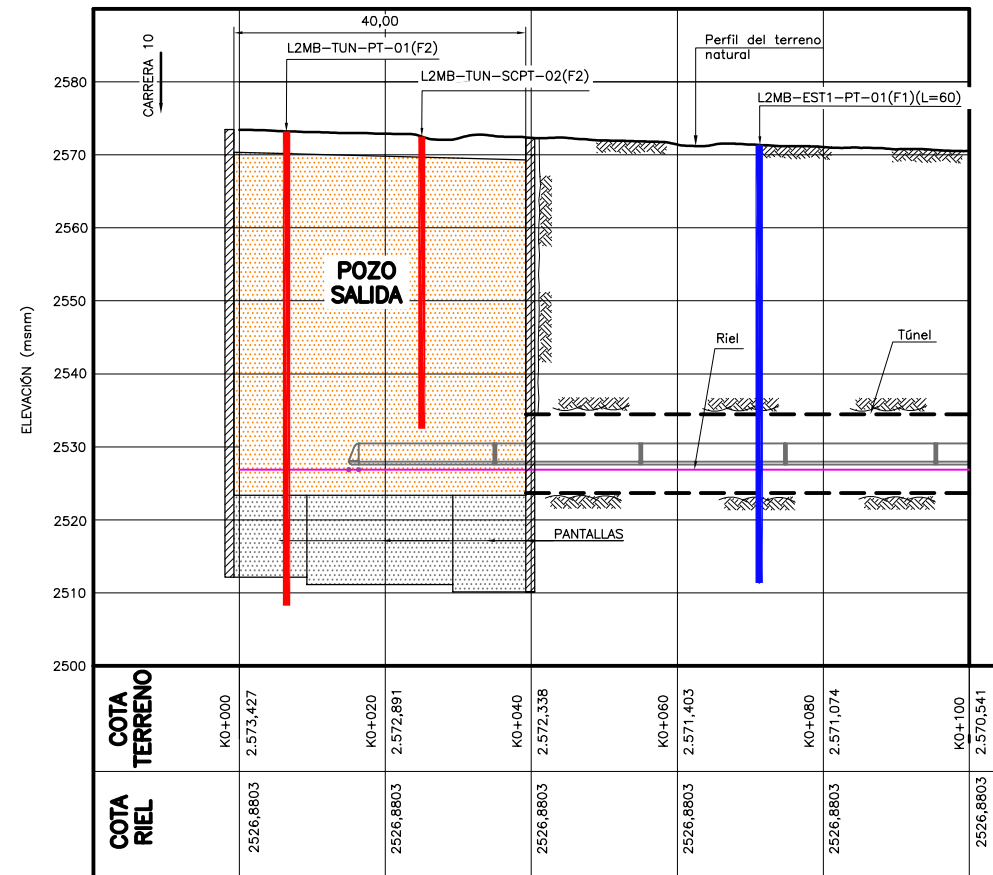


Plano No:
0559201-PG-BB-TUNE-03-0003

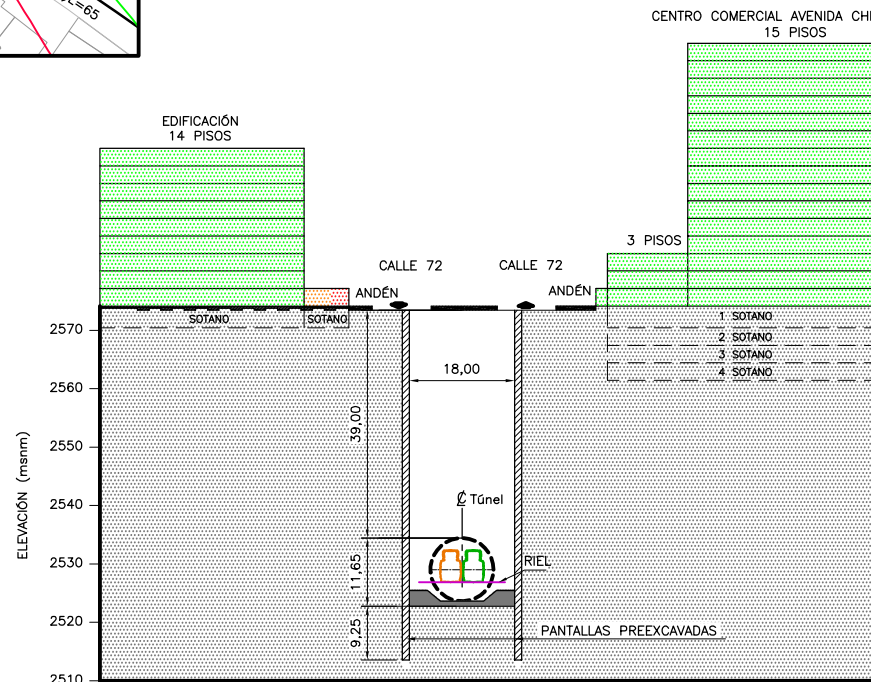
Doc:
NOMBRE DEL MODELO



PLANTA POZO DE SALIDA
ESCALA A



CORTE B-B -PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA B



CORTE A-A
POZO SALIDA- K0+000
ESCALA B

- NOTAS**
- Las dimensiones mostradas están en metros, las elevaciones en msnm, excepto otra indicación.
 - La grilla de coordenadas se refiere al Sistema de Coordenadas planas cartesianas MAGNA-SIRGAS-BOGOTÁ.
 - El abscisado esta referido a la proyección horizontal del eje túnel.
 - No se muestran detalles de las estructuras.
 - No se muestran espesores de dovelas, espesor de pantallas, longitud de pantallas, ni descripción de tratamientos de mejoramiento de suelos.

- CONVENCIONES**
- Perforación tipo CPT
 - Perforación tipo PT
 - Perforación tipo SCPT
 - Pozo
- 0 10 20 30 40 50 m
ESCALA A 1:500
- 0 8 16 24 32 40 m
ESCALA B 1:400



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	FECHA	VERSIÓN	ING.	RESPONSABLE	FIRMA
03/03/2022		Versión original	A. Rizo		

PORTAL SALIDA - PLANTA, PERFIL Y SECCIÓN

ESCALA: INDICADAS

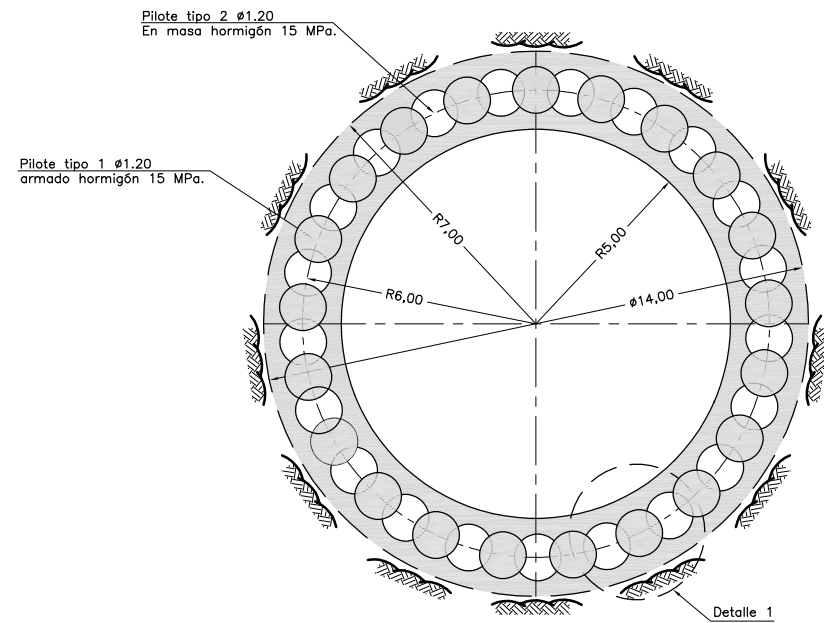
HOJA N°: 1 DE 1

ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

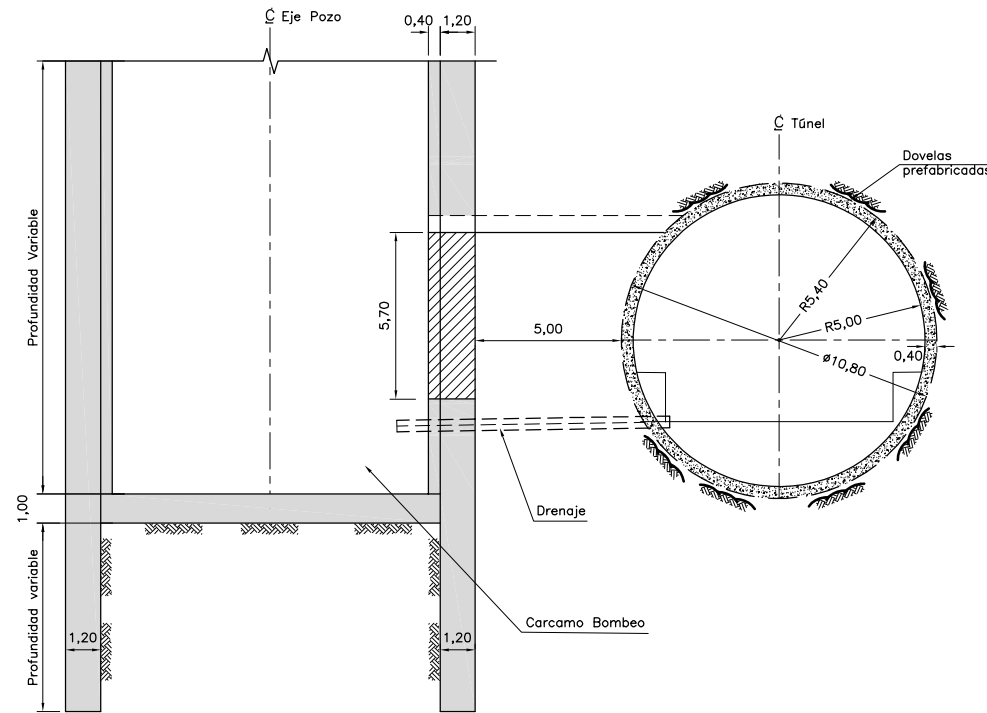
INTERVENTORIA **egis**

Plano No: 0559201-PG-BB-TUNE-03-0004

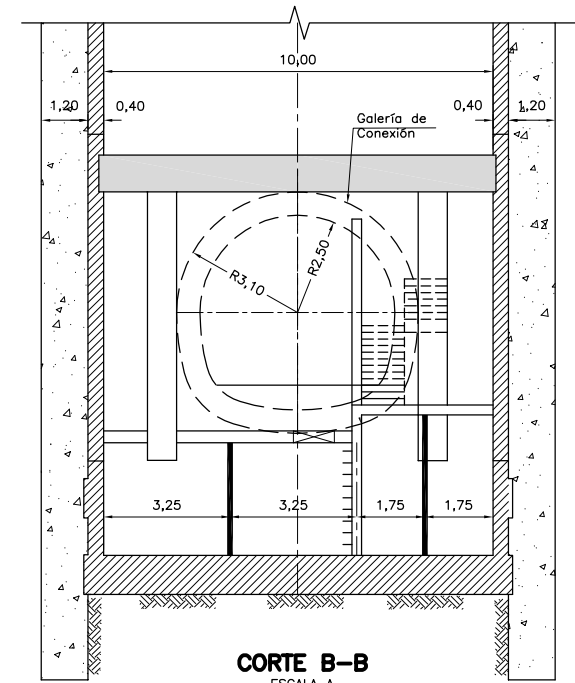
Doc: NOMBRE DEL MODELO



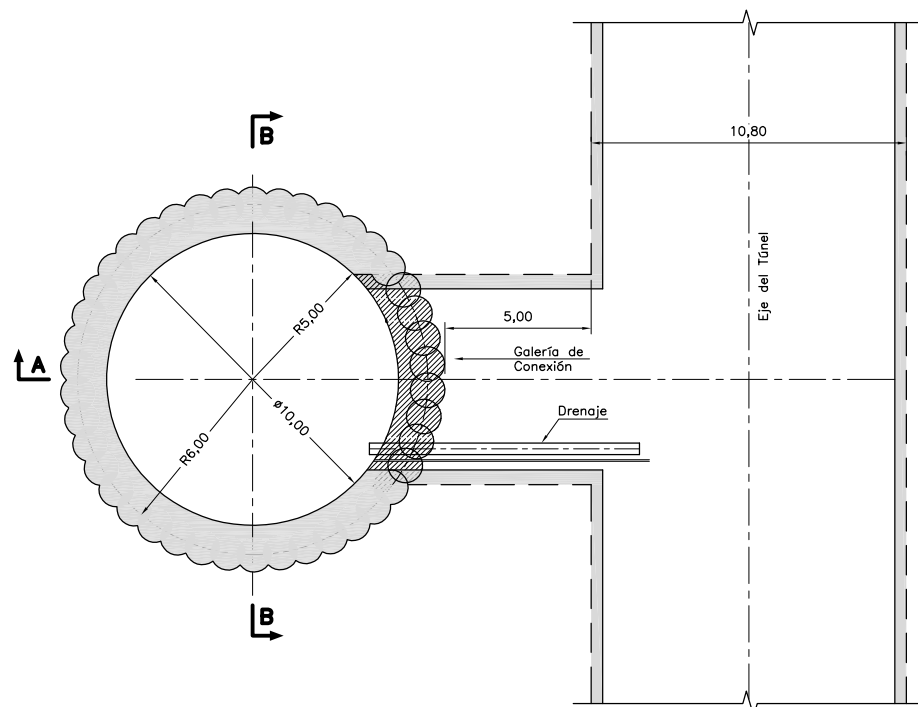
POZO EVACUACIÓN, VENTILACIÓN Y BOMBEO
PILOTES - PLANTA
 ESCALA A



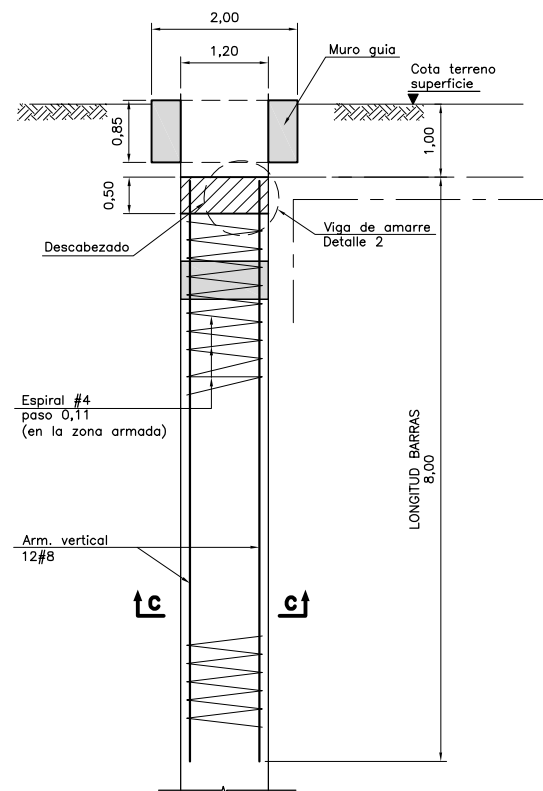
CORTE A-A
 ESCALA B



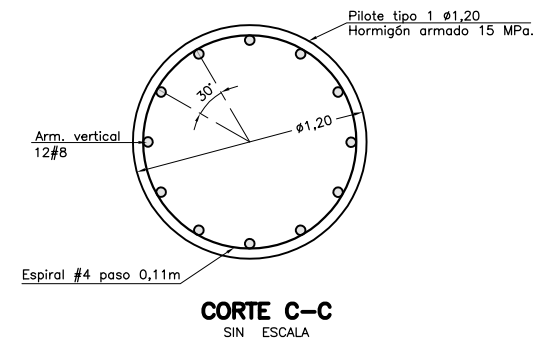
CORTE B-B
 ESCALA A



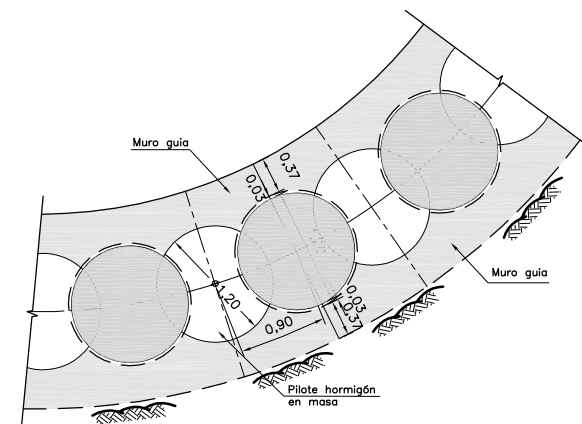
PLANTA
 ESCALA A



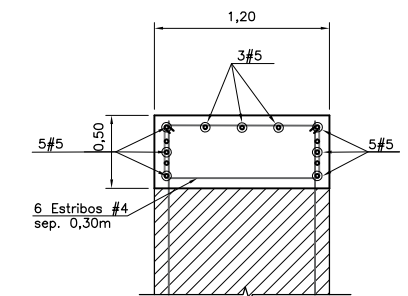
DETALLE ARMADO PILOTE SECANTE
 ESCALA C



CORTE C-C
 SIN ESCALA



DETALLE 1
PILOTES Ø=1,20
 ESCALA D



DETALLE 2
SECCIÓN TIPO VIGA DE AMARRE
 SIN ESCALA

NOTAS	
1.	Las dimensiones mostradas están en metros, las elevaciones en msnm, excepto otra indicación.
2.	No se indican detalles de elementos estructurales dentro del pozo, ni equipos electromecánicos.



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	FECHA	ING.	RESPONSABLE	FIRMA
03/03/2022	Versión original	A. Rizo		

POZOS DE EVACUACIÓN, VENTILACIÓN Y BOMBEO (Tipo) PLANTA, CORTES Y SECCIÓN GALERÍA DE CONEXIÓN

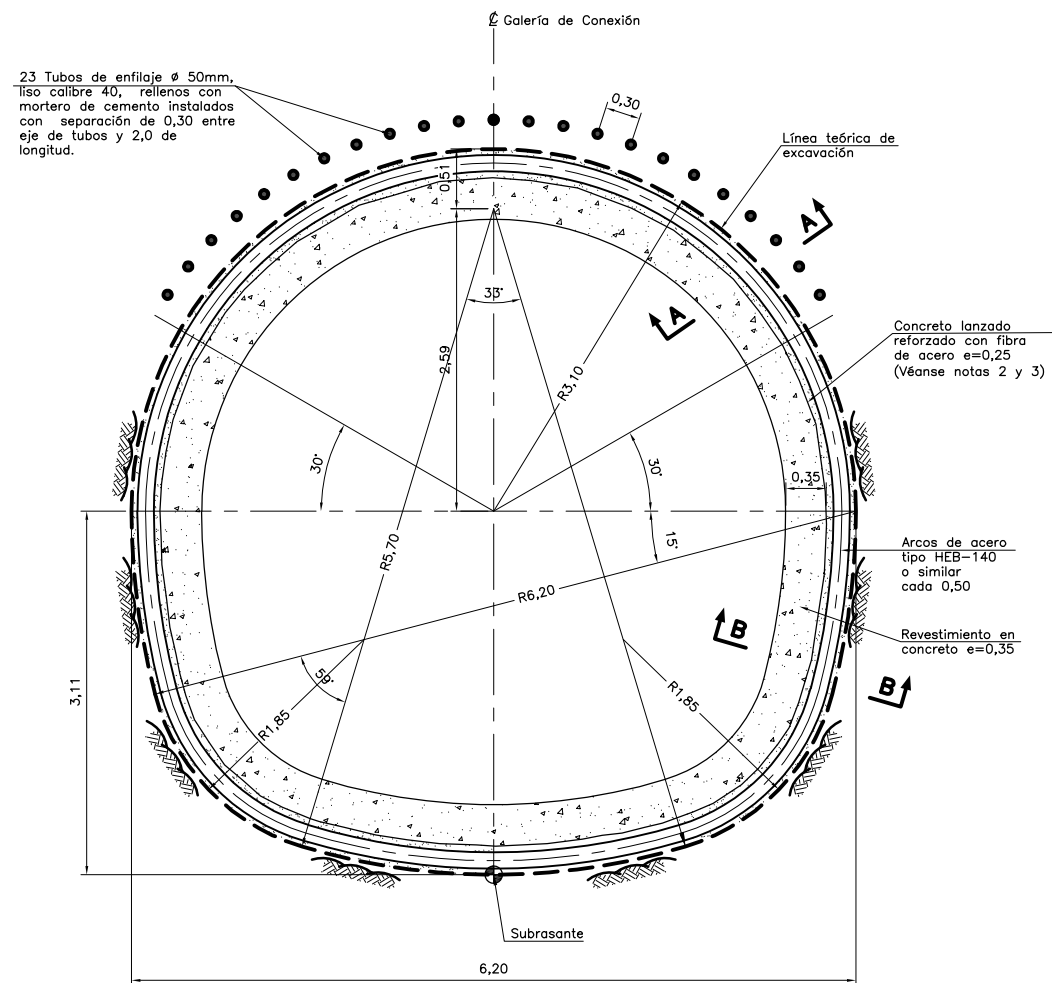
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

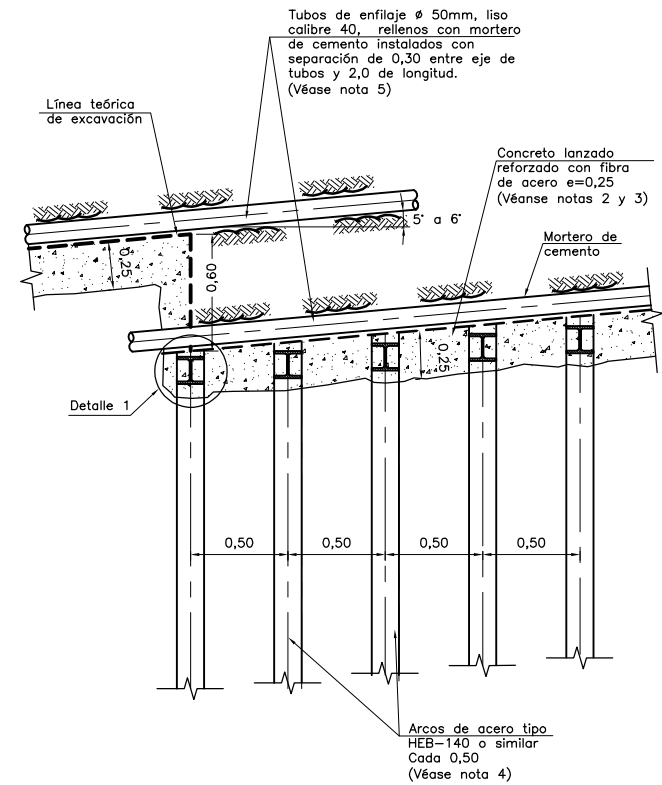


Plano No:
0559201-PG-BB-TUNE-03-0005

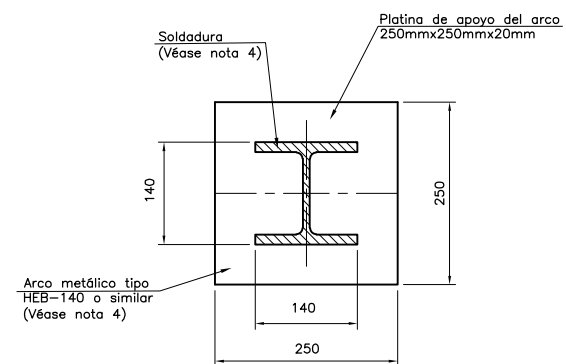
Doc:
NOMBRE DEL MODELO



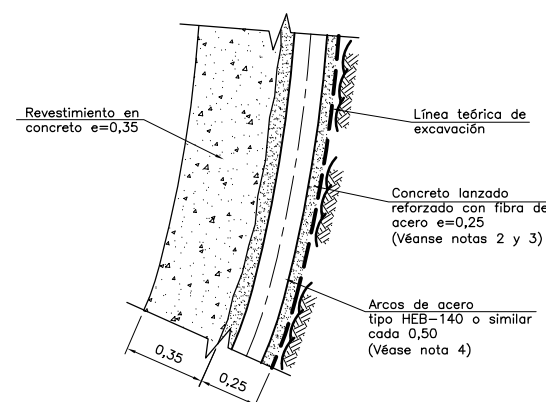
GALERÍA DE CONEXIÓN
ESCALA A



CORTE A-A
SISTEMAS DE ENFILAJE
ESCALA B

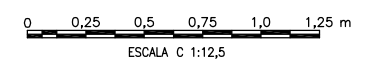
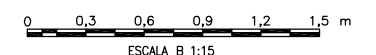
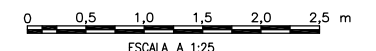


DETALLE 1
APOYO DEL ARCO
SIN ESCALA



CORTE B-B
ESCALA C

- NOTAS**
- Las dimensiones mostradas están en metros, las elevaciones en msnm, excepto otra indicación.
 - El concreto lanzado deberá ser de $f'c=35$ MPa a los 28 días y tamaño máximo del agregado de $\phi=13$ mm ($\frac{1}{2}$ ").
 - Se utilizará fibra metálica 3D65/35BG Dramix o similar en una cuantía de 30 Kg/m³ del concreto lanzado.
 - Los arcos de acero deberán ser tipo HEB-140 o similares y deberán cumplir con la norma ASTM A572. Los tornillos serán de alta resistencia tipo A325.
 - Se deben instalar pernos tipo C (Enfilajes) hacia adelante del frente, consistente en tubos inyectados con mortero o lechada, espaciados cada 0,30, entre zonas horarias 10 a 2, de $\phi=50$ mm y $L=2,00$ de longitud.



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

▲					
▲					
▲					
▲	03/03/2022	Versión original		A. Rizo	
		MODIFICACIÓN		NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA

GALERÍA DE CONEXIÓN - SECCIÓN, CORTES Y DETALLE

ESCALA: INDICADAS

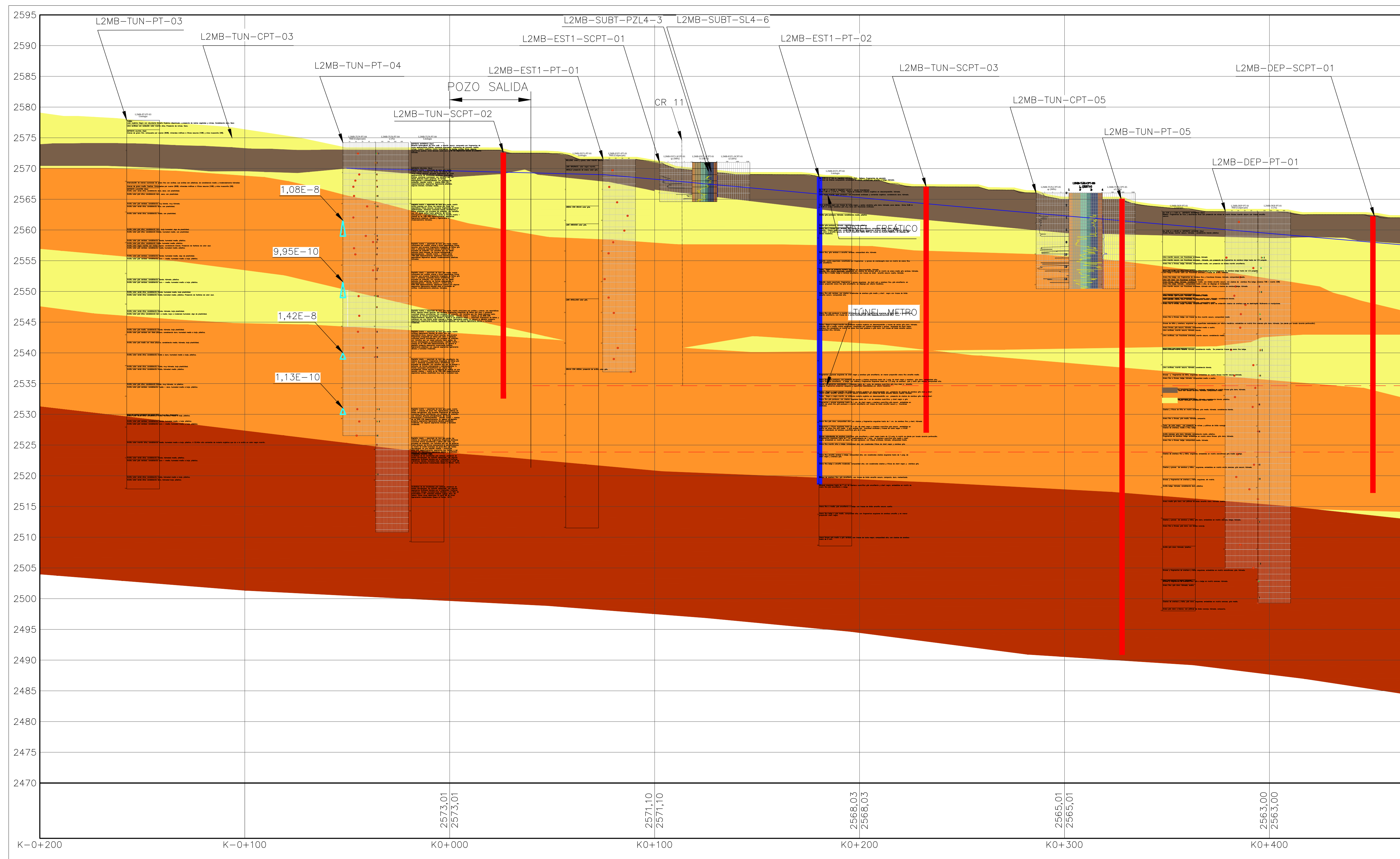
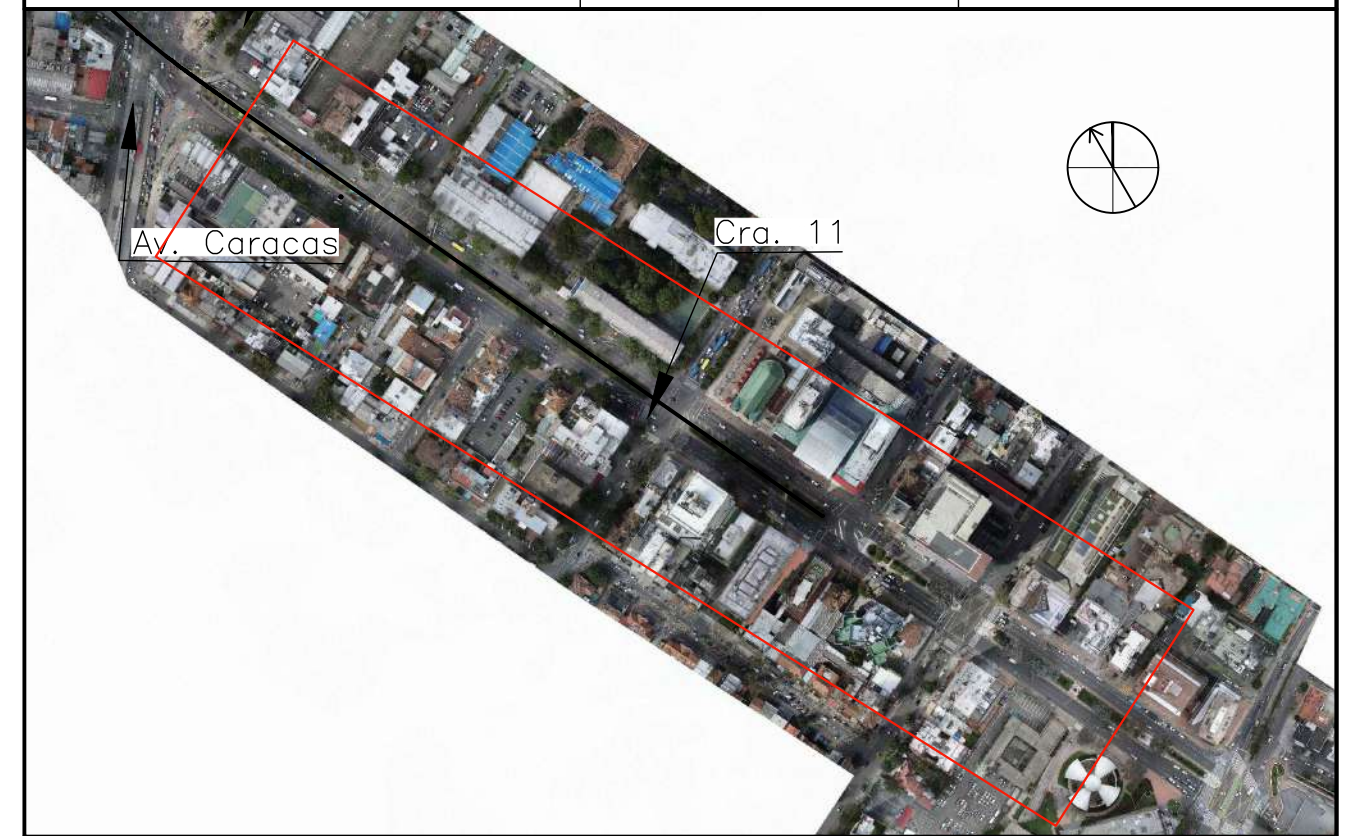
HOJA N°: 1 DE 1



Plano No:
0559201-PG-BB-TUNE-03-0006

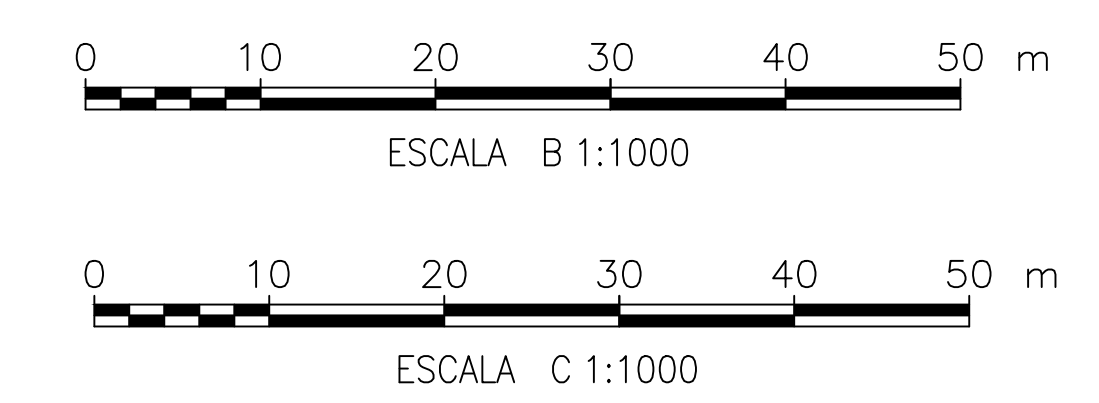
Doc:
NOMBRE DEL MODELO

NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-PT-03	106 557,47	102 319,83
L2MB-TUN-CPT-03	106 601,70	102 286,54
L2MB-TUN-PT-04	106 622,82	102 235,97
L2MB-EST1-PT-01	106 703,37	102 111,17
L2MB-EST1-SCPT-01	106 731,92	102 097,59
L2MB-TUN-PT-05	106 856,03	101 909,29
L2MB-TUN-CPT-05	106 837,17	101 946,72
L2MB-DEP-PT-01	106 886,99	101 868,68
L2MB-DEP-SCPT-01	106 928,57	101 809,43
L1MB-SUBT-SE4-2	106 828,92	102 133,71
L1MB-SUBT-SE4-3	106 853,49	102 150,19
L2MB-TUN-SCPT-02	106 679,11	102 153,4
L2MB-EST1-PT-02	106 774,87	102 032,56
L2MB-TUN-SCPT-03	106 800,74	101 986,96



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA HORIZONTAL B
ESCALA VERTICAL C

CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



FDN Financiera de Desarrollo Nacional
METRO BOGOTÁ

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

	18/02/2022		
	MODIFICACIÓN	NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA

PERFIL GEOLÓGICO LOGITUDINAL

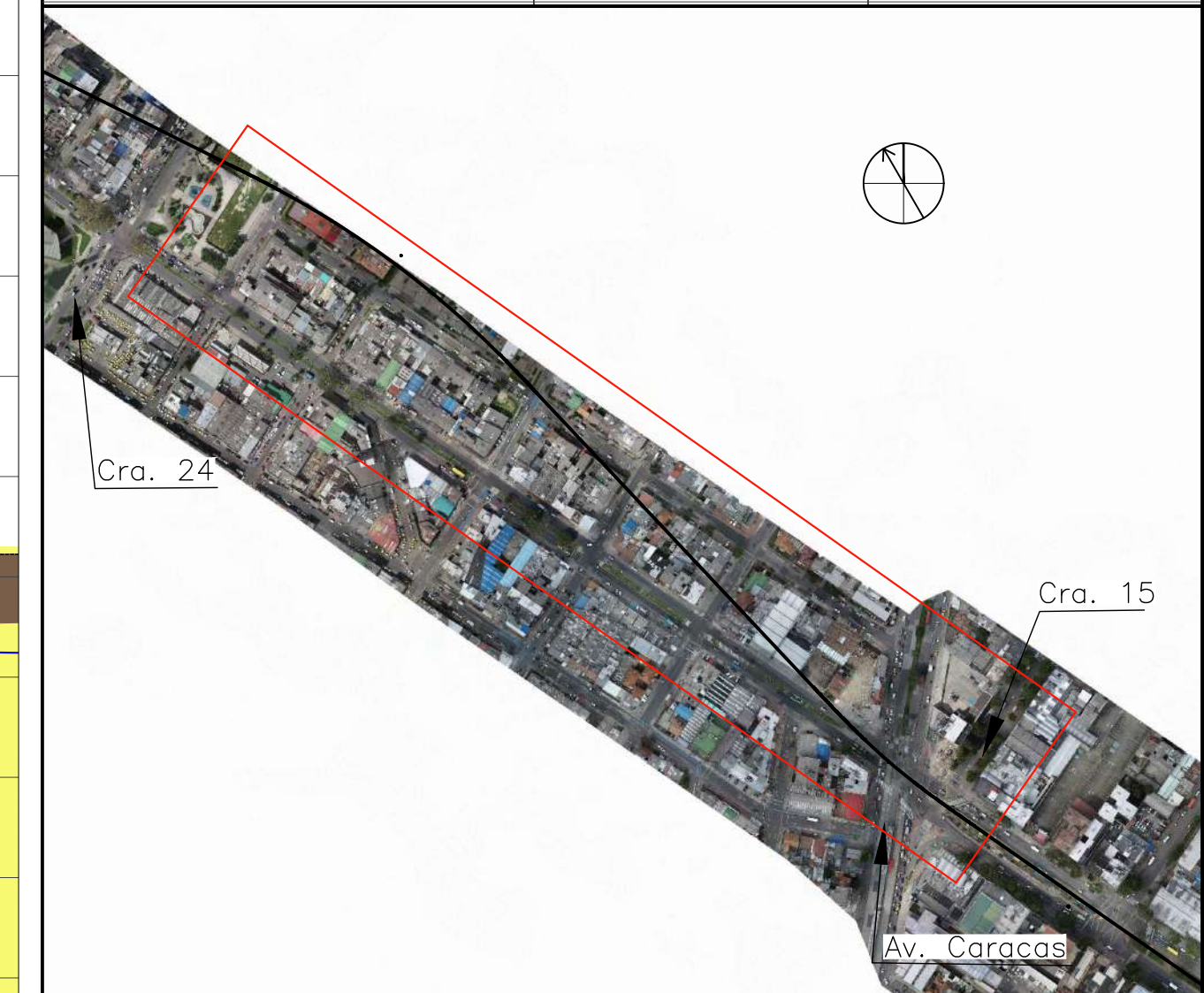
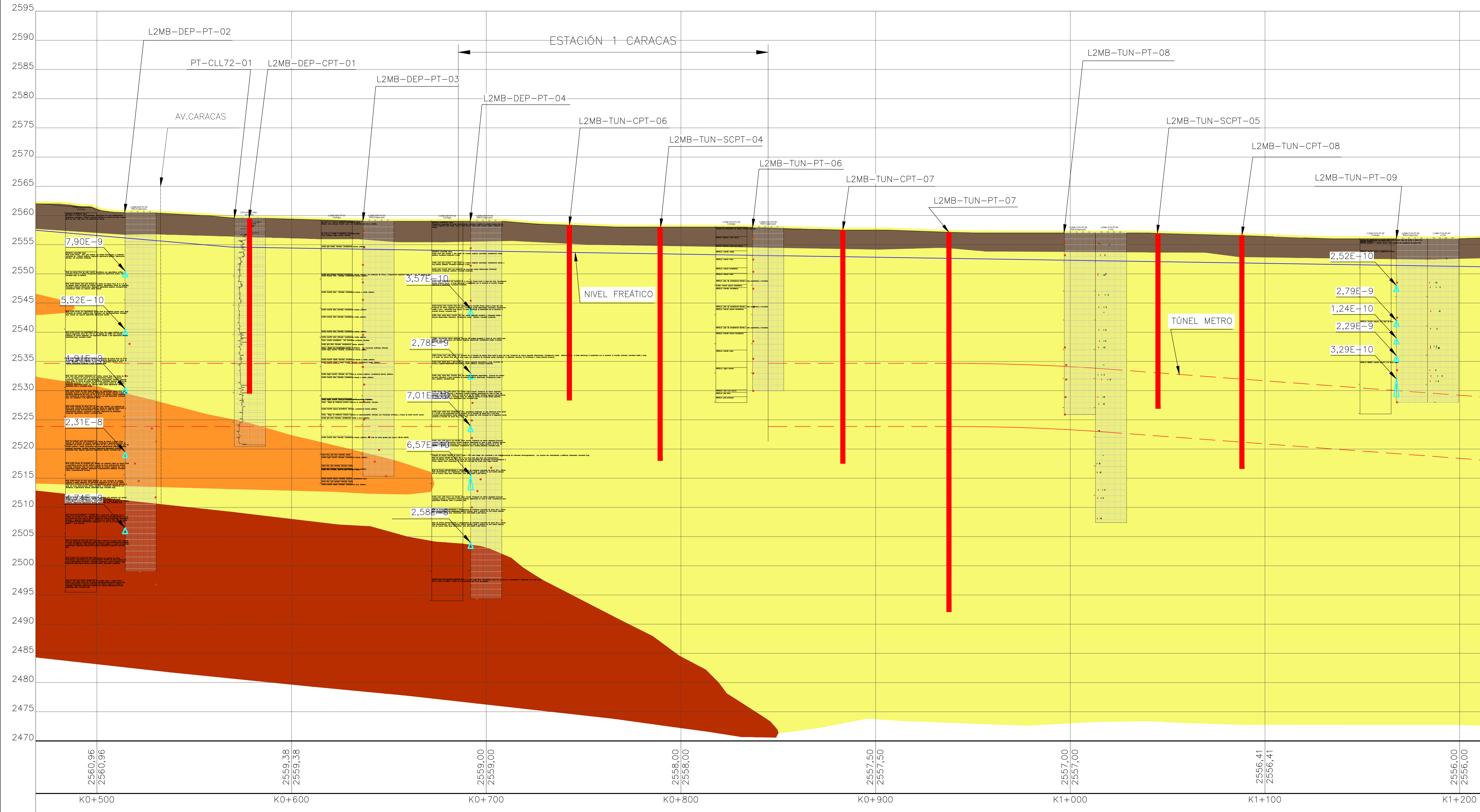
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

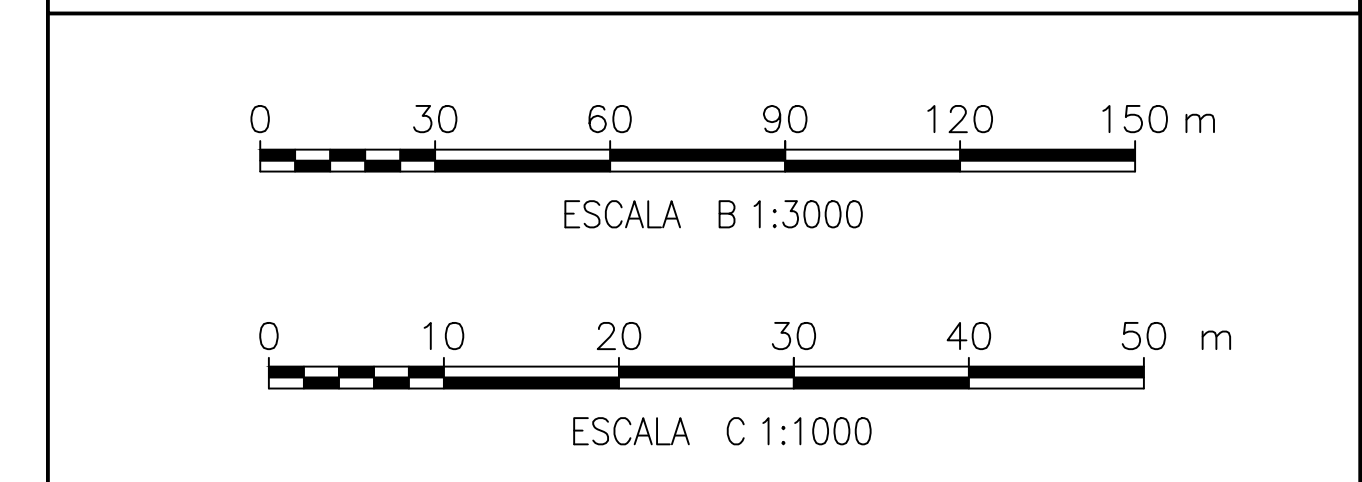
ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE
INTERVENTORIA **egis**

Plano No: L2MB-0000-000-MOV-DP-GEO-PL-0001_V01
Doc: L2MB-0000-000-MOV-DP-GEO-PL-0001_V01

TIPO DE EXPLORACIÓN		
NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-DEP-PT-02	106 965,06	101 757,84
L2MB-DEP-CPT-01	107 007,74	101 709,24
L2MB-TUN-PT-08	107 245,27	101 358,51
L2MB-TUN-PT-09	107 324,14	101 235,54
L2MB-TUN-SCPT-05	107 265,17	101 321,23
L2MB-DEP-PT-03	107 041,25	101 658,97
L2MB-DEP-PT-04	107 072,88	101 612,17
L2MB-TUN-CPT-06	107 088,24	101 554,23
L2MB-TUN-SCPT-04	107 121,42	101 520,95
L2MB-TUN-PT-06	107 148,75	101 481,18
L2MB-TUN-CPT-07	107 176,71	101 443,28
L2MB-TUN-PT-07	107 209,88	101 398,90
DMT-DCL72-001	107 027,85	101 678,26
L2MB-TUN-CPT-08	107 298,34	101 276,84



CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



PERFIL LONGITUDINAL
 ESCALA HORIZONTAL B
 ESCALA VERTICAL C

FDN PE **METRO BOGOTÁ**
 Financiera de Desarrollo Nacional

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	NOMBRE INC. RESPONSABLE	FIRMA
18-02-2020		

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

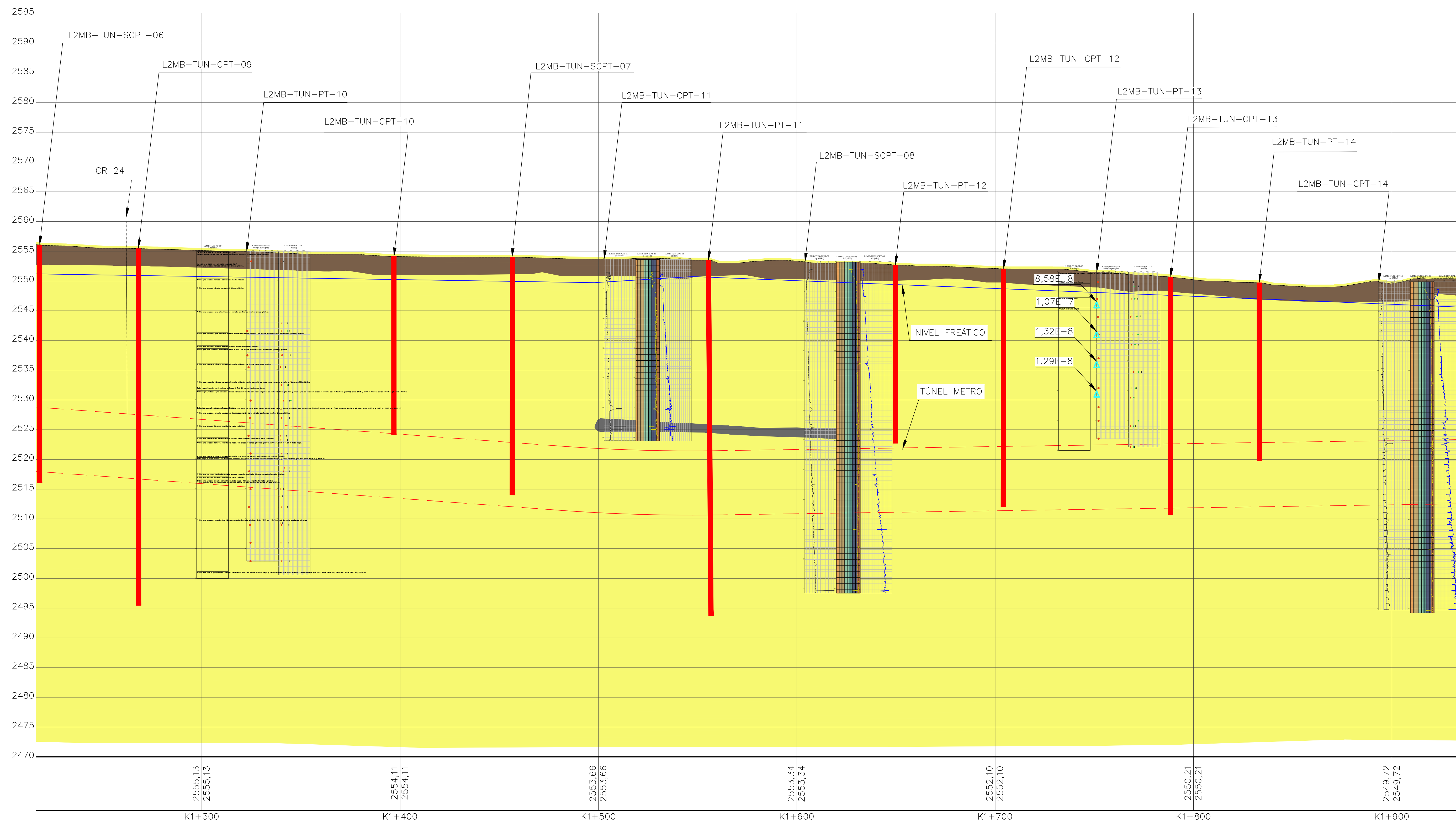
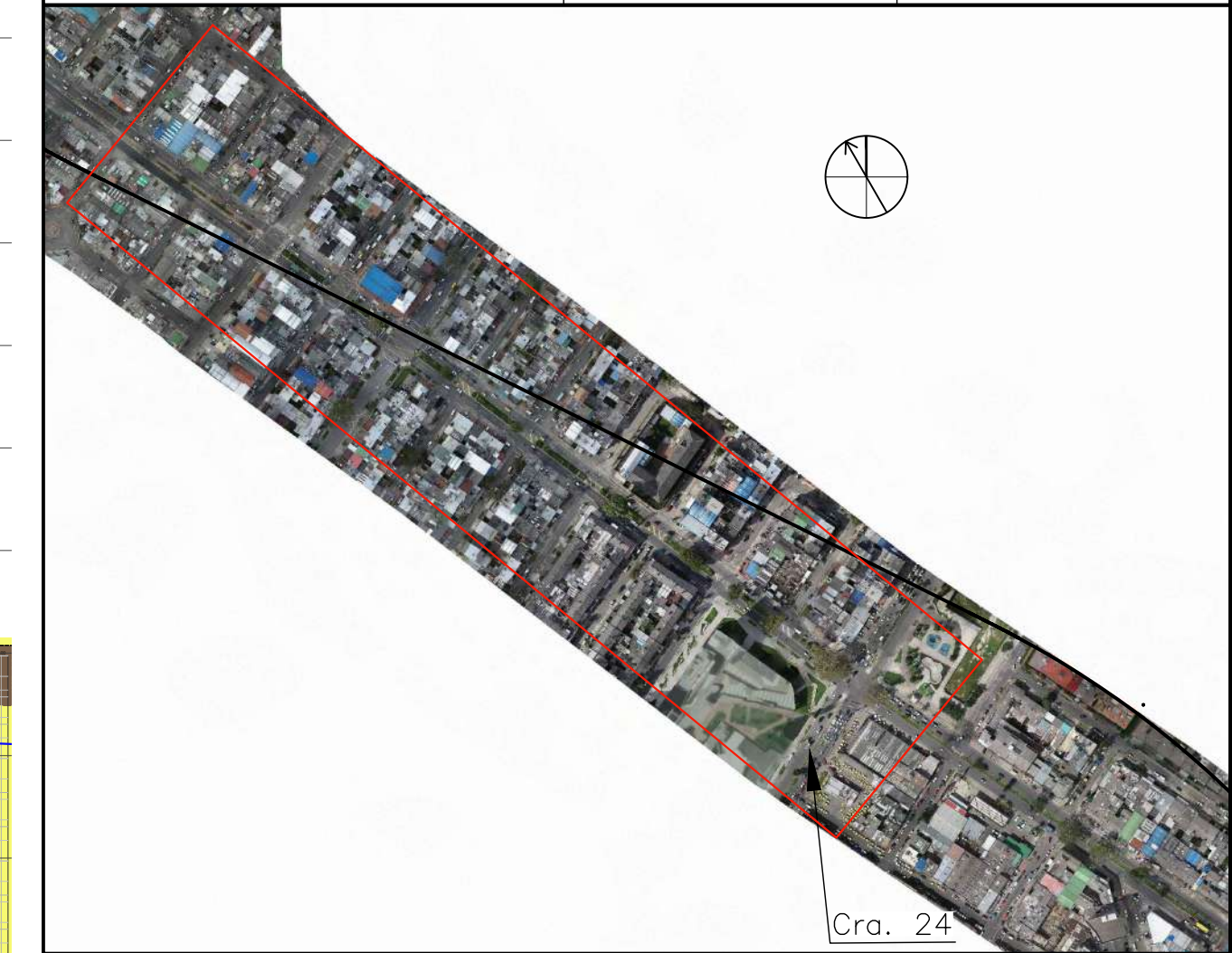
ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

INTERVENTORÍA **egis**

Plano No: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0002_V01

Doc: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0002_V01

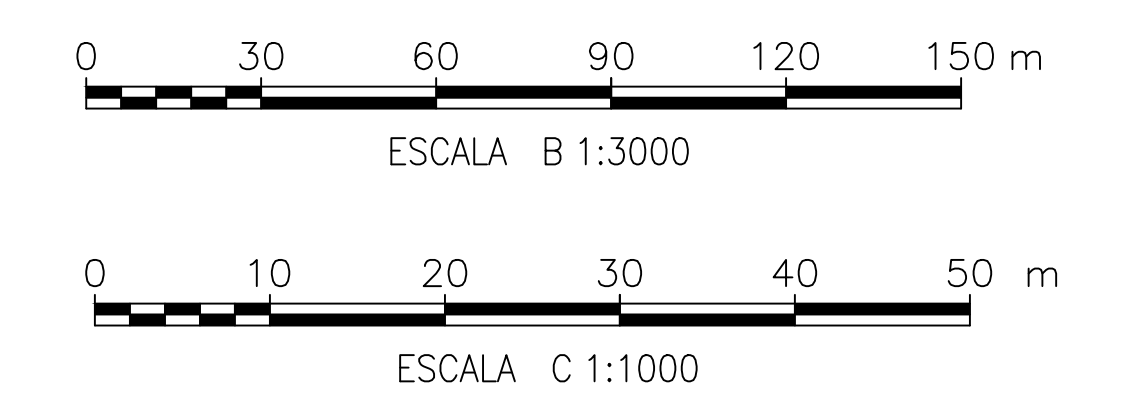
TIPO DE EXPLORACIÓN		
NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-PT-10	107 411,36	101 113,52
L2MB-TUN-CPT-10	107 464,21	101 054,94
L2MB-TUN-SCPT-07	107 486,33	100 999,46
L2MB-TUN-CPT-11	107 522,93	100 965,84
L2MB-TUN-PT-11	107 552,68	100 921,79
L2MB-TUN-SCPT-08	107 589,84	100 886,03
L2MB-TUN-PT-12	107 607,97	100 844,12
L2MB-TUN-CPT-12	107 641,14	100 799,74
L2MB-TUN-PT-13	107 696,43	100 763,06
L2MB-TUN-CPT-13	107 672,77	100 733,17
L2MB-TUN-PT-14	107 729,60	100 699,88
L2MB-TUN-CPT-14	107 763,70	100 649,64
L2MB-TUN-SCPT-06	107 353,63	101 199,18
L2MB-TUN-CPT-09	107 375,75	101 154,79
CPTu-DCL72-002	107 007,85	101 708,25
P-DCL72-001	107 082,83	101 595,30



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA HORIZONTAL B
ESCALA VERTICAL C

CONVENCIONES

- Formación Bogotá
- Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
- Arcilla
- Gravas
- Limo arenoso
- Arena con finos
- Túnel metro
- Nivel Freático
- Ensayo de Permeabilidad



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA
18-02-2022		

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

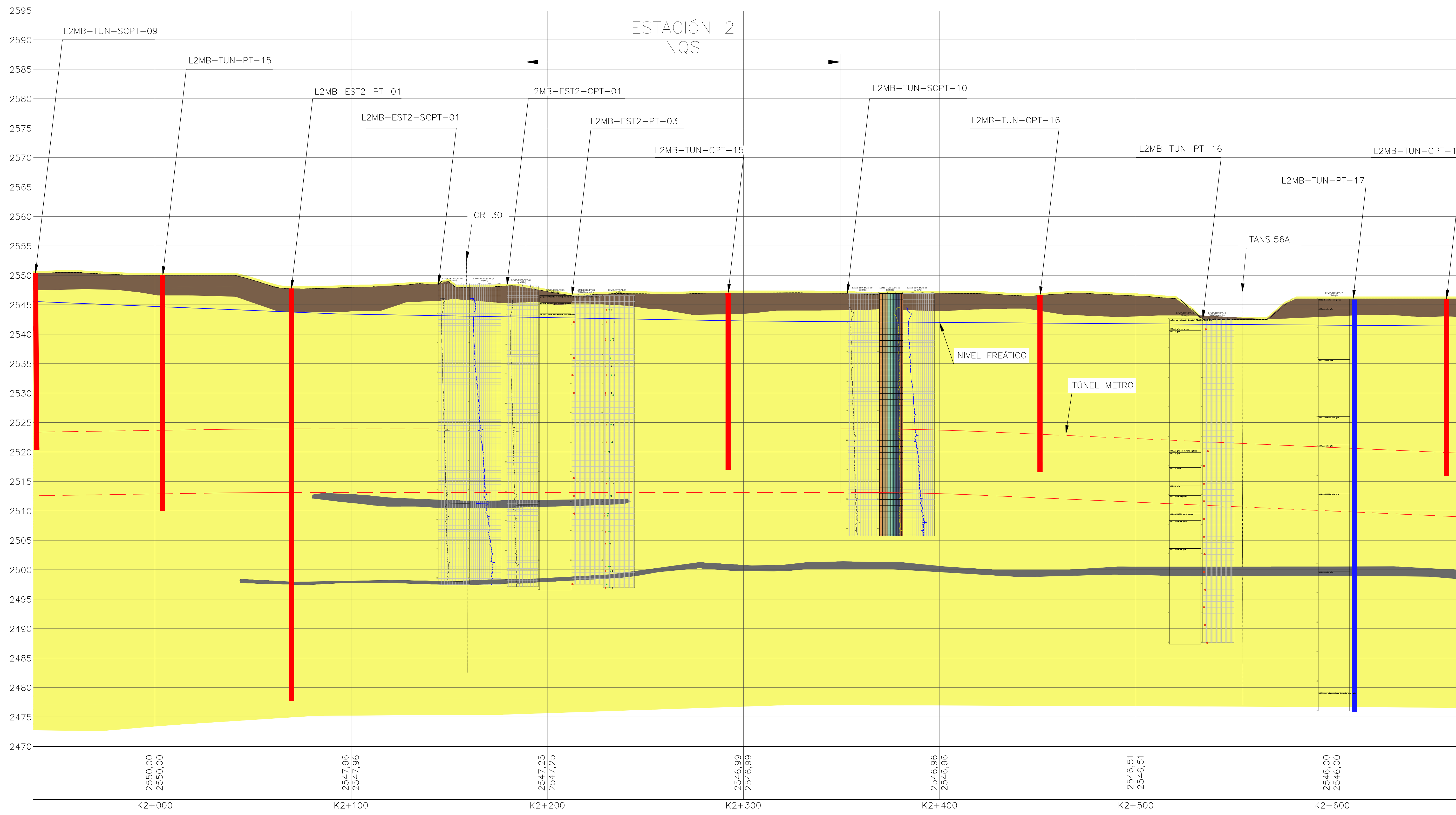
ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

INTERVENTORÍA **egis**

Plano No: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0003_V01

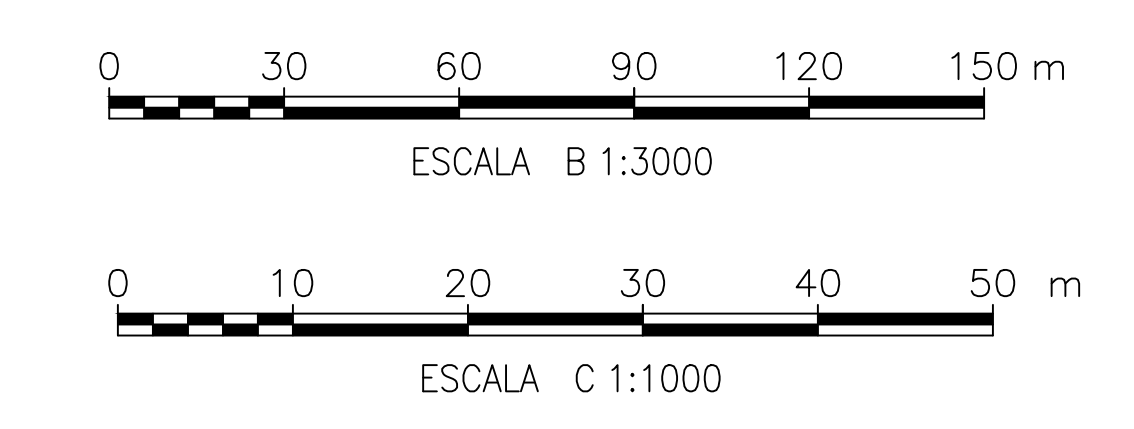
Doc: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0003_V01

TIPO DE EXPLORACIÓN		
NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-EST2-SCPT-01	107 939,09	100 476,12
L2MB-EST2-PT-03	107 981,18	100 422,83
L2MB-TUN-CPT-15	108 039,23	100 367,02
L2MB-TUN-SCPT-10	108 063,19	100 308,77
L2MB-TUN-CPT-16	108 127,70	100 244,97
L2MB-TUN-PT-16	108 163,86	100 181,95
L2MB-TUN-PT-17	108 203,00	100 106,06
L2MB-TUN-CPT-18	108 227,22	100 056,35
L2MB-TUN-SCPT-09	107 791,65	100 639,60
L2MB-TUN-PT-15	107 786,71	100 609,79
L2MB-EST2-PT-01	107 892,93	100 534,56



PERFIL LONGITUDINAL
 ESCALA HORIZONTAL B
 ESCALA VERTICAL C

CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



FDN **METRO BOGOTÁ**
 Financiera de Desarrollo Nacional

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA
18-02-2022		

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

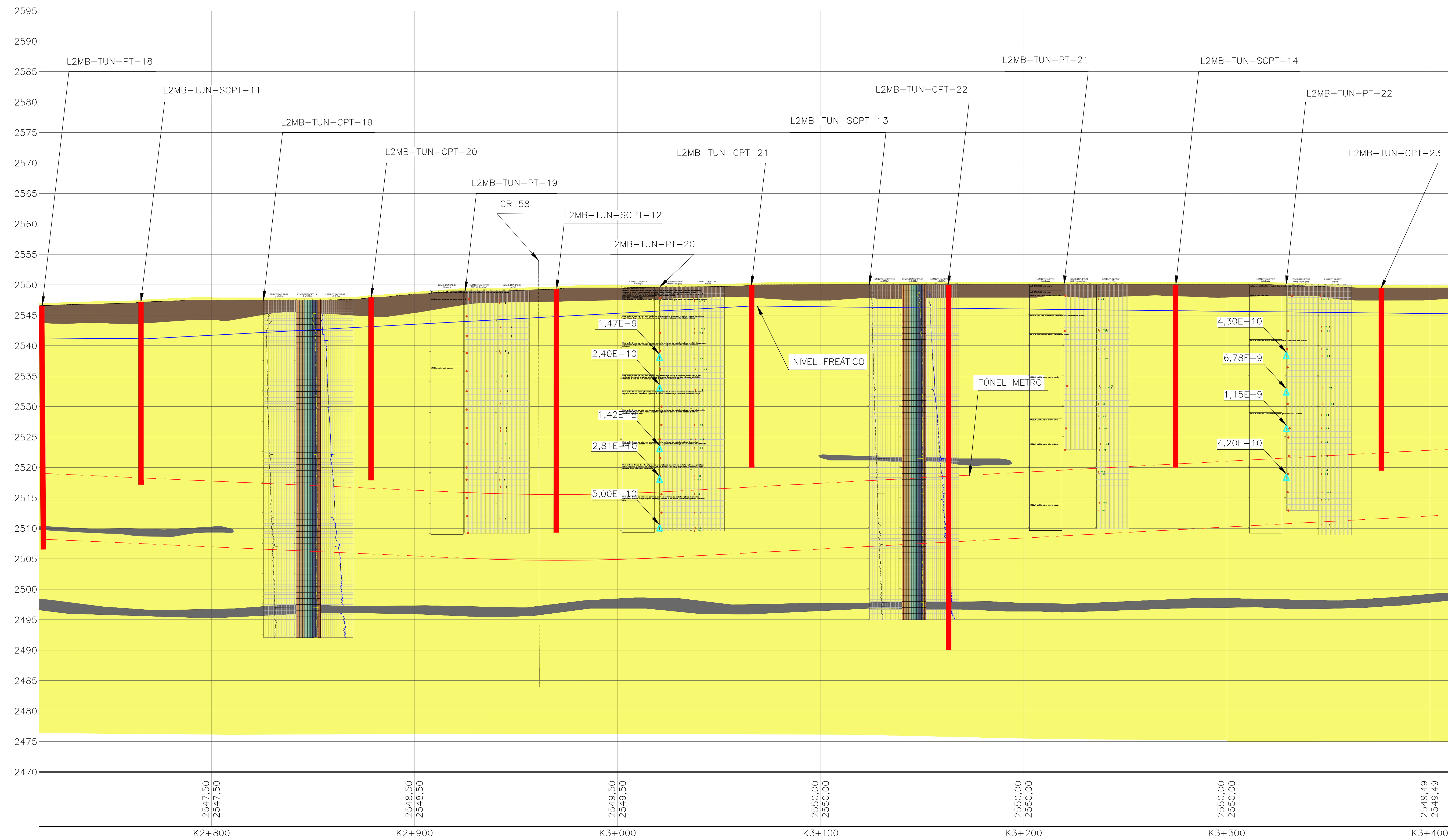
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

ASESORÍA **MOVIUS** INTERVENTORÍA **egis**
 U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

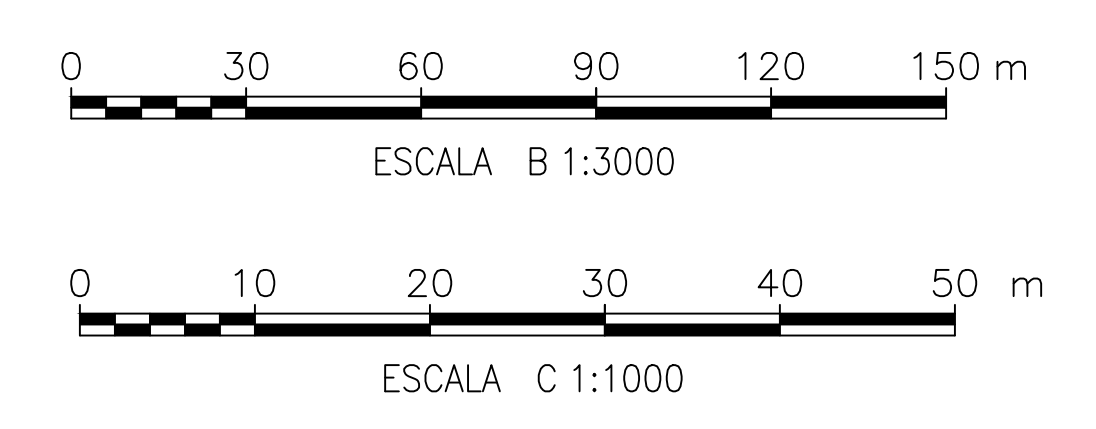
Plano No: NOMBRE DEL PLANO L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0004_V01 Doc:

NOMBRE	TIPO DE EXPLORACIÓN	
	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-PT-19	108 373,52	99 840,66
L2MB-TUN-SCPT-12	108 404,15	99 812,26
L2MB-TUN-PT-20	108 433,02	99 770,65
L2MB-TUN-CPT-21	108 459,44	99 734,59
L2MB-TUN-CPT-19	108 313,84	99 912,42
L2MB-TUN-CPT-20	108 348,86	99 878,83
L2MB-TUN-SCPT-13	108 492,00	99 685,59
L2MB-TUN-CPT-22	108 514,73	99 656,92
L2MB-TUN-PT-21	108 554,54	99 611,21
L2MB-TUN-SCPT-14	108 592,14	99 568,16
L2MB-TUN-PT-22	108 621,32	99 526,25
L2MB-TUN-CPT-23	108 647,43	99 490,50
L2MB-TUN-PT-18	108 260,39	100 000,88
L2MB-TUN-SCPT-11	108 282,51	99 956,49



PERFIL LONGITUDINAL
 ESCALA HORIZONTAL B
 ESCALA VERTICAL C

CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



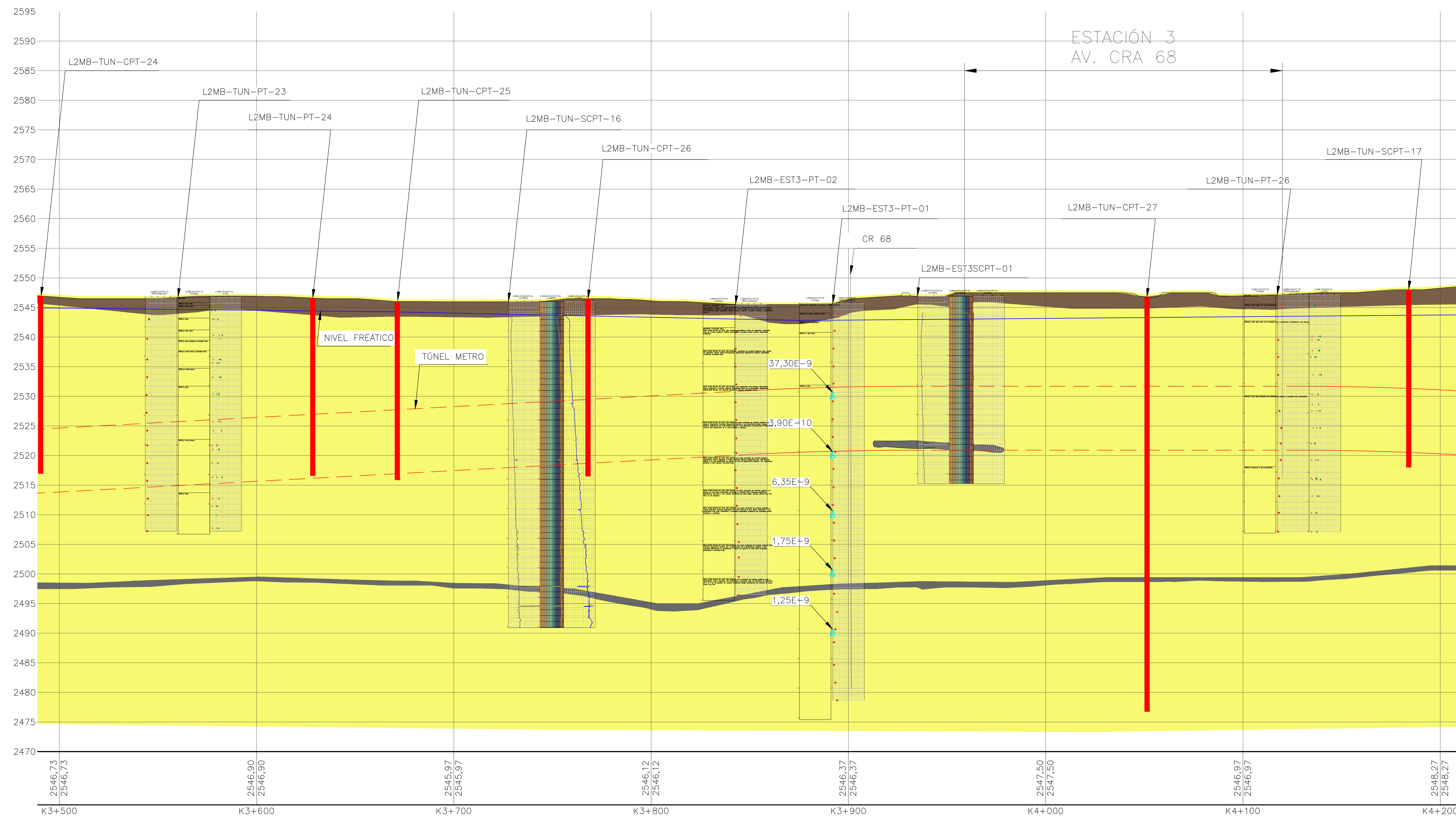
FDN Financiera de Desarrollo Nacional
METRO BOGOTÁ
 CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA
18-02-2022		

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL
 ESCALA: INDICADAS
 HOJA N°: 1 DE 1

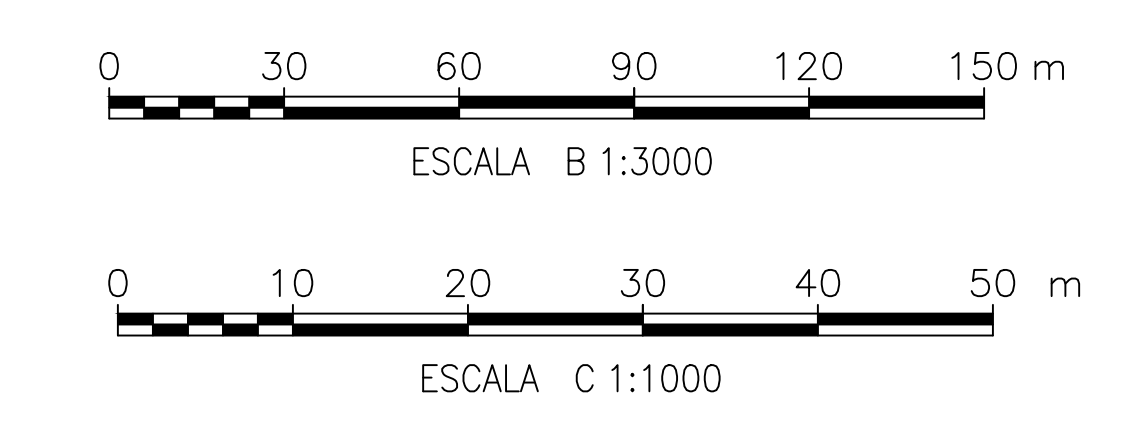
ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE
 INTERVENTORÍA **egis**
 Plano No: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0005_V01
 Doc: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0005_V01

TIPO DE EXPLORACIÓN		
NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-PT-23	108 751,93	99 339,49
L2MB-TUN-PT-24	108 758,01	99 257,50
L2MB-TUN-SCPT-16	108 781,64	99 147,46
L2MB-EST3-PT-01	108 949,43	99 060,45
L2MB-EST3-PT-02	108 970,57	99 044,23
L2MB-EST3-SCPT-01	108 949,02	98 999,50
L2MB-TUN-CPT-27	109 067,65	98 946,84
L2MB-TUN-PT-26	109 117,40	98 906,47
L2MB-TUN-SCPT-17	109 178,23	98 869,17
L2MB-TUN-CPT-25	108 780,13	99 213,12
L2MB-TUN-CPT-26	108 846,48	99 146,55



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA HORIZONTAL B
ESCALA VERTICAL C

CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA
18-02-2022		

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

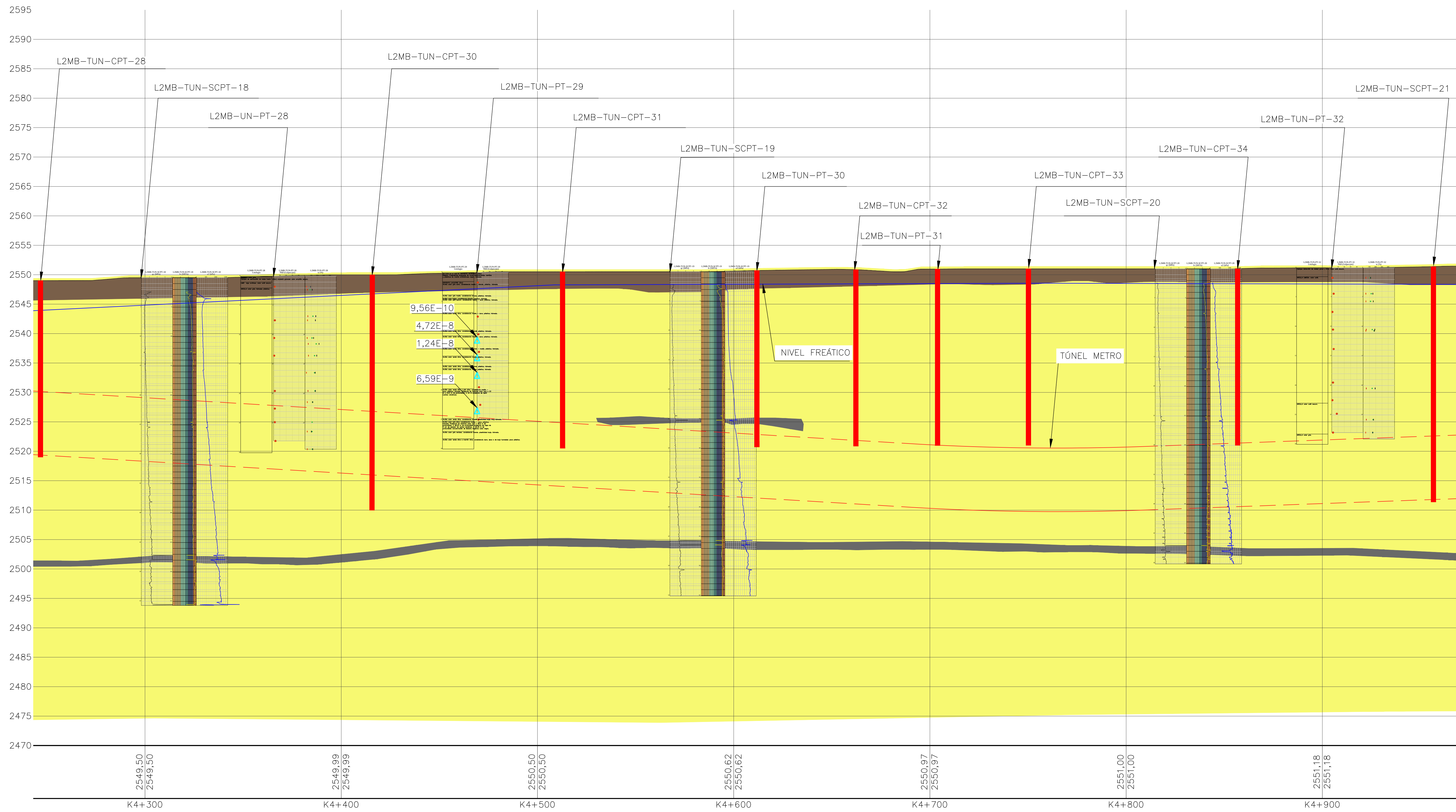
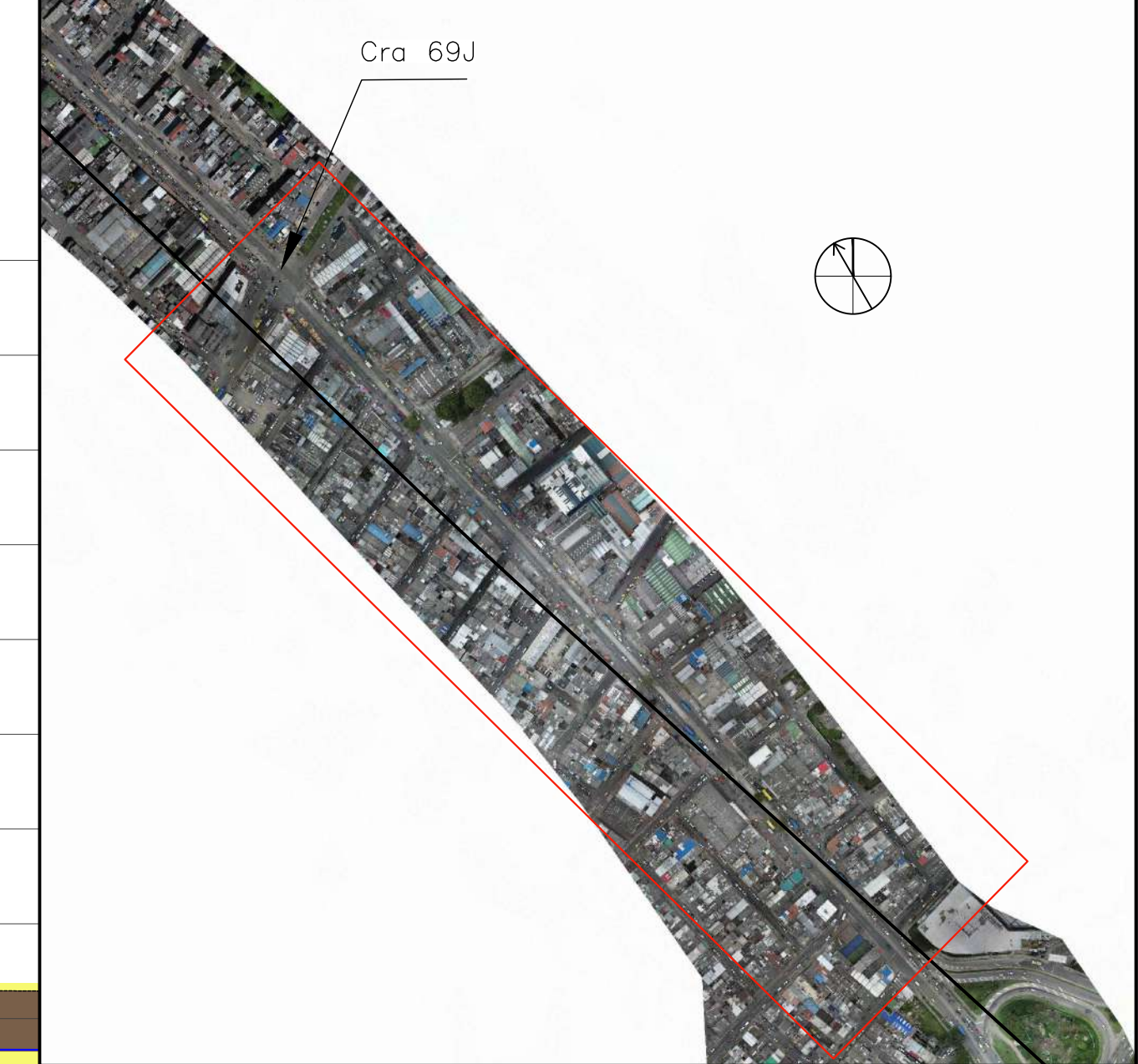
ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

INTERVENTORÍA **egis**

Plano No: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0006_V01

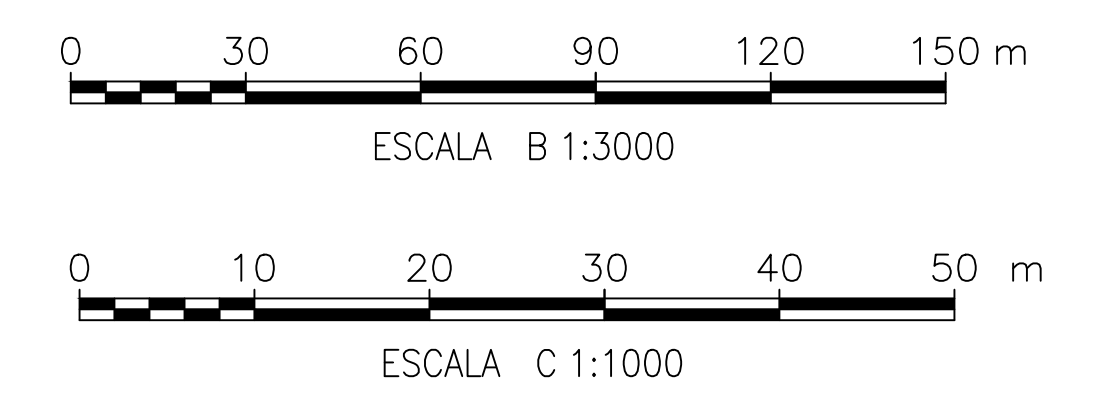
Doc: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0006_V01

NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-SCPT-18	109 283,59	98 813,39
L2MB-TUN-PT-28	109 339,80	98 773,33
L2MB-TUN-CPT-30	109 377,28	98 736,04
L2MB-TUN-PT-29	109 416,59	98 703,06
L2MB-TUN-CPT-31	109 443,63	98 669,47
L2MB-TUN-SCPT-19	109 483,86	98 631,25
L2MB-TUN-PT-30	109 521,04	98 602,90
L2MB-TUN-CPT-32	109 553,99	98 568,17
L2MB-TUN-PT-31	109 598,45	98 547,42
L2MB-TUN-CPT-33	109 620,56	98 514,14
L2MB-TUN-SCPT-20	109 674,31	98 470,38
L2MB-TUN-CPT-34	109 697,97	98 436,48
L2MB-TUN-PT-32	109 735,44	98 405,97
L2MB-TUN-SCPT-21	109 775,38	98 369,91
L2MB-TUN-CPT-24	108 724,84	99 401,74



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA HORIZONTAL B
ESCALA VERTICAL C

CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA
18-02-2022		

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

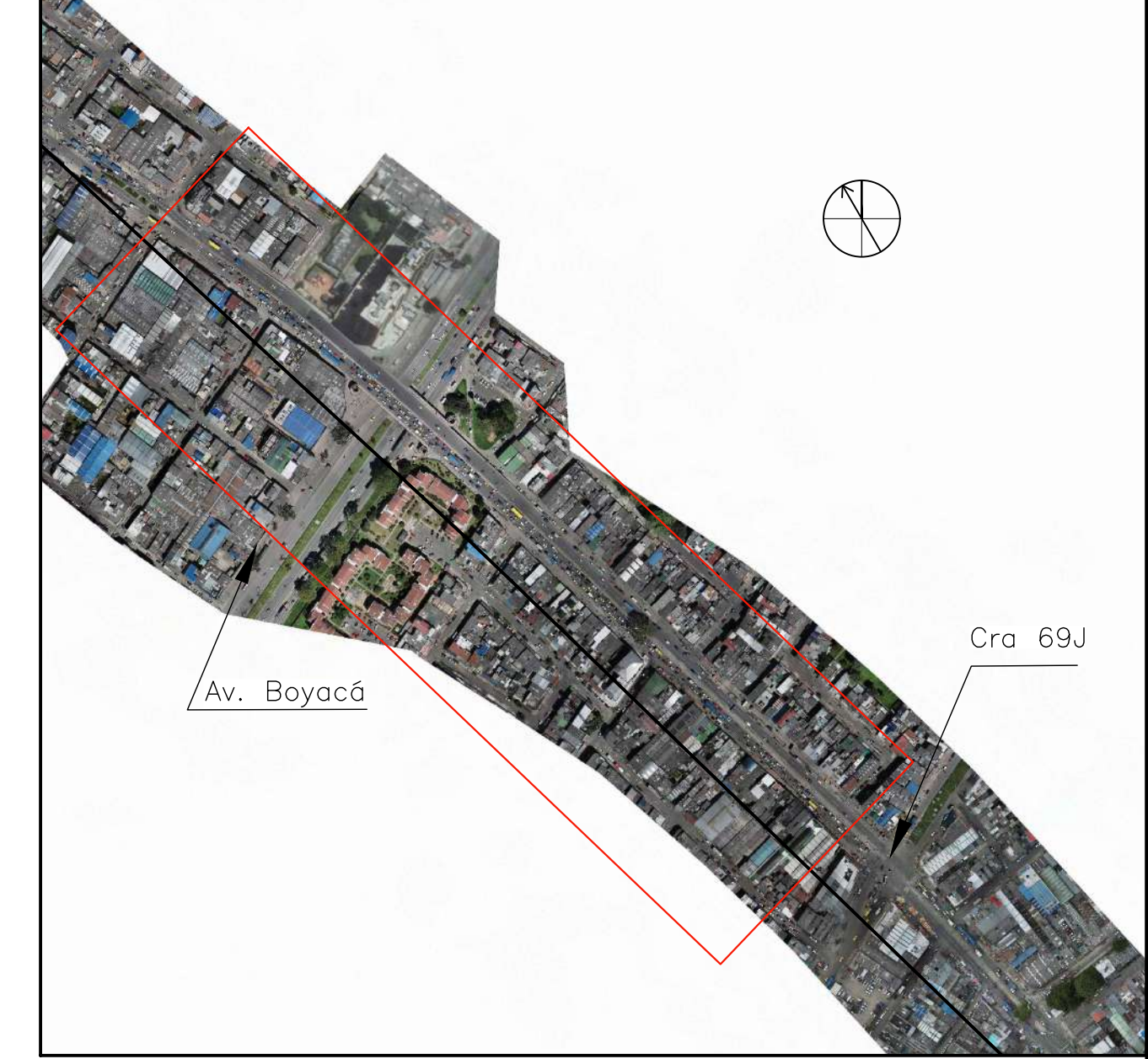
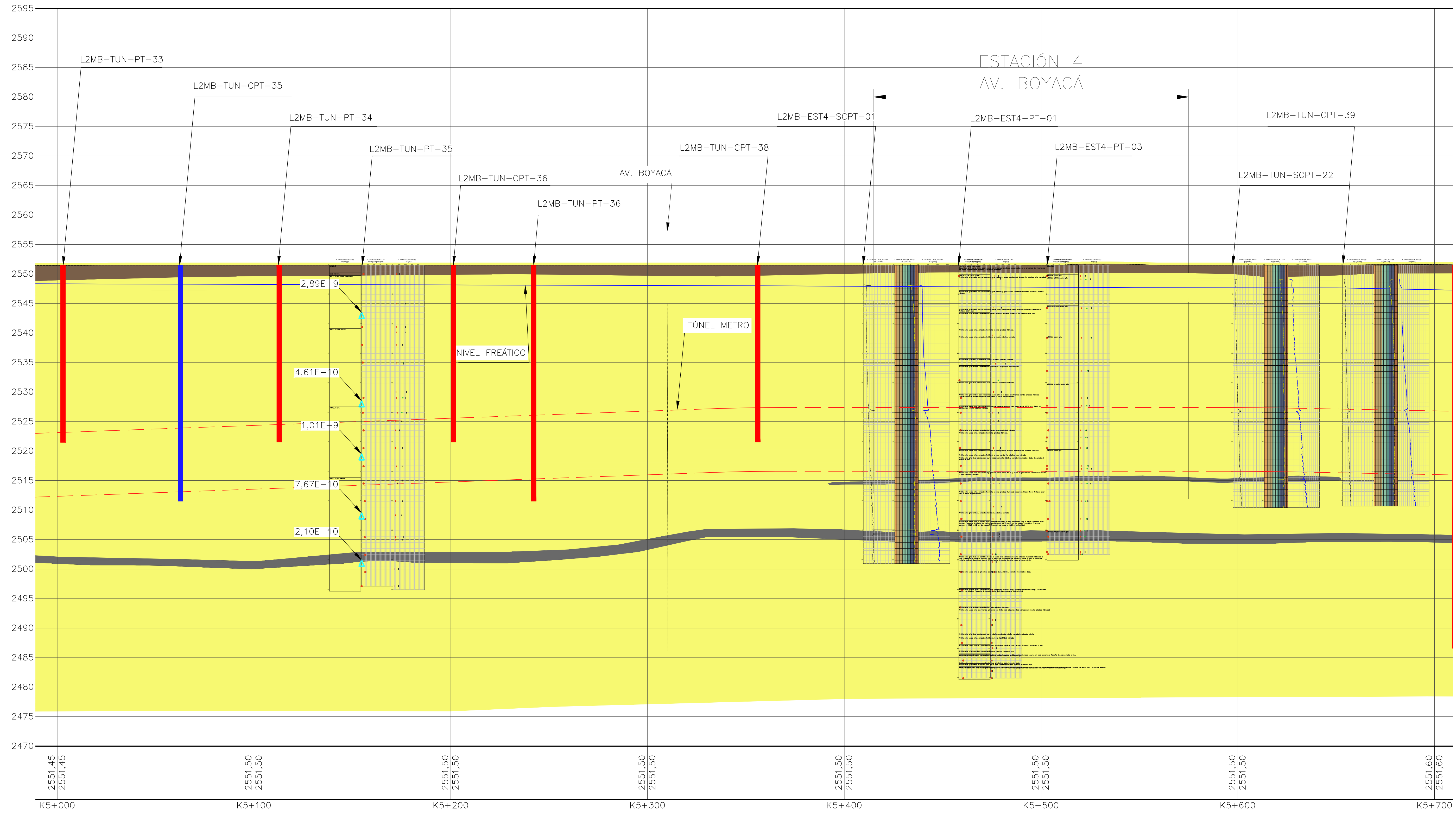
ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

INTERVENTORÍA **egis**

Plano No: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0007_V01

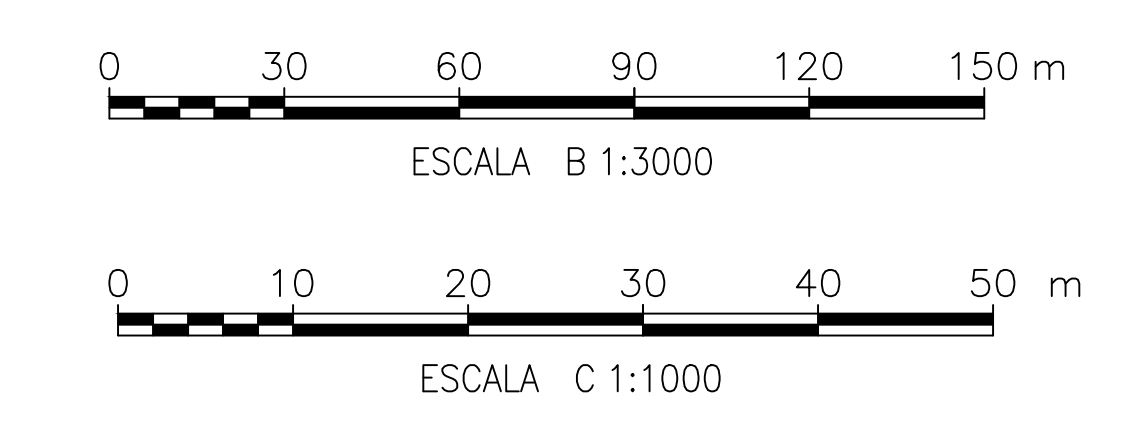
Doc: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0007_V01

NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-PT-33	109 808,55	98 336,62
L2MB-TUN-CPT-35	109 874,91	98 292,86
L2MB-TUN-PT-35	109 897,94	98 214,89
L2MB-TUN-CPT-36	109 930,20	98 181,30
L2MB-TUN-PT-36	109 941,26	98 136,92
L2MB-TUN-CPT-38	110 007,61	98 037,06
L2MB-EST4-PT-01	110 073,07	97 963,39
L2MB-EST4-SCPT-01	110 036,79	97 995,77
L2MB-EST4-PT-03	110 115,12	97 940,91
L2MB-TUN-SCPT-22	110 189,15	97 880,81
L2MB-TUN-CPT-39	110 252,73	97 798,84
L2MB-TUN-PT-34	109 874,91	98 247,86



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA HORIZONTAL B
ESCALA VERTICAL C

CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



FDN Financiera de Desarrollo Nacional
METRO BOGOTÁ

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

18-02-2022	MODIFICACIÓN	NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA
------------	--------------	--------------------	-------

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

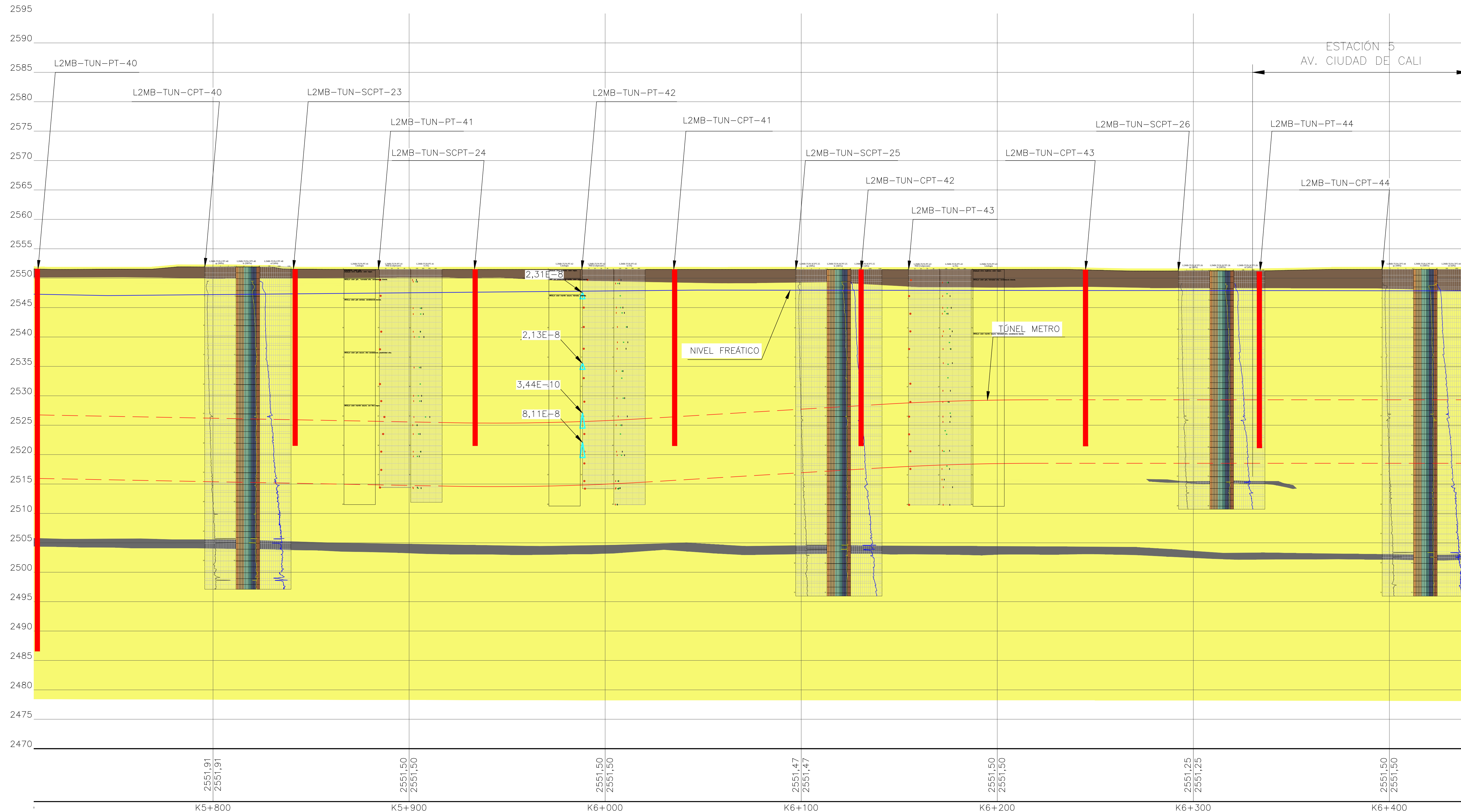
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

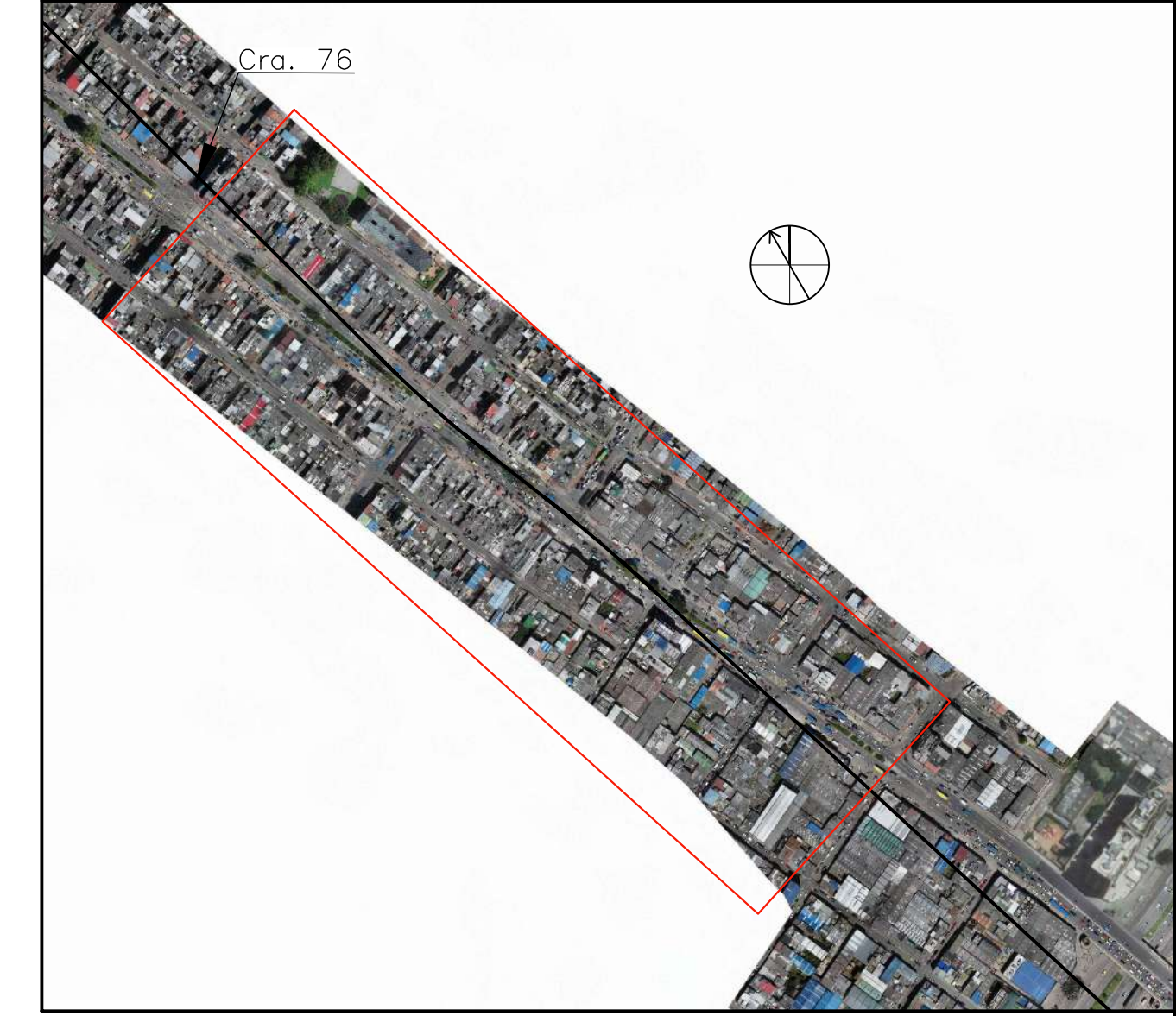
ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE
INTERVENTORÍA **egis**

Plano No: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0008_V01
Doc: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0008_V01

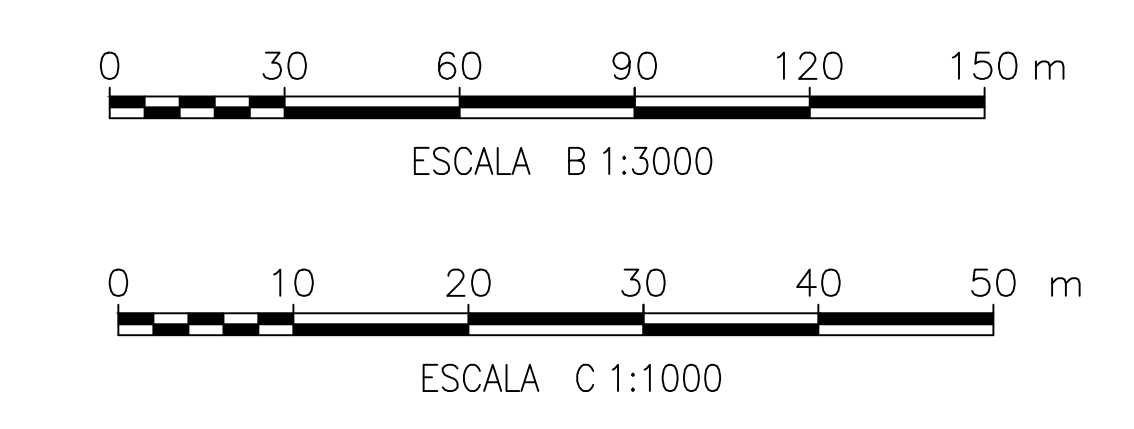
TIPO DE EXPLORACIÓN		
NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-PT-40	110 284,07	97 759,70
L2MB-TUN-CPT-40	110 311,41	97 723,33
L2MB-TUN-SCPT-23	110 328,31	97 682,03
L2MB-TUN-PT-41	110 364,24	97 652,76
L2MB-TUN-SCPT-24	110 394,66	97 615,47
L2MB-TUN-PT-42	110 432,44	97 575,71
L2MB-TUN-CPT-41	110 461,01	97 537,80
L2MB-TUN-SCPT-25	110 506,47	97 494,04
L2MB-TUN-CPT-42	110 516,30	97 460,14
L2MB-TUN-PT-43	110 546,31	97 452,30
L2MB-TUN-CPT-43	110 593,71	97 371,38
L2MB-TUN-SCPT-26	110 623,20	97 334,71
L2MB-TUN-PT-44	110 649,00	97 304,82
L2MB-TUN-CPT-44	110 697,23	97 261,36



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA HORIZONTAL B
ESCALA VERTICAL C



CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



FDN Financiera de Desarrollo Nacional **METRO BOGOTÁ**

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LINEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

18-02-2022	MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA
------------	--------------	-------------------------	-------

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

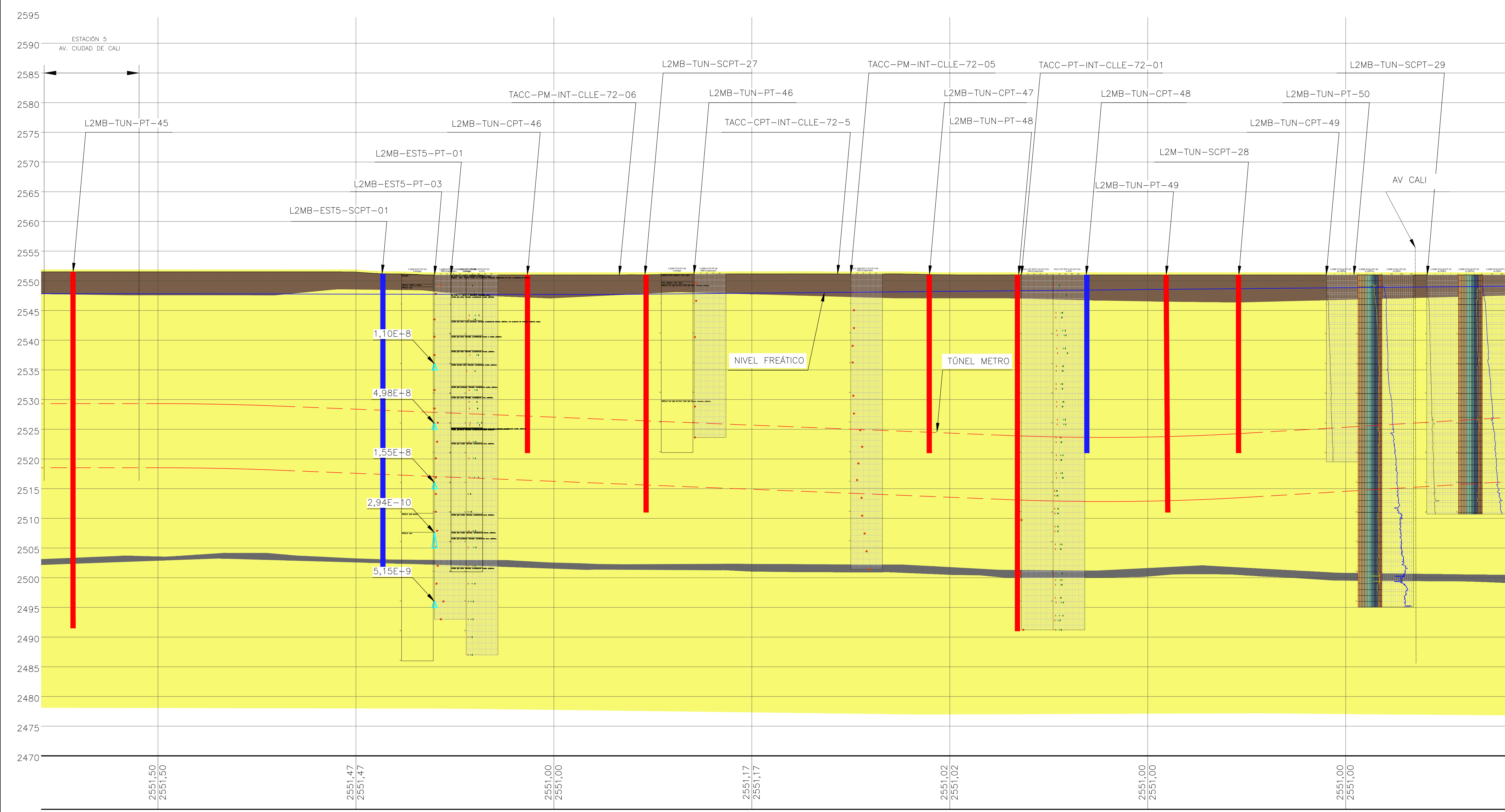
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

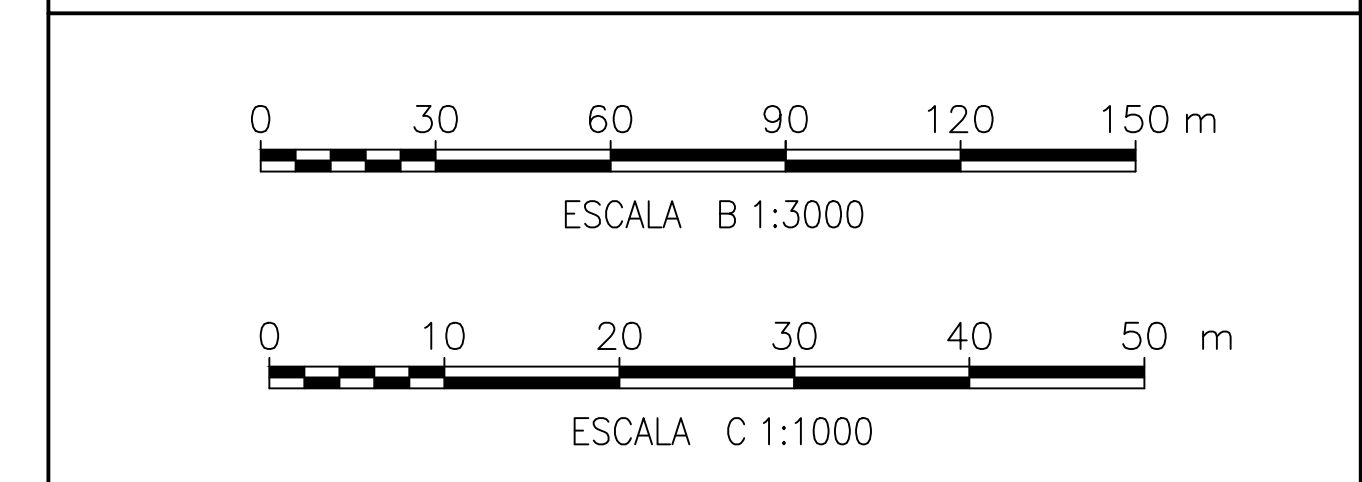
ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE INTERVENTORÍA **egis**

Plano No: NOMBRE DEL PLANO L2MB-0000-000-MOV-DP-GEO-PL-0009_V01 Doc: L2MB-0000-000-MOV-DP-GEO-PL-0009_V01

TIPO DE EXPLORACIÓN		
NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-PT-45	110 728,85	97 210,40
L2MB-EST5-PT-01	110 854,00	97 044,00
L2MB-EST5-SCPT-01	110 830,55	97 081,38
L2MB-EST5-PT-03	110 852,67	97 058,27
L2MB-TUN-CPT-46	110 892,29	97 016,36
L2MB-TUN-SCPT-27	110 936,53	96 971,98
L2MB-TUN-PT-46	110 972,47	96 934,69
L2MB-TUN-CPT-47	111 069,23	96 905,42
L2MB-TUN-PT-48	111 124,52	96 916,51
L2MB-TUN-PT-49	111 224,04	96 960,90
L2MB-TUN-SCPT-28	111 268,27	96 994,18
TACC-PM-INT-CLLE-72-05	110 997,94	96 908,12
TACC-PM-INT-CLLE-72-06	110 937,40	96 935,09
TACC-CPT-INT-CLLE-72-5	110 970,74	96 930,55
L2MB-TUN-CPT-49	111 297,87	97 025,44
L2MB-TUN-PT-50	111 334,62	97 060,76
L2MB-TUN-SCPT-29	111 380,33	97 088,87
L2MB-TUN-CPT-48	111 182,90	96 953,25
TACC-PM-INT-CLLE-72-01	111 055,06	96 770,15



CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



PERFIL LONGITUDINAL
 ESCALA HORIZONTAL B
 ESCALA VERTICAL C

FDN **METRO BOGOTÁ**
 Financiera de Desarrollo Nacional

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA
18-02-2022		

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

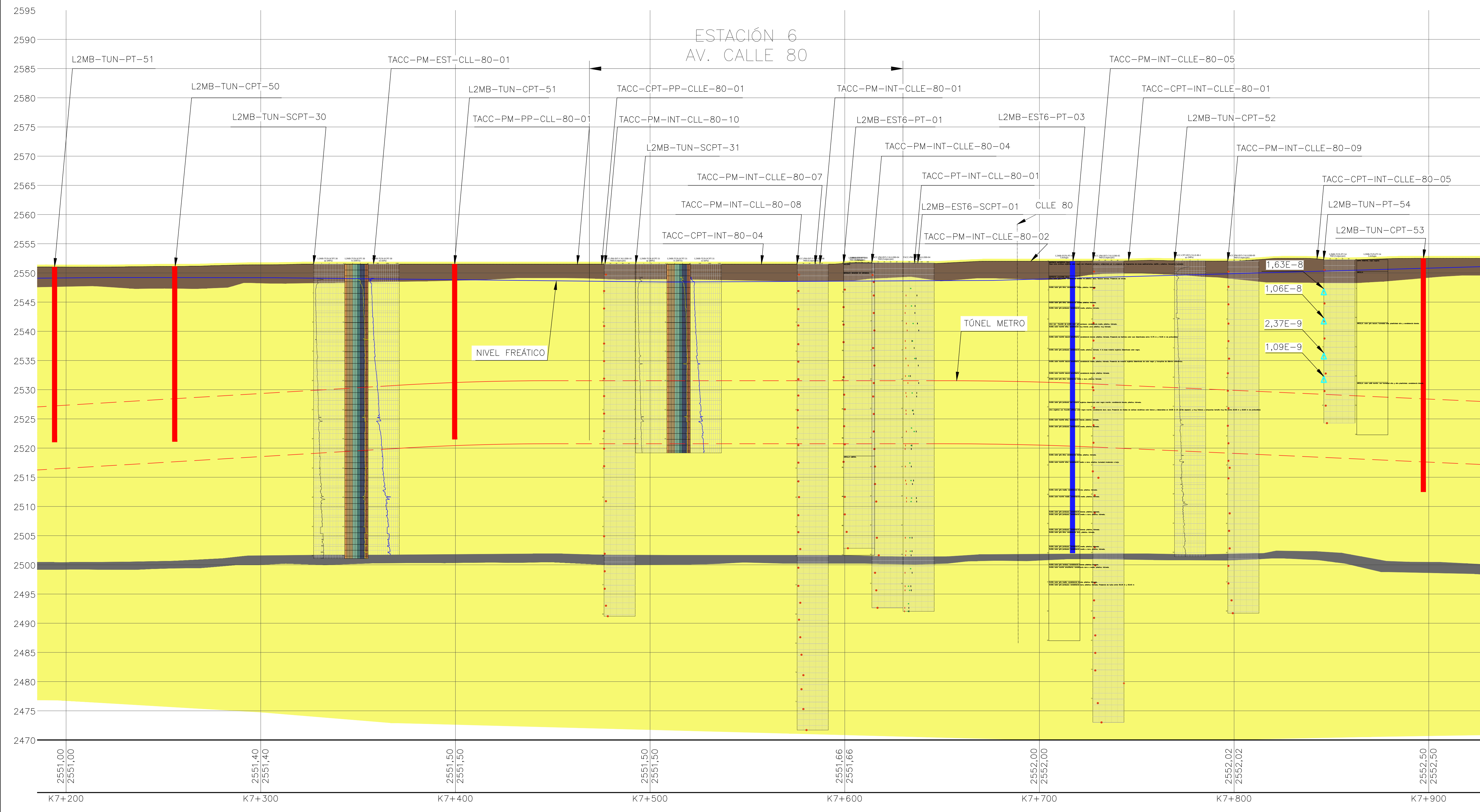
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

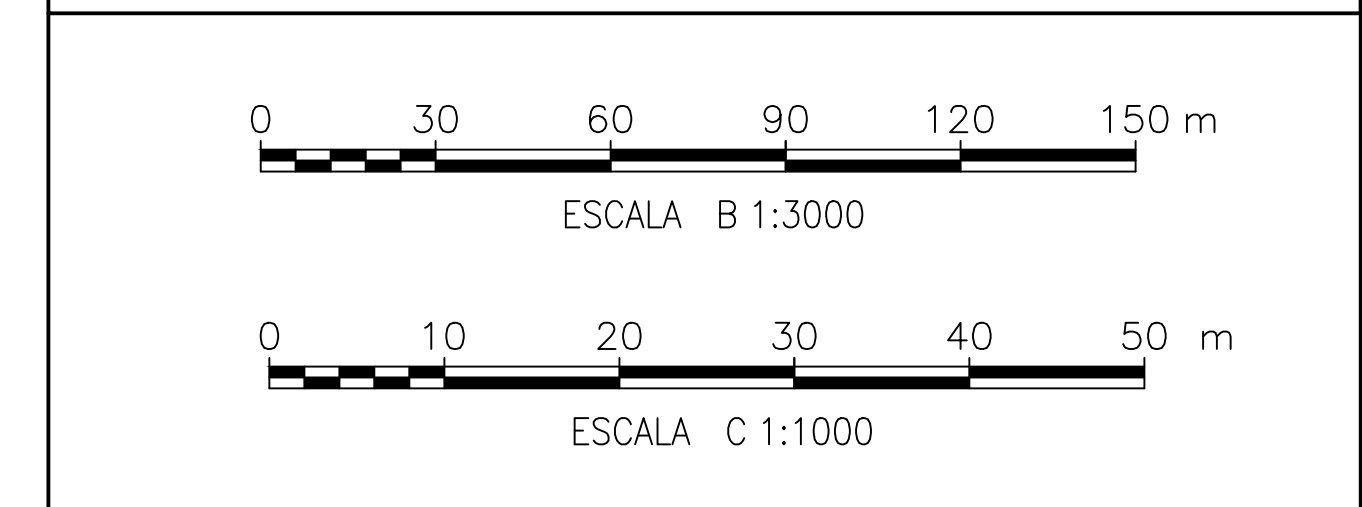
ASESORÍA **MOVIUS** INTERVENTORÍA **egis**
 U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

Plano No: NOMBRE DEL PLANO L2MB-0000-000-MOV-DP-GEO-PL-0010_V01 Doc: L2MB-0000-000-MOV-DP-GEO-PL-0010_V01

TIPO DE EXPLORACIÓN		
NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-PT-51	111 412,02	97 138,42
L2MB-TUN-CPT-50	111 456,26	97 182,80
L2MB-TUN-SCPT-30	111 536,70	97 194,06
L2MB-TUN-CPT-51	111 533,66	97 249,37
L2MB-TUN-PT-52	111 577,89	97 293,75
L2MB-TUN-SCPT-31	111 673,02	97 288,75
L2MB-EST6-PT-01	111 744,00	97 394,00
L2MB-EST6-SCPT-01	111 739,76	97 440,77
L2MB-EST6-PT-03	111 814,72	97 470,66
L2MB-TUN-CPT-52	111 876,45	97 526,75
L2MB-TUN-PT-54	111 913,31	97 548,02
L2MB-TUN-CPT-53	111 964,92	97 571,14
TACC-PM-PP-CLL-80-01	111 658,78	97 258,66
TACC-PM-INT-CLLE-80-01	111 774,26	97 333,27
TACC-PM-INT-CLLE-80-04	111 775,36	97 392,47
TACC-PM-INT-CLLE-80-05	111 853,85	97 467,68
TACC-PM-INT-CLLE-80-07	111 738,36	97 354,47
TACC-PM-INT-CLLE-80-09	111 937,24	97 523,99
TACC-PM-INT-CLLE-80-10	111 671,17	97 263,16
TACC-CPT-INT-CLLE-80-1	111 876,33	97 477,42



CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA HORIZONTAL B
ESCALA VERTICAL C

FDN Financiera de Desarrollo Nacional **METRO BOGOTÁ**

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA
18-02-2022		

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

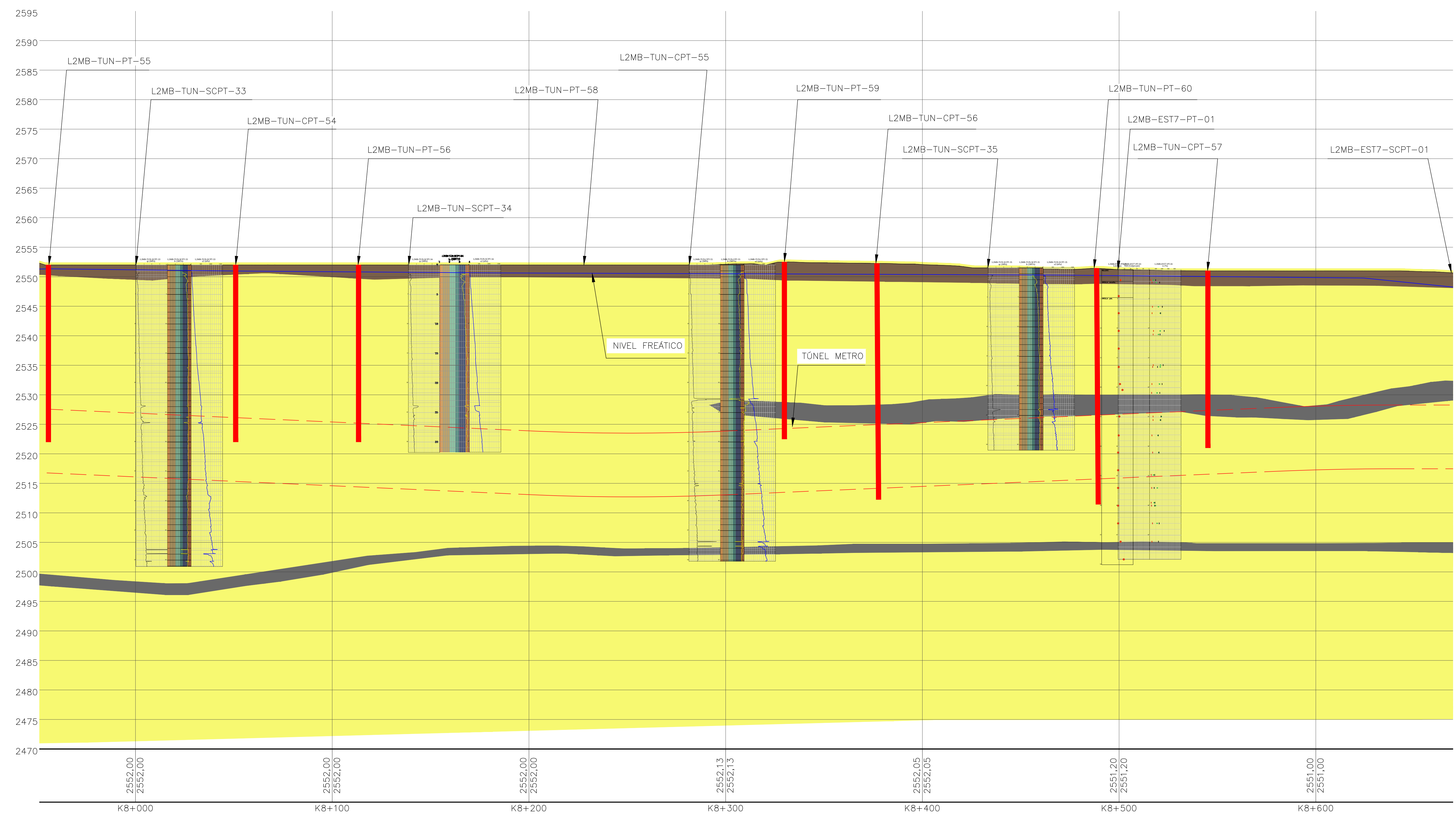
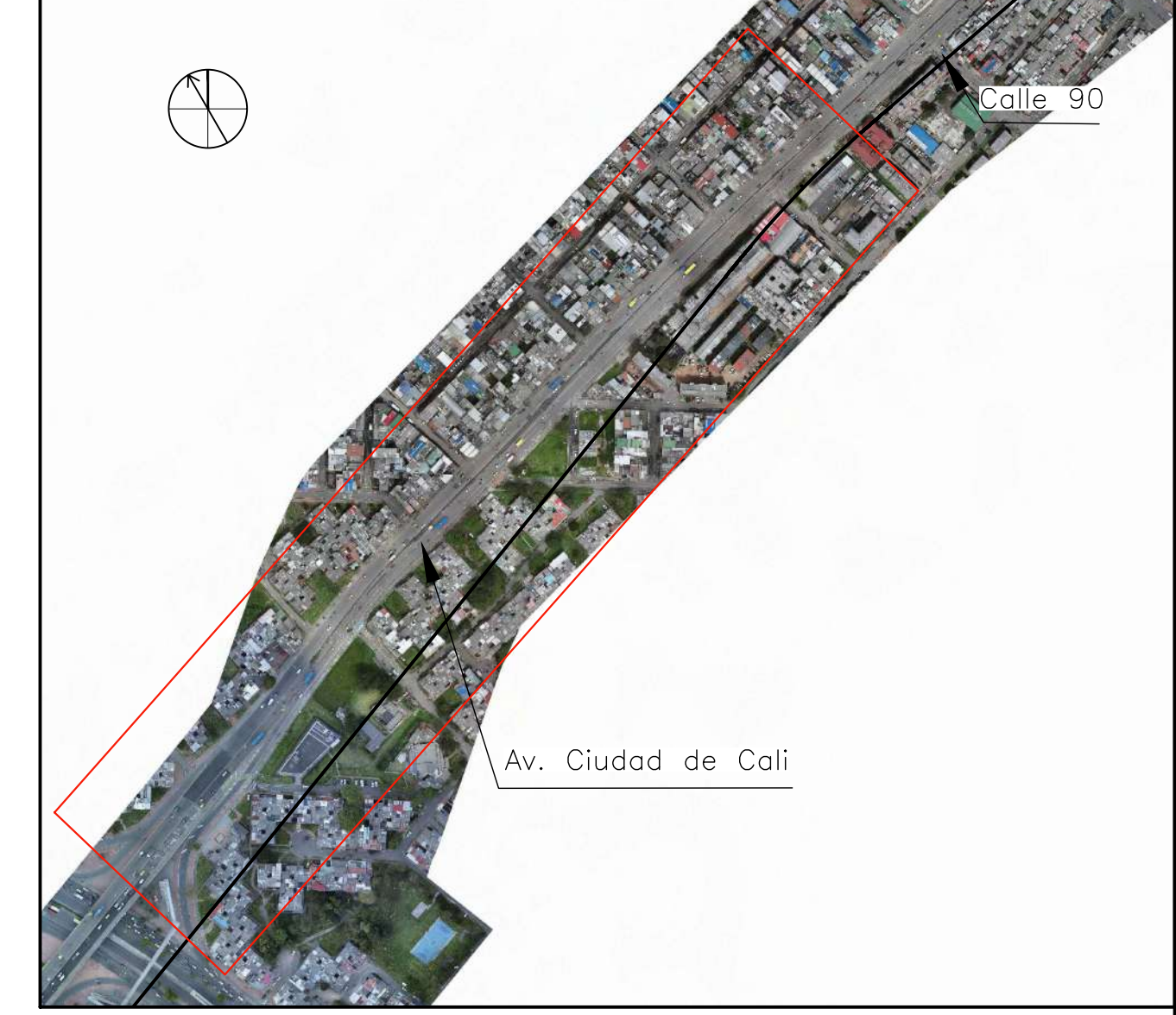
ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

INTERVENTORÍA **egis**

Plano No: NOMBRE DEL PLANO L2MB-0000-000-MOV-DP-GEO-PL-0011_V01

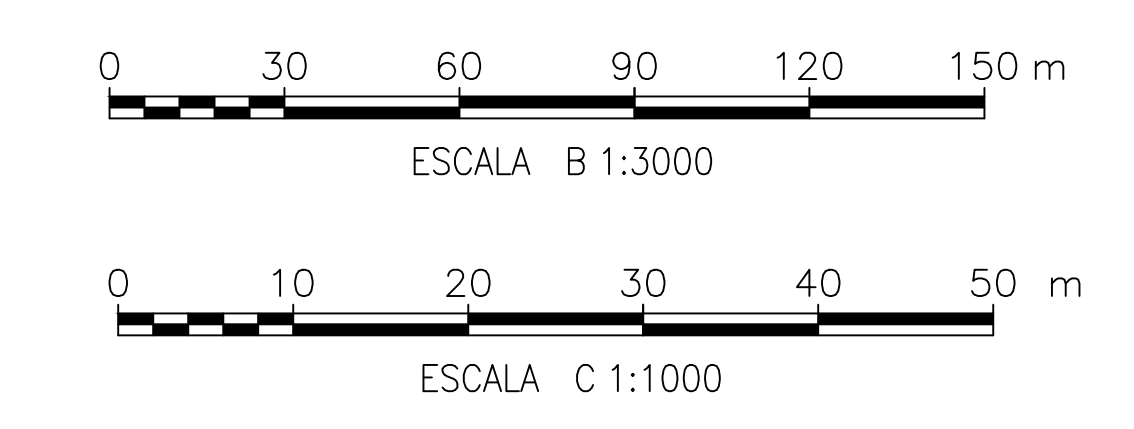
Doc:

NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-PT-55	112 009,15	97 604,42
L2MB-TUN-SCPT-33	112 064,74	97 611,82
L2MB-TUN-CPT-54	112 108,67	97 637,71
L2MB-TUN-PT-56	112 152,90	97 682,09
L2MB-TUN-SCPT-34	112 197,14	97 726,47
L2MB-TUN-PT-58	112 230,31	97 770,85
L2MB-TUN-CPT-55	112 263,48	97 804,13
L2MB-TUN-PT-59	112 307,71	97 837,42
L2MB-TUN-CPT-56	112 340,89	97 870,70
L2MB-TUN-SCPT-35	112 374,06	97 915,08
L2MB-TUN-PT-60	112 418,29	97 948,37
L2MB-TUN-CPT-57	112 462,52	97 992,75
L2MB-EST7-PT-01	112 492,71	98 037,24
L2MB-EST7-SCPT-01	112 542,69	98 084,28



PERFIL LONGITUDINAL
 ESCALA HORIZONTAL B
 ESCALA VERTICAL C

CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



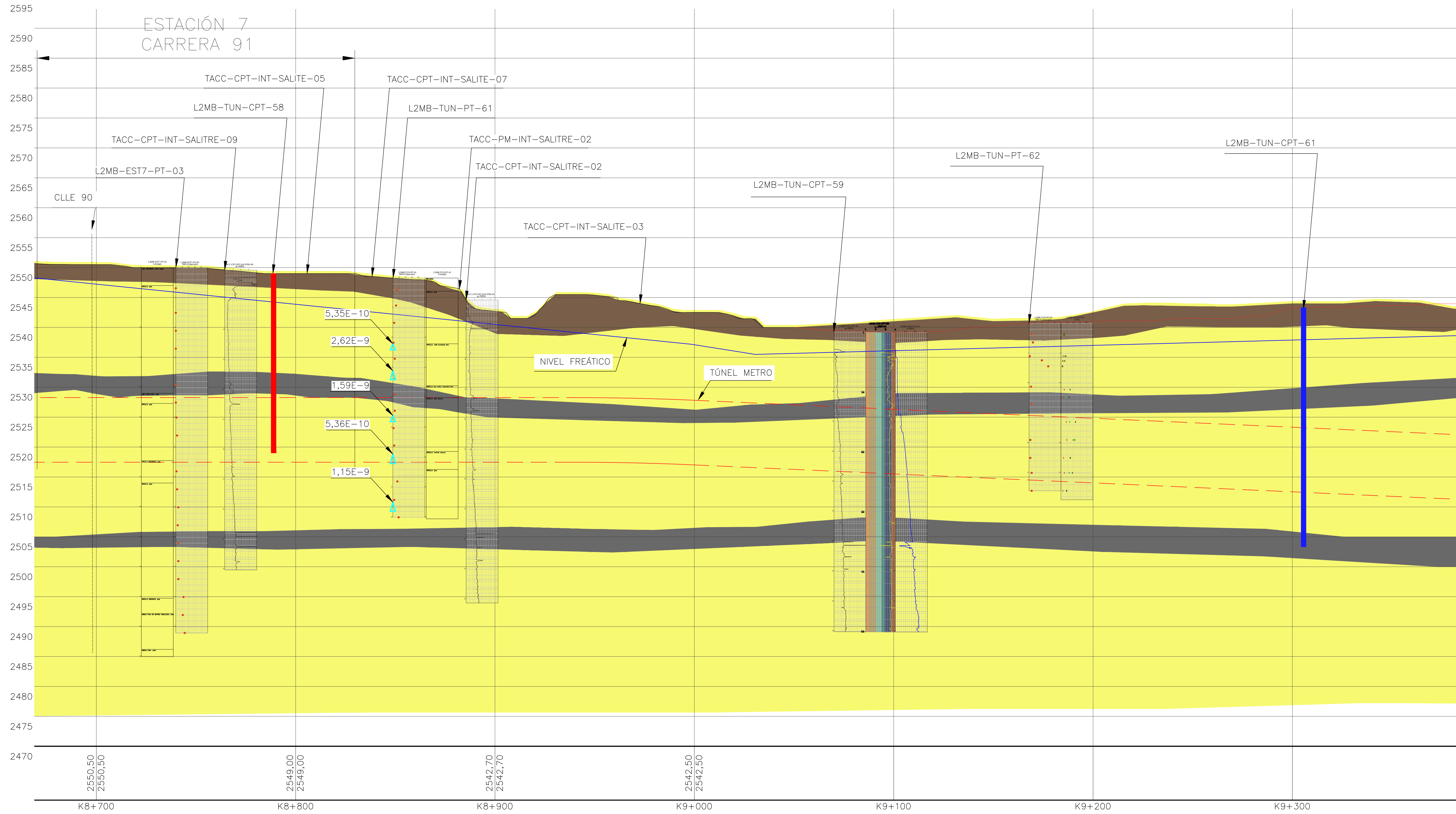
FDN Financiera de Desarrollo Nacional
METRO BOGOTÁ
 CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA
18-02-2022		

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL
 ESCALA: INDICADAS
 HOJA N°: 1 DE 1

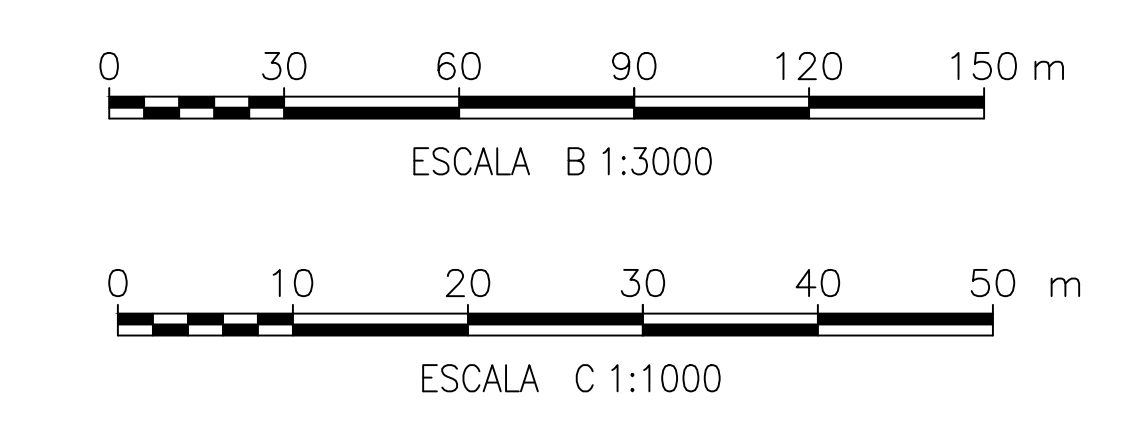
ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE
 INTERVENTORÍA **egis**
 Plano No: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0012_V01
 Doc:

TIPO DE EXPLORACIÓN		
NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-EST7-PT-03	112 582.17	98 143.75
L2MB-TUN-CPT-58	112 617.33	98 181.36
L2MB-TUN-PT-61	112 656.37	98 223.96
TACC-PM-INT-CLLE-72-02	111 056.61	96 842.80
TACC-CPT-INT-SALITRE-02	112 732.91	98 206.32
TACC-CPT-INT-SALITRE-05	112 640.95	98 180.22
TACC-CPT-INT-SALITRE-07	112 640.95	98 223.20
TACC-CPT-INT-SALITRE-09	112 608.97	98 153.23
L2MB-TUN-CPT-59	113 009.89	98 283.38
L2MB-TUN-PT-62	113 231.36	98 330.53
L2MB-TUN-CPT-61	113 137.06	98 319.74
TACC-PM-INT-SALITRE-03	112 842.28	98 165.57



PERFIL LONGITUDINAL
 ESCALA HORIZONTAL B
 ESCALA VERTICAL C

CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



FDN Financiera de Desarrollo Nacional **METRO BOGOTÁ**

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA
18-02-2022		

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

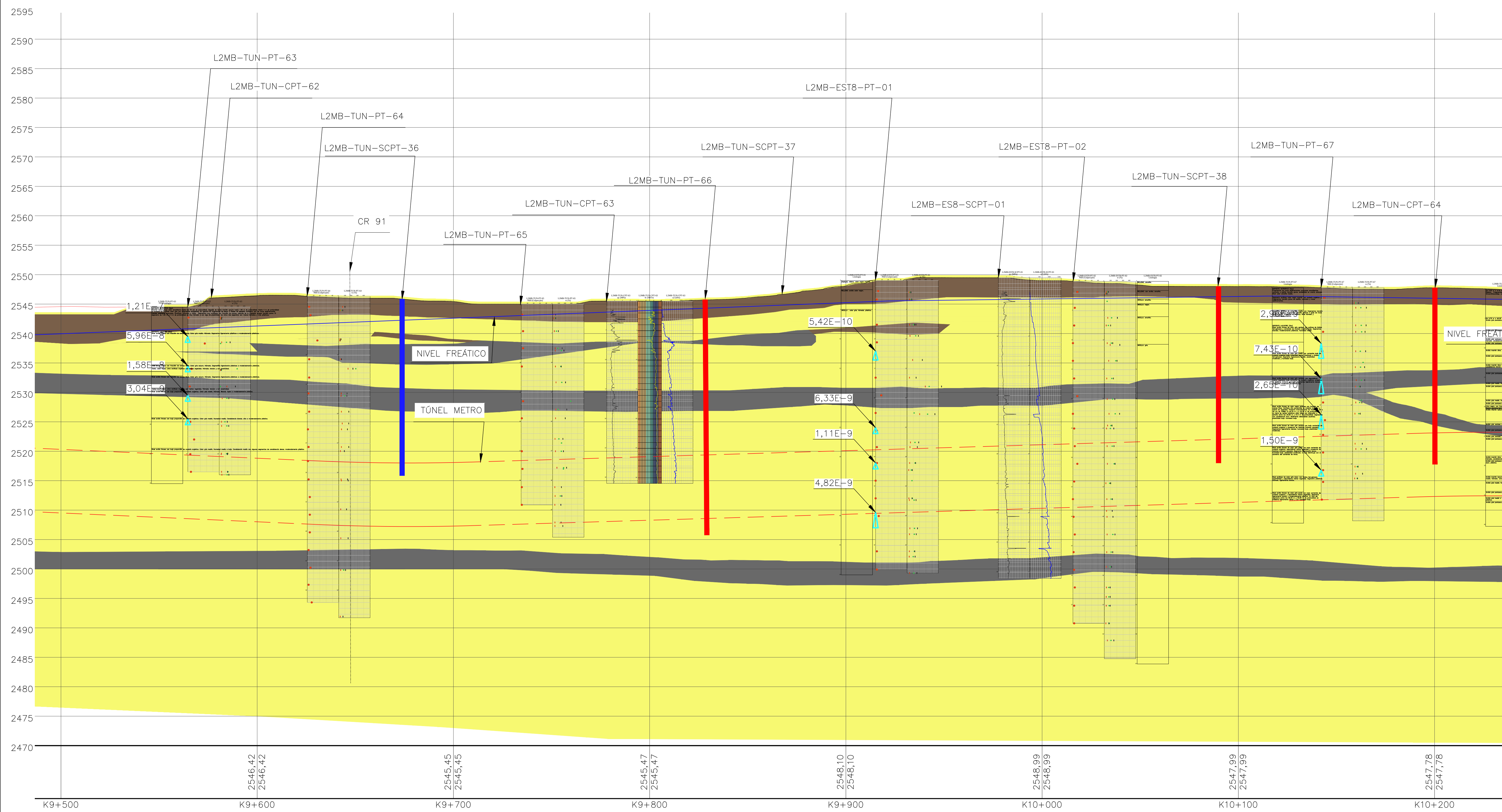
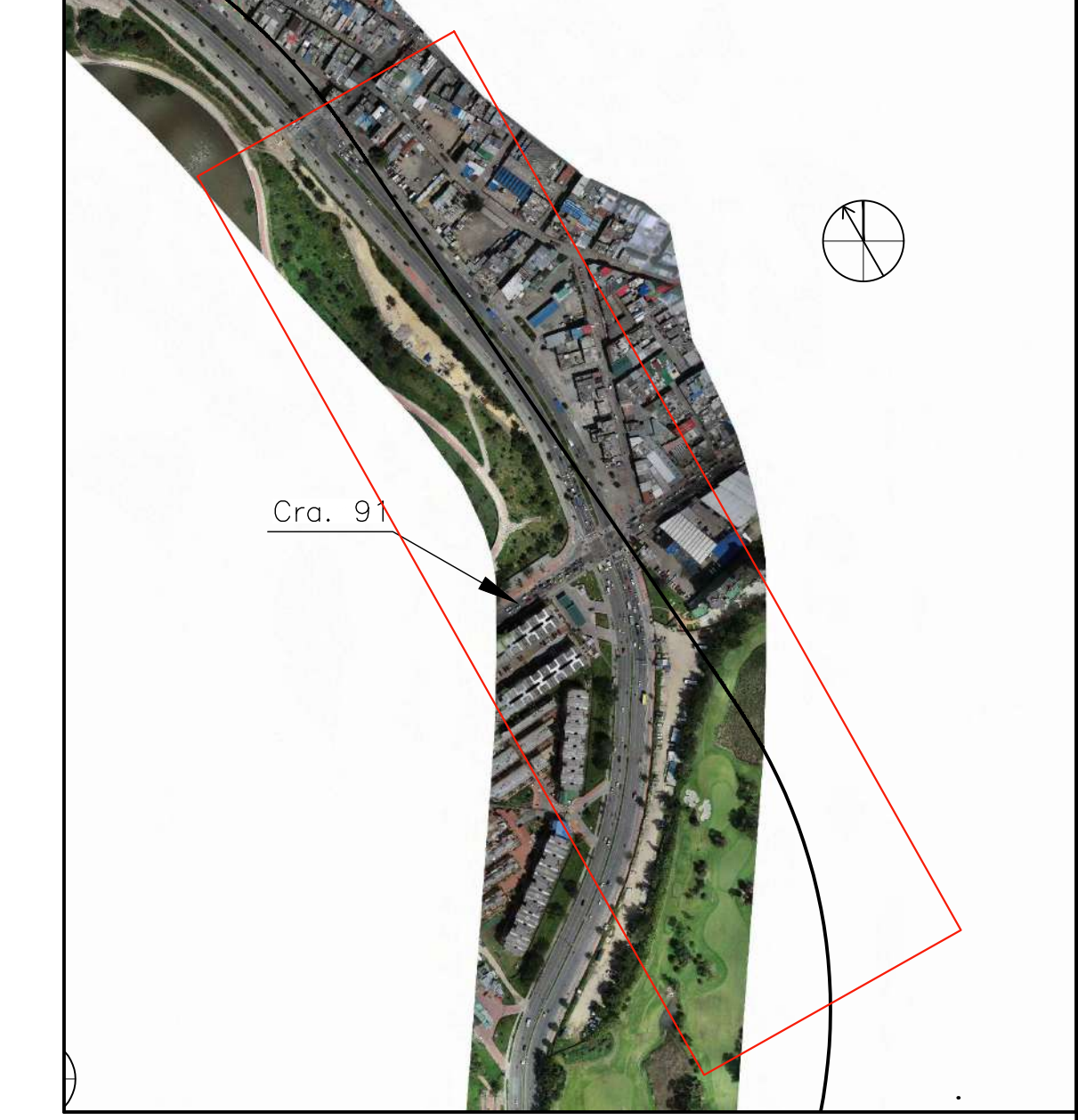
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE INTERVENTORÍA **egis**

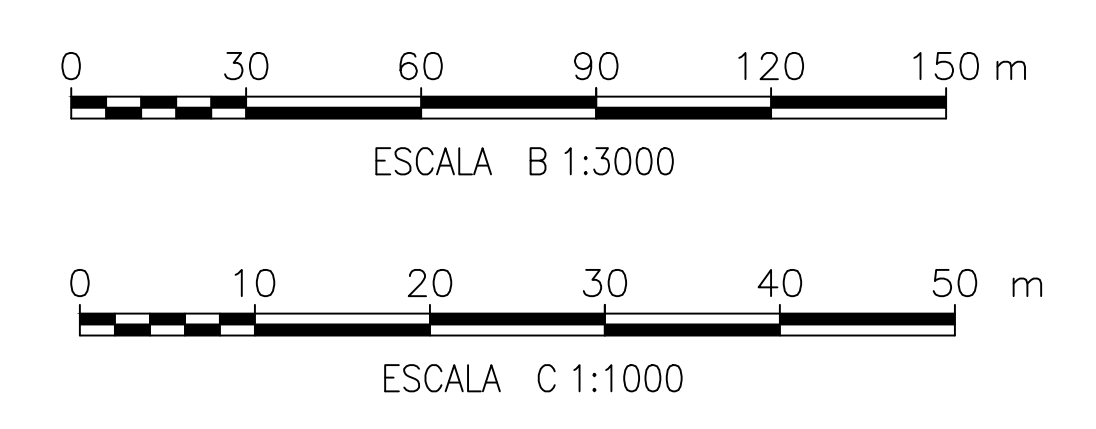
Plano No: NOMBRE DEL PLANO L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0013_V01 Doc: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0013_V01

TIPO DE EXPLORACIÓN		
NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-PT-63	113 195,12	98 295,71
L2MB-TUN-CPT-62	113 231,36	98 330,53
L2MB-TUN-PT-64	113 293,72	98 336,08
L2MB-TUN-SCPT-36	113 347,17	98 328,38
L2MB-TUN-PT-65	113 407,99	98 310,20
L2MB-TUN-CPT-63	113 443,00	98 284,31
L2MB-TUN-PT-66	113 490,93	98 259,04
L2MB-TUN-SCPT-37	113 524,10	98 236,85
L2MB-EST8-PT-01	113 558,81	98 210,97
L2MB-EST8-SCPT-01	113 631,00	98 148,10
L2MB-EST8-PT-02	113 652,82	98 130,02
L2MB-TUN-SCPT-38	113 689,98	98 092,63
L2MB-TUN-PT-67	113 727,03	98 058,46
L2MB-TUN-CPT-64	113 767,39	98 014,97



PERFIL LONGITUDINAL
 ESCALA HORIZONTAL B
 ESCALA VERTICAL C

CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

	18-02-2022		
	MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

ESCALA: INDICADAS

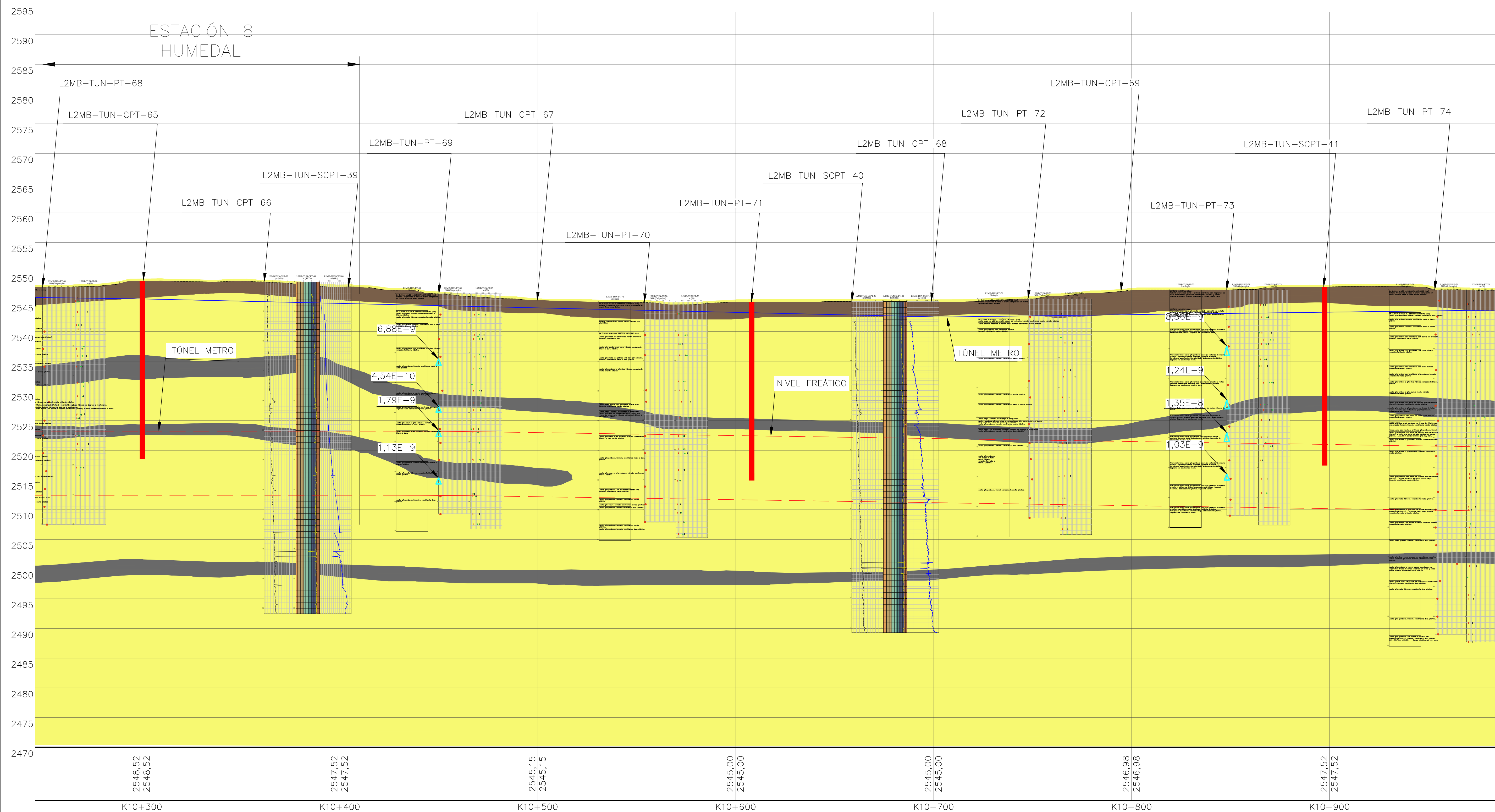
HOJA N°: 1 DE 1

ASESORÍA INTERVENTORÍA

U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

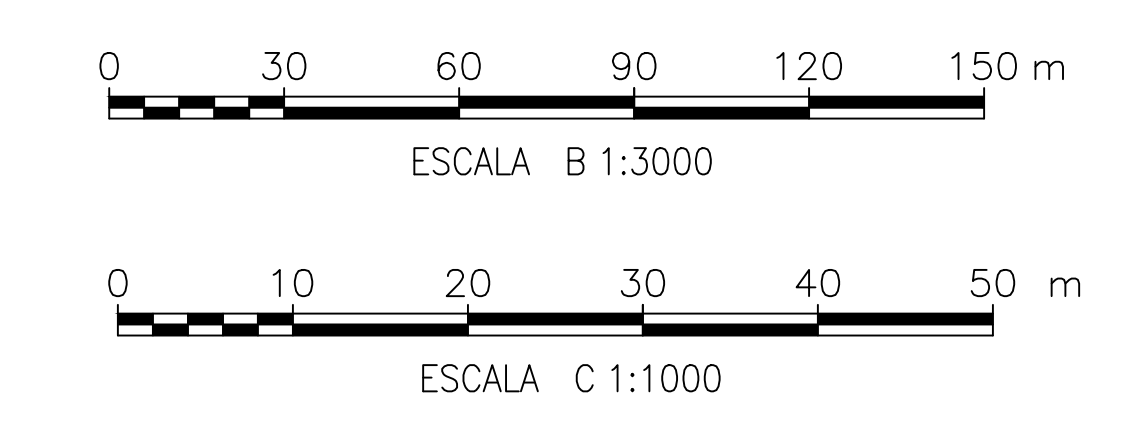
Plano No: NOMBRE DEL PLANO L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0014_V01 Doc:

TIPO DE EXPLORACIÓN	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-PT-68	113 795,48	97 978,03
L2MB-TUN-CPT-65	113 822,68	97 937,31
L2MB-TUN-CPT-66	113 868,57	97 893,38
L2MB-TUN-SCPT-39	113 900,09	97 859,65
L2MB-TUN-PT-69	113 945,98	97 842,90
L2MB-TUN-CPT-67	113 955,38	97 781,99
L2MB-TUN-PT-70	114 016,87	97 770,12
L2MB-TUN-PT-71	114 054,91	97 726,52
L2MB-TUN-SCPT-40	114 093,83	97 698,79
L2MB-TUN-CPT-68	114 132,32	97 682,15
L2MB-TUN-PT-72	114 176,55	97 661,18
L2MB-TUN-CPT-69	114 220,78	97 648,87
L2MB-TUN-PT-73	114 282,93	97 637,66
L2MB-TUN-SCPT-41	114 331,37	97 615,59
L2MB-TUN-PT-74	114 378,37	97 590,52



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA HORIZONTAL B
ESCALA VERTICAL C

CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



FDN Financiera de Desarrollo Nacional

METRO BOGOTÁ

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA
18-02-2022		

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

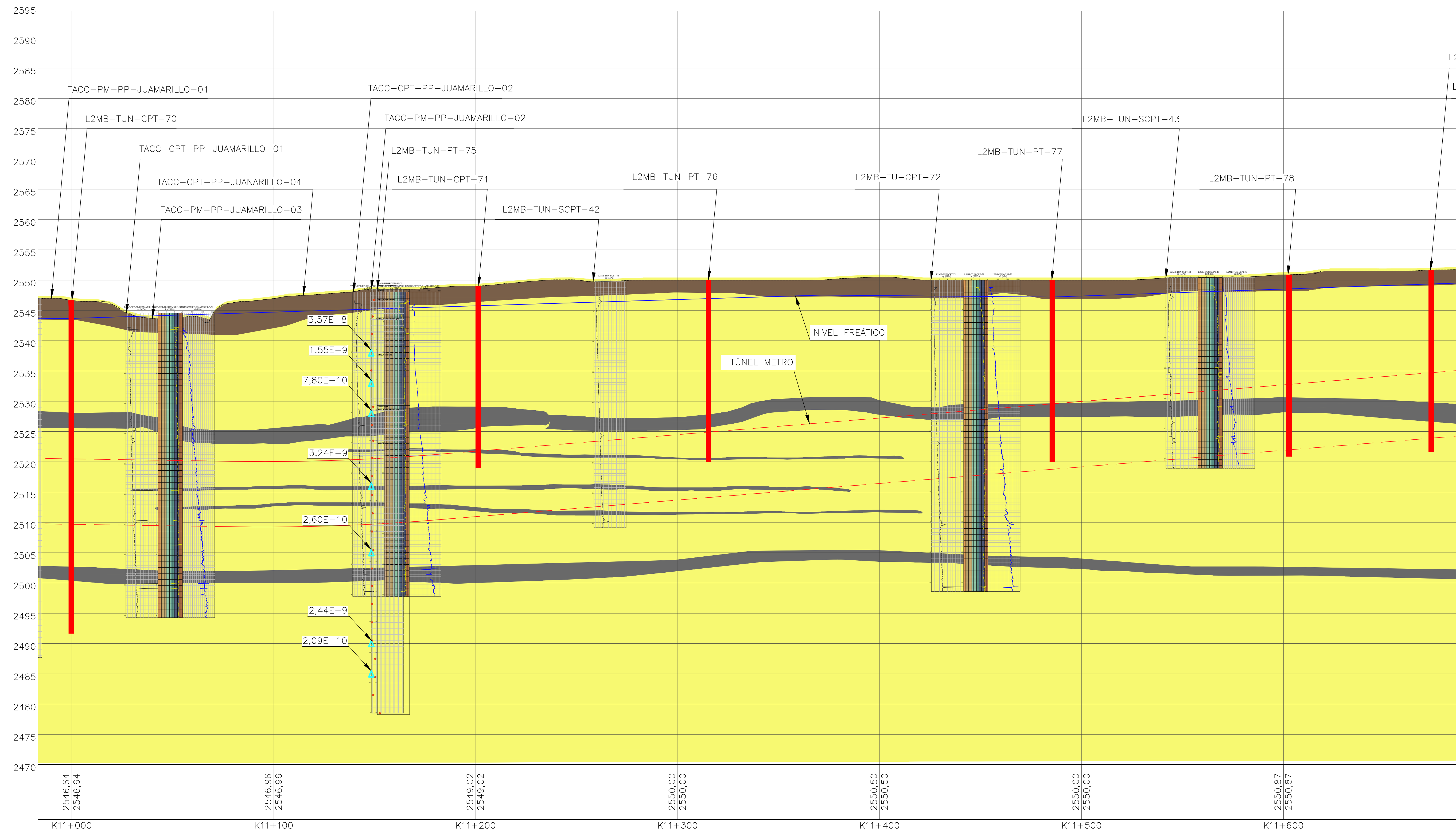
ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

INTERVENTORÍA **egis**

Plano No: L2MB-0000-000-MOV-DP-GEO-PL-0015_V01

Doc: L2MB-0000-000-MOV-DP-GEO-PL-0015_V01

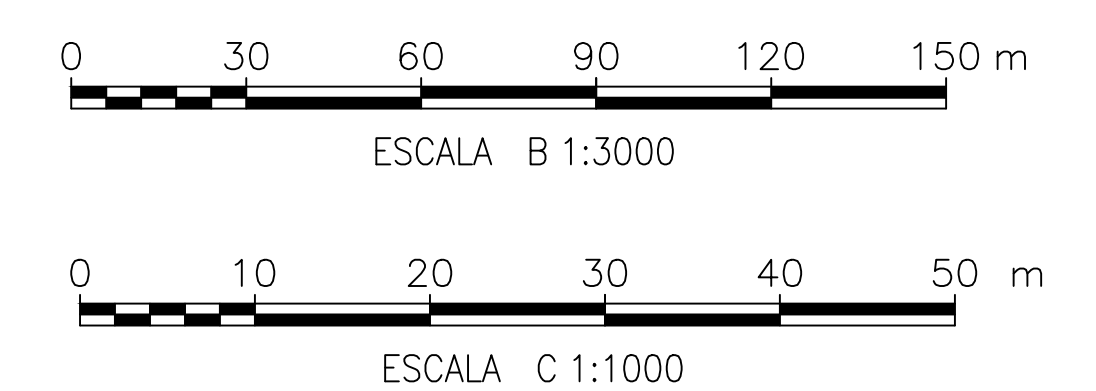
NOMBRE	TIPO DE EXPLORACIÓN	
	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-CPT-70	114 419,83	97 571,21
TACC-PM-PP-JUAMARILLO-	114 386,54	97 538,71
L2MB-TUN-PT-75	114 538,05	997478,36
L2MB-TUN-CPT-71	114 574,65	97 438,09
L2MB-TUN-SCPT-42	114 610,59	97 390,94
L2MB-TUN-PT-76	114 663,12	97 360,43
L2MB-TUN-CPT-72	114 731,31	97 271,98
L2MB-TUN-PT-77	114 773,71	97 227,30
L2MB-TUN-SCPT-43	114 812,41	97 185,39
L2MB-TUN-PT-78	114 851,12	97 138,55
TACC-PM-PP-JUAMARILLO-02	114 543,35	97 480,74
TACC-CPT-PP-JUAMARILLO-01	114 416,91	97 517,36
TACC-CPT-PP-JUAMARILLO-02	114 505,88	97 448,20
TACC-CPT-PP-JUAMARILLO-04	114 515,67	97 504,97



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA HORIZONTAL B
ESCALA VERTICAL C



CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



FDN Financiera de Desarrollo Nacional **METRO BOGOTÁ**

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA
18-02-2022		

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

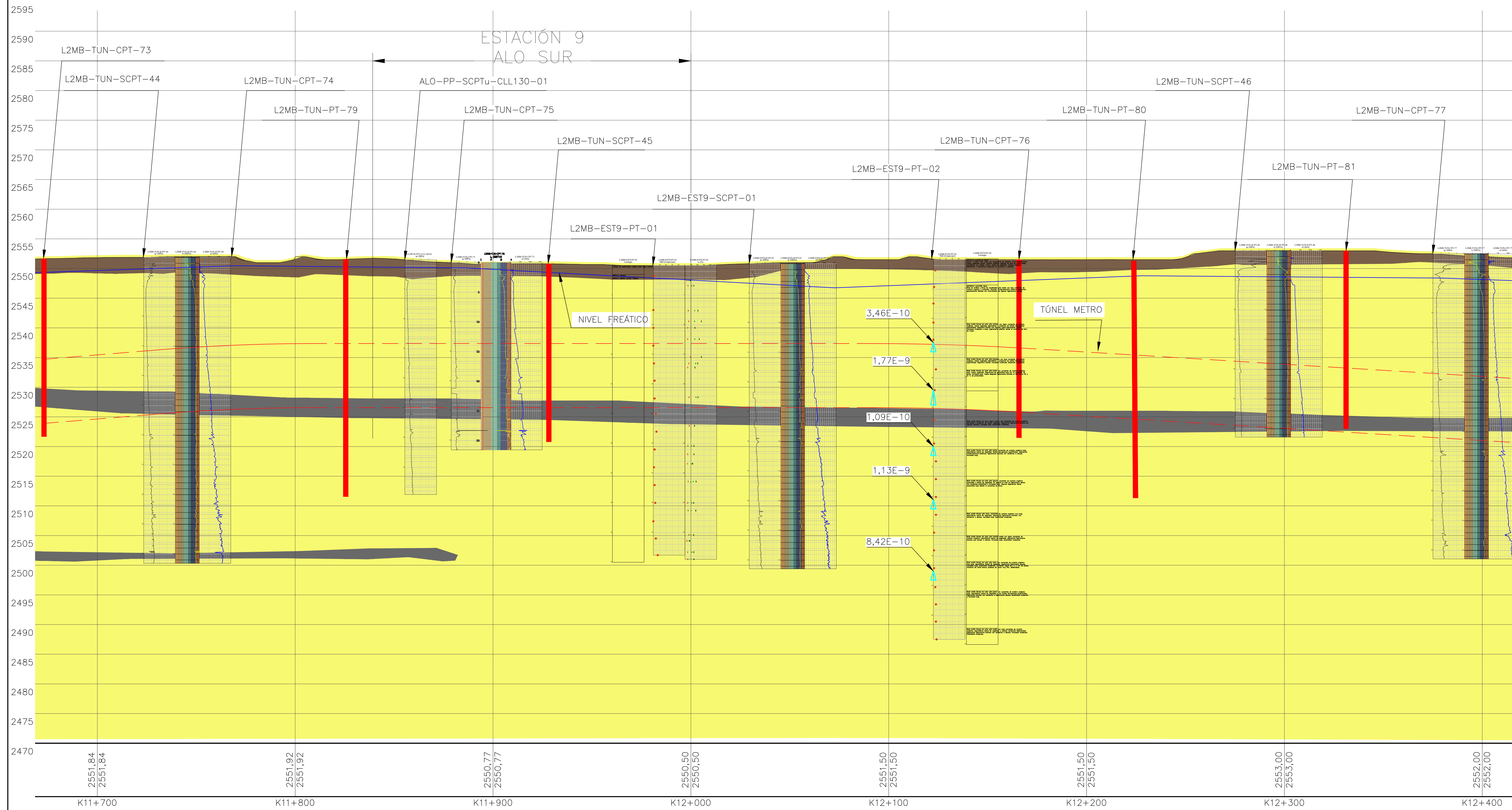
ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

INTERVENTORÍA **egis**

Plano No: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0016_V01

Doc: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0016_V01

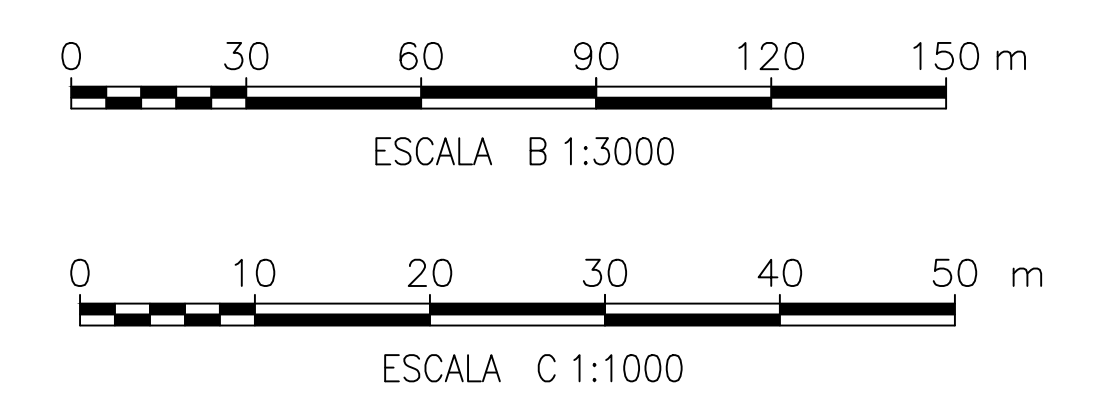
TIPO DE EXPLORACIÓN		
NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-CPT-73	114 917,47	97 105,27
L2MB-TUN-SCPT-44	114 969,68	97 090,17
L2MB-TUN-CPT-74	115 016,99	97 071,99
L2MB-TUN-PT-79	115 072,28	97 071,99
L2MB-TUN-CPT-75	115 122,35	97 052,89
L2MB-TUN-SCPT-45	115 172,69	97 044,70
L2MB-EST9-PT-01	115 224,00	97 041,00
ALO-PP-SCPTu-CLL130-01	115 100,18	97 061,10
L2MB-EST9-SCPT-01	115 272,25	97 034,09
L2MB-TUN-CPT-76	115 363,17	97 018,07
L2MB-TUN-PT-80	115 459,32	96 994,35
L2MB-TUN-SCPT-46	115 516,45	97 002,05
L2MB-TUN-PT-81	115 569,91	96 972,16
L2MB-TUN-CPT-77	115 615,36	96 986,653



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA HORIZONTAL B
ESCALA VERTICAL C

CONVENCIONES

- Formación Bogotá
- Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
- Arcilla
- Gravas
- Limo arenoso
- Arena con finos
- Túnel metro
- Nivel Freático
- Ensayo de Permeabilidad



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

18-02-2022	MODIFICACIÓN	NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

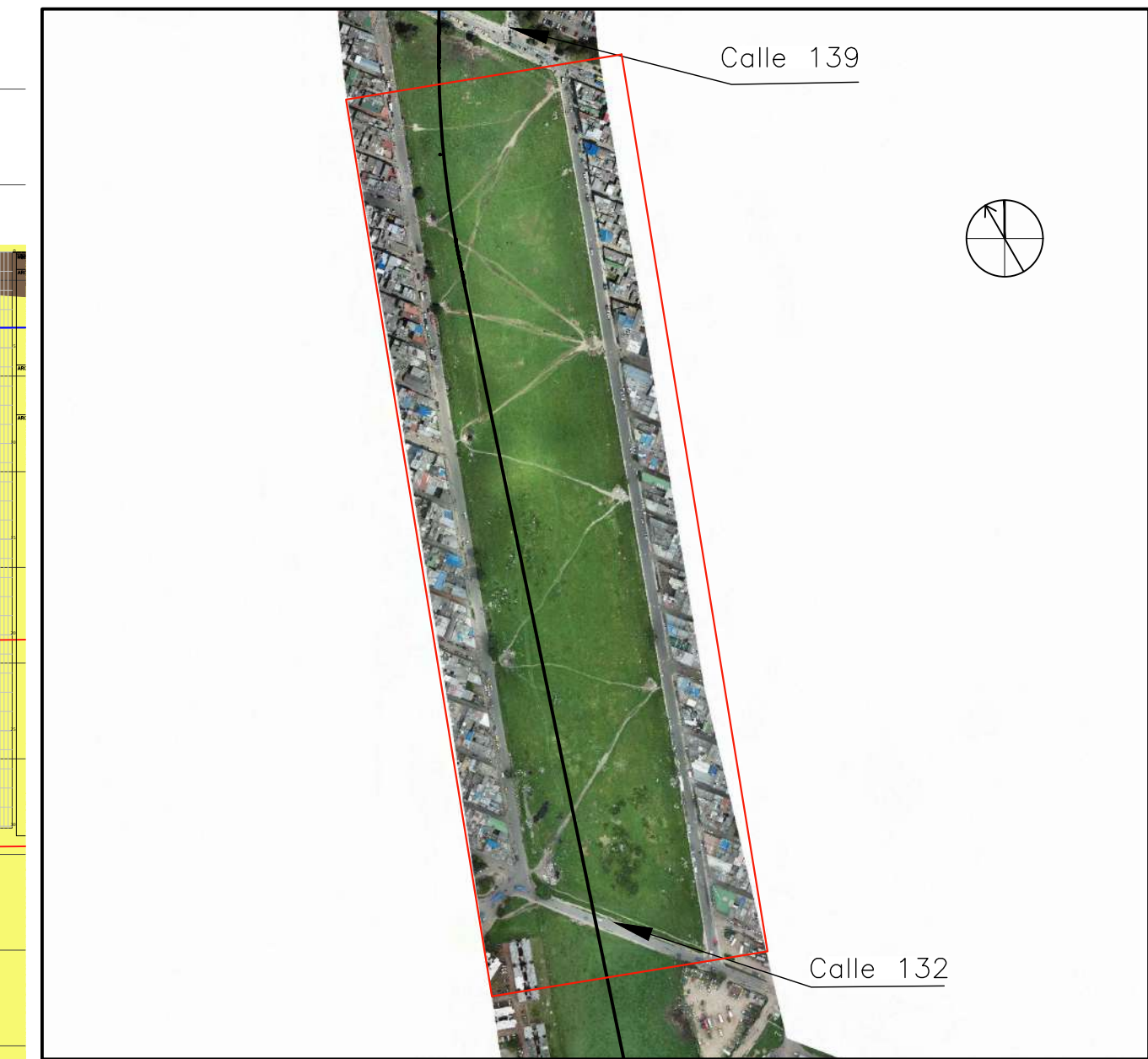
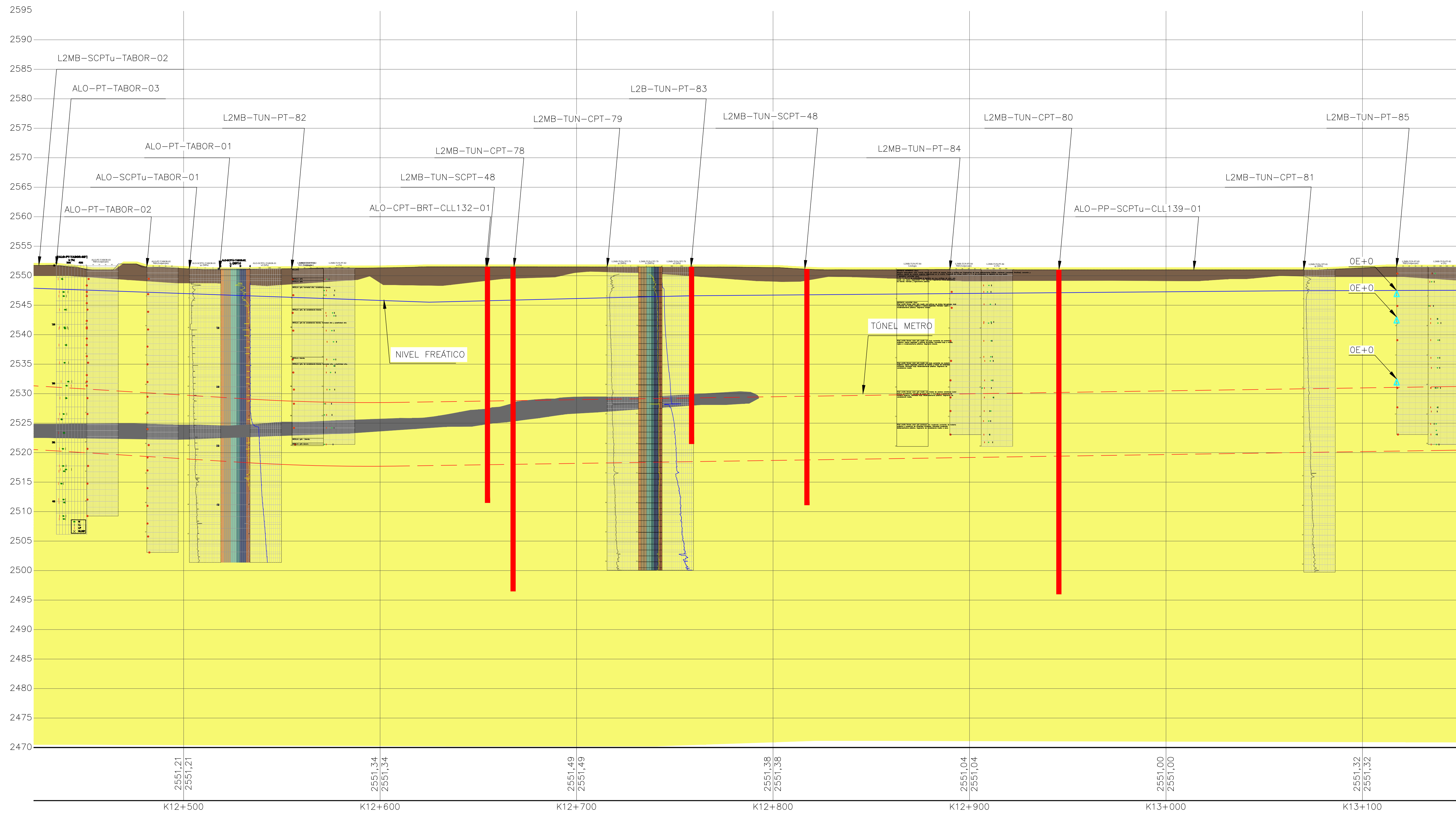
ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

INTERVENTORÍA **egis**

Plano No: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0017_V01

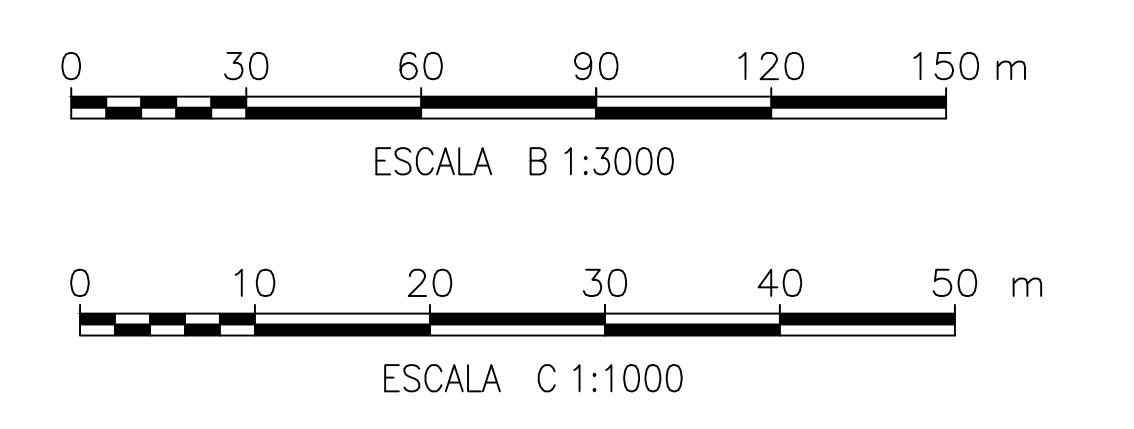
Doc: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0017_V01

TIPO DE EXPLORACIÓN	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-PT-82	115 791,37	96 949,06
L2MB-TUN-CPT-78	115 890,60	96 927,80
L2MB-TUN-CPT-79	115 949,88	96 922,56
L2MB-TUN-PT-83	115 990,12	96 916,71
L2MB-TUN-SCPT-48	116 045,41	96 905,62
L2MB-TUN-PT-84	116 120,66	96 887,13
L2MB-TUN-CPT-80	116 178,11	96 883,43
L2MB-TUN-CPT-81	116 295,75	96 861,25
L2MB-TUN-PT-85	116 340,91	96 851,08



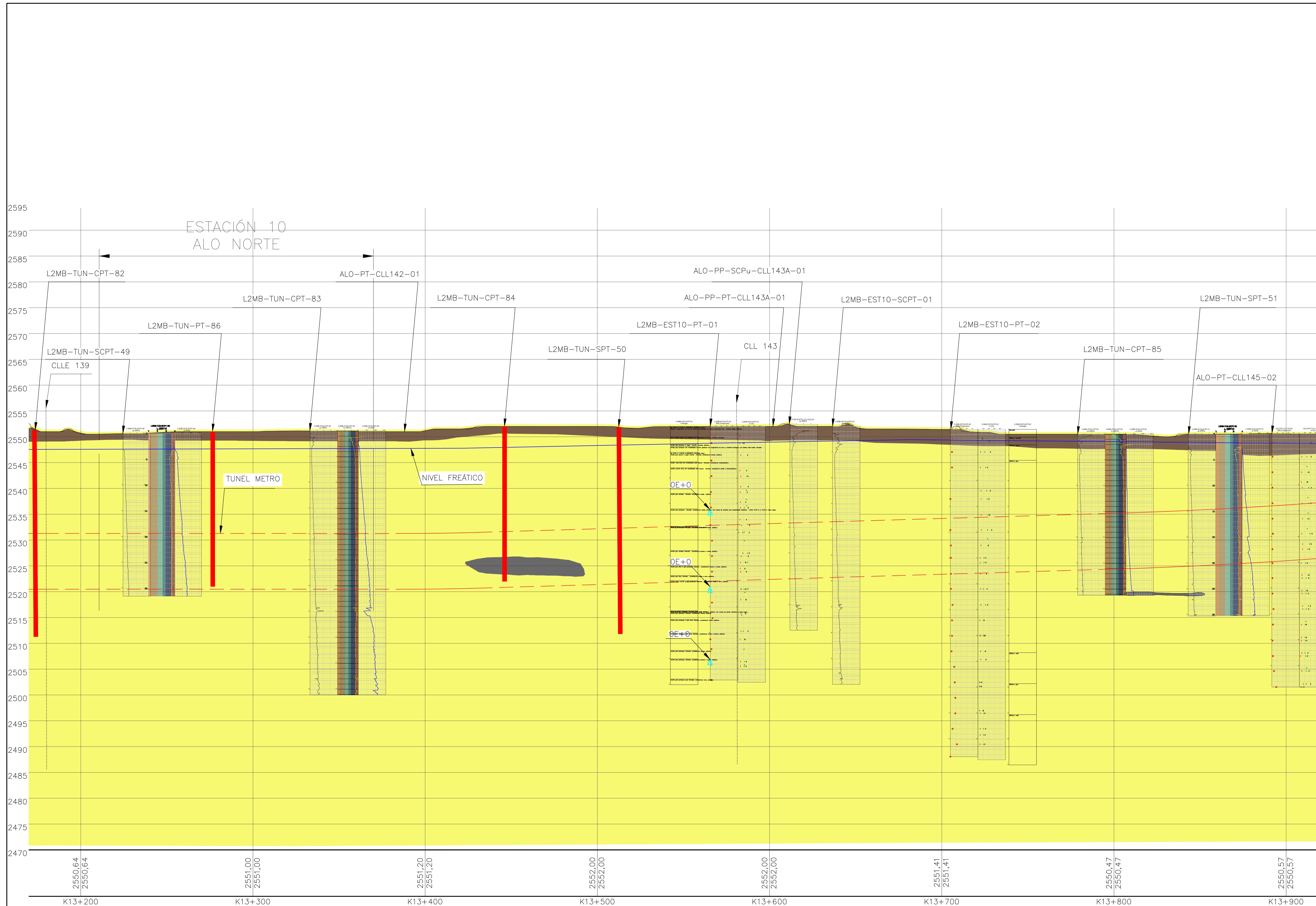
CONVENCIONES

- Formación Bogotá
- Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
- Arcilla
- Gravos
- Limo arenoso
- Arena con finos
- Túnel metro
- Nivel Freático
- Ensayo de Permeabilidad



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA HORIZONTAL B
ESCALA VERTICAL C

MODIFICACIÓN	NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA
18-02-2022		



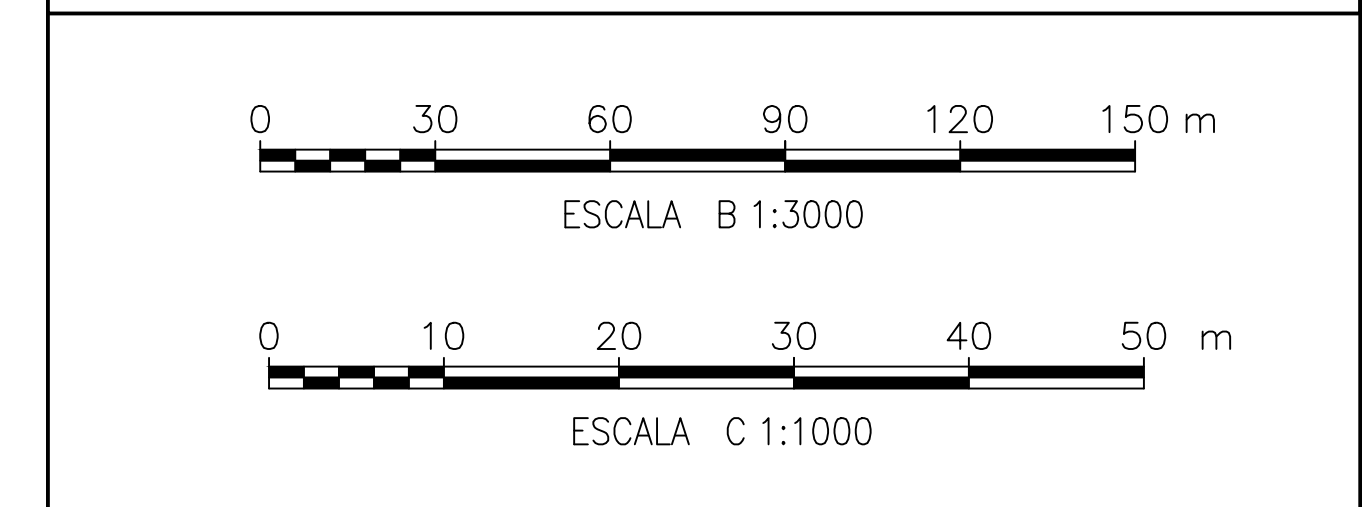
PERFIL LONGITUDINAL
 ESCALA HORIZONTAL B
 ESCALA VERTICAL C

TIPO DE EXPLORACIÓN		
NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-TUN-CPT-82	116 399,28	96 839,07
L2MB-TUN-SCPT-49	116 447,19	96 838,14
L2MB-TUN-PT-86	116 498,80	96 839,07
L2MB-TUN-CPT-83	116 555,93	96 829,52
L2MB-TUN-CPT-84	116 664,67	96 827,98
L2MB-TUN-SCPT-50	116 731,02	96 827,99
L2MB-EST10-PT-01	116 788,46	96 824,29
L2MB-EST10-SCPT-01	116 859,42	96 828,92
L2MB-EST10-PT-02	116 928,22	96 834,16
L2MB-TUN-CPT-85	117 003,79	96 836,93
ALO-PT-CLL142-01	116 610,78	96 834,94
ALO-PP-PT-CLL143A-01	116 824,81	96 827,93
ALO-PP-SCPTu-CLL143A-01	116 833,91	96 869,48
ALO-PP-SCPTu-CLL143A-02	116 836,82	96 785,57



CONVENCIONES

- Formación Bogotá
- Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
- Arcilla
- Gravas
- Limo arenoso
- Arena con finos
- Túnel metro
- Nivel Freático
- Ensayo de Permeabilidad



FDN Financiera de Desarrollo Nacional
METRO BOGOTÁ

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

18-02-2022	MODIFICACIÓN	NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA
------------	--------------	--------------------	-------

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

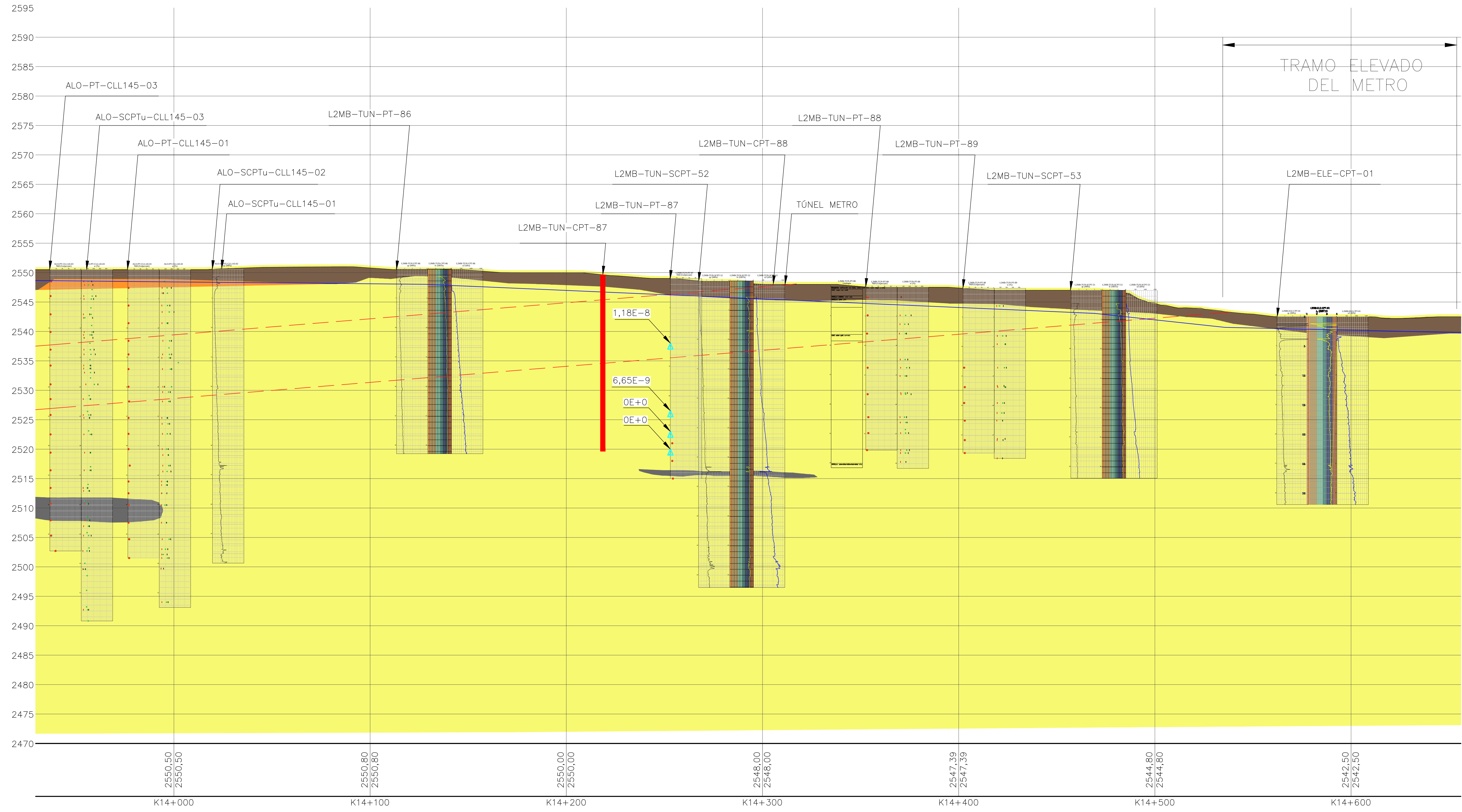
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE
 INTERVENTORÍA **egis**

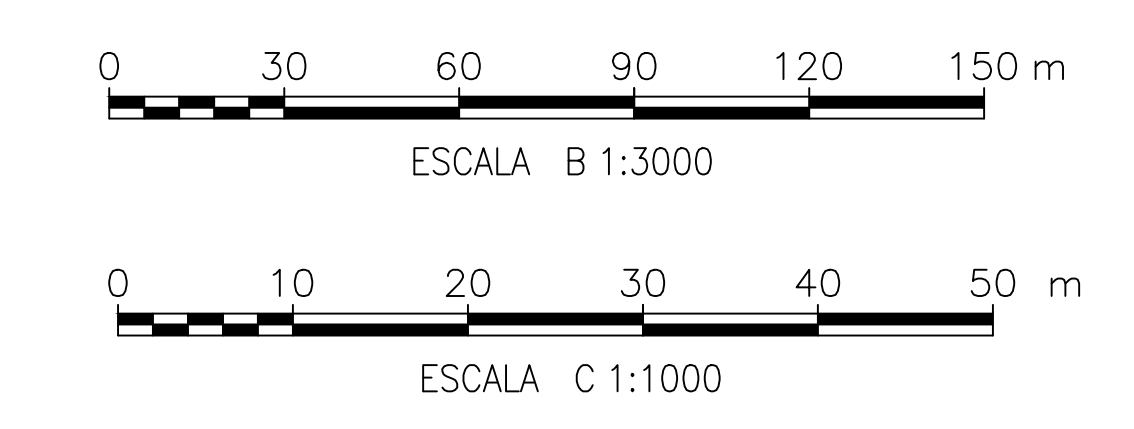
Plano No: L2MB-000-000-MOV-DP-GEO-PL-0019_V01
 NOMBRE DEL PLANO Doc:

TIPO DE EXPLORACIÓN		
NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
ALO-SCPTu-CLL145-03	117 200,81	96 812,37
L2MB-TUN-SCPT-51	117 244,31	96 698,58
L2MB-TUN-CPT-86	117 279,63	96 649,58
L2MB-TUN-PT-87	117 299,91	96 598,43
L2MB-TUN-CPT-87	117 317,12	96 550,66
L2MB-TUN-SCPT-52	117 341,07	96 507,83
L2MB-TUN-CPT-88	117 361,35	96 473,01
L2MB-TUN-PT-88	117 378,55	96 431,41
L2MB-TUN-PT-89	117 395,45	96 384,57
L2MB-TUN-SCPT-53	117 420,03	96 335,57
L2MB-ELE-CPT-01	117 457,81	96 237,88



PERFIL LONGITUDINAL
 ESCALA HORIZONTAL B
 ESCALA VERTICAL C

CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



FDN Financiera de Desarrollo Nacional
METRO BOGOTÁ

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

MODIFICACIÓN	NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA
18-02-2022		

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

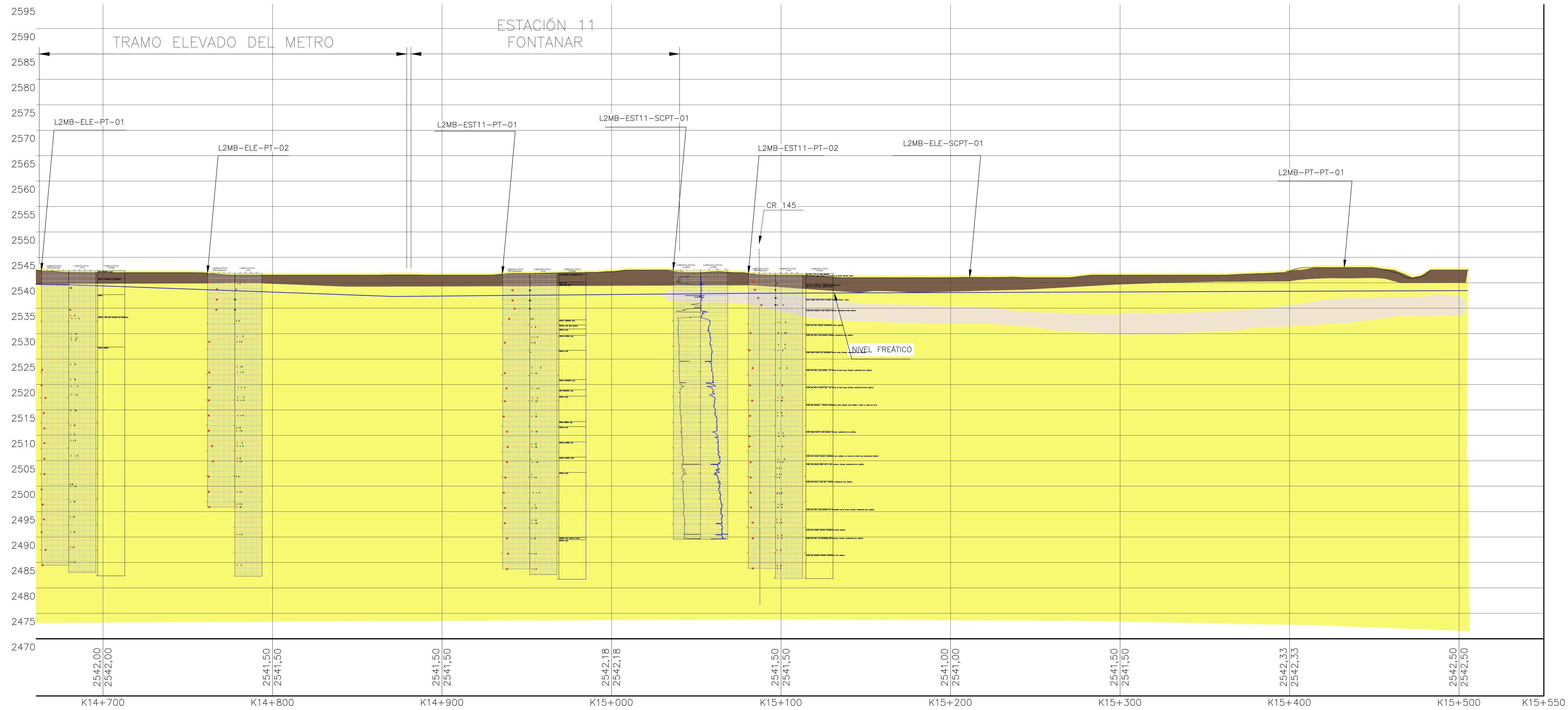
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE
 INTERVENTORÍA **egis**

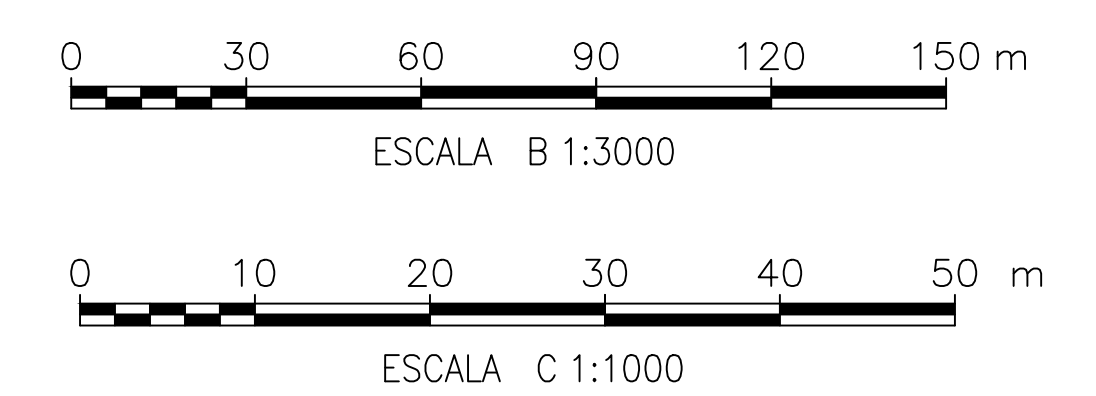
Plano No: L2MB-0000-000-MOV-DP-GEO-PL-0020_V01
 NOMBRE DEL PLANO Doc:

TIPO DE EXPLORACIÓN		
NOMBRE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
L2MB-EST11-SCPT-01	117 550,30	95 778,11
L2MB-EST11-PT-02	117 554,60	95 734,04
L2MB-ELE-SCPT-01	117 572,11	95 604,61
L2MB-PT-PT-01	117 657,33	95 392,48
L2MB-ELE-PT-01	117 479,63	96 141,74
L2MB-ELE-PT-02	117 507,58	96 049,60
L2MB-EST11-PT-01	117 538,62	95 878,26



PERFIL LONGITUDINAL
 ESCALA HORIZONTAL B
 ESCALA VERTICAL C

CONVENCIONES	
	Formación Bogotá
	Relleno Heterogéneo con gravas y arenas
	Arcilla
	Gravas
	Limo arenoso
	Arena con finos
	Túnel metro
	Nivel Freático
	Ensayo de Permeabilidad



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

	18-02-2022			
	MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA	

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL

ESCALA: INDICADAS

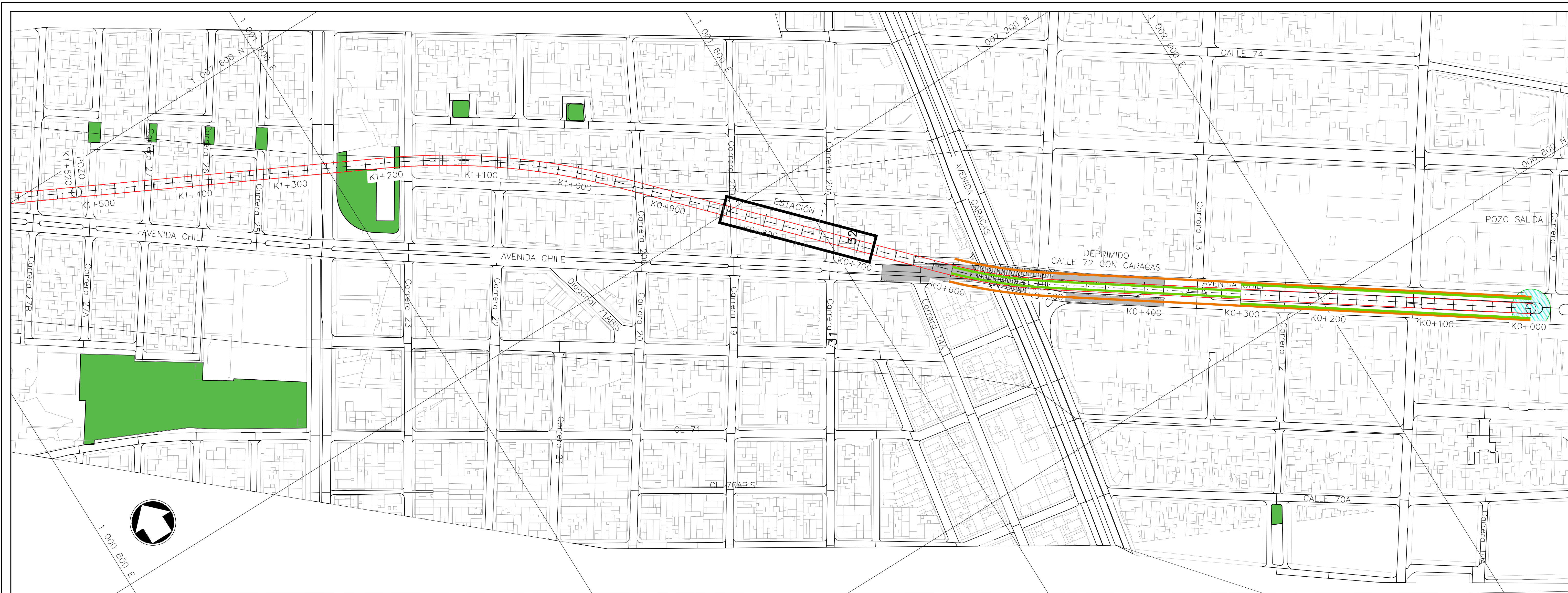
HOJA N°: 1 DE 1

ASESORÍA **MOVIUS** U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

INTERVENTORÍA **egis**

Plano No: NOMBRE DEL PLANO

Doc: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL



CONVENCIONES

- Jet Grouting.
- Taladros cortos de inyección.
- Barrera de columna Jet Grouting.
- Barrera de pilotes de mortero.

0 40 80 120 160 200 m
ESCALA A 1:2000



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

△				
△				
△				
△	03-03-2022	Versión original.	A. RICO	
		MODIFICACIÓN	NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA

TRATAMIENTOS - K0+000 A K3+180

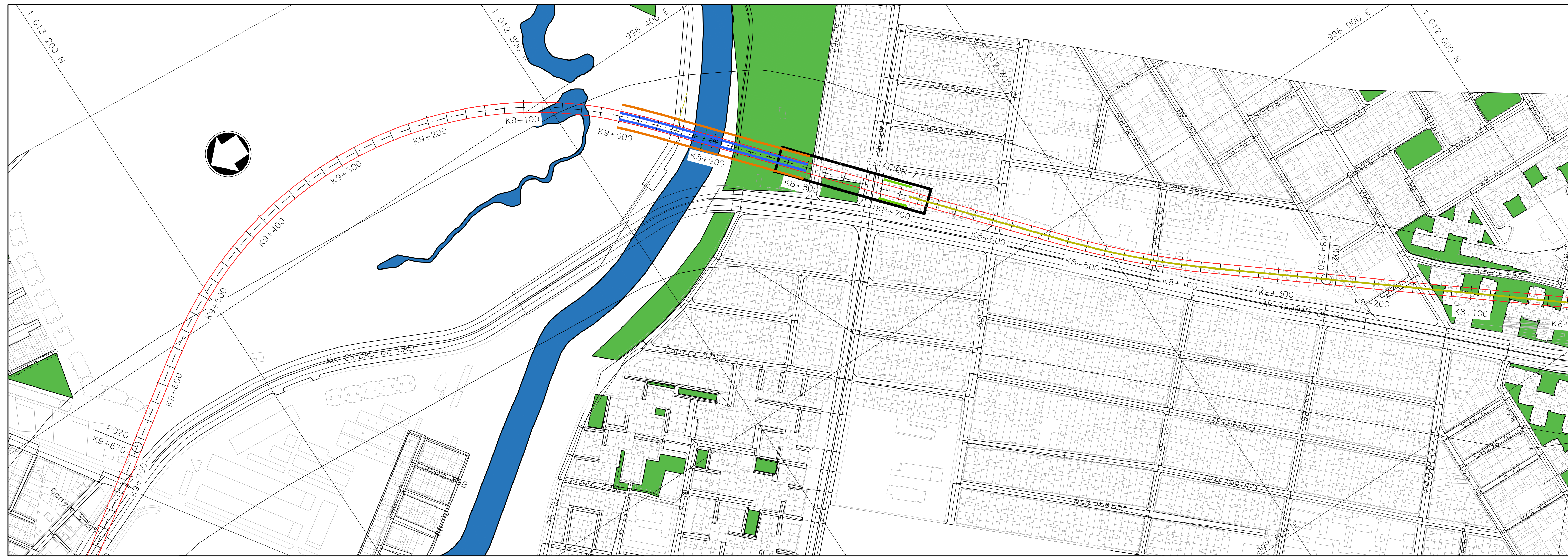
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 9



Plano No:
0559201-PG-BB-TUNE-01-0008

Doc:
NOMBRE DEL MODELO



- CONVENCIONES**
- Jet Grouting.
 - Taladros cortos de Inyección.
 - Barrera de columna Jet Grouting.
 - Barrera de pilotes de mortero.



 CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 – 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

△			
△			
△			
△	03-03-2022	Versión original.	A. RICO
			NOMBRE RESPONSABLE
			FIRMA

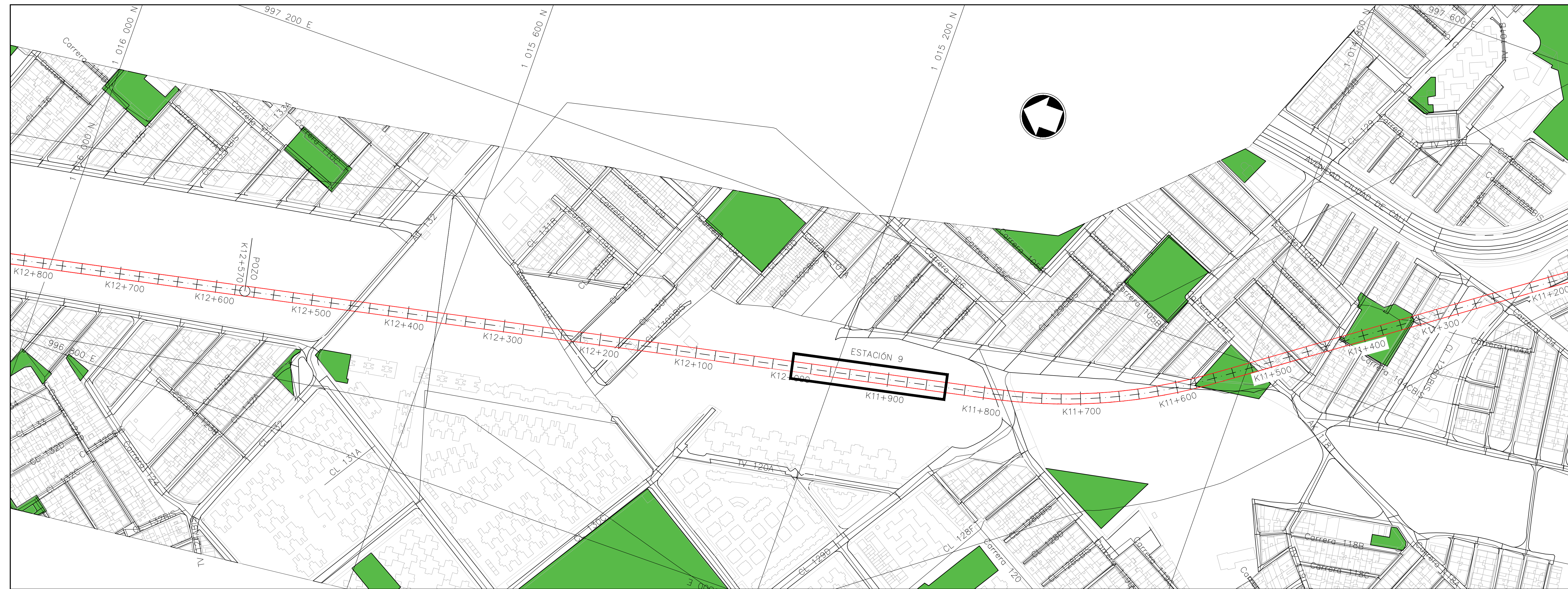
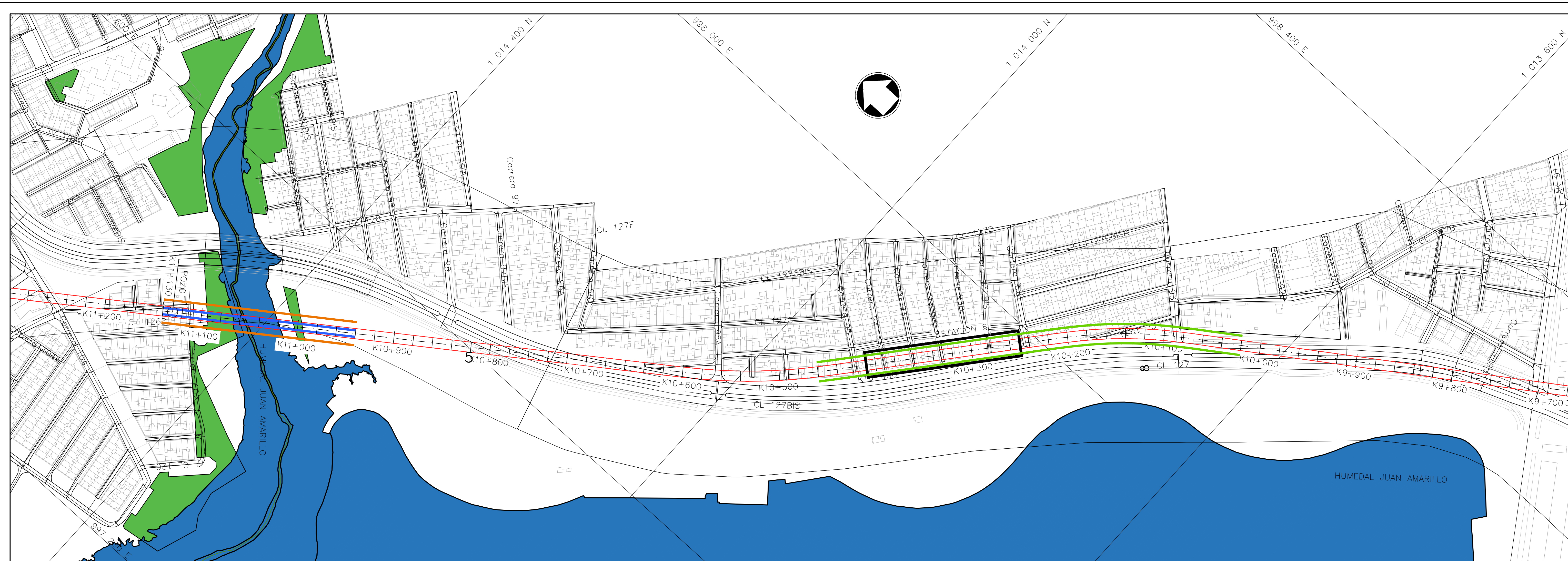
TRATAMIENTOS – K6+380 A K9+780

ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 3 DE 9

ASESORIA **MOVIUS** INTERVENTORIA **egis**
 U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

Plano No: 0559201-PG-BB-TUNE-01-0008
 Doc: NOMBRE DEL MODELO



CONVENCIONES

- Jet Grouting.
- Taladros cortos de Inyección.
- Barrera de columna Jet Grouting.
- Barrera de pilotes de mortero.



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 – 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

▲				
▲				
▲				
▲	03-03-2022	Versión original.	A. RICO	
			NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA

TRATAMIENTOS – K9+780 A K12+800

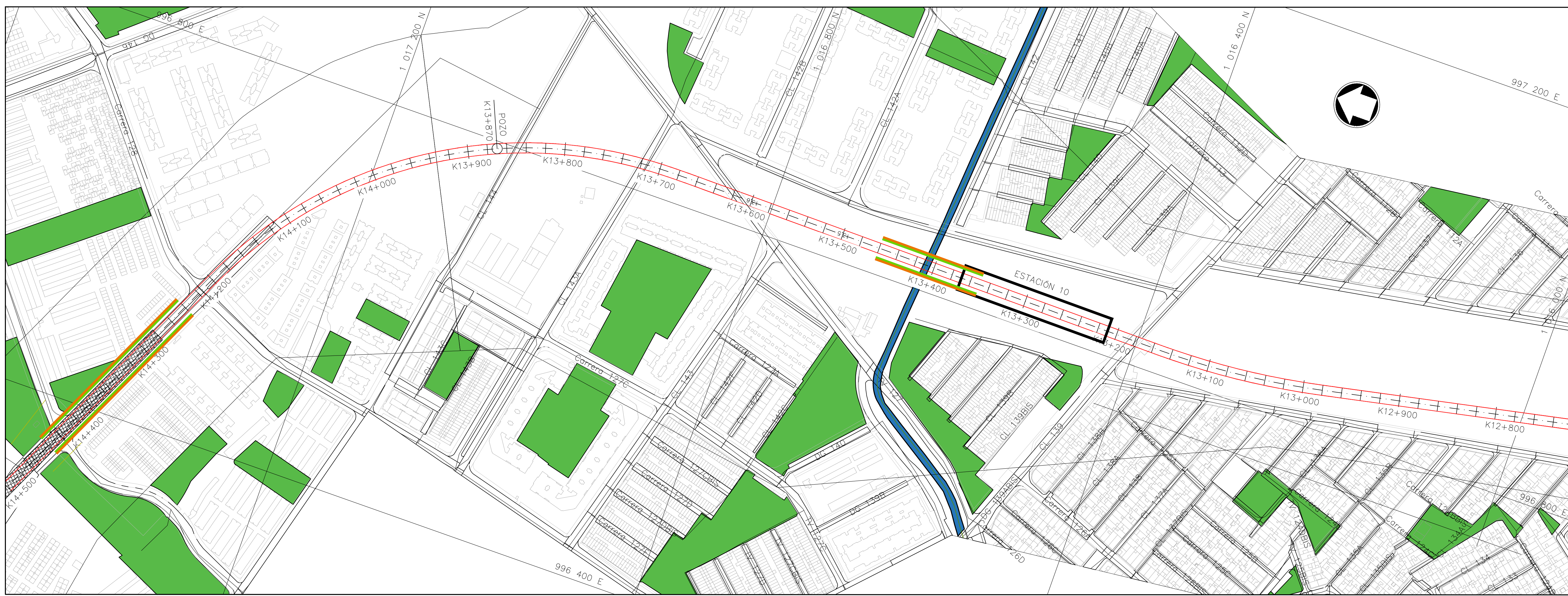
ESCALA: INDICADAS





HOJA N°: 4 DE 9



Plano No:
0559201-PG-BB-TUNE-01-0008


Doc:
NOMBRE DEL MODELO



CONVENCIONES	
	Jet Grouting.
	Taladros cortos de Inyección.
	Barrera de columna Jet Grouting.
	Barrera de pilotes de mortero.




 CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 – 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

   	03-03-2022 Versión original.	A. RICO NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA
MODIFICACIÓN			

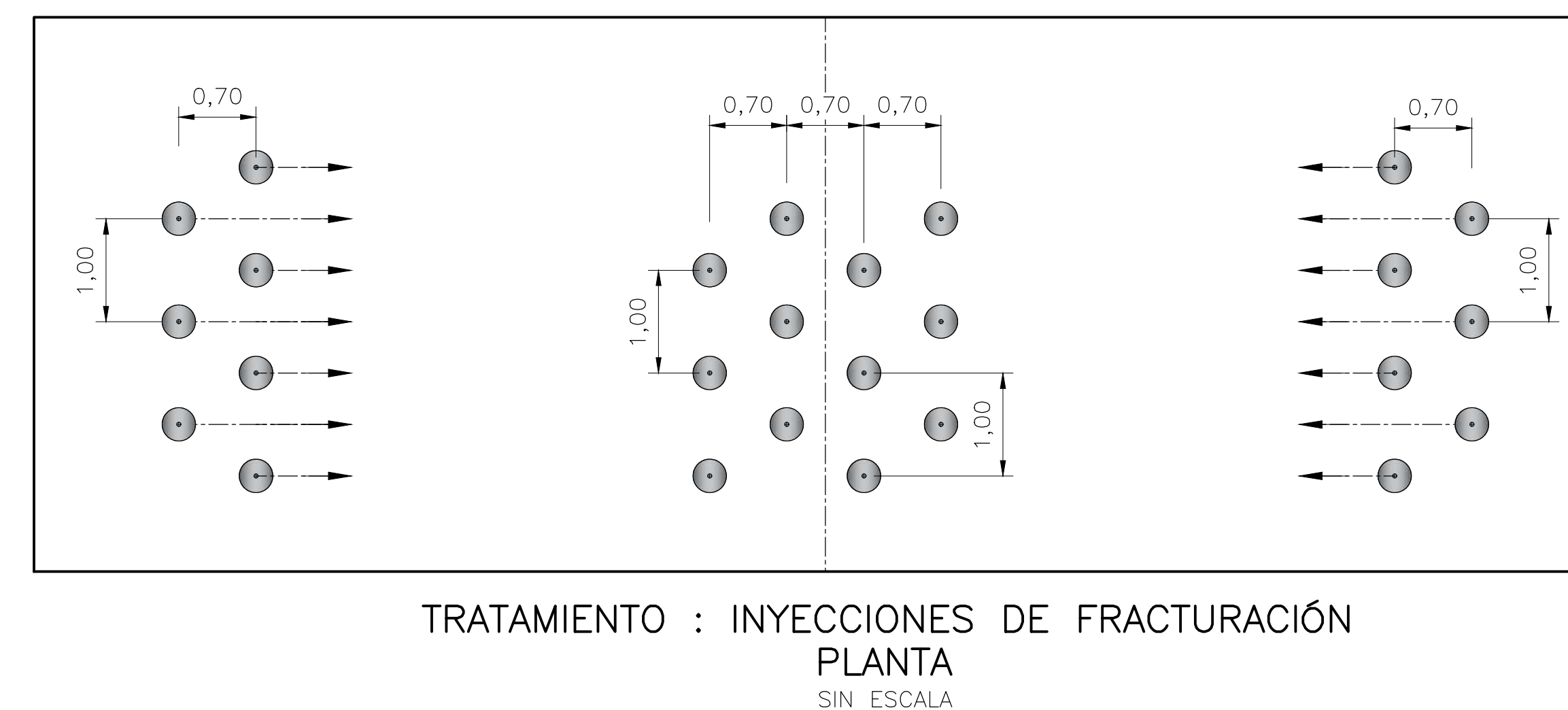
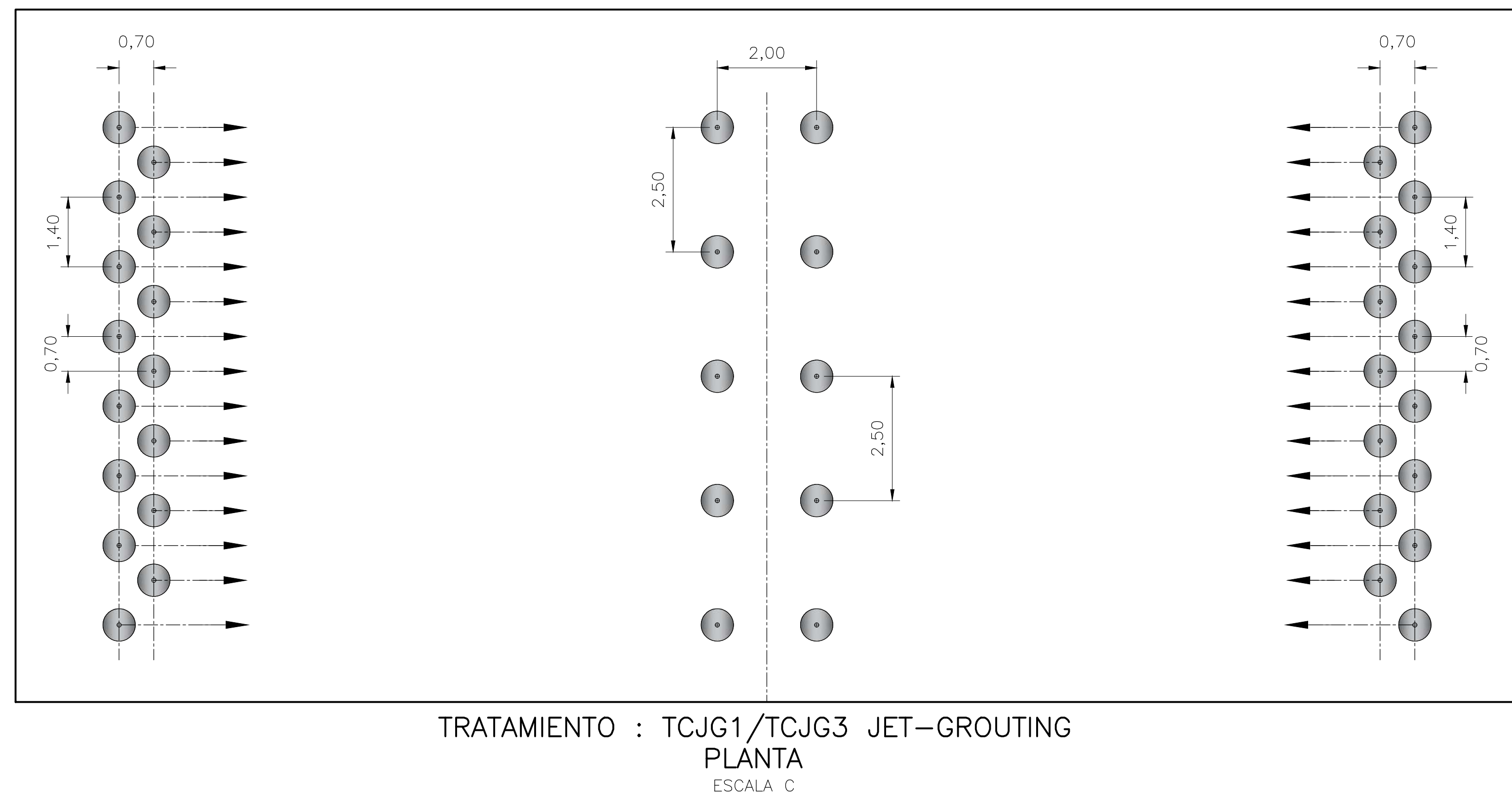
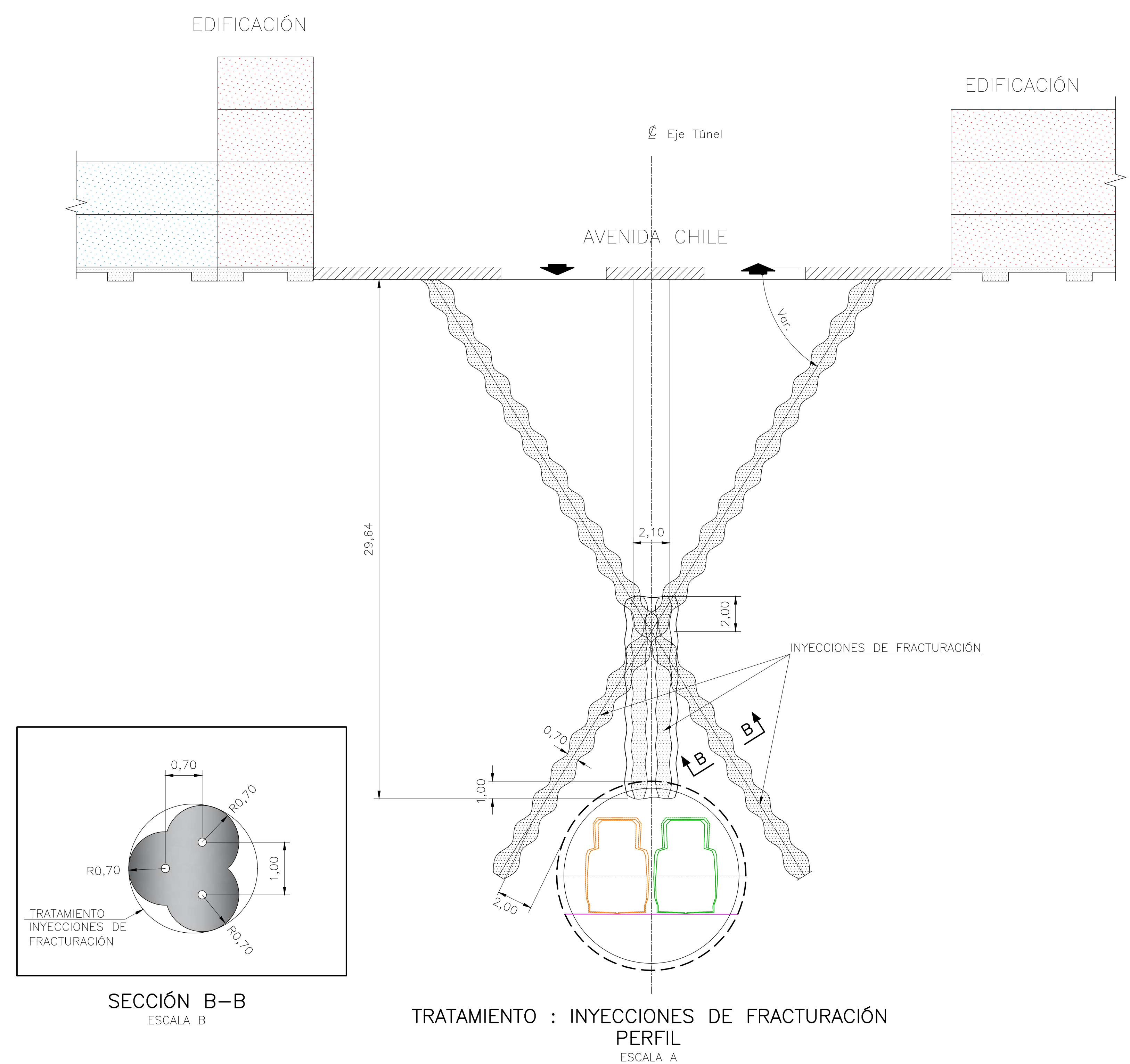
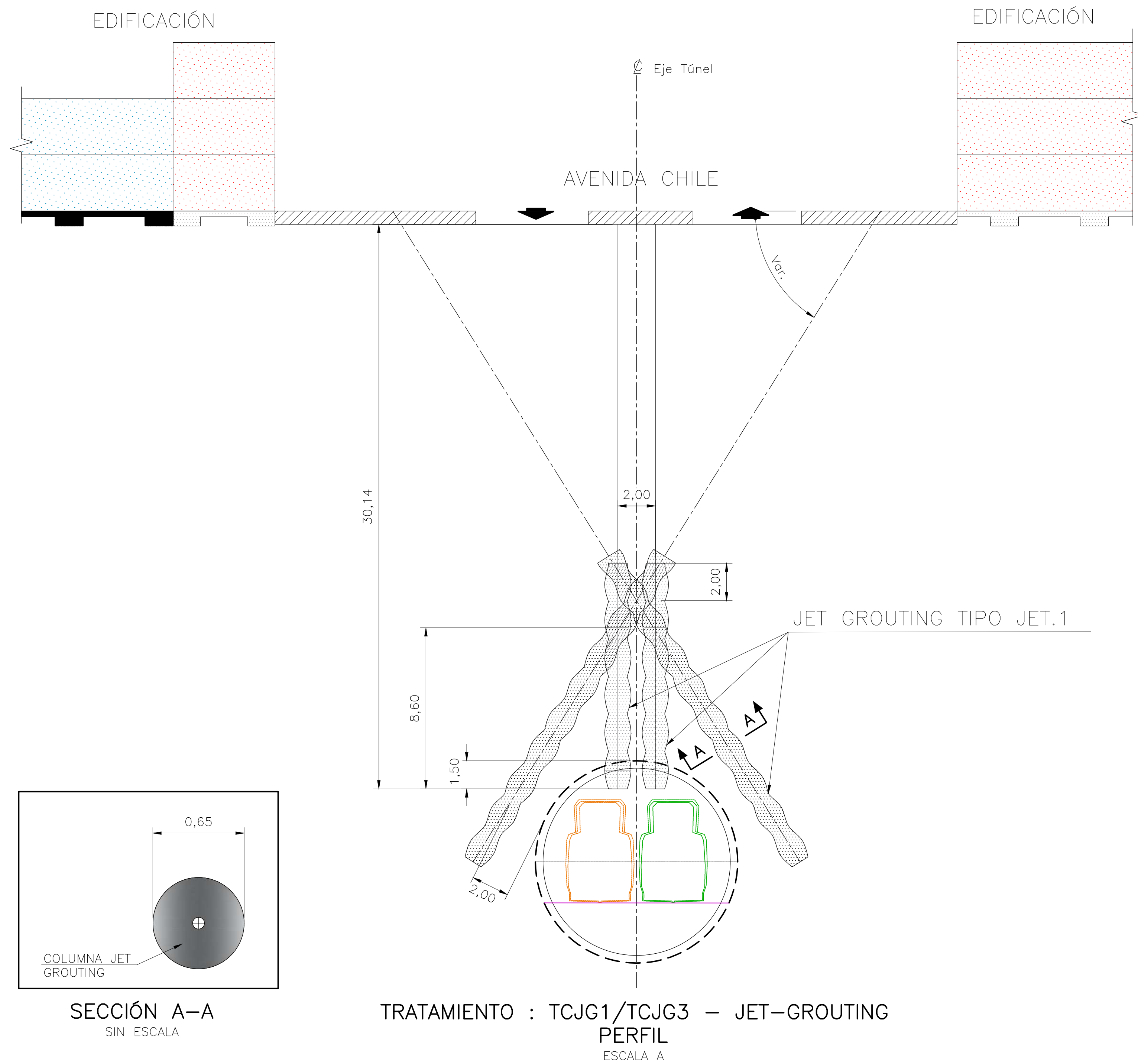
TRATAMIENTOS – K12+800 A K15+500
 ESCALA: INDICADAS
 HOJA N°: 5 DE 9

ASESORIA

 U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE
 INTERVENTORIA


 Plano No:
 0559201-PG-BB-TUNE-01-0008
 Doc:
 NOMBRE DEL MODELO

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Causa o problemática	Tratamiento A	Tratamiento B	Tratamiento C	Tratamiento D	Tratamiento E	Tratamiento F	Tratamiento G
				Col. Jet Grouting 1	Col. Jet Grouting 2	Taladros cortos de inyección	Barrera de columna de jet grouting	Barrera de pilotes de mortero	Barrera de micropilotes	Barrera de micropilotes
K14+400	K14+360	40	Baja cobertura – suelos poco competentes – mejora terreno para el sector contiguo al Pozo de Entrada.	50				50		
K13+370	K13+350	20	Cruce Canal Cafam.	20				20		
K11+920	K11+760	160	Estación Ala Sur.							
K11+440	K11+390	50	Cruce Túnel por debajo de edificaciones.							
K11+280	K11+250	30	Cruce Túnel por debajo de edificaciones.							
K11+200	K11+140	60	Cruce Túnel por debajo de edificaciones.							
K10+990	K10+940	50	Brazo humedal Juan Amarillo.							
K10+460	K10+120	340	Estación Humedal y Juan Amarillo – Edificaciones costado izquierdo – Suelos blandos.					160		
K10+120	K10+020	100	Estación Humedal y Juan Amarillo – Edificaciones costado izquierdo – Suelos blandos.					60		
K8+940	K8+920	20	Suelos blandos.							
K8+940	K8+920	20	Canal Salitre – Suelos blandos.	100		20				
K8+720	K8+690	30	Edificaciones paso túnel por debajo – Suelos blandos.					30		
K8+690	K7+940	750	Edificaciones paso túnel por debajo – Suelos blandos.				560			
K7+940	K7+660	280	Edificaciones paso túnel por debajo – Suelos blandos.	100						
K7+610	K7+580	30	Paso Avenida Calle 80					30		
K7+580	K7+100	480	Edificaciones paso túnel por debajo – Suelos blandos.							
K7+100	K6+240	860	Edificaciones paso túnel por debajo – Suelos blandos.							
K6+240	K5+320	920	Edificaciones paso túnel por debajo – Suelos blandos.							
K5+320	K5+290	30	Suelos blandos – Paso por debajo de la tubería de 72” de Tibitoc – Avenida Boyaca.	30				30		
K5+210	K4+680	530	72” de Tibitoc – Avenida Boyaca.							
K4+680	K4+300	380	Blandos.					120		
K4+100	K3+900	200	Avenida carrera 68 – Puente – Suelos blandos.				120	240		
K3+900	K3+100	800	Suelos blandos.	20			340			
K3+120	K2+800	320	Suelos blandos.				320			
K2+800	K2+500	300	Blandos.							
K2+500	K2+450	50	Zona Canal Arzobispo – Suelos blandos.	80		40				
K2+450	K2+400	50	Zona Canal Arzobispo – Suelos blandos.							
K2+400	K2+220	180	Suelos blandos.							
K2+220	K2+100	120	Suelos blandos.							
K2+220	K2+100	120	Avenida NQS – Suelos blandos – Canal.	120		60				
K2+100	K1+590	510	Suelos blandos.							
K1+590	K0+760	830	Suelos blandos.							
K0+760	K0+600	160	Estación 1 – Edificación – Suelos blandos.							
K0+760	K0+600	160	Estación 1 – Edificación – Suelos blandos.							
K0+600	K0+500	100	Deprimido Abajo Avenida Caracas.	100				200		
K0+500	K0+460	40	Deprimido doble – Artiba Avenida Caracas.	160				320		
K0+460	K0+300	160	Avenida Calle 72 – Edificaciones altas costados derecho e izquierda.	160				320		
K0+300	K0+000	300	Pozo de Salida – Edificaciones altas costados derecho e izquierda.	300				600		
				1240	0	120	1340	2180	0	0



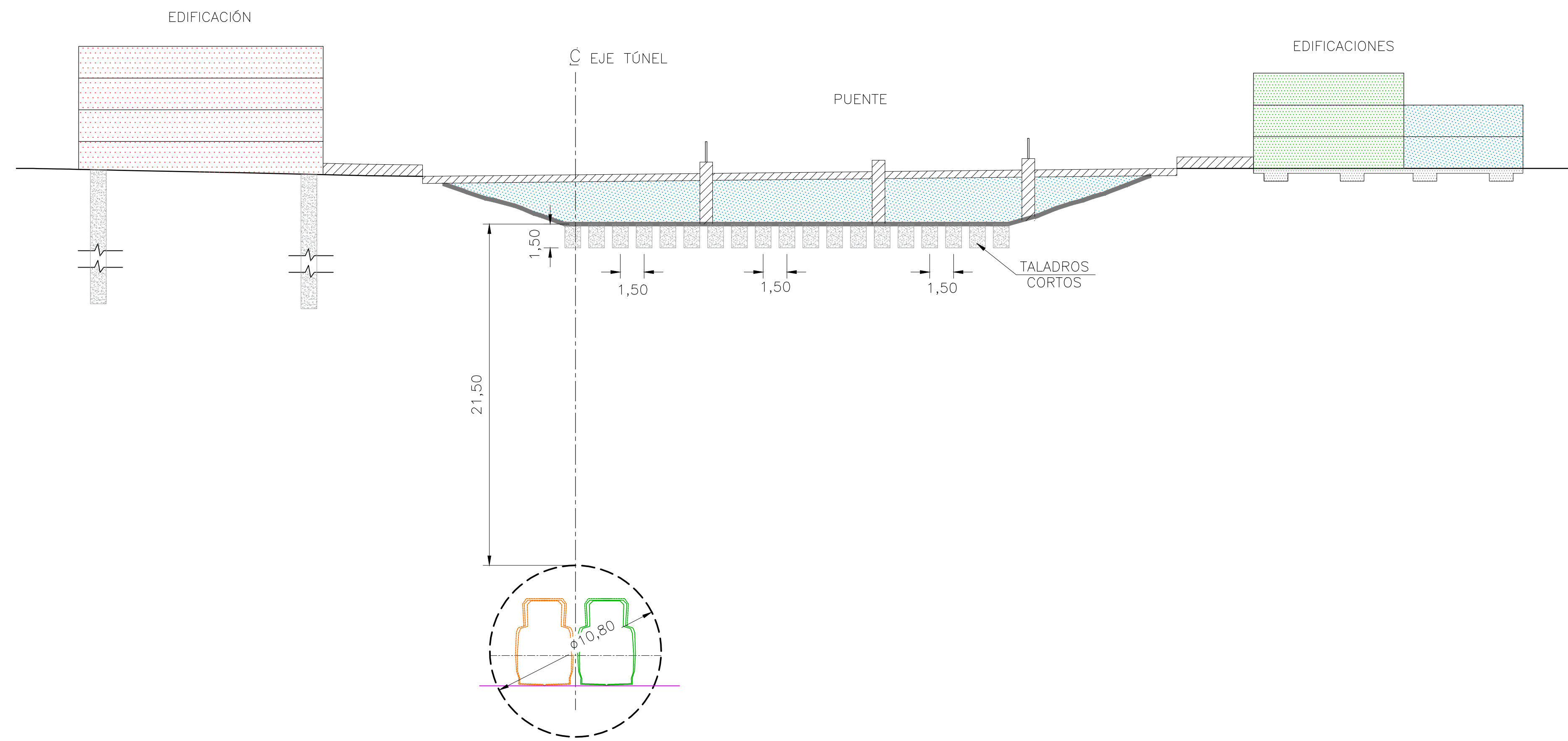
NOTAS

1. Las dimensiones mostradas están en metros, las elevaciones en msnm, excepto otra indicación.

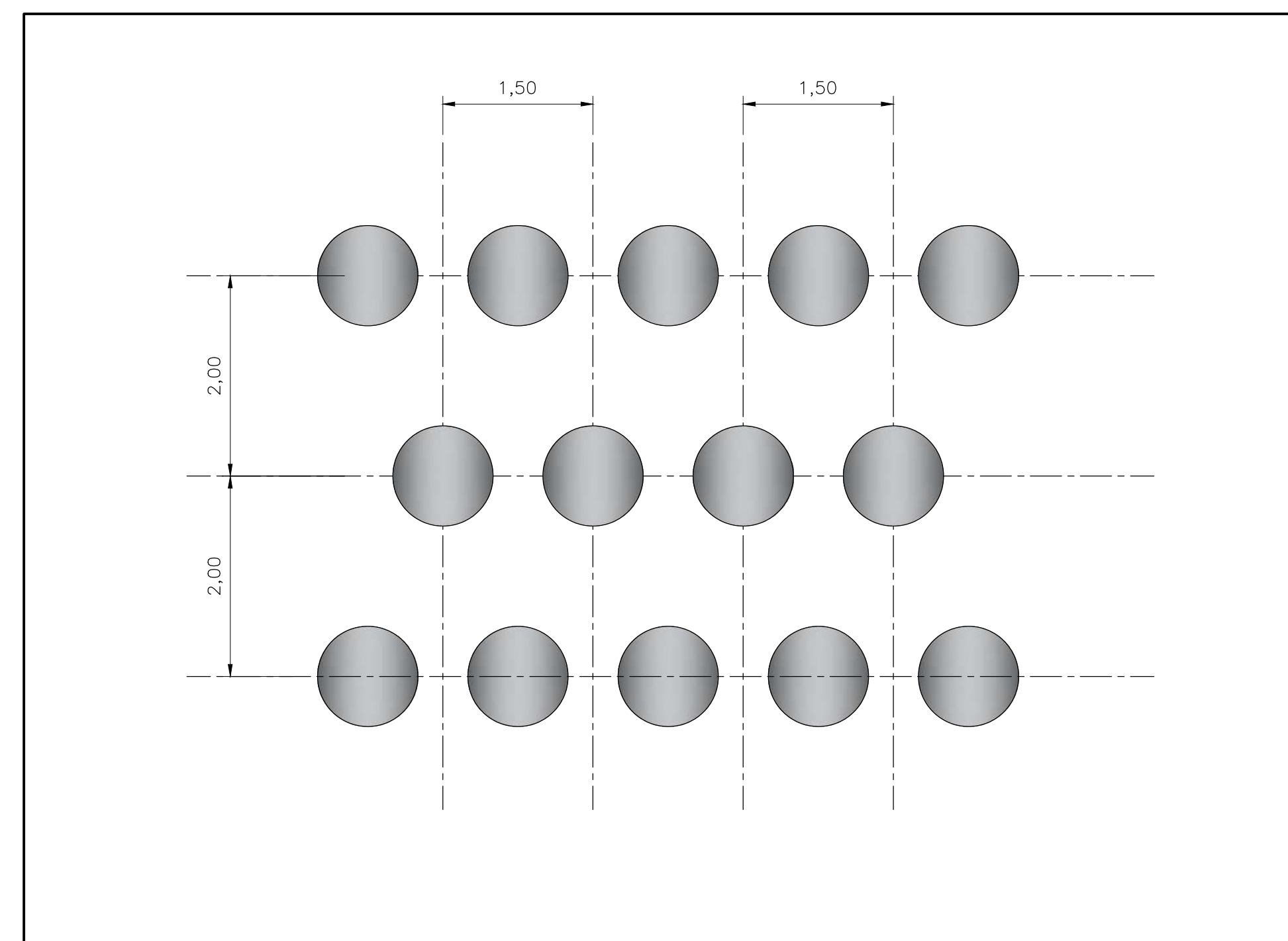
0 3,0 6,0 9,0 12 15 m
ESCALA A 1:150

0 1,0 2,0 3,0 4,0 5,0 m
ESCALA B 1:50

0 1,5 3,0 4,5 6,0 7,5 m
ESCALA C 1:75



TRATAMIENTO : TIPO TIM. TALADROS CORTOS DE INYECCIÓN DE MORTERO
 PERFIL
 ESCALA A



SEPARACIÓN DE TALADROS CORTOS DE INYECCIÓN DE MORTERO
 PLANTA
 ESCALA B

NOTAS

1. Las dimensiones mostradas están en metros, las elevaciones en msnm, excepto otra indicación.



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

△					
△					
△					
△	03/03/2022	Versión original	A. RICO		
		MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA	

TRATAMIENTO - PLANTA Y PERFIL

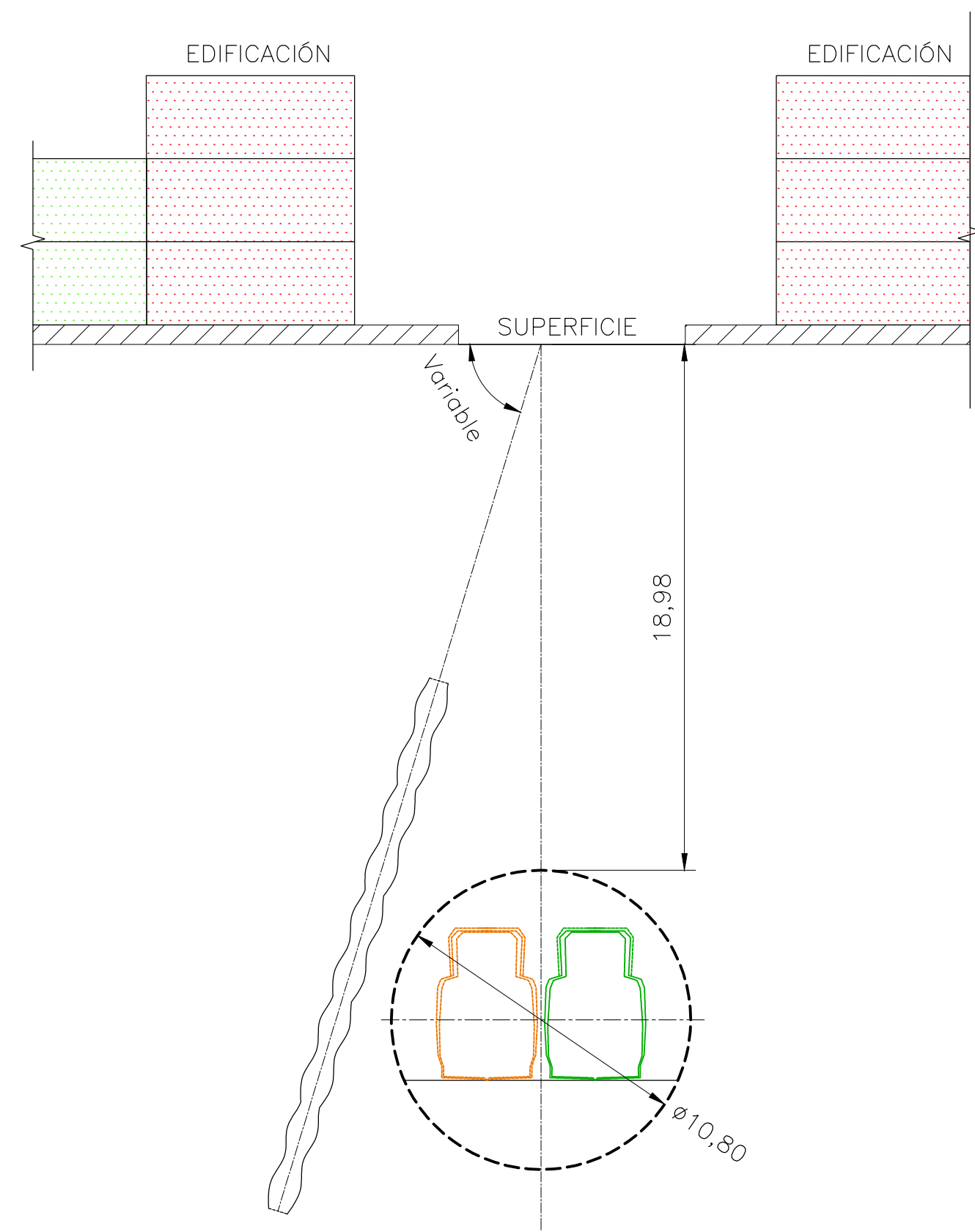
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 8 DE 9

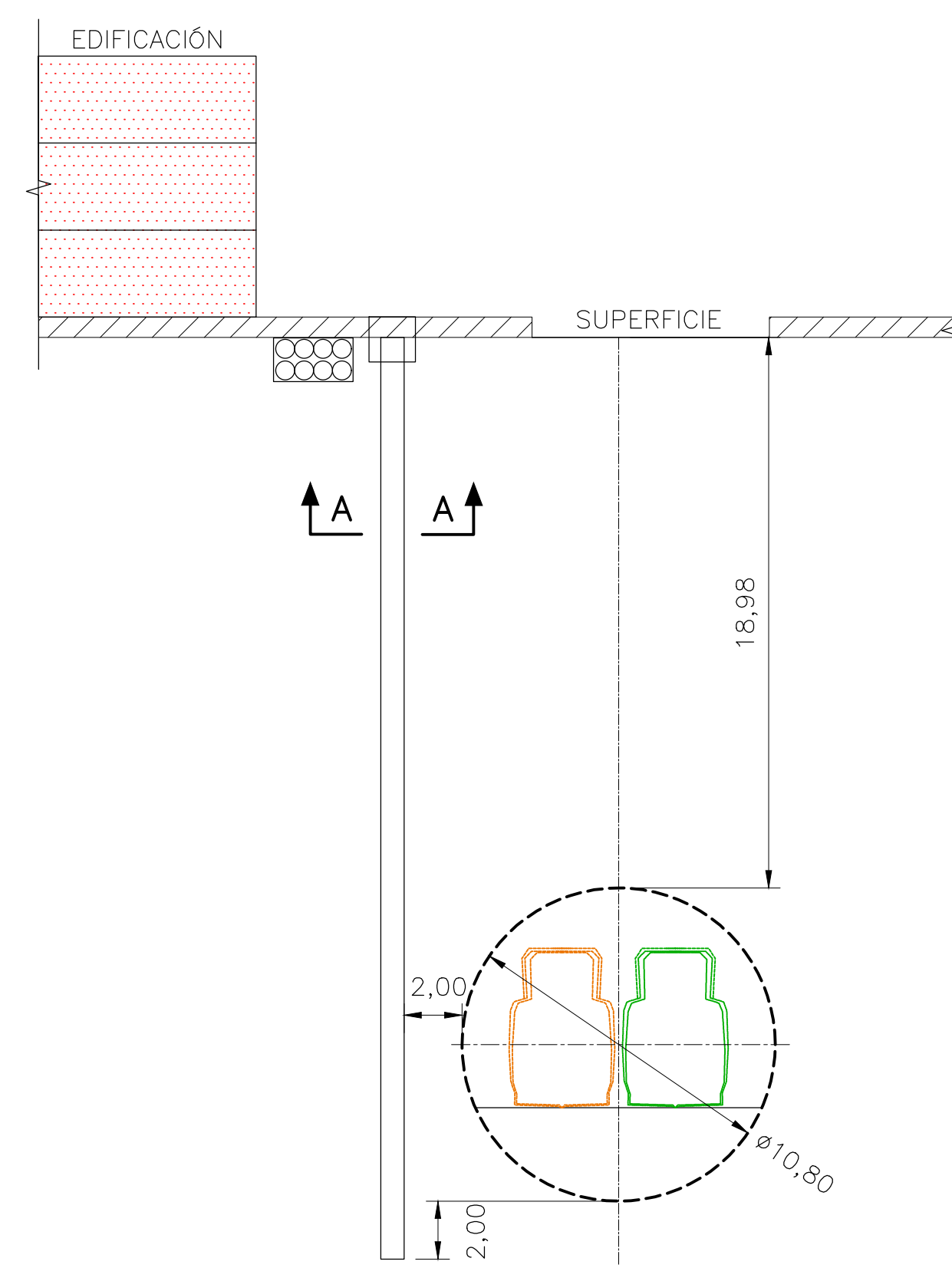


Plano No:
0559201-PG-BB-TUNE-03-0008

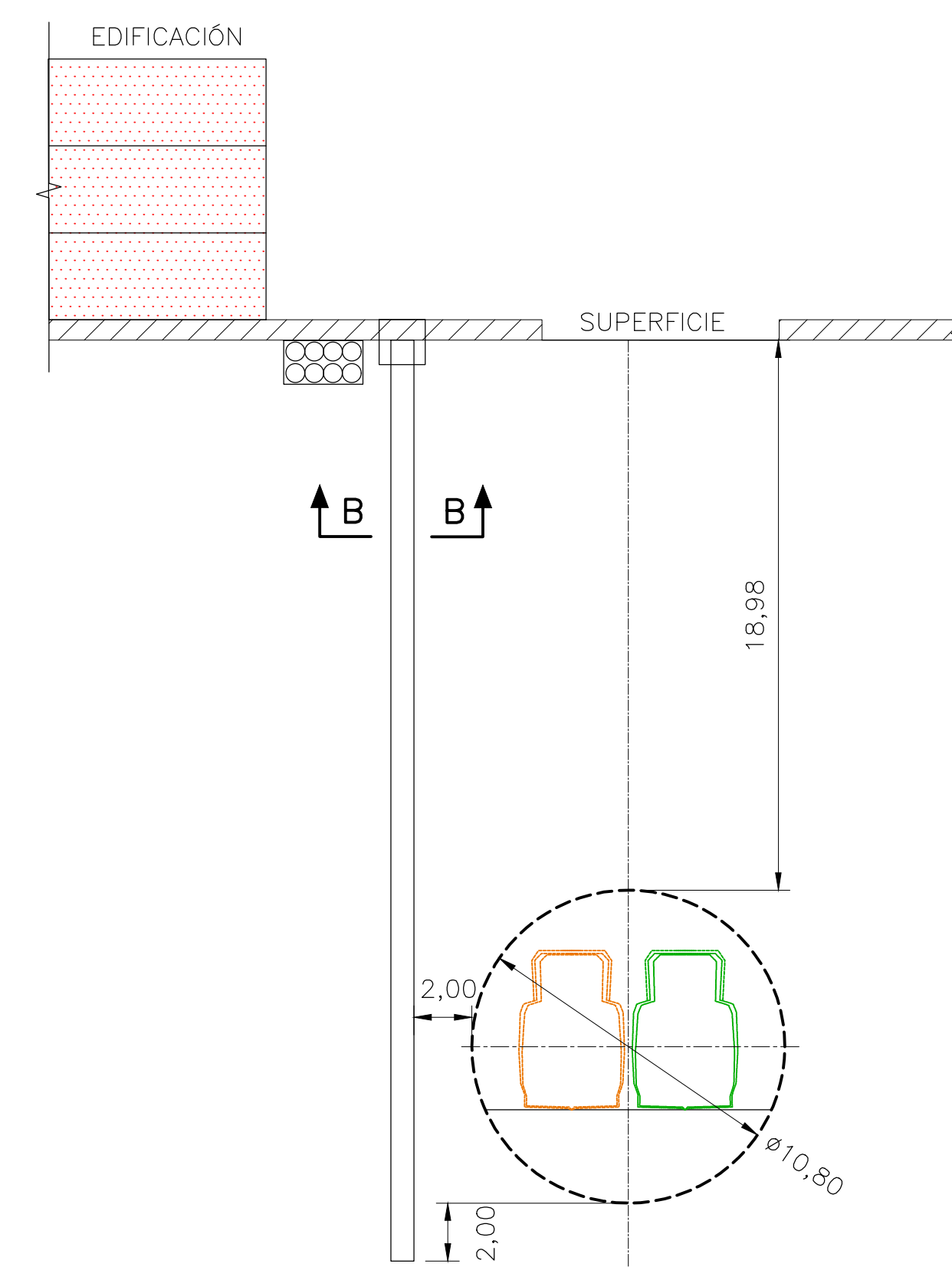
Doc:
NOMBRE DEL MODELO



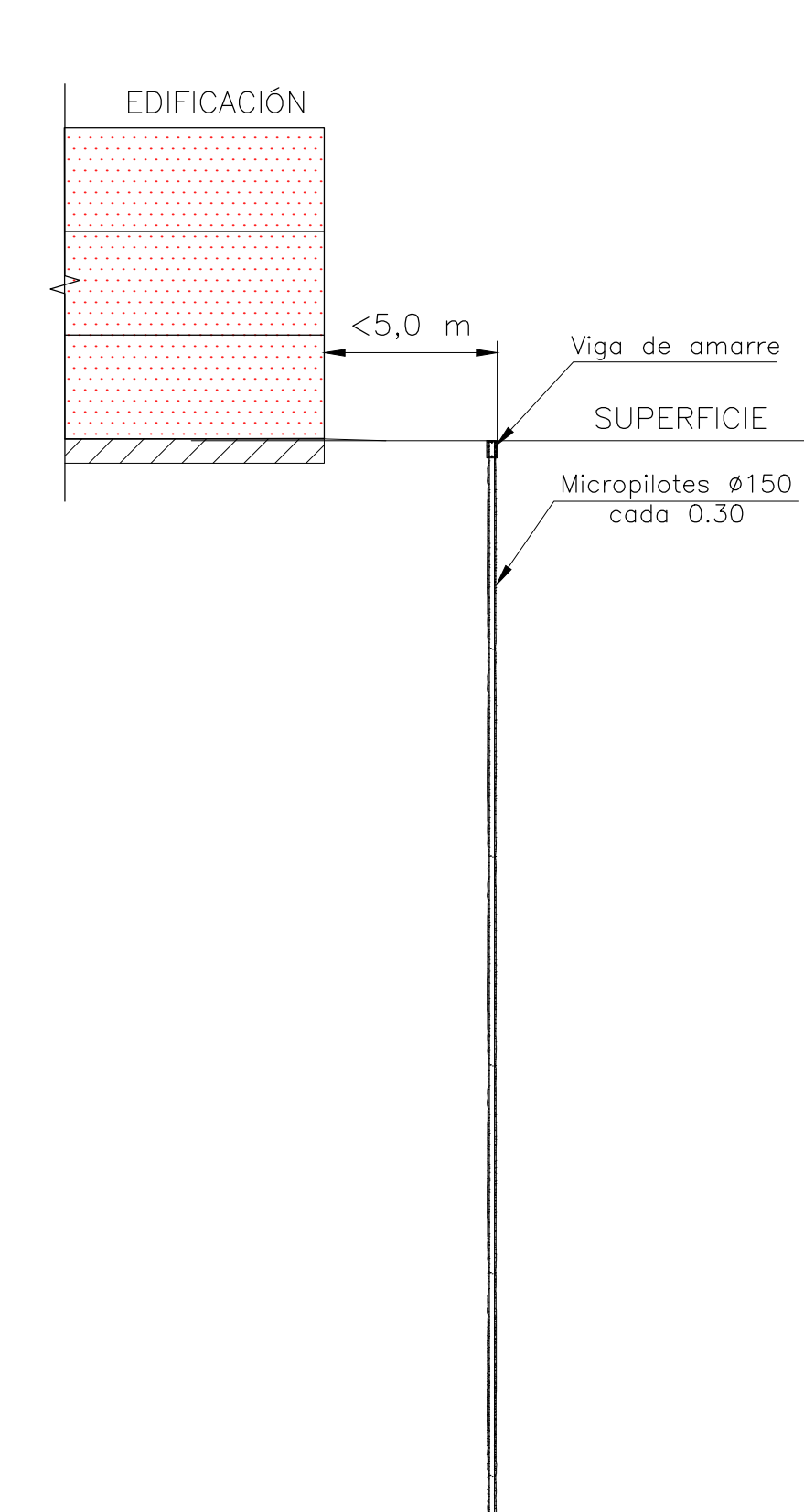
TRATAMIENTO
BARRERAS DE COLUMNAS JET-GROUTING
PERFIL
ESCALA A



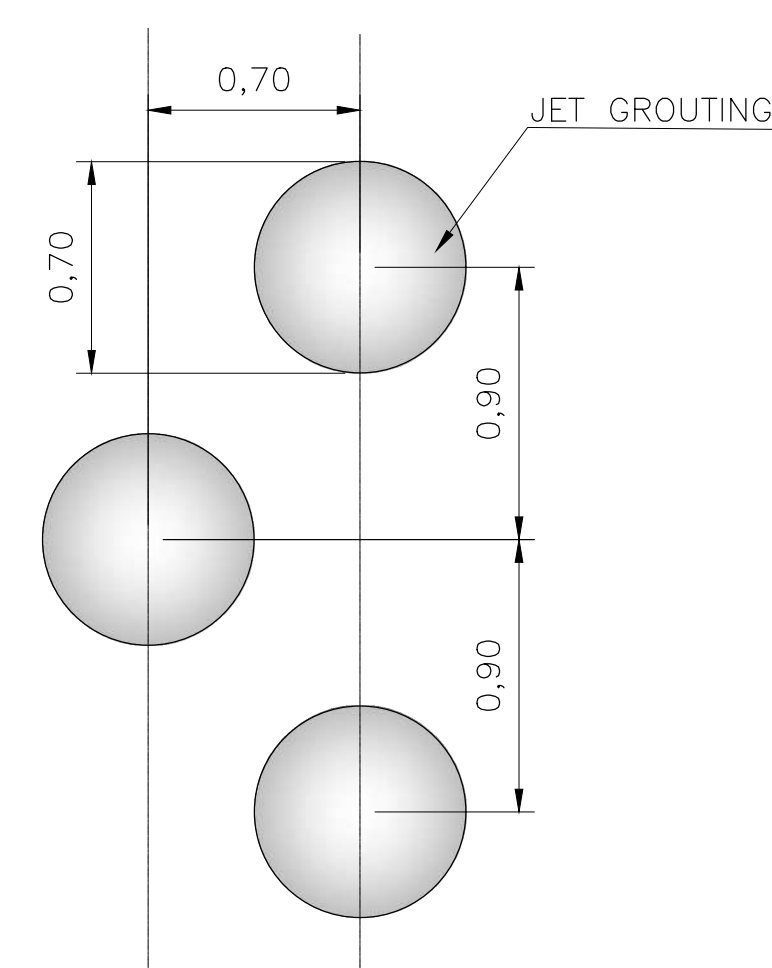
TRATAMIENTO
BARRERAS DE PILOTES DE MORTERO
PERFIL
ESCALA A



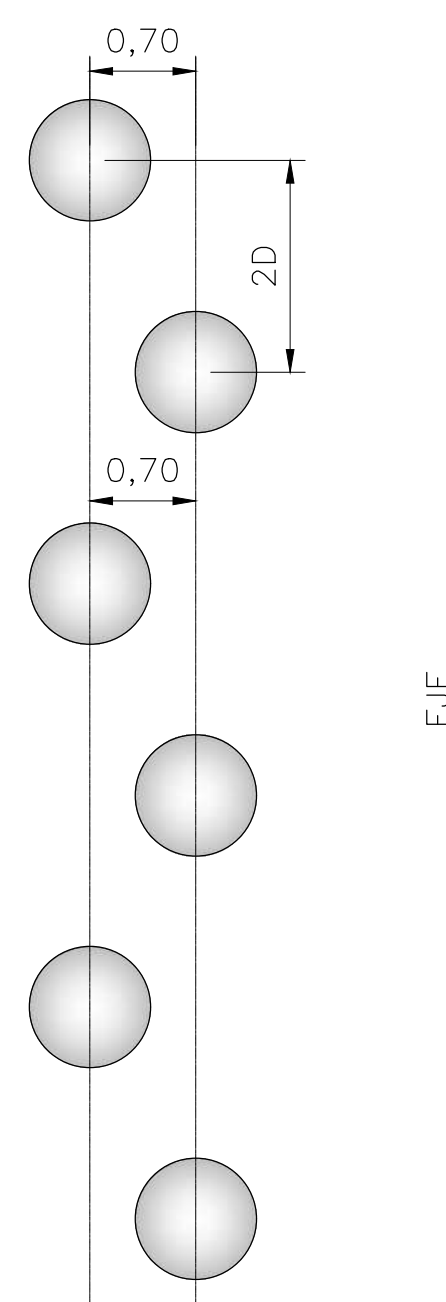
TRATAMIENTO
BARRERA DE MICROPILOTES
PERFIL
ESCALA A



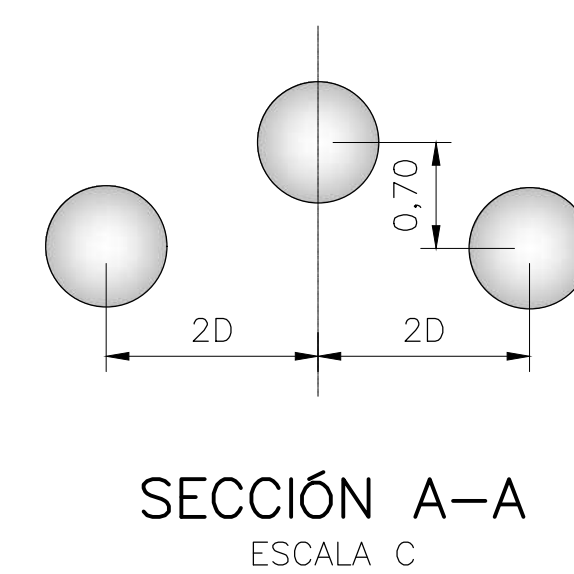
TRATAMIENTO
BARRERA DE MICROPILOTES
PERFIL
ESCALA A



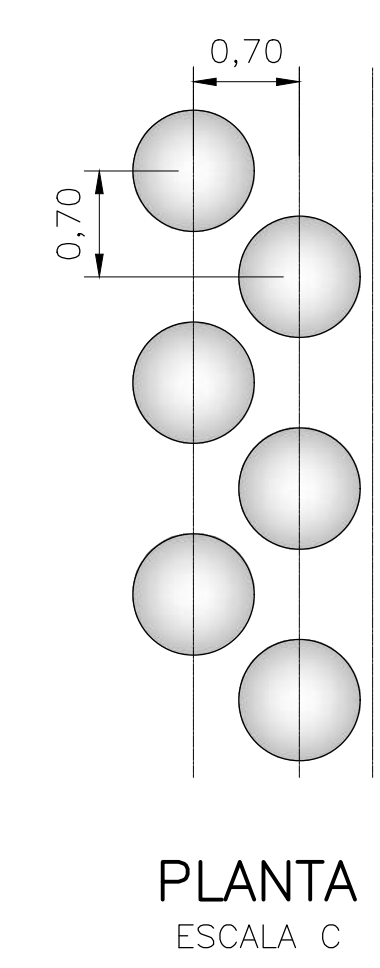
PLANTA
ESCALA B



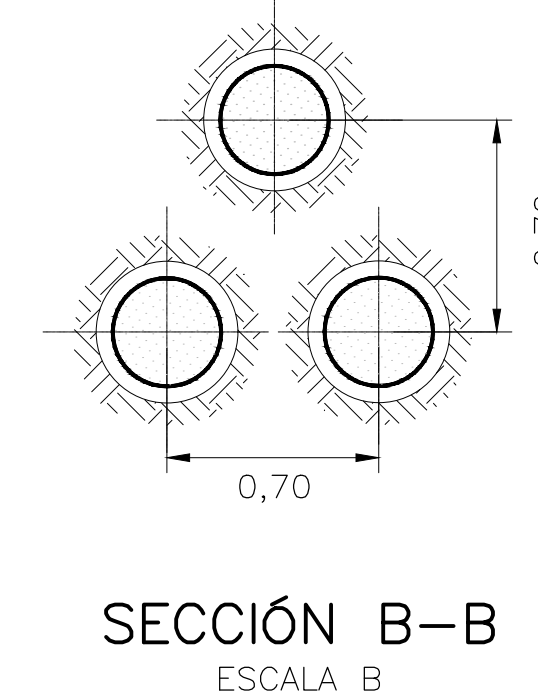
PLANTA
ESCALA C



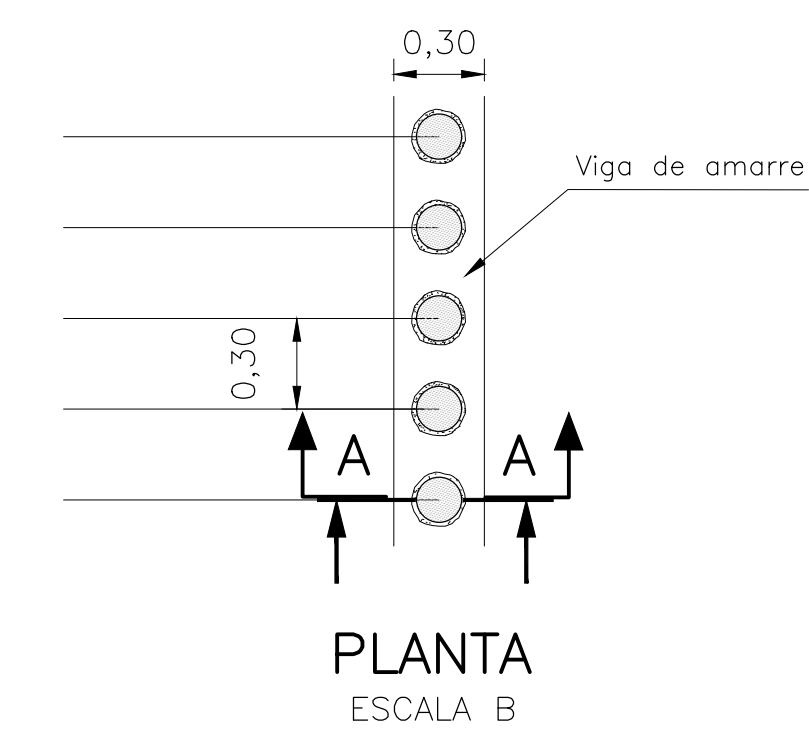
SECCIÓN A-A
ESCALA C



PLANTA
ESCALA C



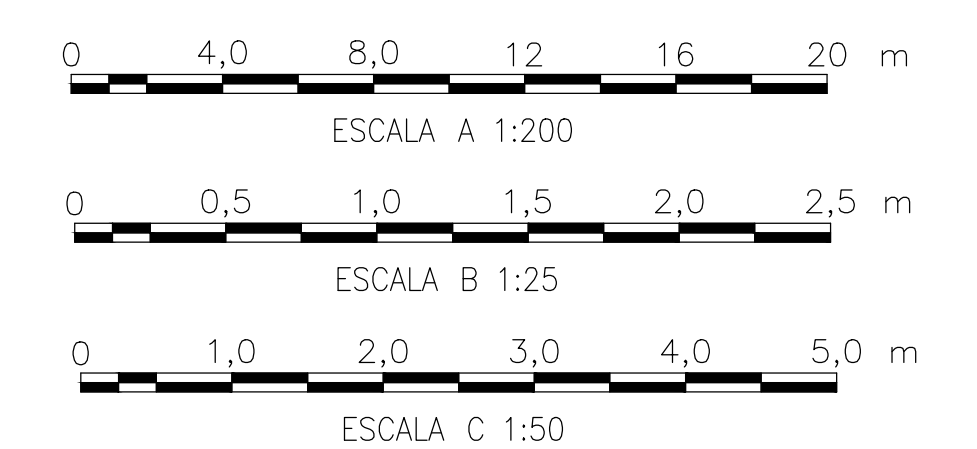
SECCIÓN B-B
ESCALA B



PLANTA
ESCALA B

NOTAS

1. Las dimensiones mostradas están en metros, las elevaciones en msnm, excepto otra indicación.



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

△					
△					
△					
△	03/03/2022	Versión original	A. RICO		
		MODIFICACIÓN	NOMBRE ING. RESPONSABLE	FIRMA	

TRATAMIENTO - PLANTAS, PERFILES Y SECCIONES

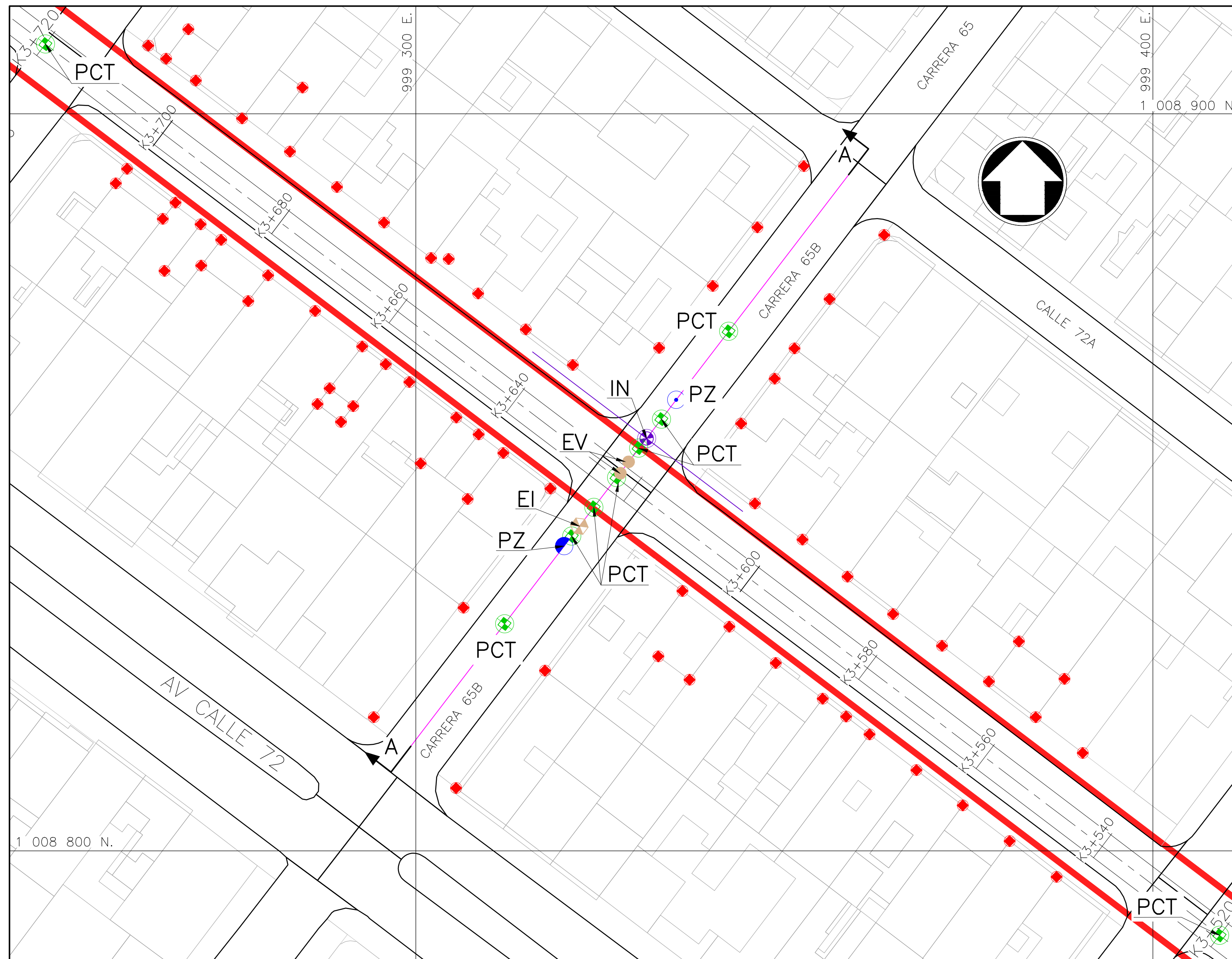
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 9 DE 9

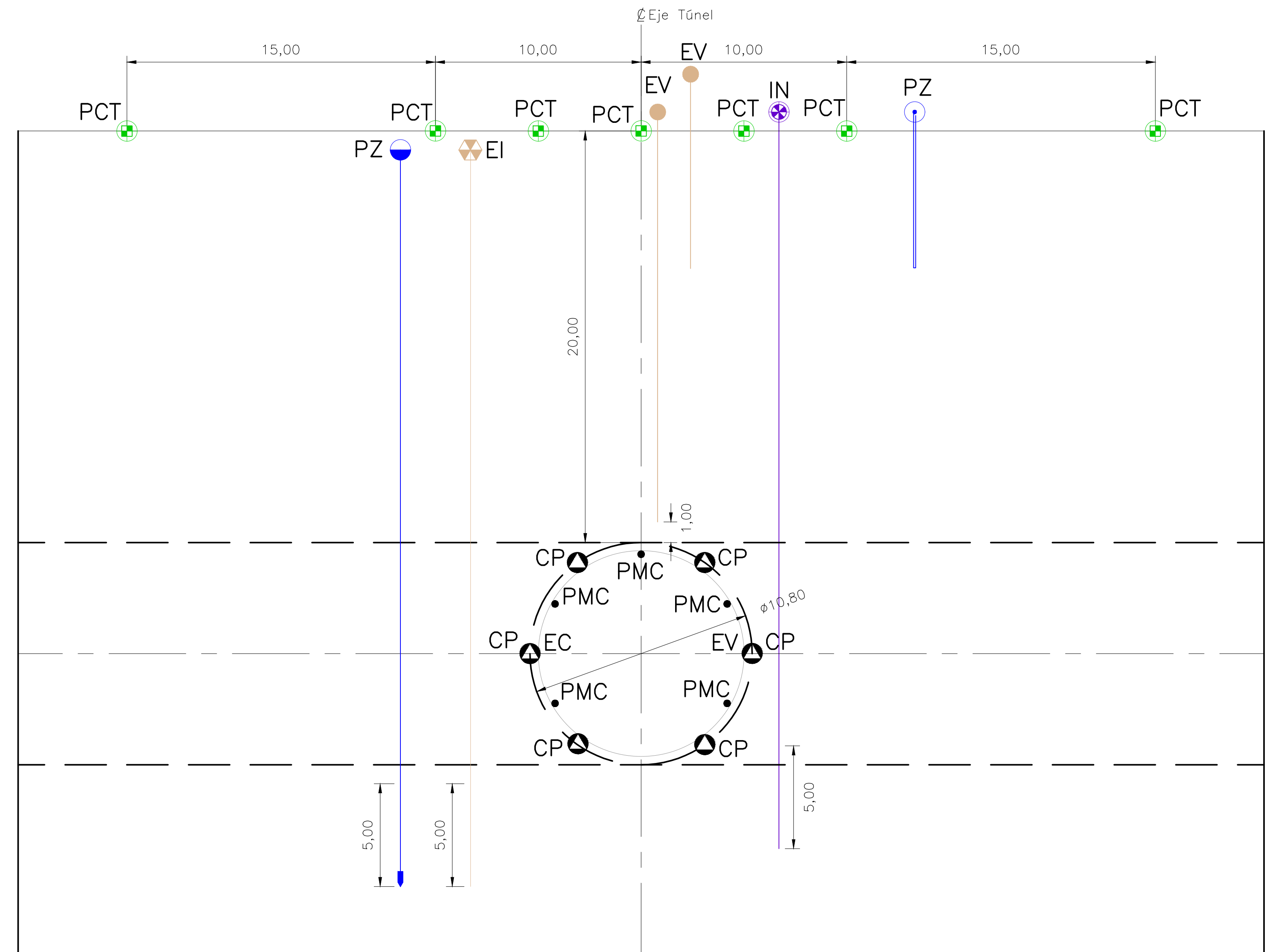


Plano No:
0559201-PG-BB-TUNE-03-0008

Doc:
NOMBRE DEL MODELO



PLANTA TÚNEL TÍPICO
ESCALA A



INSTRUMENTACIÓN
SECCIÓN TÍPICO
ESCALA B

INSTRUMENTO	CANTIDAD	Longitud (m)
EV	3	9 y 20
PZ	1	7,5
PZ	1	36,0
EI	1	36,0
IN	1	36,0
PCT	7	-
PMC	5	-
CP	6	-
EC	1	-
RE	50	-

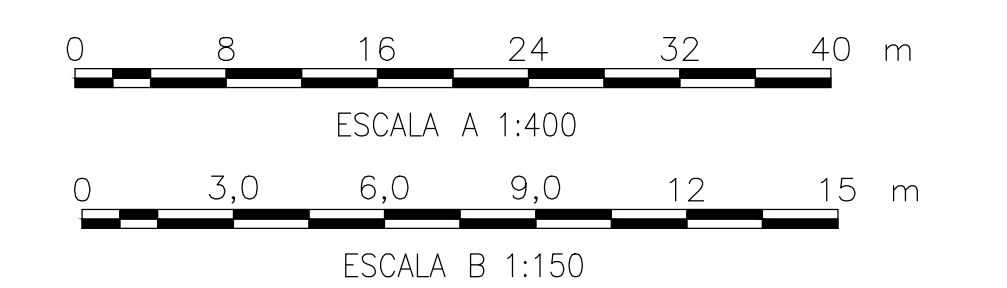
(1) Cantidad de instrumentos en sección tipo.
(2) Sección tipo a lo largo del trazado cada 100,0 m.

NOTAS

1. Las dimensiones mostradas están en metros, las elevaciones en msnm, excepto otra indicación.

CONVENCIONES

- EV Extensómetro de varilla
- PZ Piezómetro de tubo abierto
- PZ Piezómetro de hilo vibratil
- EI Extensómetro incremental
- IN Inclínometro
- PCT Punto de control topográfico
- PMC Punto de medición de convergencia
- CP Celda de presión
- Electroniveles
- EC Extensómetro de cuerda vibrante
- RE Regleta de nivelación en edificios



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

03/03/2022	Versión original	A. RICO	
	MODIFICACIÓN	NOMBRE INGENIERO RESPONSABLE	FIRMA

TÚNEL TÍPICO - INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA - PLANTA Y SECCIÓN

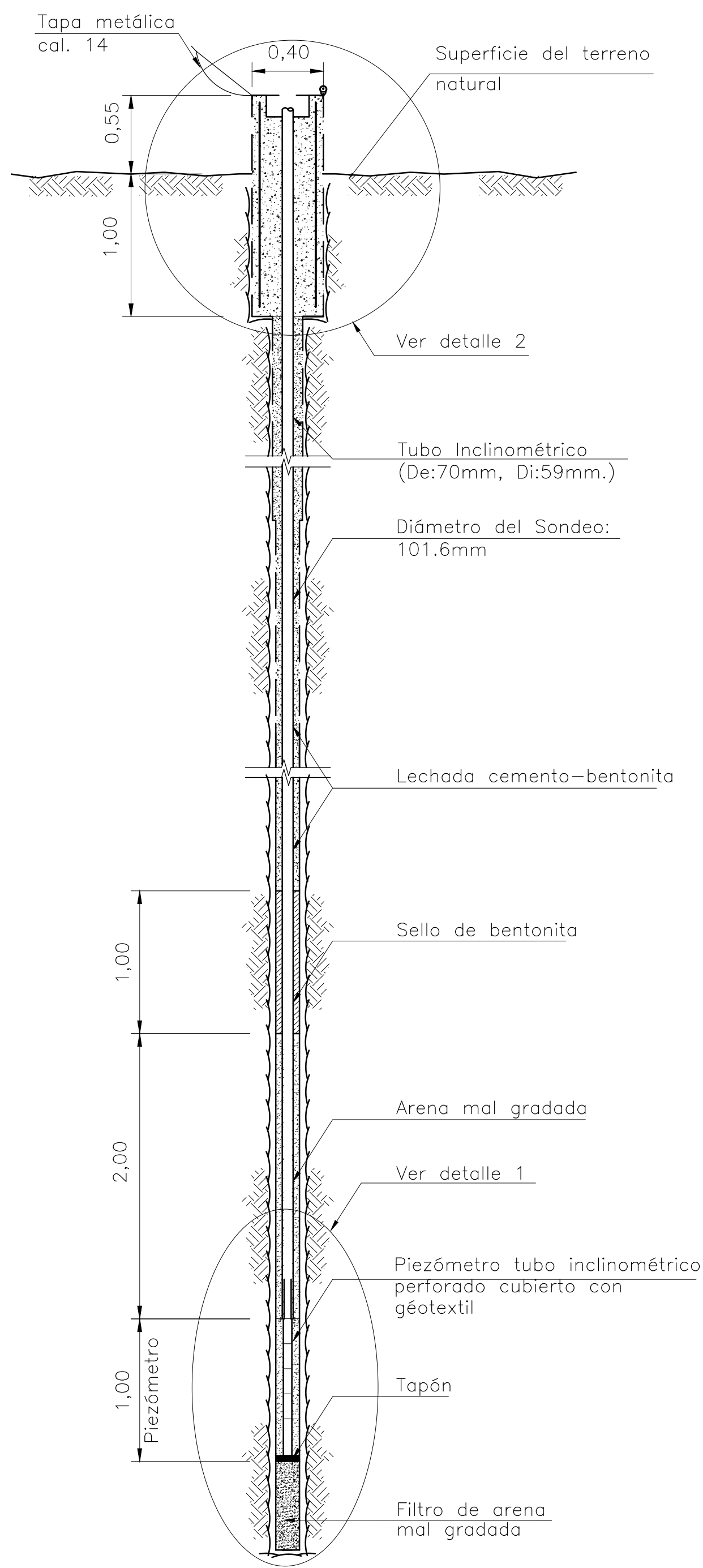
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 2

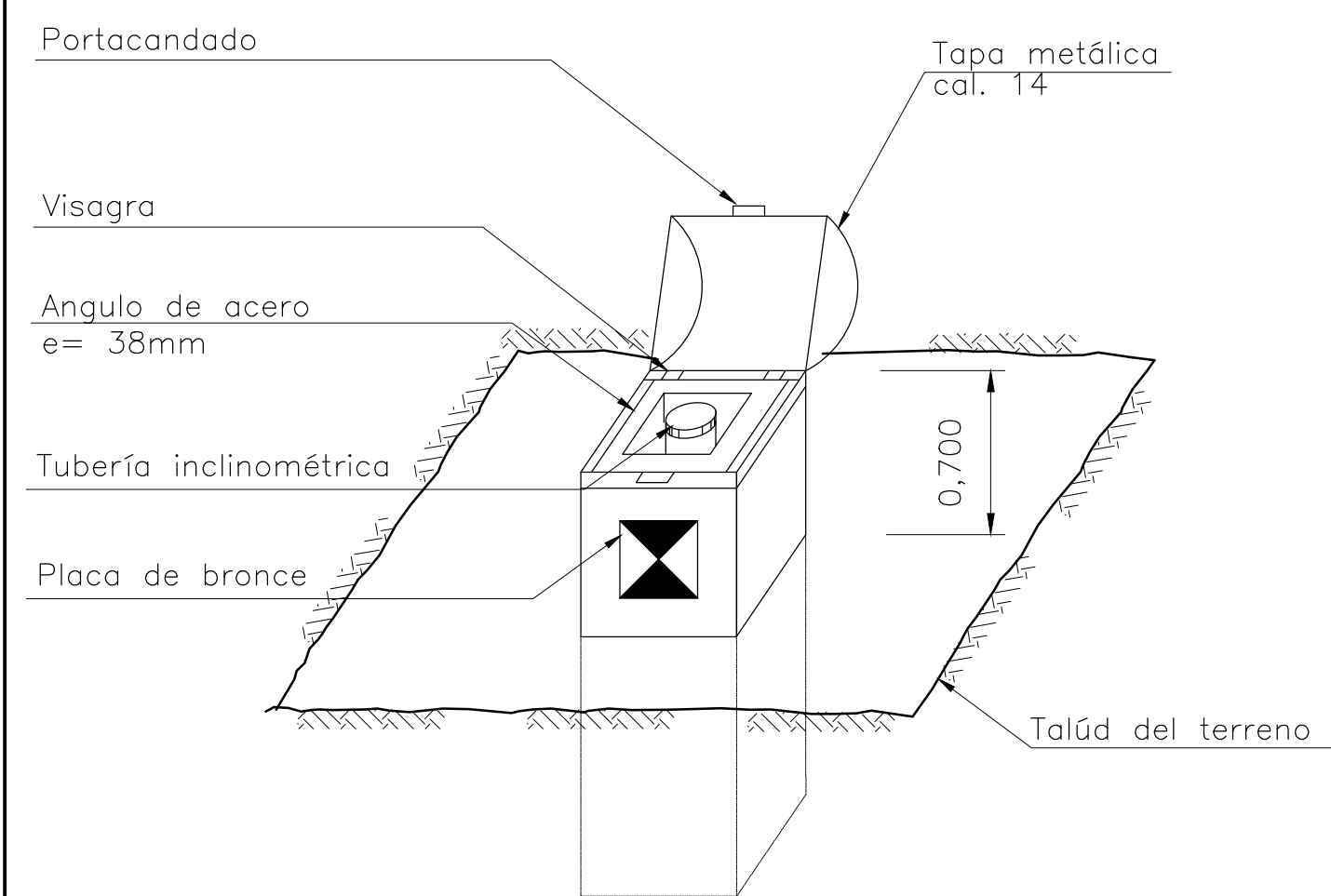


Plano No: 0559201-PG-BB-TUNE-03-0009

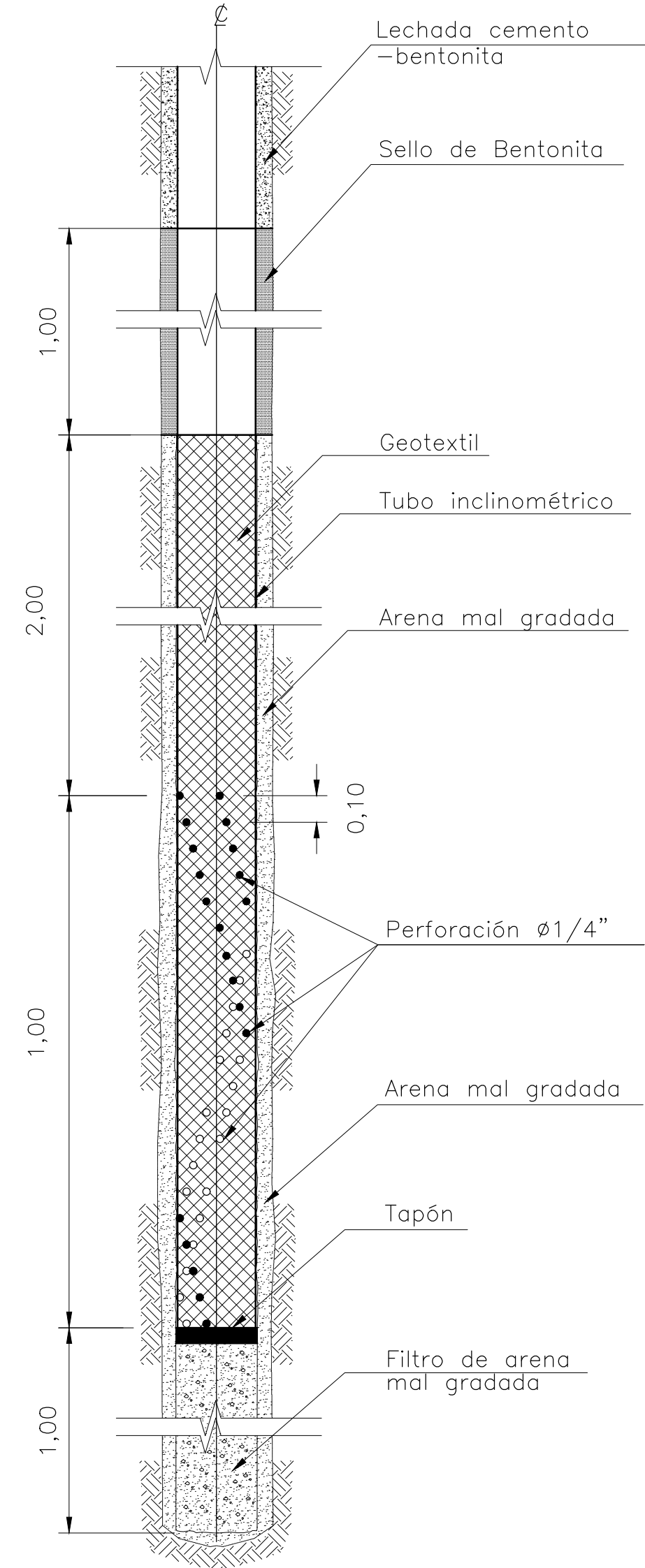
Doc: NOMBRE DEL MODELO



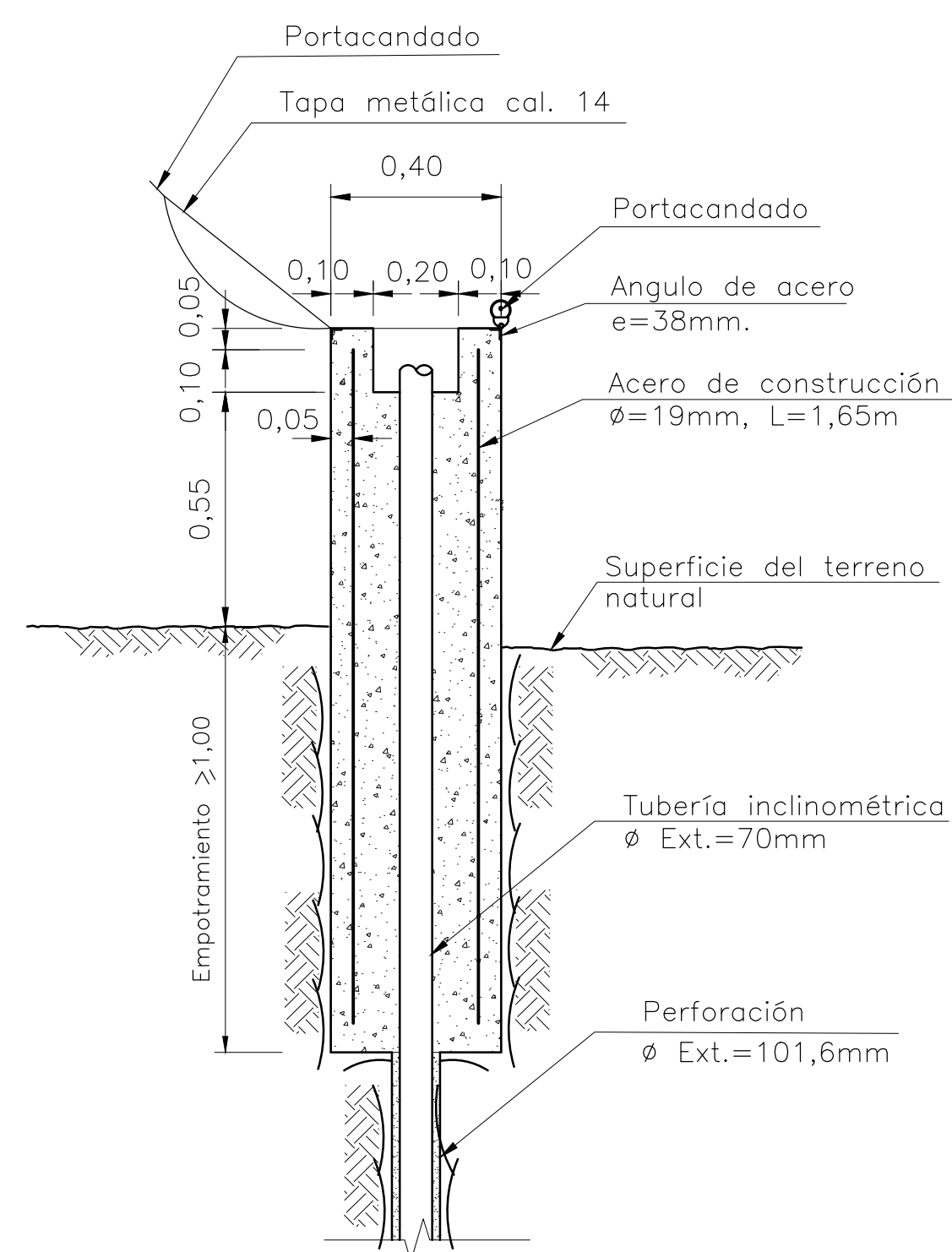
TUBO INCLINOMÉTRICO
ESCALA A



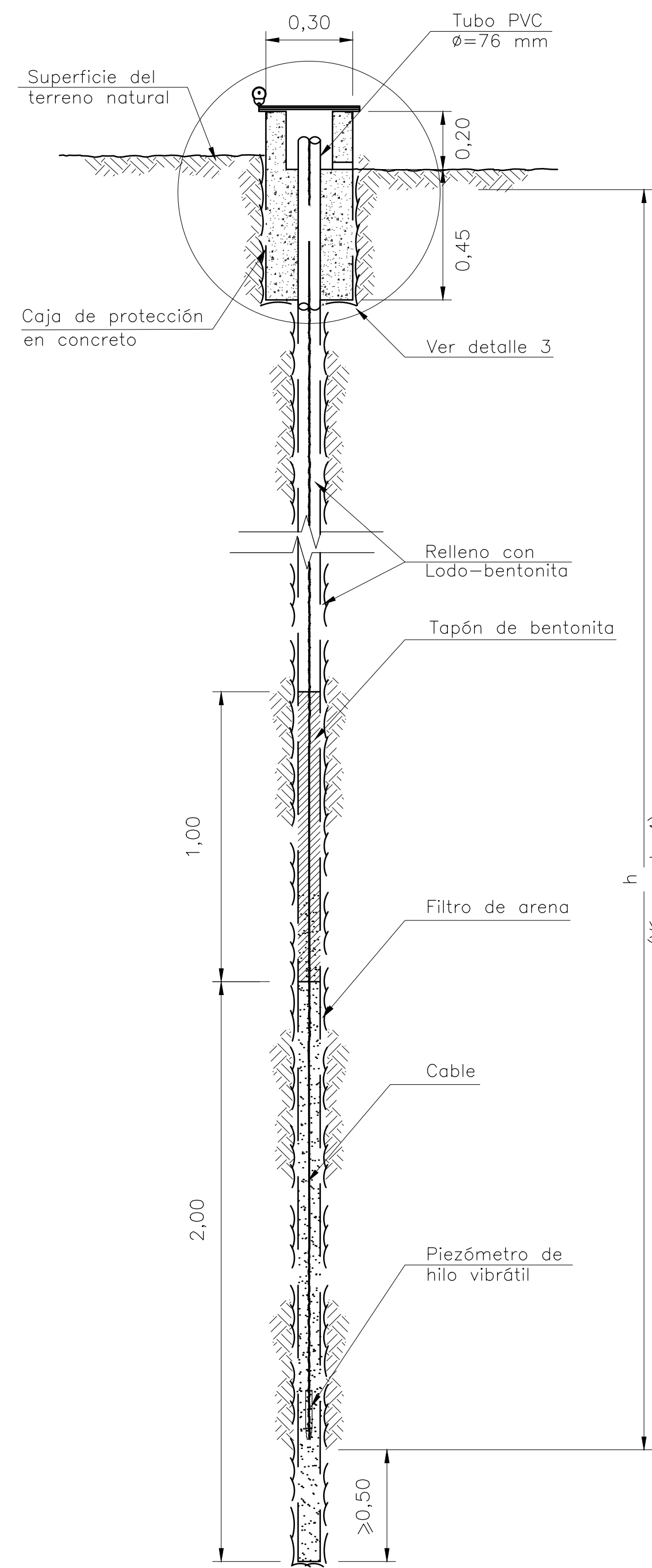
ISOMÉTRICO
SIN ESCALA



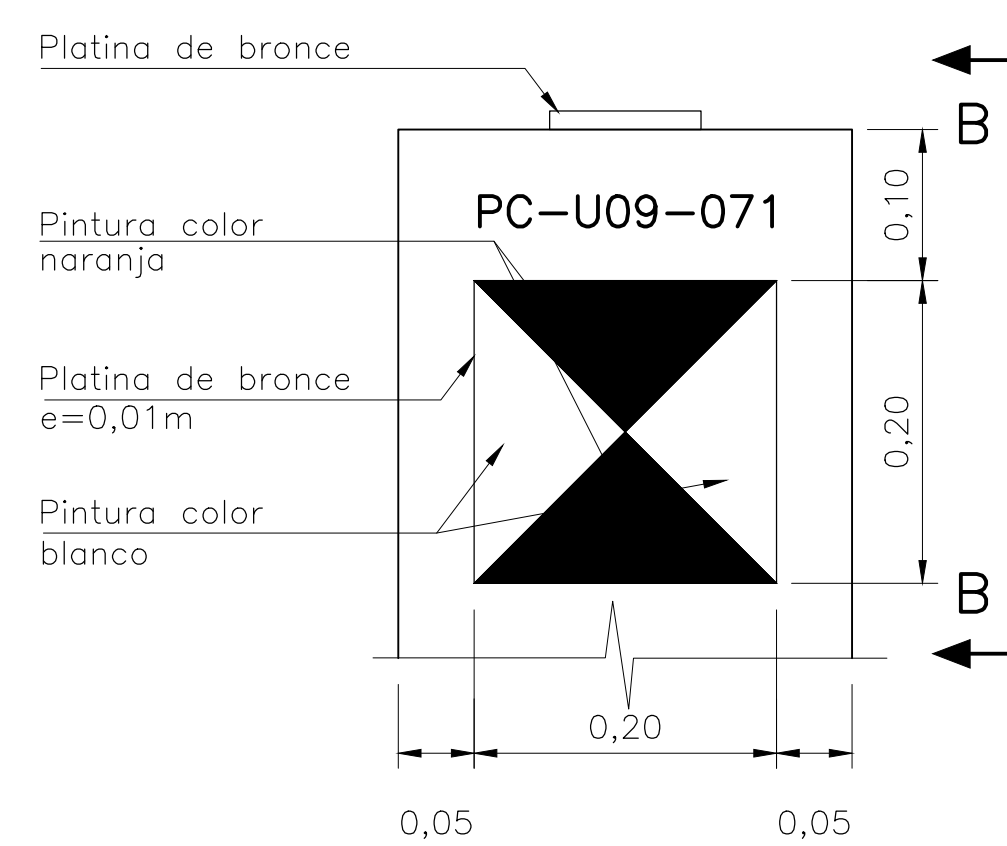
DETALLE 1
ESCALA B



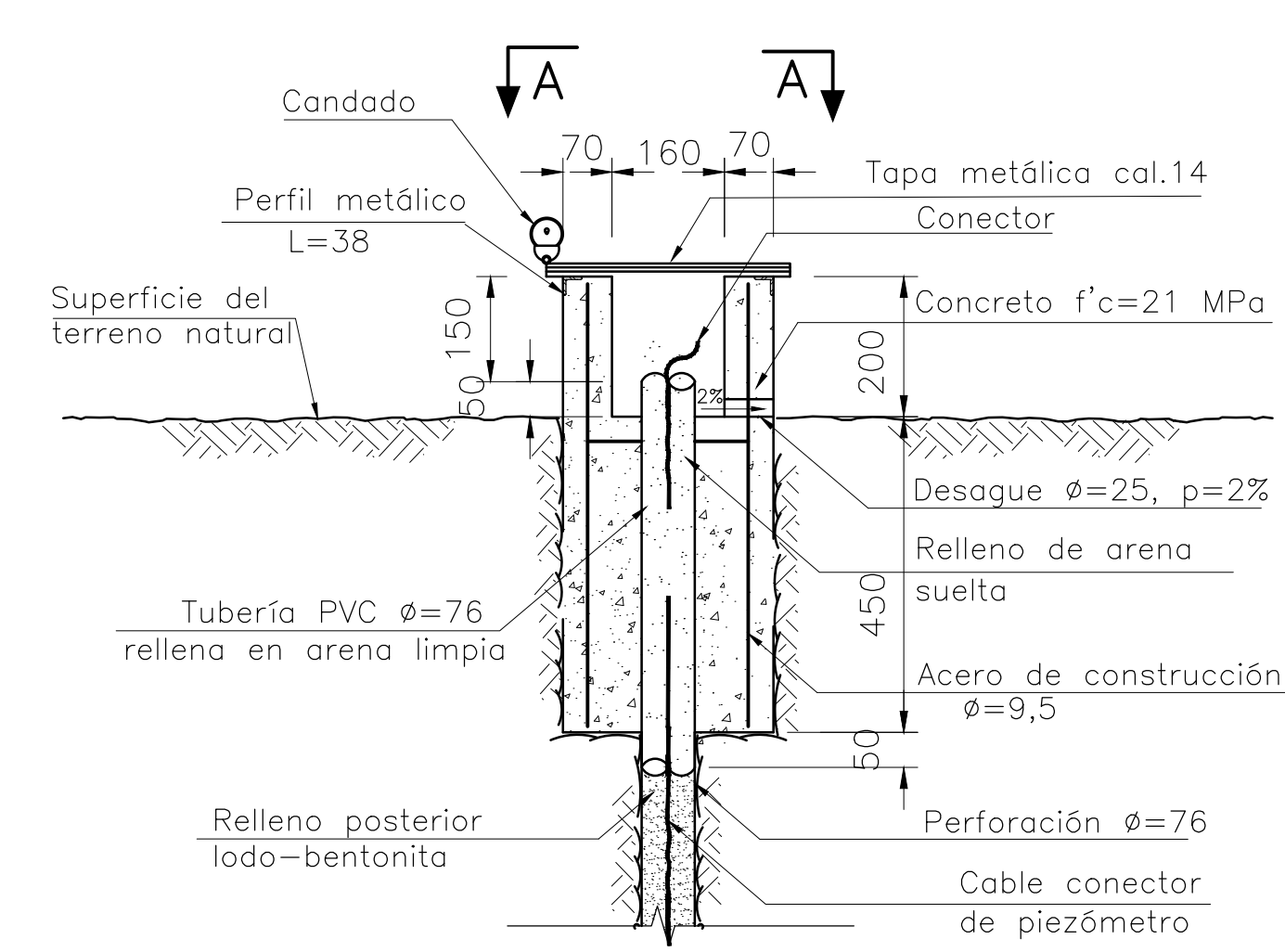
DETALLE 2
ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN PARA
INCLINÓMETROS
ESCALA B



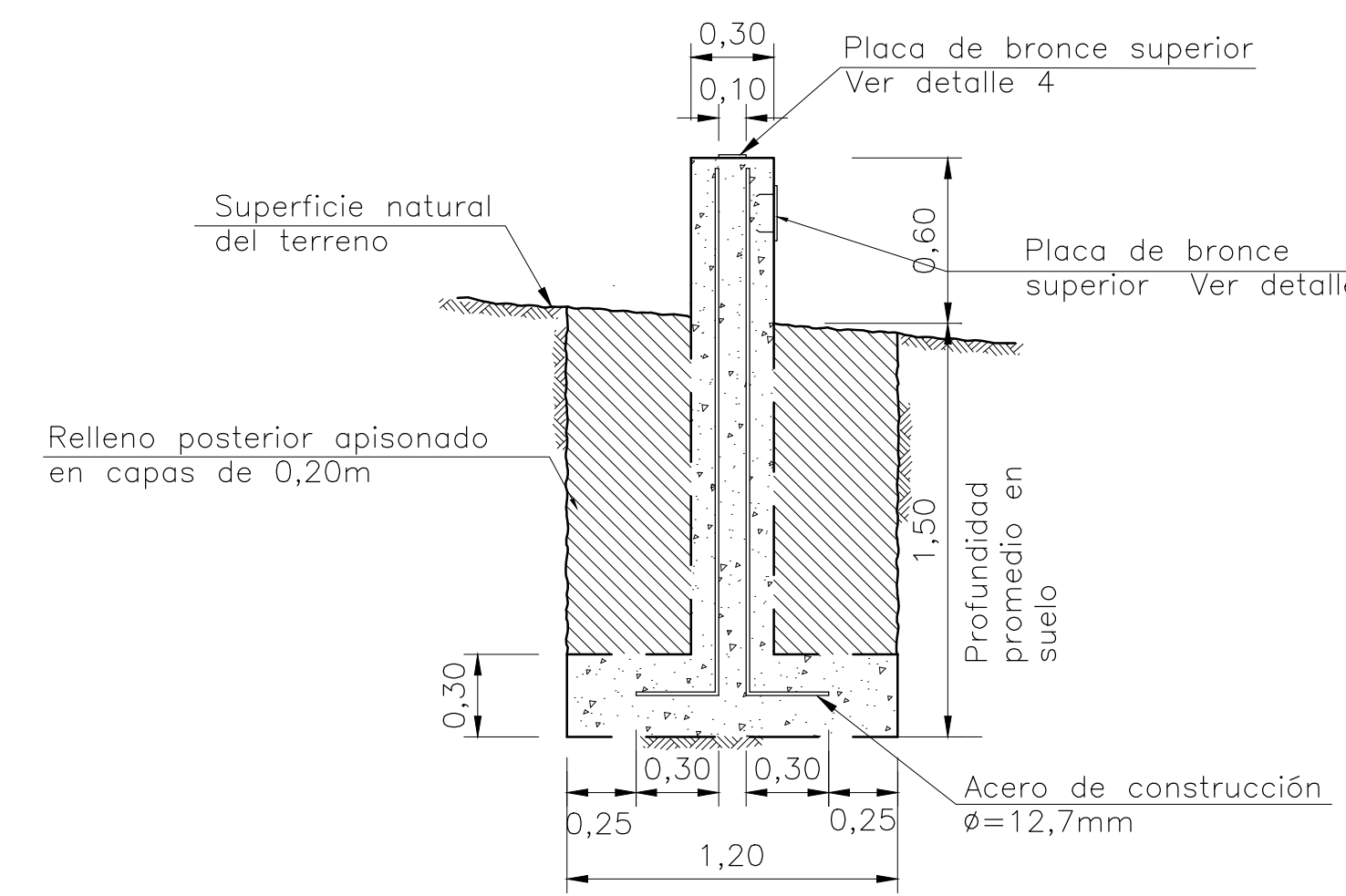
PIEZÓMETRO DE HILO VIBRÁTIL
ESCALA B



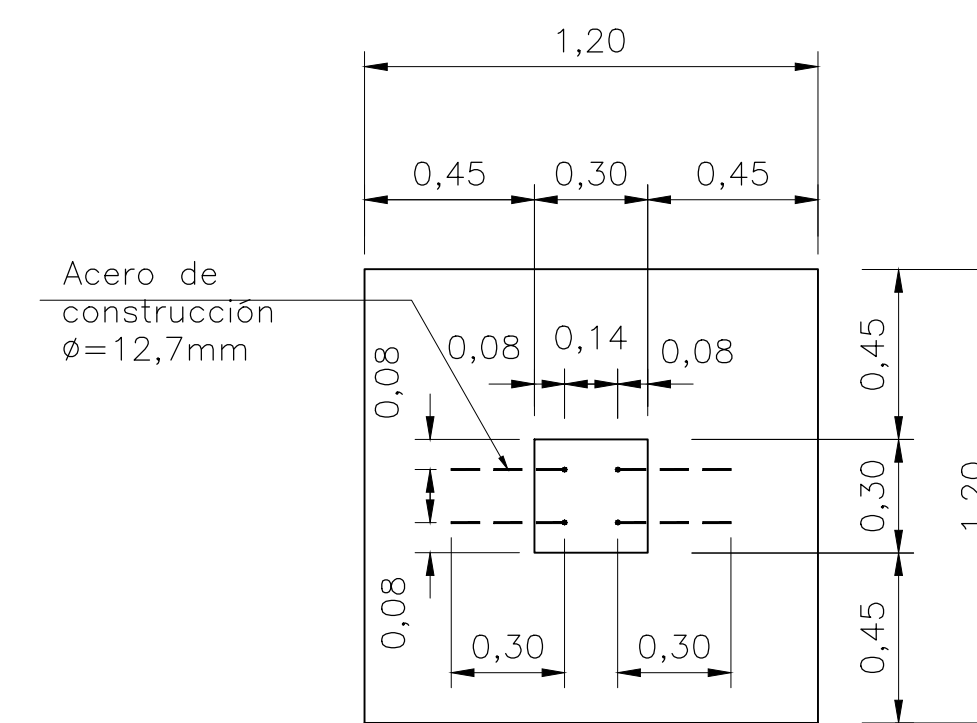
DETALLE 5
PLACA DE BRONCE LATERAL
ESCALA E



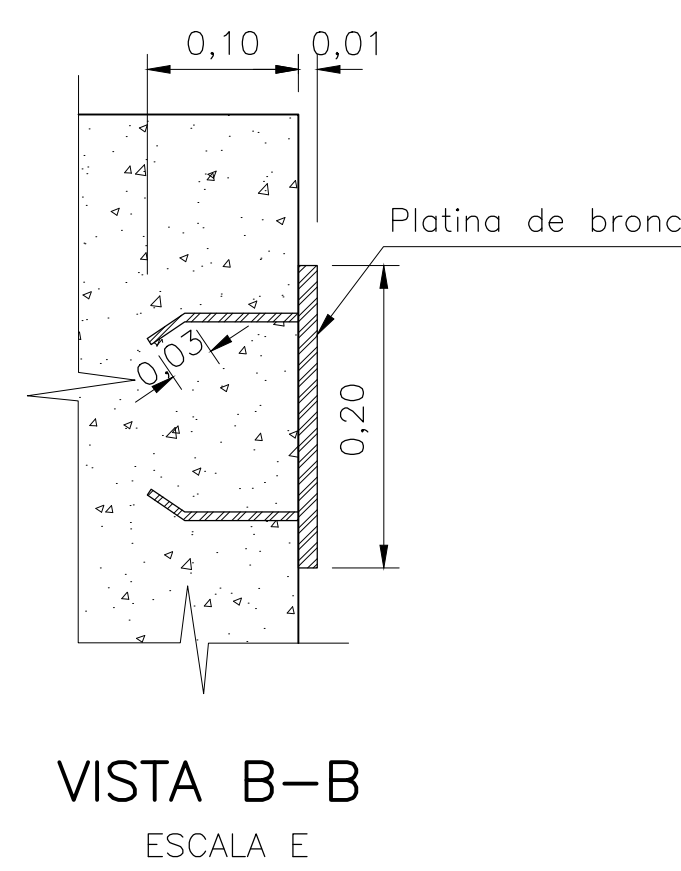
PERFIL
DETALLE 3
(Dimensiones en milímetros)
ESCALA C



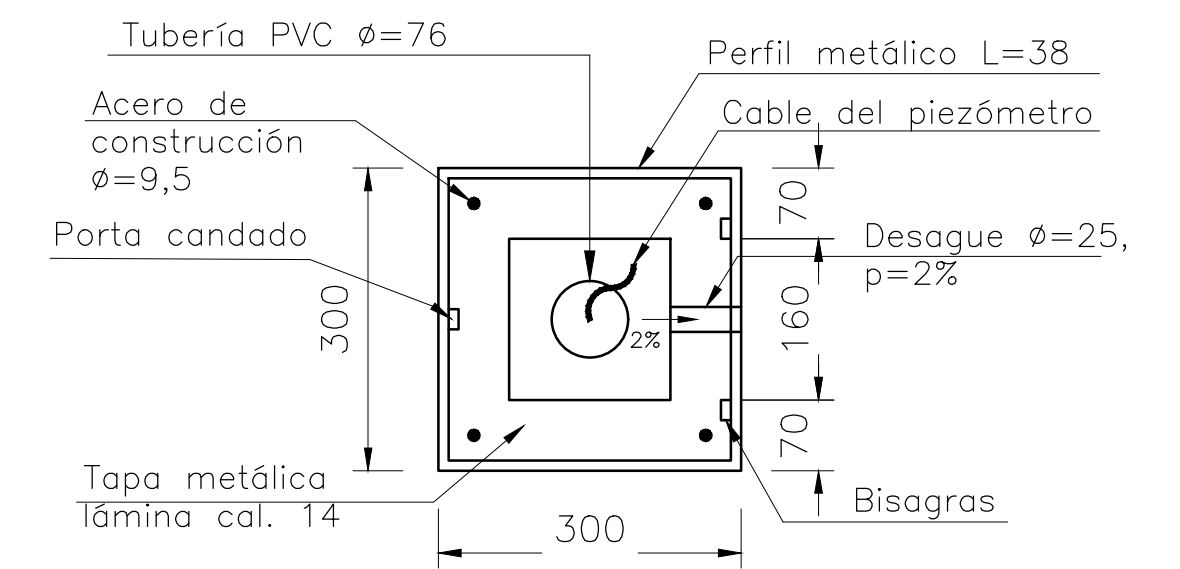
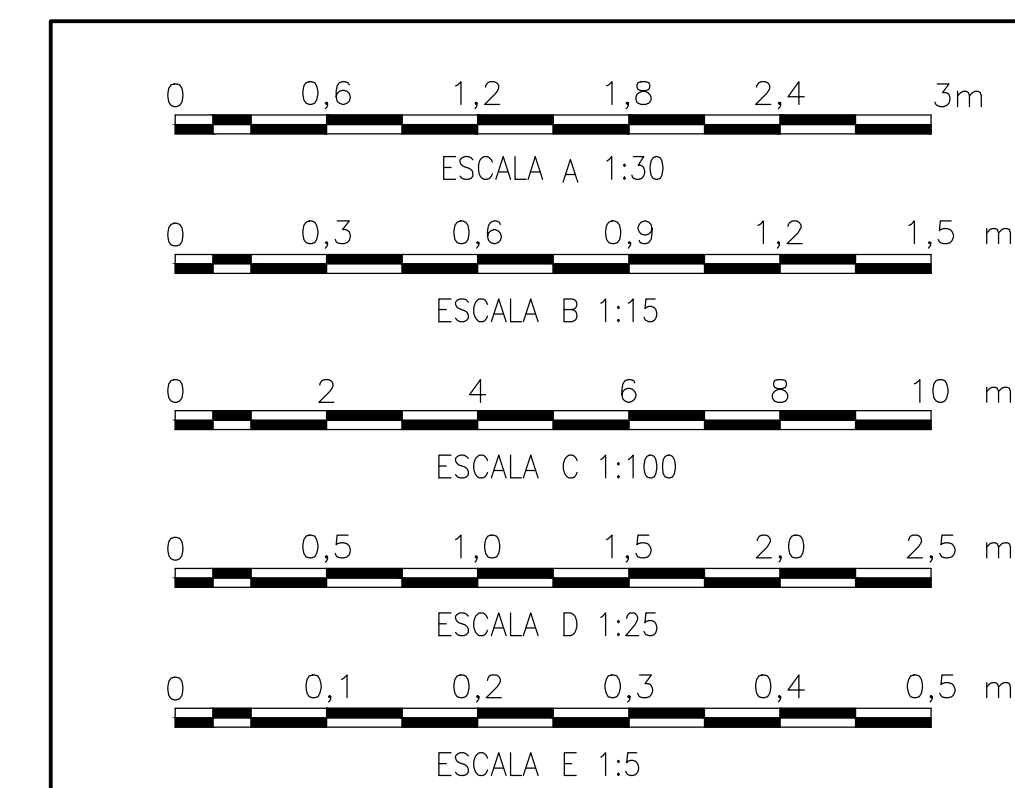
PUNTO DE CONTROL TOPOGRÁFICO
ESCALA D



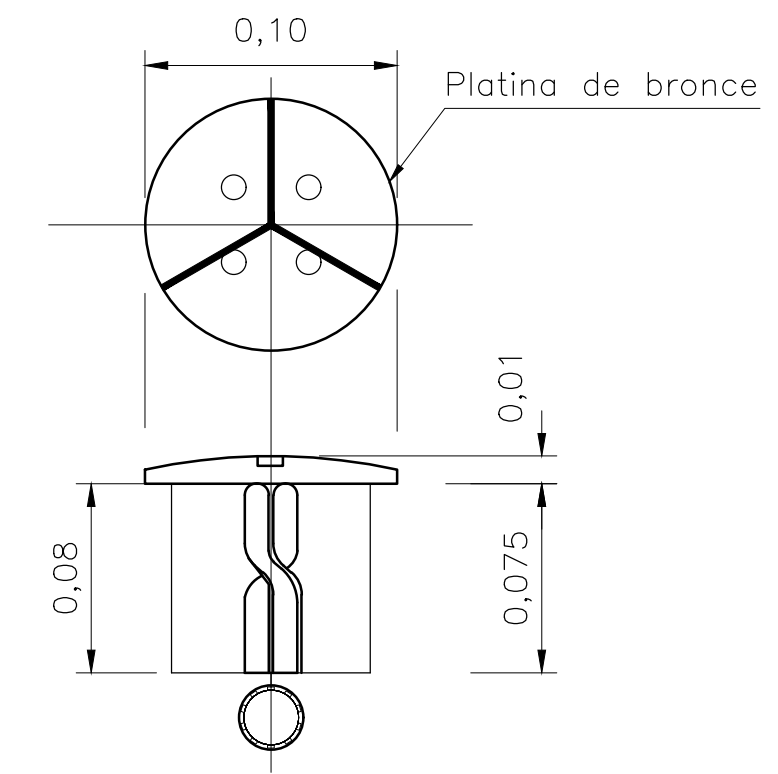
PLANTA
ESCALA D



VISTA B-B
ESCALA E



VISTA A-A
PLANTA
(Dimensiones en milímetros)
SIN ESCALA



DETALLE 4
PLACA DE BRONCE SUPERIOR
SIN ESCALA

NOTAS

- Las dimensiones mostradas están en metros, las elevaciones en msnm, excepto otra indicación.
- El refuerzo deberá ser acero corrugado de $f_y=4200\text{kg/cm}^2$.
- El concreto para la estructura deberá ser de $f'c=21\text{MPa}$, tamaño máximo 25mm.
- La perforación para la instalación del tubo inclinómetro deberá ser diámetro $\phi=101,6\text{mm}$.
- El empotramiento de la estructura deberá ser mínimo de 1,00m.
- En los inclinómetros, el recubrimiento externo para las varillas de acero será mínimo de 0,05m.
- La instalación de la tubería para inclinómetros deberá hacerse según lo indicado en las Especificaciones técnicas.
- Todos los elementos metálicos deberán ser pintados con color naranja después de aplicado el anticorrosivo.
- La cantidad y localización definitiva de piezómetros, al igual que la longitud final será determinada por EMB., de acuerdo con las condiciones del sitio.
- En la parte superior de las tapas se deberá marcar la identificación de cada piezómetro.
- La tapa para las cajas de piezómetros será similar a la mostrada en el detalle 1.
- La instalación de la instrumentación deberá hacerse según lo indicado en las Especificaciones Técnicas.
- Los puntos de control topográfico se deben localizar, alinear y nivelar con precisión en los sitios indicados por EMB.
- El empotramiento de los mojoneros de medición y control de desplazamiento será mínimo de 1,50 y se medirá desde la superficie natural del terreno, según indicaciones de EMB.



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

△				
△				
△				
△	03/03/2022	Versión original	A. RICO	
		MODIFICACIÓN	NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA

DETALLES DE INSTRUMENTACIÓN - PIEZÓMETROS E INCLINÓMETROS

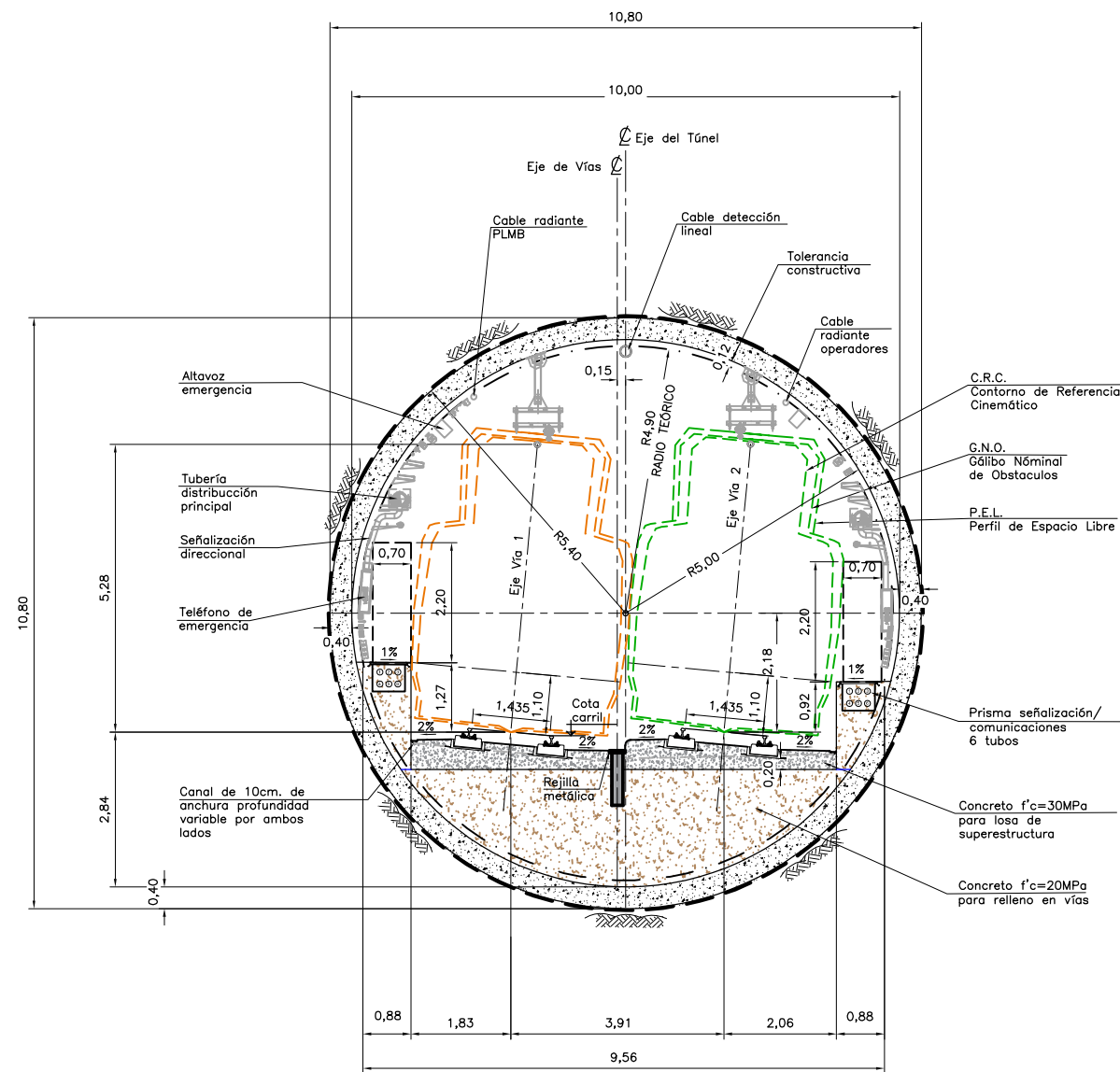
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 2 DE 2

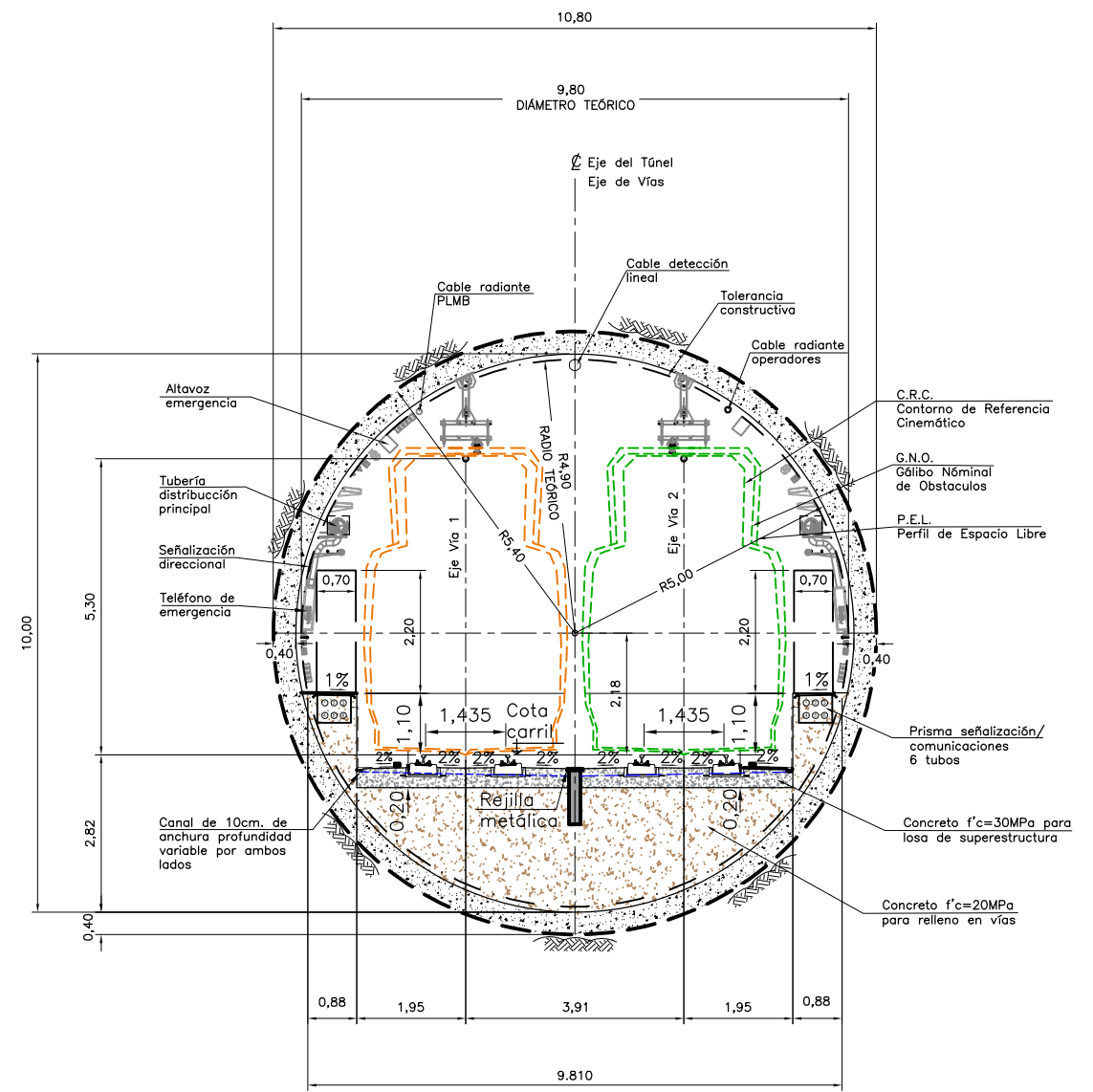


Plano No: 0559201-PG-BB-TUNE-03-0009

Doc: NOMBRE DEL MODELO



**SECCIÓN TÍPICA DEL TÚNEL
CON PERALTE**
ESCALA A



**SECCIÓN TÍPICA DEL TÚNEL
SIN PERALTE**
ESCALA A

NOTAS

1. Las dimensiones mostradas están en metros, las elevaciones en msnm, excepto otra indicación.

ESCALA A 1:50



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 - 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

▲					
▲					
▲					
▲	03/03/2022	Versión original		G. Chaca	
		MODIFICACIÓN		NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA

SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS DEL TÚNEL

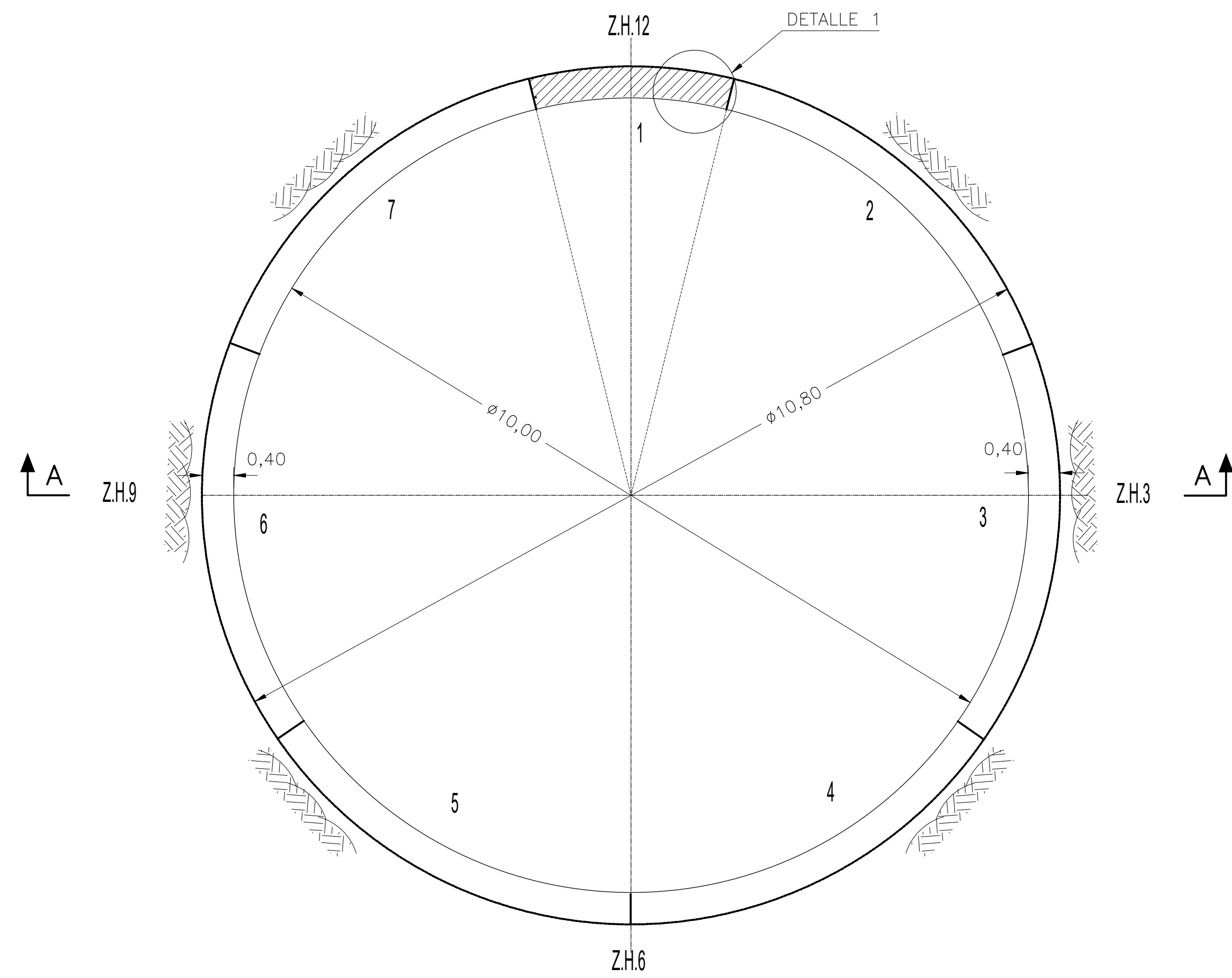
ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1

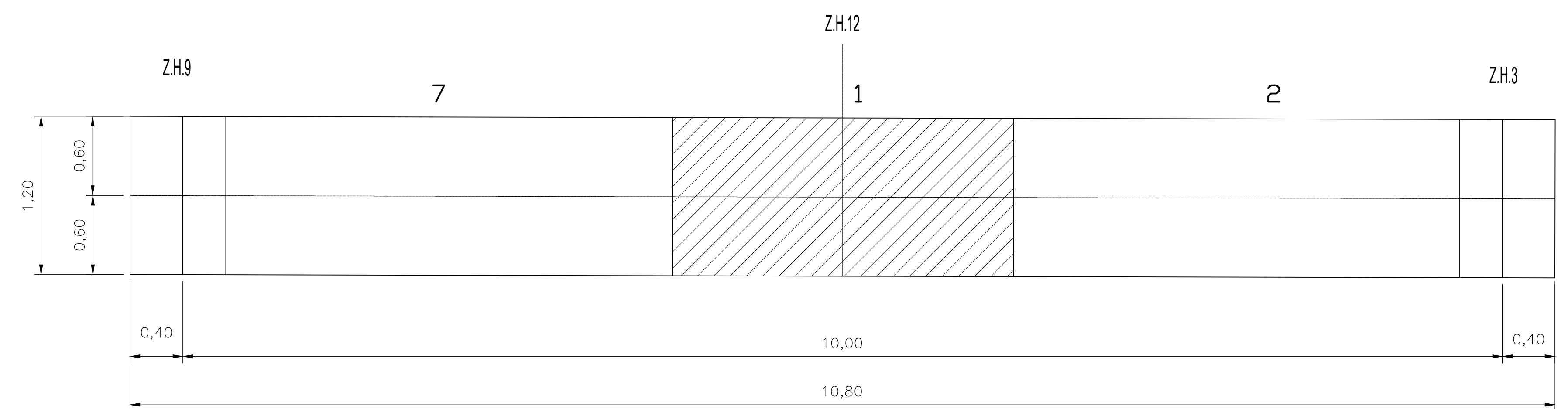


Plano No:
0559201-P6-BB-TUNE-03-0007

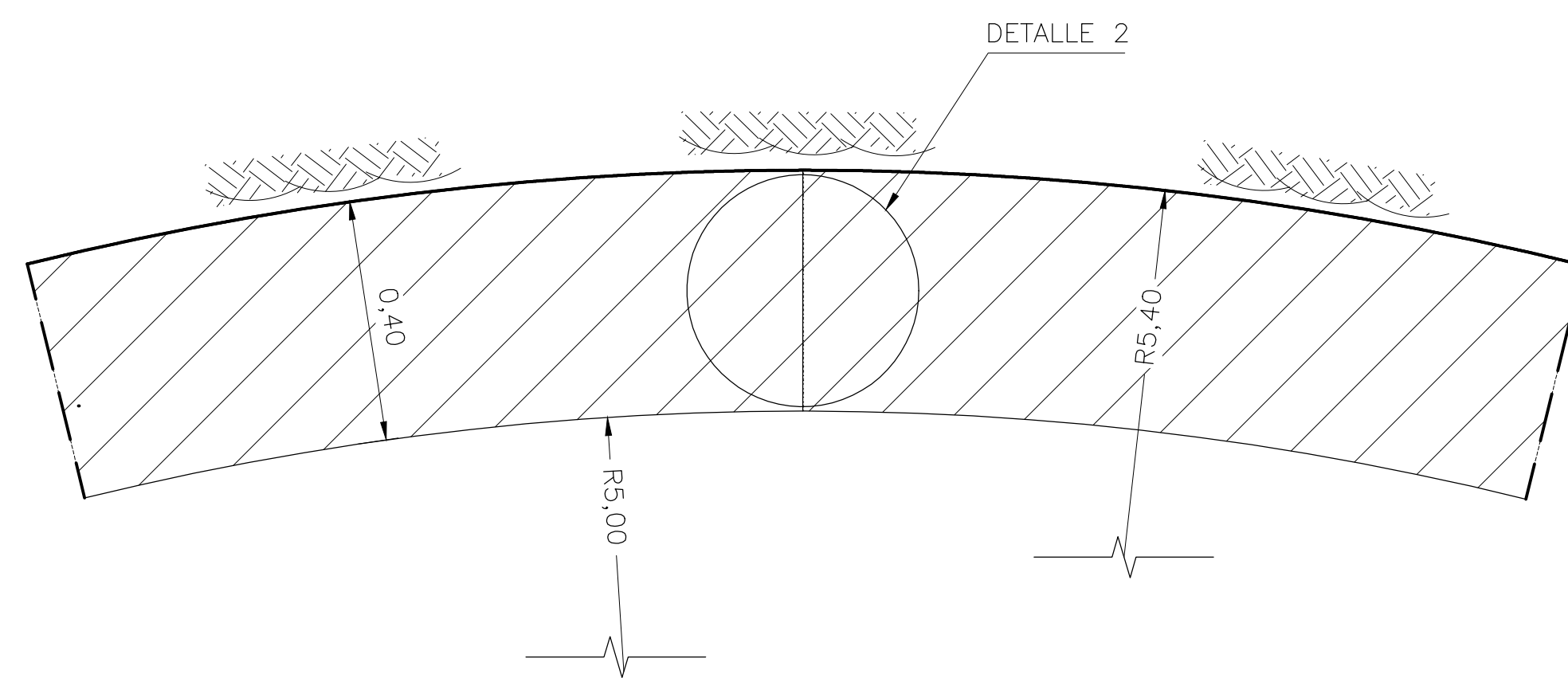
Doc:
NOMBRE DEL MODELO



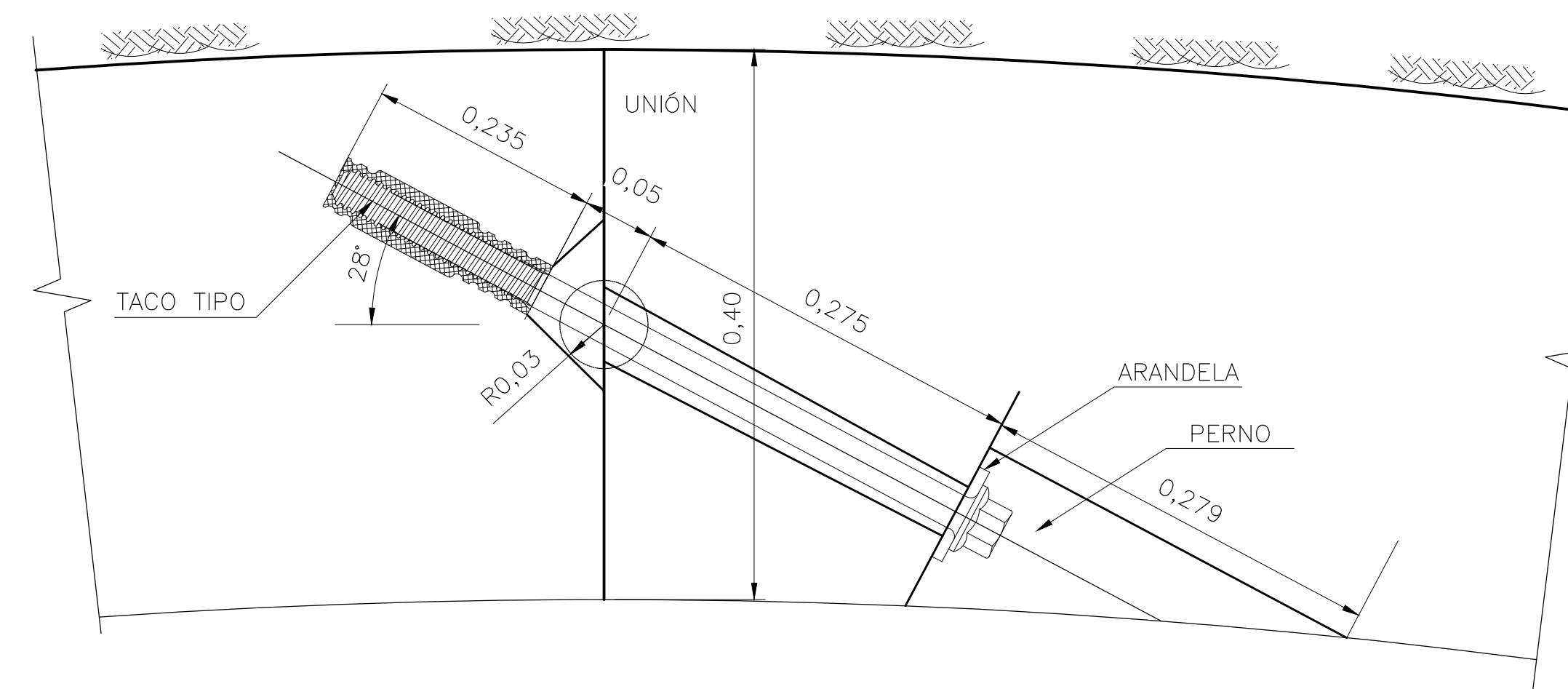
SECCIÓN TÚNEL
ESCALA A



VISTA A-A
ESCALA B



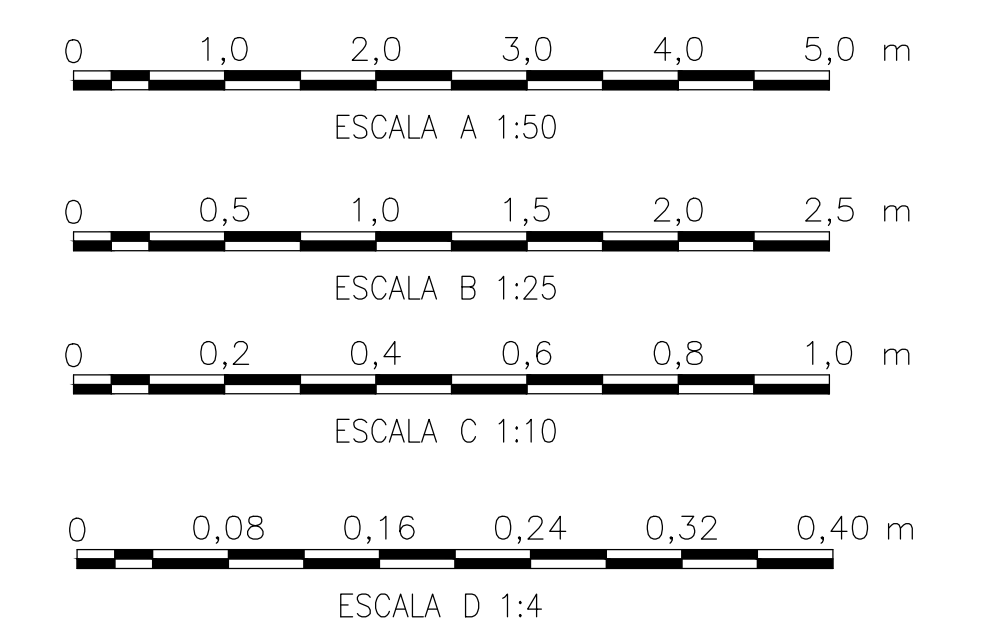
DETALLE 1 – DOVELA
ESCALA C



DETALLE 2 – UNIÓN DE DOVELA
ESCALA D

NOTAS

1. Las dimensiones mostradas están en metros, las elevaciones en msnm, excepto otra indicación.



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 136 – 2021 REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

▲					
▲					
▲					
▲					
▲	03/03/2022	Versión original	A. RICO		
		MODIFICACIÓN	NOMBRE RESPONSABLE	FIRMA	

DOVELAS – SECCIÓN, DETALLES

ESCALA: INDICADAS

HOJA N°: 1 DE 1



Plano No:
0559201-PG-BB-TUNE-03-0010

Doc:
NOMBRE DEL MODELO