REPÚBLICA DE COLOMBIA
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

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

Especificación Técnica - ET 24
Modificación 1

PROYECTO DE TÚNEL

Bogotá D.C., junio 30 de 2021

CONTENIDO

1 OBJETO 3
2 NORMATIVIDAD 3
3 INSUMOS NECESARIOS 4
4 ALCANCE 5
4.1 DEBIDA DILIGENCIA 6
4.2 FACTIBILIDAD 6
4.2.1 Requisitos generales 6
4.2.2 Requisitos de diseño 7
4.2.3 Características geológicas y geotécnicas generales de Bogotá 8
4.2.4 Secciones tipo 10
4.2.5 Procedimiento constructivo 10
4.2.6 Diseño estructural 12
4.2.7 Protección contra el fuego 12
4.2.8 Detección de incendios 12
4.2.9 Extinción de incendios 13
4.2.10 Análisis de subsidencias y afección a edificios/estructuras 13
4.2.11 Ventilación 14
4.2.12 Iluminación 17
4.2.13 Cámaras televisión 17
4.2.14 Comunicaciones 17
4.2.15 Opacímetros 17
4.2.16 Señalización de Emergencia 18
4.2.17 Bombeo 18
4.2.18 Salidas de emergencia 18
4.2.19 Situaciones provisionales 19
5 RESULTADOS 19
5.1 DEBIDA DILIGENCIA 19
5.2 FACTIBILIDAD: PROYECTO DE TÚNEL 19

ET - 24 – Proyecto de Túnel

1 OBJETO

En este documento se especifican los requisitos que deben ser aplicados en el diseño de factibilidad de los túneles y obras auxiliares, tales como pozos de ataque, nichos, tratamientos del terreno, inyecciones de compensación, recalces y/o refuerzos de edificios, estructuras, redes, entre otros, así como de las obras complementarias (pozos de ventilación, bombeo, salidas de emergencia, etc.) necesarias para alojar los sistemas e instalaciones que permitan la explotación de la Línea 2 del Metro de Bogotá.

2 NORMATIVIDAD

El diseño de los túneles y obras auxiliares y complementarias se realizará de acuerdo con un conjunto de normas, códigos, recomendaciones de diseño y construcción de túneles existente, preferentemente de uso en la Unión Europea o en los Estados Unidos de América.

El Contratista será quién definirá la normativa para el proyecto, para lo cual debe justificar las razones para dicha elección. La normativa a utilizar debe ser aprobada por la Interventoría al inicio de los diseños del túnel.

A continuación, se lista la normatividad más utilizada:

- Normativa Colombiana
  - Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.
- NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems
- Normativa europea
  - Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing
  - Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects.
  - European Document Directive 2004/49/EC of the European parliament and of the council council on safety on the Community's railways (2004).
- Normatividad Inglesa
  - BS 6164:2019: 2011 HEALTH AND SAFETY IN TUNNELLING IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY. CODE OF PRACTICE
  - BS 6031(2009): 2009 CODE OF PRACTICE FOR EARTHWORKS
  - BS ISO 14837-1: 2005 MECHANICAL VIBRATION - GROUND-BORNE NOISE AND VIBRATION ARISING FROM RAIL SYSTEMS - PART 1: GENERAL GUIDANCE
  - BS EN 16191: 2014 TUNNELLING MACHINERY - SAFETY REQUIREMENTS

- Normativa austriaca
  - AUSTRIAN ONORM B 2203-1 (2001): Driving of mined tunnels – contract standards. Part 1: cyclic excavation.
  - AUSTRIAN ONORM B 2203-2: Driving of mined tunnels – contract standards. Part 2: continuous excavation.
  -
  - AUSTRIAN GUIDELINES OF THE RESEARCH ASSOCIATION FOR ROADS AND TRAFFIC RVS 9.24 (1992): General and geotechnical preparatory work.
  - AUSTRIAN GUIDELINES OF THE RESEARCH ASSOCIATION FOR ROADS AND TRAFFIC RVS 9.31 (1994): Static design, Cut and Cover.
  - AUSTRIAN GUIDELINES OF THE RESEARCH ASSOCIATION FOR ROADS AND TRAFFIC RVS 9.32 (1994): Static design, Tunnels mined in soft underground covered with buildings.
  - AUSTRIAN GUIDELINES OF THE RESEARCH ASSOCIATION FOR ROADS AND TRAFFIC RVS 9.34 (1995): Concrete for permanent lining.
- Normativa alemana
  - German rail (DB), DS 853: Design, construction and maintenance of rail tunnels.
  - ETB – Germany (1995): Guidelines of the working group “Tunnelling”, Ernst und Sohn, Berlin.
- Normativa suiza
  - Switzerland Codes and guidelines for tunnels SIA 197/1: Design of rail tunnels.
  - Switzerland Codes and guidelines for tunnels SIA 198: Underground works.
  - Switzerland Codes and guidelines for tunnels SIA 199: Exploration of underground.
  - Switzerland Codes and guidelines for tunnels SIA 267: Geotechnical engineering.
- Normativa francesa
  - Colección de Recomendaciones de la AFTES para el diseño y construcción de túneles

3 INSUMOS NECESARIOS

Para el diseño a nivel de factibilidad del túnel, se deben tener en cuenta, entre otros, los siguientes documentos:

- Productos de prefactibilidad para la línea 2 del Metro de Bogotá.
- Documento de diseño de la superestructura de vía de la Ingeniería Básica avanzada de la línea 1 del Metro de Bogotá.
- Referencias y bibliografía de túneles de sistemas ferroviarios internacionales en construcción o en operación.
- Documentos que se produzcan durante la ejecución del mismo contrato y que complementen el diseño del túnel, como: (i) diseño geométrico del eje de la vía

principal (eje de entrevías) y vías auxiliares, colas de retorno o maniobra (ii) características del material rodante que afectan al diseño del túnel, (iii) diseño operacional que define el esquema de la línea y necesidades de ubicación de aparatos de vía, (iv) parámetros geométricos en planta y alzado, (v) requerimientos de otros sistemas ferroviarios relacionados: electrificación, sistemas de señalización y control de trenes, entre otros, (vi) requerimientos técnicos en cuanto a las necesidades de mitigación de ruido y vibraciones, (vii) geotecnia.

En cualquier caso, estos documentos serán considerados de referencia, no limitándose los estudios y diseños a realizar lo reflejado o comentado en los mismos.

La gestión de la información o insumos es responsabilidad del Contratista. No obstante, la Empresa Metro de Bogotá S.A. y el Estructurador podrán apoyar en lo que esté a su alcance para dicha gestión.

4 ALCANCE

El alcance de los trabajos de diseño de factibilidad comprende: túneles y galerías subterráneas, nichos para las estaciones, galerías de conexión, pozos de ventilación, pozos de bombeo, instalaciones para evacuación de emergencia, accesos, cuartos de transformación, cuartos técnicos, subestaciones, pozos auxiliares de obra (tratamientos del terreno, montaje/desmontaje de tuneladora)

La documentación de diseño producida debe permitir la adecuada y precisa valoración de todas las obras antes citadas.

El diseño incluirá las medidas correctivas o de mitigación que se definan en el Estudio Ambiental. Se tendrán en particular consideración las correspondientes al plan de recuperación ambiental, la protección contra la contaminación acústica y atmosférica, defensa del arbolado existente, gestión de excedentes vertidos, excavación y residuos, riesgos de contaminación de suelos y aguas subterráneas, infiltración de aguas, adecuación paisajística, préstamos, instalaciones auxiliares de las obras, protección de yacimientos arqueológicos, calidad de las aguas y del aire y desafección a la fauna.

El diseño de factibilidad debe incluir un estudio de ruido y de vibraciones, que debe concluir con la predicción de los niveles sonoros y de vibraciones previstos en la fase de obra y de funcionamiento, adoptándose las correspondientes medidas preventivas y correctoras de insonorización y de vibraciones.

Así mismo, el diseño de factibilidad debe incluir un estudio hidrogeológico, acorde con los requerimientos establecidos en la ET05 el cual contendrá como mínimo lo siguiente:

- Cartografía hidrogeológica.
- Definición de la conexión de las unidades hidrogeológicas que serán intervenidas por las obras.

Estudio de la circulación del flujo subterráneo y la influencia de las obras sobre éste, en la posición actual del nivel piezométrico (estado estacionario) y como puede variar este nivel con el desarrollo del proyecto (construcción del túnel) en diferentes escenarios en el tiempo y avance del mismo (estados transitorios).

4.1 DEBIDA DILIGENCIA

Se deben revisar todos los estudios técnicos que se hayan realizado con anterioridad que se consideren relevantes para el desarrollo del diseño, a fin de comprender cabalmente los diseños de ingeniería y, en general, todos aquellos estudios desarrollados hasta la fecha que tengan aplicabilidad. Para el efecto debe realizar:

- Revisión y análisis de información de las etapas anteriores. El Contratista recibirá los estudios realizados a la fecha, y debe revisar y analizar los mismos, dado que éstos serán los insumos básicos con los que se contará para llevar a cabo el alcance del Contratista, en especial los mencionados en el numeral 3 de este documento.
- Durante este proceso, el Contratista debe revisar y analizar el nivel de desarrollo de los estudios realizados de cara a la estructuración del proyecto.
- Identificar las posibles deficiencias en la información disponible, evaluar su impacto en la realización del estudio, y proponer, de ser necesarias, soluciones específicas para suplirlas.

4.2 FACTIBILIDAD

4.2.1 Requisitos generales

El Contratista debe estudiar y definir los diferentes elementos que configuran la infraestructura de la Línea 2 incluyendo los túneles y obras auxiliares y complementarias ya mencionadas.

Se debe elaborar una propuesta de los programas informáticos a utilizar en los cálculos con el fin de someterla a la aprobación de la Interventoría. Dicha propuesta debe incluir, para cada uno de los programas la siguiente información:

- Nombre del programa.
- Versión a utilizar y fecha de la misma.
- Fabricante y, en su caso, comercializador del software.

- Descripción de las bases y procedimiento de cálculo, datos de entrada y demás características del programa.

La descripción de todos los cálculos realizados con programas informáticos incluirá:

- Hipótesis y simplificaciones consideradas.
- Archivos de entrada de datos completos.
- Salidas gráficas y numéricas de resultados.

Los programas (software) propuestos deber incluir modelos constitutivos que permitan la integración de la caracterización geotécnica (ET10) y resultados de las simulaciones hidrogeológicas (ET05).

4.2.2 Requisitos de diseño

El diseño de los túneles y obras complementarias debe incluir los siguientes aspectos:

- El trazado, incluyendo además de la geometría en planta y alzado, la localización de las áreas de lanzamiento y recepción de la tuneladora, las obras complementarias correspondientes a éstas, así como otros elementos del túnel (pozos de ventilación y acceso, galerías auxiliares, pozos de bombeo, etc.)
- Las secciones constructivas utilizadas, con definición y cálculo de los sostenimientos provisionales y definitivos, previsión de técnicas de mejoramiento del terreno (inyecciones de contacto e impermeabilización), disposición y tipos de juntas, elementos de drenaje e impermeabilización, conductos para instalaciones, etc.
- Los procedimientos constructivos, incluyendo la secuencia de operaciones, el tipo de maquinaria a utilizar, los rendimientos y plazos de ejecución previstos, así como el estudio de las situaciones provisionales y de las afecciones correspondientes a cada fase de obra.
- La previsión y estudio de las superficies para instalaciones de obras y su ubicación más adecuada.
- Los tratamientos del terreno y refuerzos estructurales y, en su caso, recalces a ejecutar a fin de asegurar la estabilidad tanto de las obras a ejecutar como de las estructuras próximas.
- Plan de instrumentación, donde se definirá la cantidad y el tipo de instrumentación y control de obra que incluya los valores estimados para las medidas a realizar (asientos, tensiones, etc.) con el fin de facilitar su comparación con los resultados que se obtengan durante la ejecución.
- Medidas de seguridad durante la construcción, definiendo las normas a seguir durante la misma, con indicación de los medios y dispositivos que se utilizarán y el detalle de los puntos característicos a comprobar expresamente. Se debe prestar

especial atención a la definición de procedimientos y fases de construcción con la elaboración de planos de construcción que reflejen las hipótesis de cálculo establecidas.

4.2.3 Características geológicas y geotécnicas generales de Bogotá

La Sabana de Bogotá está constituida por una gran extensión de terreno de morfología plana, localizada en el centro de Colombia y en la parte alta de la cordillera oriental. La ciudad tiene una orientación aproximada N30°E, siguiendo la misma tendencia que la Cordillera Oriental, en la cual se ubica.

La geología se caracteriza por la presencia de depósitos de suelos de consistencia principalmente blanda, de edades recientes, localizados sobre rocas sedimentarias de origen marino, de edad Cretácea, intensamente tectonizadas. Las rocas subyacentes se disponen en un sinclinal muy abierto en el centro de la sabana, cuya orientación es NE. En el valle principal de ese sinclinal, formado por el plegamiento de rocas areniscas de edad Cretácea y luego argilitas (localmente denominadas arcillolitas) Terciarias, se produjo durante el Cuaternario una gran deposición de arcillas, limos y arenas.

Como se ha indicado, la sectorización geotécnica de Bogotá contempla 5 diferentes zonas, de acuerdo con el estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá (MZSB). La descripción general de cada una de las Zonas es la presentada a continuación:

- **Zona 1 - Cerros**: La zona de los cerros se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias, areniscas y arcillolitas, con diferentes grados de meteorización, localizadas principalmente en los sectores orientales y surorientales de la ciudad.
  Existen zonas con inestabilidades debidas a la afección de las pendientes por lluvias, fuentes de aguas locales y explotación de canteras. La permeabilidad de estas rocas es baja, aunque en zonas donde se encuentra la roca bastante meteorizada, se pueden presentar valores de permeabilidad altos (permeabilidad por fisuras).

- **Zona 2 – Piedemonte**: Está conformada por la zona de transición entre los cerros y la zona plana de la ciudad y consta principalmente de depósitos de ladera, coluviales y flujos torrenciales de piedemonte, que presentan secuencia de niveles de gravas y arenas en matriz limo-arenosa, en general saturados, con presencia de bloques de gran tamaño.
  Estos depósitos de suelos predominantemente granulares, pero con estratigrafías heterogéneas, se encuentran intercalados con niveles de limo, arcilla y turba de la zona lacustre. Su permeabilidad depende del porcentaje de gravas y arenas, generalmente alto; por lo tanto, el aporte de agua puede llegar a ser importante. Así mismo, los niveles piezométricos en esta zona se encuentran generalmente

cercanos a la superficie del terreno, en algunos casos dominados por acuíferos confinados alimentados por cursos de agua provenientes de los cerros orientales.

- **Zona 3 – Lacustre A:** Se caracteriza principalmente por la presencia de depósitos cuaternarios de arcillas blandas con espesores superiores a 50 metros, con una capa superficial sobreconsolidada de espesor variable y un aumento de resistencia en profundidad a partir de 60 metros.
  También aparecen depósitos ocasionales de turbas y arenas compactas, de espesor medio a bajo. Las condiciones típicas del perfil geotécnico se resumen con: (i) Un estrato superficial del orden de 5 m de arcillas y limos sobreconsolidados por desecación y descenso del nivel freático; (ii) una secuencia de arcillas blandas de origen lacustre de la formación Sabana que alcanzan profundidades entre los 40m y 60m y, finalmente, (iii) suelos de origen predominantemente aluvial con presencia de arenas limosas que corresponde a la formación Subachoque, los cuales alcanzan grandes profundidades.
  Las arcillas se caracterizan por presentar permeabilidades muy bajas, aunque localmente puede aumentar su valor con la presencia de intercalaciones de suelos orgánicos o arenas limosas. Los niveles piezométricos de esta zona se encuentran cercanos a la cota de la superficie del terreno.

- **Zona 4 – Lacustre B:** Tiene las mismas características de la Zona 3 – Lacustre A pero los depósitos superficiales (los primeros 30 a 50 m) presentan consistencia más blanda que los anteriores. Además, corresponde a la zona en que la profundidad hasta la roca es mucho mayor. En cuanto a permeabilidades y niveles piezométricos, son similares a las de la Zona 3.
  Las formaciones cuaternarias de las Zonas 3 y 4 tienen espesor variable, que aumenta desde el piedemonte de los cerros que bordean la Sabana hacia la parte central de los valles que se forman entre las cadenas montañosas.
  En el sector occidental de la ciudad (Funza), se alcanzan los máximos espesores de sedimentos, cercanos a los 500m, mientras que para el resto de la ciudad los sedimentos alcanzan una profundidad promedio de 200m hasta encontrar suelos residuales y roca.

- **Zona 5 - Entorno de Ríos y Humedales:** Corresponde a depósitos de origen aluvial o fluviolacustre formados principalmente por arenas arcillosas o limosas o arcillas limosas de acuerdo con el tipo de origen. Los materiales presentan permeabilidades relativamente altas y niveles piezométricos a pocos metros de la superficie.

4.2.4 Secciones tipo

En el diseño de la sección tipo de los túneles se deben tener en cuenta los siguientes condicionantes:

- Trazado en planta y en alzado
- Sección transversal
- Gálibos cinemáticos y de implantación de obstáculos del material móvil
- Línea aérea de contacto
- Instalaciones de señalización y comunicaciones
- Drenaje
- Tolerancias de construcción
- Normativa de seguridad relativa a la evacuación de pasajeros.

En lo posible se deben evitar nichos en túneles excavados con tuneladora, para lo que se diseñará la sección tipo de forma que pueda albergar las instalaciones de señalización y comunicaciones, los motores de los aparatos de vía, etc.

En el estudio de prefactibilidad de la Línea 2 se ha establecido, como sección deseable, dos túneles (bitubo), uno por cada vía.

4.2.5 Procedimiento constructivo

De acuerdo con la descripción general de las características geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas del subsuelo de la Sabana de Bogotá D.C., se concluye que sus condiciones pueden ser desde homogéneas a bastante heterogéneas, en función del trazado final definido para la línea 2 del Metro de Bogotá.. En términos generales, los túneles se proyectan en una zona de riesgo sísmico medio, con la presencia de terrenos con zonas homogéneas en macro-unidades blandas (arcillas, limos y arenas) y, localmente, con lentejones o bandas de turbas de poco espesor y extensión lateral limitada , todo esto en un contexto de suelos saturados con niveles piezométricos cercanos a la superficie del terreno.

La elección del método constructivo para la ejecución de la excavación subterránea debe garantizar la seguridad de la obra, siempre buscando disminuir la afectación sobre las condiciones hidrogeológicas del lugar para evitar fenómenos de subsidencia, así como limitar las deformaciones dentro del túnel, zonas de influencia del mismo y asentamientos en superficie.

Por otro lado, las condiciones topográficas y el desarrollo urbanístico en superficie, con una red vial existente y edificaciones de altura con condiciones de cimentación específica, juegan un papel importante en la selección del método constructivo.

Los diferentes métodos de construcción de túneles usados en la actualidad tienen en cuenta la variabilidad litológica y estratigráfica probable, así como las condiciones hidrogeológicas y el entorno superficial en el que se desarrolla la obra a lo largo de su trazado. Por esta razón, la selección de uno o varios de los métodos constructivos disponibles en la práctica actual, dependen de las condiciones específicas definidas para el proyecto definitivo.

En general, para la construcción de los tramos subterráneos de la Línea 2 del Metro de Bogotá se ha considerado, inicialmente, la utilización de método de excavación en trinchera a cielo abierto mediante el uso de muros pantalla, conocido mundialmente como método *Cut and Cover* y la excavación subterránea con TBM (*Tunnel Boring Machine*) de escudos con presurización en el frente (EPB *Earth Pressure Balance*). El Contratista debe definir el procedimiento constructivo y el tipo de maquinaria necesario para la ejecución, incluyendo:

- Los métodos de perforación que se estimen más adecuados, la secuencia de operaciones a utilizar para cada sección tipo y la metodología a aplicar en el paso de zonas difíciles. Se estudiará la repercusión contractual de estos aspectos de forma que puedan tenerse en cuenta en la posterior licitación y contratación de las obras.
- Se estudiará la localización de frentes de ataque y sus correspondientes pozos y rampas de acceso, así como la ubicación de pozos de ataque y salida de la tuneladora, cuando este sea el método de construcción seleccionado.
- El control durante la ejecución, definiendo las medidas de comprobación a adoptar y la instrumentación necesaria (sondeos, testificación geomecánica, geofísica, medidas de convergencias, ensayos de arrancamiento en bulones, células de presión, extensómetros, etc.), todo lo cual será adecuadamente valorado.

En el caso de túneles excavados con tuneladora se realizarán recomendaciones justificadas del tipo de tuneladora a utilizar, así como de los parámetros mínimos y equipos a considerar en el diseño de la máquina, como mínimo, pero sin limitarse, los siguientes:

- Diámetro y longitud
- Presión máxima en el frente (valor mínimo)
- Tipología de los escudos (Máquinas abiertas o máquinas cerradas, Escudos de frente en presión)
- Potencia instalada y de la rueda de corte (valor mínimo)
- Especificaciones de la banda transportadora
- Tipo y especificaciones de cortadores
- Requerimientos de ventilación (torres de ventilación y refrigeración)
- Consumos de agua
- Par máximo del disco de corte (valor mínimo)
- Fuerza de Empuje (valor mínimo)
- Sobrecorte (valor máximo)

- Revestimientos (Anillos prefabricados, accesorios)
- Fabricación y pruebas de la TBM
- Guiado de la tuneladora
- Seguridad y salud (Condiciones de alto riesgo)
- Programa de fabricación (grupos principales: cabeza / motorización / erector / extracción / escombro / electro – hidráulica)
- Seguimiento de la fabricación (plan de aseguramiento de la calidad PAC)
- Montaje y pruebas en fabrica (recepción provisional)
- Transporte a obra
- Montaje final y pruebas de operación

Los valores citados deben recogerse como valores mínimos de referencia en las Especificaciones Técnicas del Contrato de Construcción que debe preparar el Contratista.

4.2.6 Diseño estructural

El diseño estructural del túnel se realizará de acuerdo con la normativa indicada en esta especificación técnica y en la ET 11 Estructuras en lo aplicable.

El diseño estructural comprende además de la estructura del túnel propiamente dicha el sostenimiento, anclajes, revestimiento, áreas de lanzamiento y recepción de la tuneladora y demás elementos.

Se tendrán en cuenta las situaciones transitorias durante la construcción. En el caso de elementos prefabricados (p.ej. dovelas en túneles excavados con tuneladora) se considerarán, además de las cargas debidas al terreno una vez colocado el anillo, las hipótesis de carga correspondientes al acopio, manipulación y empuje de la máquina.

4.2.7 Protección contra el fuego

Los túneles dispondrán de una sala de control donde se recogerá y tratará toda la información proveniente de las diferentes instalaciones del túnel, mediante la implantación de una serie de instalaciones que aseguren el adecuado nivel de servicio y seguridad, tanto en régimen normal, como en circunstancias excepcionales y se proyectarán los refuerzos constructivos y protecciones necesarias para evitar la ruina estructural de los túneles y demás obras subterráneas en caso de incendio.

4.2.8 Detección de incendios

Para la detección de incendios, se debe diseñar, en la clave del túnel y en toda su longitud, un sistema que ayude a determinar la existencia del fuego, con la asistencia de otros sistemas indirectos (opacímetros, circuito cerrado de televisión CCTV, etc.).

4.2.9 Extinción de incendios

Se deben diseñar las instalaciones contra incendios, que deben constar de una o dos fuentes de abastecimiento con su correspondiente equipo de bombeo y de armarios equipados con los elementos necesarios para el correcto control del fuego.

4.2.10 Análisis de subsidencias y afección a edificios/estructuras

El Contratista debe evaluar la posible afectación a edificios y otras estructuras, generada por las subsidencias derivadas de la ejecución de las obras. Se estudiará, particularmente, la interferencia de la obra con aquellos elementos que, por su singularidad o estado de conservación, obliguen a extremar las medidas de seguridad.

Una vez definido el procedimiento constructivo y la banda de afección correspondiente, se realizará un inventario de los edificios y estructuras incluidos en dicha banda. Este inventario contendrá, al menos, la siguiente información relativa a cada edificio/estructura a analizar, la cual se consignará en una ficha de cada predio (puede tomarse como referencia la ficha modelo del IDU):

- Foto (color).
- Planta de situación (indicando su posición relativa respecto a las obras).
- Datos básicos: dirección, año de construcción, constructor y uso actual.
- Geometría: longitud, anchura, altura, número de pisos, etc.
- Tipología de estructura y cerramiento.
- Tipo y cota de cimentación.
- Estado de conservación de la estructura y daños detectados.
- Valor patrimonial.
- Otra información de relevancia.

La información incluida en el inventario debe ser contrastada *in situ*.

La determinación de los asentamientos para cada sección de cálculo se realizará mediante un modelo numérico (método de elementos finitos – MEF o de diferencias finitas) tridimensional y bidimensional, según aplique, que tenga en cuenta los modelos constitutivos adecuados y las diferentes fases de ejecución del túnel. Los cálculos se realizarán con un software contrastado (p.ej. FLAC 2D/3D, PLAXIS 2D/3D, ABAQUS, ANSYS, MIDAS GTS NX o equivalentes).

En la elección de las secciones de cálculo se tendrá en cuenta tanto las características geotécnicas e hidrogeológicas del terreno a atravesar como la proximidad a edificios y/o estructuras, tanto en superficie como enterradas.

El cálculo de asentamientos debe completarse con el correspondiente análisis de estabilidad del frente, lo cual permitirá definir la necesidad de tratamientos para mejoramiento del terreno, el modo de funcionamiento de la tuneladora y la horquilla de presiones a aplicar al fin de evitar tanto la formación de chimeneas como el levantamiento del terreno.

Una vez determinado el nivel de afectación producido sobre cada estructura a analizar, se procederá a la evaluación del nivel de daño a fin de determinar si es o no admisible. En el caso de edificios, la evaluación del nivel de daño se realizará de acuerdo con las categorías establecidas por Burland (1977) y la relación entre estas categorías y la deformación de tracción establecida por Boscardin y Cording (1989).

En aquellos casos en los que, como resultado del análisis descrito, se obtenga un nivel de afectación superior al valor máximo admisible, se definirán modificaciones en el procedimiento constructivo o medidas de refuerzo aplicadas a la estructura o al terreno que permitan garantizar la seguridad del elemento analizado.

Con énfasis en edificaciones patrimoniales, el Contratista debe proceder a la investigación de las cimentaciones existentes y a la definición del recalce de las mismas en la zona atravesada por el túnel con el nivel de detalle suficiente para permitir su valoración. La investigación documental de las cimentaciones debe confirmarse con reconocimientos *in situ* que permita validar las dimensiones y estado de las fundaciones

4.2.11 Ventilación

La ventilación estará constituida por el conjunto de ventiladores y conductos destinados a dirigir y canalizar el aire fresco y los humos, en caso de incendio. Se deben proyectar los pozos necesarios para garantizar la correcta ventilación de los túneles y los sistemas artificiales que se utilizarán para ventilar el túnel. Para tal efecto, se debe realizar un estudio de ventilación que incluya análisis unidimensionales, con software tipo SES o equivalente, para justificar la ubicación de los pozos y la potencia instalada en los mismos, así como análisis CFD tridimensionales para simular los efectos de un incendio en los túneles, la ventilación debe ser diseñada, pensando en la evacuación del humo producido por un incendio.

Se diseñarán los pozos y las galerías para ubicar los ventiladores. Se especificarán los ventiladores y silenciadores teniendo en cuenta los resultados del estudio de ventilación.

Los pozos de ventilación tendrán dimensiones tales que el aire extraído no supere la velocidad de 2,5 m/s, en el caso de salida en zona peatonal y de 3,5 m/s. en calzadas y jardines. Para el aire insuflado, la velocidad máxima no será mayor de 3,5 m/s. en zona peatonal y de 5 m/s. en calzadas y jardines. Los pozos dispondrán de una escalera perimetral

que permita la salida al exterior desde la galería. Ésta se proyectará en un material durable y que no disminuya de forma apreciable la sección útil.

En todos los casos se deben dimensionar las rejillas y estructuras que las sustentan para carga de vehículos, excepto si la rejilla de ventilación se situara elevada sobre un edículo o pequeño edificio. En caso de incendio, la impulsión se detendrá, manteniéndose en funcionamiento el equipo de extracción de aire. Los ventiladores serán axiales capaces de soportar temperaturas de 400ºC durante 2 horas.

Se incluirán variadores de frecuencia para suavizar el arranque de los ventiladores debido a su gran par resistente, así como para poder configurar los regímenes de funcionamiento deseados. Se instalarán silenciadores para garantizar un nivel de ruido confortable en el interior de las estaciones y un nivel de ruido en el exterior acorde a las normativas aplicables..

En el diseño del sistema de ventilación se tendrán en cuenta tanto la ventilación sanitaria normal, cuyo funcionamiento vendrá gobernado por la monitorización de la calidad del aire en el túnel (niveles de CO, etc.), como la ventilación de emergencia en caso de un incendio en el túnel. En este último caso se tendrán en cuenta las posibles posiciones del foco del incendio y las rutas de evacuación.

El sistema de ventilación se diseñará pensando en un posible incendio y no en la utilización normal del túnel.

Se debe considerar, de acuerdo con el diseño de factibilidad de las estaciones, la definición y el cálculo de los diferentes elementos del sistema de ventilación, tanto en estaciones como en el túnel, justificando el dimensionado y determinación de los diferentes componentes del sistema. Está claro que sí la ventilación se diseña para evacuar el humo de un incendio, la evacuación de la polución, en condiciones normales de utilización del túnel, está asegurada.

4.2.11.1 Pozos de ventilación

Los pozos de ventilación comprenden el cubículo y el conjunto de elementos del equipo de ventilación, que consta de:

- Reja de acceso exterior
- Chimenea de ventilación
- Embocadura y acceso interior

Las dimensiones de cada pozo están condicionadas por el estudio de ventilación y por la velocidad máxima admisible del aire. El número mínimo de renovaciones/hora y

velocidades de impulsado máximas serán determinados por la normativa vigente o, en su defecto, nunca inferior a 15 renovaciones/hora y velocidad máxima del aire impulsado de 5 m/s en zonas libres y 2 m/s en zonas de paso.

4.2.11.2 Reja y acceso exterior

La reja exterior para la admisión o extracción de aire en las estaciones debe estar situada en un punto estratégico para su correcto funcionamiento; será el punto de acceso exterior para el mantenimiento de los equipos de ventilación, por lo que debe incorporar una puerta de acceso.

La reja debe estar preparada para soportar el tránsito pesado.

4.2.11.3 Chimenea de ventilación

La chimenea es el conducto de admisión de aire de ventilación. No debe alojar ningún equipo en su interior; solo debe existir la correspondiente escalera para la realización del mantenimiento.

4.2.11.4 Ventiladores

Los ventiladores serán de caudal suficiente para garantizar el número de renovaciones/hora establecido.

Los ventiladores de túnel, de salidas de emergencia y extractores de humo serán resistentes al fuego para garantizar su funcionamiento en caso de emergencia, cumplirán las normas IEC-60331, IEC – 34 -1 y 34-5 y estarán homologados con certificado clase 3 para garantizar dicho funcionamiento hasta una temperatura de 400 ºC durante un tiempo mínimo de 2 horas.

El Contratista detallará las especificaciones para los equipos de ventilación, con el grado suficiente de definición para alcanzar unos altos estándares de calidad, pero sin que se predefina la marca. La obra civil se diseñará, de forma tal que sea compatible con las características de los mejores fabricantes de estos equipos.

4.2.11.5 Conductos metálicos

Los conductos serán metálicos y cumplirán las especificaciones para este tipo de elementos.

Los conductos de ventilación que deben extraer humos deben asegurar que mantendrán su estabilidad y funcionalidad a 400ºC un tiempo mínimo de 2 horas. Los conductos tendrán

su propio sistema de sujeción, no permitiéndose la utilización de soportes de otros sistemas o instalaciones de la estación.

4.2.11.6 Climatización

Para garantizar un correcto funcionamiento, las salas técnicas de señalización y comunicación deben disponer de climatización siempre que las condiciones ambientales no garanticen los requerimientos de temperatura de funcionamiento de los equipos que se instalen. Las salas ocupadas de forma habitual por el personal de estación serán también climatizadas. La climatización se realizará mediante equipos autónomos de expansión directa.

4.2.12 Iluminación

En los túneles se deben considerar dos tipos de iluminación:

- Para servicio normal: Estará constituida por una serie de lámparas de distintos tipos, dando cumplimiento a la normativa vigente aplicable.
- De emergencia: Tiene por objeto que el túnel no se quede a oscuras ante una falta de suministro eléctrico y su instalación será de acuerdo con la normativa internacional vigente definida para este proyecto.

4.2.13 Cámaras televisión

Con las cámaras de televisión se controlará visualmente, desde un centro de control, todo lo que sucede en el sistema; las cámaras, en caso de requerirse en los túneles, deben colocarse por encima de los hastíales y se diseñarán junto con un sistema automático de detección de incidentes (sistema DAI), mediante comparación de imágenes.

4.2.14 Comunicaciones

Considerando que las comunicaciones vía radio en un túnel se pierden, se debe diseñar un sistema que sirva de camino para las ondas electromagnéticas que emiten los *talkys*.

4.2.15 Opacímetros

Los opacímetros tienen por misión detectar falta de visibilidad, producida por un posible incendio. En caso de requerirse, según la normatividad aplicable, deben ir colocados en los hastíales, no muy altos. Cuando detecten polución debida a los humos, deben accionar la ventilación de forma automática.

4.2.16 Señalización de Emergencia

Debe existir una señalización fotoluminiscente a lo largo de todo el túnel, que indique las distancias a las salidas de evacuación más próximas en ambos sentidos.

4.2.17 Bombeo

Se proyectarán los pozos de bombeo necesarios para garantizar la evacuación de las aguas que puedan infiltrarse en los túneles y recogerlas en los puntos bajos del trazado.

El diseño de los pozos de bombeo se deben considerar las cámaras necesarias para alojar los equipos electromecánicos requeridos, así como el puesto de transformación que le dé servicio.

Se debe elaborar un estudio de bombeo en el que se determinarán los caudales infiltrados, lo cuales deben ser conducidos hacia cada pozo. Se deben dimensionar los equipos de bombeo necesarios.

El sistema de bombeo se diseñará con las adecuadas redundancias en términos de equipos de bombeo y alimentación y control de los mismos, de forma que el periodo máximo de tiempo en que los equipos puedan no estar disponibles no supere los 15 minutos. La capacidad del pozo de recogida se dimensionará, al menos, para poder acumular el agua durante el citado periodo de 15 minutos.

4.2.18 Salidas de emergencia

Las salidas de emergencia o de evacuación, son de vital importancia para los usuarios, pues constituyen la vía de escape más segura, teniendo en cuenta la normativa considerada en Proyecto relativa a la evacuación de pasajeros, se acordará con la Interventoría la distancia entre salidas de emergencia, estimándose preliminarmente el cumplimiento con lo establecido en la normativa NFPA 130.

La ubicación de estas salidas será tal que permita a los evacuados el acceso a superficie en condiciones de seguridad, deben estar correctamente señalizadas y tener puertas de paso para personas, puede que den salida a una galería de servicio paralela al túnel o que suban verticalmente hacia la superficie del terreno. Asimismo, deben ser accesibles para los servicios de emergencia y disponer, en las proximidades, de espacio suficiente para la instalación de un campamento médico. En la medida posible se intentará minimizar la longitud de las galerías de conexión entre los túneles y estos pozos de salida.

4.2.19 Situaciones provisionales

El diseño de factibilidad debe incluir el análisis de las interferencias de las obras con la circulación vial, infraestructuras existentes y otras obras en ejecución, así como la definición de situaciones provisionales, definiendo las soluciones propuestas que minimicen dichas interferencias, dando los criterios necesarios para que el futuro Contratista elabore un Plan de Manejo de Transito. (Ver especificación Técnica ET – 03 “Movilidad”.

El Contratista realizará un inventario exhaustivo de las instalaciones y servicios, tanto públicos como privados, existentes a lo largo de la traza que previsiblemente podrían ser afectados, temporal o permanentemente, por la ejecución de las obras y/o la explotación de la Línea; para el efecto, debe recabar la información necesaria de las compañías operadoras y/o propietarios a fin de comprobar en campo la ubicación real de las diferentes redes de servicios. Con la información obtenida, se prepararán planos de situación de los servicios afectados, que servirán de base para la realización de los correspondientes proyectos de reposición, también objeto del presente proyecto. (ver especificación técnica ET-09 “Interferencia con redes de servicios”)

5 RESULTADOS

5.1 DEBIDA DILIGENCIA

El Contratista debe presentar, como parte de la “Debida Diligencia de la Información”, un informe detallado resultante de la recopilación y análisis de la información secundaria, en el que consolide los principales hallazgos y conclusiones respecto a la aplicación que esa información tendrá como insumo para la diagnóstico y elaboración de los diseños de factibilidad de este componente, considerando su validez, pertinencia y vigencia.

El informe debe incluir la recopilación y los resultados de la revisión y análisis de los insumos existentes, como productos de prefactibilidad, factibilidad y/o estudios y diseños y/o obra y/o planos récord de proyectos desarrollados por la empresa Metro de Bogotá S.A., y/o de cualquier otra entidad. Dentro de los resultados obtenidos de la Debida Diligencia se debe indicar la validez de la información consultada, con la descripción y justificación clara de las razones técnicas que soportan la respuesta sobre qué información se va a utilizará durante la elaboración de los diseños de factibilidad y en qué medida cumple con lo requerido.

5.2 FACTIBILIDAD: PROYECTO DE TÚNEL

El Contratista debe entregar, como mínimo, las siguientes memorias y planos:

- Memorias de cálculo
- Planta y perfil longitudinal de trazado a escala mínima 1:1000 (H)

- Secciones tipo (incluyendo disposición de instalaciones) a escala mínima 1:25
- Planta geológica en superficie y a cota de eje de túnel a escala mínima 1:1000
- Perfil geotécnico del túnel a escala mínima 1:1000 (H)
- Plantas de los emboquilles/pozos de ataque y explotación incluyendo cartografía de superficie. Escala 1:100
- Secciones constructivas de excavación, sostenimiento y revestimiento.
- Definición estructural de las dovelas y sus elementos constituyentes.
- Impermeabilización y drenaje.
- Plantas de drenaje y conexión con la red de saneamiento.
- Plantas y secciones tipo de instrumentación y control de obra, incluida monitorización de edificios, estructuras e instalaciones que puedan verse afectadas por las obras, monitorización de nivel freático, control de asientos en superficie, etc.
- Plantas y secciones tipo de tratamientos del terreno.
- Definición geométrica y estructural de las obras complementarias (pozos) y su conexión con el túnel.
- Especificaciones Técnicas para el Diseño Detallado de túneles y obras auxiliares y complementarias.
- Especificaciones Técnicas para la Ejecución de túneles y obras auxiliares y complementarias.
- Especificaciones Técnicas para la instrumentación y control de las obras y edificios, estructuras e instalaciones que puedan verse afectadas por las mismas., incluyendo un Plan Preliminar de Instrumentación y Control.
- Demás documentos y anexos a que se hace referencia en el numeral 4.2 de la presente especiación técnica.