



Consultoría para la elaboración de un estudio estratégico sobre el Tramo 3 de la línea Tibitoc – Casablanca de 78 pulgadas, en armonía con el Proyecto de Transmilenio de la Avenida Boyacá, con base en información existente

**Producto 3: Desarrollo conceptual de la configuración de red matriz seleccionada para reemplazar el Tramo 3 de la tubería Tibitoc – Casablanca de la ciudad de Bogotá**  
**Contrato No. 2-02-25400-1513-2**

Elaborado por



# Tabla de Contenido

|   |            |
|---|------------|
| <b>SECCIÓN 1 MARCO DE REFERENCIA</b>  | <b>1-1</b> |
| 1.1 ANTECEDENTES  | 1-1        |
| 1.2 CONCLUSIONES DE LOS PRODUCTOS 1 Y 2   | 1-1        |
| 1.3 ALCANCE DEL PRODUCTO 3  | 1-2        |
| <b>SECCIÓN 2 ASPECTOS HIDRÁULICOS</b>   | <b>2-1</b> |
| 2.1 SIMULACIÓN HIDRÁULICA   | 2-3        |
| 2.2 RESUMEN Y RECOMENDACIONES   | 2-8        |
| <b>SECCIÓN 3 SOLUCIÓN A NIVEL CONCEPTUAL</b>                                    | <b>3-1</b> |
| 3.1 METODOLOGÍA PARA EL TRAZADO   | 3-1        |
| 3.2 CRITERIOS DE DISEÑO DEL ALINEAMIENTO DEL TÚNEL                              | 3-2        |
| 3.2.1 <i>Alineamiento general</i>   | 3-2        |
| 3.2.2 <i>Requerimientos operativos y conexión de derivaciones</i>               | 3-2        |
| 3.2.3 <i>Requisitos de construcción</i>   | 3-4        |
| 3.2.4 <i>Aspectos prediales</i>   | 3-4        |
| 3.2.5 <i>Aspectos de movilidad</i>  | 3-4        |
| 3.2.6 <i>Interferencias de redes de servicios públicos</i>                      | 3-5        |
| 3.2.7 <i>Precisión de la localización</i>                                       | 3-10       |
| 3.3 SECTORIZACIÓN DE LA RUTA  | 3-10       |
| 3.3.1 <i>Tramo uno</i>  | 3-10       |
| 3.3.2 <i>Tramo dos</i>  | 3-10       |
| 3.3.3 <i>Tramo tres</i>   | 3-11       |
| 3.3.4 <i>Tramo cuatro</i>   | 3-11       |
| 3.4 ZONAS DE TRABAJO  | 3-11       |
| <b>SECCIÓN 4 LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS Y EQUIPOS HIDRÁULICOS</b>              | <b>4-1</b> |
| 4.1 ESTRUCTURAS   | 4-1        |
| 4.2 EQUIPOS HIDRÁULICOS   | 4-1        |
| 4.2.1 <i>Pozos de acceso</i>  | 4-1        |
| 4.2.2 <i>Válvulas directas</i>  | 4-2        |
| 4.2.3 <i>Válvulas de purga, ventosas, bocas de acceso y cámaras de válvulas</i> | 4-2        |
| <b>SECCIÓN 5 ESTIMACIÓN CONCEPTUAL DE COSTOS Y PRESUPUESTOS</b>                 | <b>5-1</b> |
| <b>SECCIÓN 6 IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA</b>                     | <b>6-1</b> |
| 6.1 CRONOGRAMA  | 6-3        |
| <b>SECCIÓN 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>                                 | <b>7-1</b> |
| 7.1 CONCLUSIONES  | 7-1        |
| 7.2 RECOMENDACIONES   | 7-2        |
| <b>SECCIÓN 8 REFERENCIAS</b>  | <b>8-1</b> |

## Lista de anexos

---

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>ANEXO 1</b>         | Derivaciones y conexión de la variante  |
| <b>ANEXO 2</b>         | Interferencias sobre el corredor seleccionado   |
| <b>ANEXO 3</b>         | Alineamiento y perfil de la alternativa seleccionada  |
| <b>ANEXO 4</b>         | Esquema de pozo típico  |
| <b>ANEXO 5</b>         | Alineamiento de la variante y localización de pozos   |
| <b>ANEXO 6</b>         | Zonas de trabajo para construcción de pozos   |
| <b>INFORME TÉCNICO</b> | Información y esquemas de referencia de las derivaciones del Tramo 3 de la línea Tibitoc - Casablanca |

## Lista de tablas

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 2-1. Demandas del Tramo 3, mayo 2014 .....   | 2-2 |
| Tabla 2-2. Demandas Tramo 3 para el año 2010 del Plan Maestro de red matriz del 2011. ....   | 2-3 |
| Tabla 2-3. Demandas de los sectores hidráulicos del Tramo 3 del modelo del Plan Maestro, escenario Noviembre-Dinámico, hora máximo consumo 11:50. .... | 2-4 |
| Tabla 2-4. Porcentaje de caudales aportados al tramo 3 por los diferentes sistemas. ....   | 2-4 |
| Tabla 2-5. Pérdidas de fricción en el Tramo 3 entre Calle 80 y el punto de cambio de dirección de flujo. ....  | 2-5 |
| Tabla 2-6. Pérdidas de fricción en el modelo conceptual para el Tramo 3 entre Calle 80 y el punto de cambio de dirección de flujo.....                 | 2-5 |
| Tabla 3-1. Detalle de localización de la nueva conducción.....   | 3-1 |
| Tabla 3-2. Derivaciones existentes de red matriz en el Tramo 3.....  | 3-2 |
| Tabla 5-1. Estimación conceptual del Presupuesto total de construcción de la alternativa seleccionada -..  | 5-2 |

## Lista de figuras

|  |     |
|--|-----|
| Figura 2-1. Línea de Gradiente Hidráulico para diferentes diámetros, escenario 2010 del Plan Maestro de red matriz 2011.....                                   | 2-6 |
| Figura 2-2. Línea de Gradiente Hidráulico para diferentes diámetros, escenario 2030 del Plan Maestro de red matriz 2011.....                                   | 2-7 |
| Figura 3-1. Red de telecomunicaciones – ETB, entregado por la EAB. ....  | 3-6 |
| Figura 3-2. Propuesta de refuerzo del interceptor Boyacá, Contrato 1-02-25500-1318-2013. ....  | 3-9 |
| Figura 6-1. Diagrama de Gantt – Programa conceptual de trabajo para el diseño y construcción de la variante del Tramo 3 de la Línea Tibitoc – Casablanca ..... | 6-3 |

## Sección 1

# Marco de Referencia

### 1.1 Antecedentes

Mediante el contrato No. 2-02-25400-1513-2 de 2013, la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá - EAB contrató con CDM Smith la consultoría para la elaboración de un estudio estratégico sobre el Tramo 3 de la Línea Tibitoc-Casablanca de 78" en armonía con el proyecto de Transmilenio de la Avenida Boyacá, con base en la información existente. De acuerdo con los términos de referencia del contrato, el estudio se desarrolló en tres etapas: la primera etapa tuvo como objeto definir la necesidad de reemplazar el Tramo 3 de la tubería debido a las nuevas cargas estáticas y dinámicas producidas por la construcción y operación de Transmilenio; en la segunda etapa, se llevó a cabo el estudio de las alternativas de reemplazo de la tubería en caso de que ésta tuviera que reubicarse y selección de la mejor alternativa; y la tercera etapa tiene como objetivo establecer a nivel conceptual la configuración de la alternativa seleccionada para reemplazar el Tramo 3 de la tubería.

Como resultado de cada etapa, se obtienen los siguientes productos:

- Producto 1 - Definición de los impactos potenciales sobre el Tramo 3 de la tubería Tibitoc-Casablanca por la construcción del proyecto Transmilenio Avenida Boyacá. Este producto fue aprobado por la EAB en Mayo de 2014.
- Producto 2 - Definición de las alternativas de reemplazo del Tramo 3 de la Tubería Tibitoc - Casablanca y selección de la mejor alternativa. Este informe fue entregado a la EAB en agosto de 2014.
- Producto 3 - Desarrollo a nivel conceptual de la configuración de red matriz seleccionada para reemplazar el Tramo 3 de la Tubería Tibitoc - Casablanca de la ciudad de Bogotá.
- Producto 4 - Términos de referencia para los diseños detallados de la variante del Tramo 3 de la línea Tibitoc - Casablanca. Este producto es el resultado de una adición al contrato de consultoría.

### 1.2 Conclusiones de los productos 1 y 2

La conclusión de la primera etapa de la consultoría fue la necesidad de reemplazar el Tramo 3 de la tubería Tibitoc - Casablanca, por el efecto que las nuevas cargas que se generarían con la construcción y operación de Transmilenio Avenida Boyacá tendrían sobre ésta, por razones operativas relacionadas con su interacción con Transmilenio, y por consideraciones relacionadas con estadísticas y datos históricos de rotura de tubos PCCP de gran diámetro, estudiados por la WSSC, la EPA y la AWWA, que demuestran que el colapso de un tubo PCCP puede tener resultados gravísimos y que el Tramo 3 de la Tubería Tibitoc - Casablanca tiene un riesgo alto de falla, lo cual de presentarse sería devastador.

De acuerdo con lo anterior, se estableció que no es posible construir y operar Transmilenio con la tubería de 78" en operación, sin incurrir en un alto riesgo de falla y que por tanto para poder proceder con la construcción de la troncal de Transmilenio, la tubería deberá ser sustituida y relocalizada en toda la longitud en que coinciden el Tramo 3 de la Tubería Tibitoc - Casablanca y Transmilenio, antes de iniciar cualquier trabajo de construcción de Transmilenio. Teniendo en cuenta la dependencia del

Tramo 3 de la tubería y su riesgo de falla, se recomendó reemplazar todo el Tramo 3 de la tubería Tibitoc - Casablanca, entre la calle 80 con Av. Boyacá y el Tanque Casablanca (16.4 km).

En la segunda etapa, Producto 2, se definió como punto de inicio de reemplazo del Tramo 3, el K35+793 de la conducción (válvula 39) y como punto final, el K52+131 que corresponde a la llegada a la bifurcación de entrega al tanque de Casablanca. Se estudiaron tres posibles corredores para la variante: Avenida Boyacá, que es el mismo corredor de la línea matriz actual, Avenida Ciudad de Cali y futura Avenida Longitudinal de Occidente (ALO). La ruta por la Avenida Ciudad de Cali no resultó ser alternativa viable y; la construcción de la variante por el corredor de la ALO tiene un costo mayor que las soluciones por la Avenida Boyacá y, además, presenta inconvenientes de carácter técnico, operativo, constructivo, programático y de impacto urbano, ambiental y social.

La recomendación fue mantener el corredor actual, y construir la variante principalmente mediante metodología sin zanja. En cuanto al método constructivo, por la Avenida Boyacá y por la Avenida del Ferrocarril, la construcción debe ser principalmente subterránea, por razones técnicas y por los impactos durante la construcción, tanto de tipo social como de manejo de tráfico. El tramo final, desde la Avenida Ciudad de Villavicencio hasta la válvula 44, podría construirse en zanja; esta decisión amerita un estudio detallado de acuerdo con las características geotécnicas de este tramo. Adicionalmente, en el tramo que va desde la válvula 44 hasta el tanque Casablanca, existe una gran cantidad de interferencias y la solución podría ser una rehabilitación de la tubería existente, previa construcción de un bypass que garantice el funcionamiento hidráulico adecuado de la red matriz.

En lo que respecta a las condiciones hidráulicas de la nueva tubería, a partir del análisis conceptual, se recomendó conservar para la variante el diámetro actual de 78", y dado que tanto el diámetro de la tubería como su ubicación general (Avenida Boyacá – Avenida Ferrocarril del sur – Avenida Ciudad de Villavicencio) se mantienen, las condiciones de operación hidráulica serían similares a las actuales. Por tanto, los sectores hidráulicos se mantendrían, al igual que la configuración general de la red.

### 1.3 Alcance del Producto 3

En el Producto 3 se desarrolla a nivel conceptual la alternativa seleccionada para la variante del Tramo 3 de la línea Tibitoc-Casablanca, incluyendo la revisión hidráulica con base en el modelo de red matriz de la EAB, para el escenario normal y futuro del Plan Maestro de red matriz. De igual manera, para la alternativa seleccionada, se presenta la propuesta de, localización de la variante en el corredor seleccionado, esquema de estructuras principales básicas de la solución y su pre-dimensionamiento, el esquema de interconexión a la red matriz; así como los costos y el presupuesto estimado del proyecto.

Este informe también contiene el programa de implementación del proyecto de la variante, que incluye: cronograma de ejecución, ruta crítica y una descripción de los aspectos más relevantes para asegurar su correcto desarrollo, teniendo en cuenta, entre otros, los acuerdos entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAB y el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá – IDU, con respecto a la construcción del proyecto de Transmilenio por la Avenida Boyacá.

En el desarrollo de este producto, se aprovecharon parámetros y elementos de diseño desarrollados en la consultoría “Estudios y diseños para la rehabilitación de la línea de la red matriz de 78” Tibitoc – Casablanca”, del Consorcio Tibitoc 2006. La consultoría se realizó con base en información secundaria.

## Sección 2

### Aspectos hidráulicos

La EAB bajo el esquema de operación normal, suministra agua al 30% de la ciudad a través de la línea matriz de 78" Tibitoc – Casablanca que se extiende desde la Planta de Tibitoc ubicada al norte de la ciudad hasta el Tanque Casablanca localizado al sur de la ciudad de Bogotá. Esta línea tiene una longitud de 53,2 km y se compone de los siguientes tramos:

- Tramo 1: Con una longitud de 5,5 km, se extiende desde la Planta Tibitoc hasta el sector denominado Los Clubes.
- Tramo 2: Con una longitud de 31,4 km, se extiende desde Los Clubes hasta la Calle 80.
- Tramo 3: Con una longitud de 16,3 km, se extiende desde la Calle 80 hasta el Tanque de Casablanca.

El Tramo 3, objeto del presente informe, abastece la zona de servicio de mayor extensión de Bogotá, conocida como Zona Baja Norte, los municipios de Funza, Madrid y Mosquera y la zona industrial de cota<sup>1</sup> y en el futuro, es posible que también se alimenten los municipios de Bojacá, La Mesa y Anapoima. El sector ZBN, alimentado por el Tramo 3 de la línea matriz, está limitado por la Avenida 68 al oriente, el río Bogotá al occidente, la calle 80 al norte y al sur por el límite político del municipio de Soacha y la frontera de servicio de los cerros Surorientales. En este tramo, la línea matriz alimenta las localidades de Engativá, Fontibón, Kennedy y Bosa y parcialmente a las de Tunjuelito, Ciudad Bolívar, y Puente Aranda, las cuales corresponden a los sectores hidráulicos S-501, S-502, S-303, S-204, S-210, S-312, S-413, S-436<sup>2</sup>, S-437. Dicha alimentación se realiza a través de más de 20 derivaciones, con diámetros entre 12 y 42 pulgadas.

El caudal demandado por los sectores que alimenta el Tramo 3 es de 6,2 m<sup>3</sup>/s aproximadamente y de 10,29 m<sup>3</sup>/s en hora de máximo consumo, en la Tabla 2-1 se puede ver las demandas para cada sector hidráulico, tomadas de información recibida de la empresa de macromedición para el mes de mayo del presente año; estos datos ya tienen incluida la demanda para los municipios (en el sector 3).

---

<sup>1</sup> Según información recibida por la EAB en reunión con la consultoría.

<sup>2</sup> Según información recibida por la EAB en reunión con la consultoría, en la actualidad en condiciones de operación normal el Tramo 3 de la tubería Tibitoc-Casablanca no alimenta el sector 36 ya que se usa el bypass Silencio-Casablanca.

Tabla 2-1. Demandas del Tramo 3, mayo 2014

| Sectores Hidráulicos | Macromedición EAB - Mayo 2014 |                  |
|----------------------|-------------------------------|------------------|
|                      | Q promedio                    | Q máximo horario |
|                      | l/s                           | l/s              |
| S-10                 | 306,87                        | 437,95           |
| S-4                  | 1.306,54                      | 2.139,37         |
| S-3                  | 1.068,36                      | 1.702,28         |
| S-12                 | 495,85                        | 897,11           |
| S-2                  | 1.178,84                      | 1.900,51         |
| S-1                  | 923,64                        | 1.716,39         |
| S-13                 | 446,00                        | 705,18           |
| S-36                 | 51,00                         | 81,60            |
| S-37                 | 379,48                        | 706,25           |
|                      | <b>6.157</b>                  | <b>10.287</b>    |

El análisis hidráulico conceptual, presentado en el producto 2 de esta consultoría, incluyó el análisis de tres modelos de red matriz, de los cuales se seleccionaron 4 escenarios:

1. Escenario Actual (2010): Estudio Plan Maestro sistema red matriz de acueducto de la ciudad de Bogotá y el municipio de Soacha. Contrato No. 2-02-25400-0810-2010. Camp Dresser & McKee Inc.
2. Escenario Futuro (2020): Estudios y diseños para la rehabilitación de la línea red matriz de 78" Tibitoc – Casablanca. Contrato 1-02-25400-514-2006. Consorcio Tibitoc 2006.
3. Escenario Futuro (2030): Estudio Plan Maestro sistema red matriz de Acueducto de la ciudad de Bogotá y el municipio de Soacha. Contrato No. 2-02-25400-0810-2010. Camp Dresser & McKee Inc.
4. Escenario Futuro (2030): Estudios de factibilidad para la ampliación del sistema red matriz acueducto a municipios del occidente. Contrato No. 1-02-25400-0865-2011. INAR Asociados S.A.

El análisis realizado con el modelo conceptual hidráulico, presentado en la Sección 7 del Producto 2, dio como resultado que el diámetro de la tubería de reemplazo del Tramo 3, ubicada por el corredor de la Avenida Boyacá, se debe mantener en 78 pulgadas para mantener condiciones equivalentes a las de la tubería existente. Dado que tanto el diámetro de la tubería como la ubicación de ésta (paralela a la existente) se mantienen, la configuración de la red matriz sigue siendo la misma, y por lo tanto el modelo hidráulico de la red matriz en Watergems, existente en la EAB, sigue siendo adecuado para representar las condiciones hidráulicas de este tramo.

En el presente capítulo se evaluarán los escenarios actual (escenario Noviembre-Dinámico en su hora de máximo consumo, 11:30 a.m.) y futuro (A-30-2m Estático-Horapico) del modelo del estudio Plan Maestro del sistema red matriz de Acueducto de la ciudad de Bogotá y el Municipio de Soacha, 2011. Se realizara la simulación en el modelo, con distintos diámetros para comparar los resultados obtenidos en el análisis del modelo conceptual.

El Plan Maestro elaborado en el año 2011 por CDM consideró las proyecciones de población y de demanda para toda la ciudad y para los municipios que actualmente se abastecen del acueducto de

Bogotá, establecidas en el Estudio de Cubillos del año 2009 para efectuar las simulaciones hidráulicas. En la Tabla 2-2 se presentan las demandas tenidas en cuenta en este estudio.

**Tabla 2-2. Demandas Tramo 3 para el año 2010 del Plan Maestro de red matriz del 2011.**

| Sector Hidráulico | 2010         | 2030         |
|-------------------|--------------|--------------|
|                   | Q promedio   | Q promedio   |
|                   | l/s          | l/s          |
| S-10              | 262          | 261          |
| S-4               | 1.237        | 1.367        |
| S-3               | 486          | 599          |
| S-12              | 581          | 801          |
| S-2               | 1.143        | 1.220        |
| S-1               | 638          | 786          |
| S-13              | 339          | 354          |
| S-36              | 242          | 315          |
| S-37              | 312          | 340          |
| Municipios        | 207          | 671          |
|                   | <b>5.447</b> | <b>6.714</b> |

## 2.1 Simulación hidráulica

Con el análisis de variación de diámetro de la tubería se busca establecer un pre-dimensionamiento de la tubería de reemplazo del Tramo 3 de la línea Tibitoc-Casablanca mediante un análisis comparativo entre las pérdidas por fricción.

La simulación se realizará sin incluir los coeficientes de pérdidas menores (se eliminaron los coeficientes de pérdidas de las tuberías ID: 6012 e ID: 7048) y sin incluir la válvula de cheque localizada en la intersección de la Autopista sur con Avenida Boyacá (ID: 5738). Esto con el fin de comparar los resultados con el modelo conceptual en el cual solo se consideraron estas pérdidas.

Los escenarios de simulación serán analizados para condiciones de máximo consumo, con el fin de tener en cuenta las condiciones críticas del sistema, en la Tabla 2-3 se presentan las demandas del Tramo 3, de 78 pulgadas, agrupadas por sectores hidráulicos para los dos escenarios. En el escenario actual el caudal que aportan el Tanque Tibitoc Bajo y el Tanque Suba Nuevo es de 6,43 m<sup>3</sup>/s mientras que el caudal que aporta el Tanque Casablanca es de 1,87 m<sup>3</sup>/s para un total de 8,3 m<sup>3</sup>/s. En el escenario futuro el caudal que aportan el Tanque Tibitoc Bajo y el Tanque Suba Nuevo es de 10,24 m<sup>3</sup>/s y el caudal que aporta el Tanque Casablanca es de 1,28 m<sup>3</sup>/s para un total de 11,52 m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 2-3. Demandas de los sectores hidráulicos del Tramo 3 del modelo del Plan Maestro, escenario Noviembre-Dinámico, hora máximo consumo 11:50.**

| Sectores Hidráulicos | 2010 - Plan Maestro red matriz | 2030 - Plan Maestro red matriz |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                      | Q máximo<br>l/s                | Q máximo<br>l/s                |
| S-10                 | 390                            | 410                            |
| S-4                  | 1.850                          | 2.160                          |
| S-3                  | 680                            | 1.640                          |
| S-12                 | 640                            | 1.050                          |
| S-2                  | 1.820                          | 1.850                          |
| S-1                  | 1.100                          | 1.110                          |
| S-13                 | 670                            | 700                            |
| S-36                 | 400                            | 300                            |
| S-37                 | 430                            | 500                            |
| Municipios           | 320                            | 1.800                          |
|                      | <b>8.300</b>                   | <b>11.520</b>                  |

En ambos escenarios el modelo es alimentado principalmente desde la línea Wiesner-Suba, otra parte del caudal la aporta el tanque Tibitoc bajo y en algunas horas también, entra el caudal desde el tanque Casablanca, la elevación del tanque Suba en el modelo varía entre 2.610 m y 2.619 m, el nivel del tanque Tibitoc Bajo es de 2.636 y el nivel del tanque Casablanca varía entre 2.694 m y 2.606 m. En la Tabla 2-4 se presentan los porcentajes de caudal que aporta cada uno de los tanques a la alimentación del Tramo 3, para los dos escenarios seleccionados.

**Tabla 2-4. Porcentaje de caudales aportados al tramo 3 por los diferentes sistemas.**

| Sistema      | 2010 - Noviembre dinámico, 11:30 | 2030 - A-30-2m Estático-Horapico |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Tibitoc      | 15%                              | 11%                              |
| Wiesner-Suba | 63%                              | 78%                              |
| Casablanca   | 23%                              | 11%                              |

En la Tabla 2-5 se presenta un resumen de los resultados obtenidos, donde se cuantifica la pérdida total entre la calle 80 y el punto hasta donde se tiene un cambio en la dirección del flujo. Y en la Tabla 2-6 se encuentran los resultados obtenidos en el modelo conceptual del Producto 2 de esta consultoría. Al comparar los resultados se encuentra que el modelo conceptual sobredimensiona las pérdidas por fricción cuando hay una reducción del diámetro, estas diferencias se dan debido a que al realizar la modelación integral de todo el sistema red matriz la zona alimentada desde el Tanque Casablanca es mayor, lo que disminuye las pérdidas en el tramo de la Calle 80 hasta el punto de cambio de dirección del flujo; adicionalmente, para la simulación se eliminó la válvula de cheque que no permite que el flujo pase de la intersección de la Avenida Boyacá con Autopista Sur. En este caso, las pérdidas al disminuir el diámetro a 60" para el escenario actual son aproximadamente 10 m y para el escenario futuro son de 3m.

**Tabla 2-5. Pérdidas de fricción en el Tramo 3 entre Calle 80 y el punto de cambio de dirección de flujo.**

|      | Diámetro | Pérdidas fricción | Punto de cambio de dirección del flujo         | Derivación |
|------|----------|-------------------|--|------------|
|      | Pulgadas | metros            |  |            |
| 2010 | 90       | 2,52              | Autopista sur con Avenida Villavicencio        | 16         |
|      | 84       | 3,66              | Autopista sur con Avenida Villavicencio        | 16         |
|      | 78       | 5,35              | Autopista sur con Avenida Villavicencio        | 16         |
|      | 72       | 7,93              | Autopista sur con Avenida Villavicencio        | 16         |
|      | 66       | 9,14              | Avenida Boyacá con Avenida Ferrocarril del sur | 12         |
|      | 60       | 15,38             | Avenida Boyacá con Avenida Ferrocarril del sur | 12         |
| 2030 | 90       | 4,15              | Autopista sur con Avenida Villavicencio        | 16         |
|      | 84       | 4,86              | Autopista sur con Avenida Villavicencio        | 16         |
|      | 78       | 5,66              | Autopista sur con Avenida Villavicencio        | 17         |
|      | 72       | 6,47              | Autopista sur con Avenida Villavicencio        | 16         |
|      | 66       | 7,50              | Avenida Ferrocarril del sur con carrera 70     | 15         |
|      | 60       | 8,89              | Avenida Boyacá con Avenida Ferrocarril del sur | 12         |

**Tabla 2-6. Pérdidas de fricción en el modelo conceptual para el Tramo 3 entre Calle 80 y el punto de cambio de dirección de flujo.**

| Diámetro<br>(in) | 2010<br>Plan Maestro | 2030<br>Plan Maestro |
|------------------|----------------------|----------------------|
|                  | Pérdidas<br>(metros) | Pérdidas<br>(metros) |
| 90               | 2,65                 | 2,78                 |
| 84               | 3,71                 | 3,90                 |
| 78               | 5,33                 | 5,59                 |
| 72               | 7,87                 | 8,25                 |
| 66               | 12,02                | 12,61                |
| 60               | 19,12                | 20,06                |

En la Figura 2-1 y la Figura 2-2 se muestran las líneas de gradiente hidráulico obtenidas para cada uno de los escenarios simulados, y en la Tabla 2-6 se encuentran los resultados obtenidos en el modelo conceptual del Producto 2 de esta consultoría. Es importante tener en cuenta que, si no se eliminan las pérdidas menores del modelo, la diferencia en las pérdidas de energía al disminuir el diámetro aumenta significativamente (17 m entre una tubería de 78" y 59 m para una de 60" para el 2010 y 10m y 39 m respectivamente para el 2030), teniendo consecuencias importantes en la presión disponible al final de la red, esto es importante ya que el modelo fue calibrado con estos parámetros por lo que deben ser tenidos en cuenta en la selección final del diámetro de la tubería.

Figura 2-1. Línea de Gradiente Hidráulico para diferentes diámetros, escenario 2010 del Plan Maestro de red matriz 2011

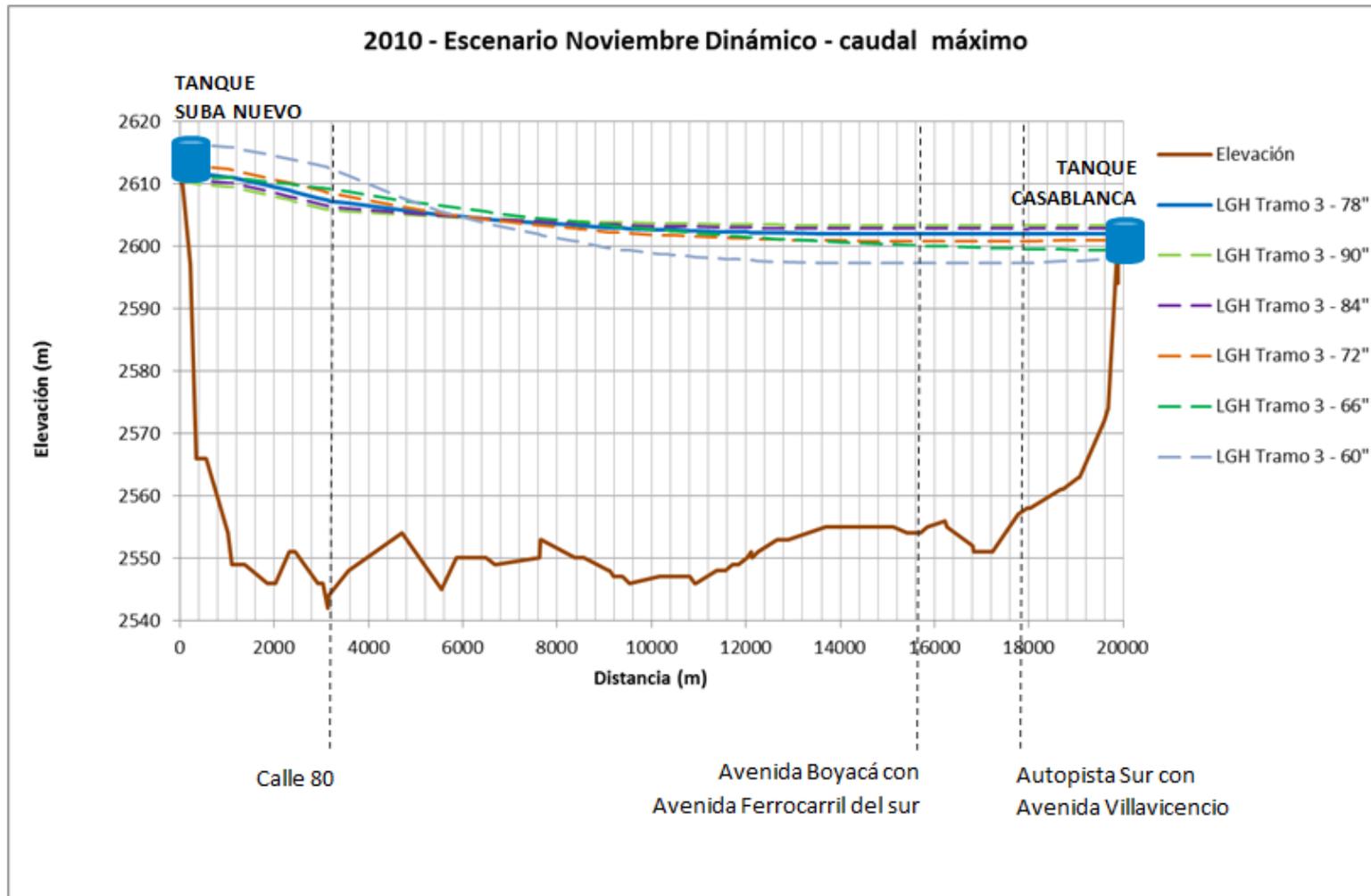
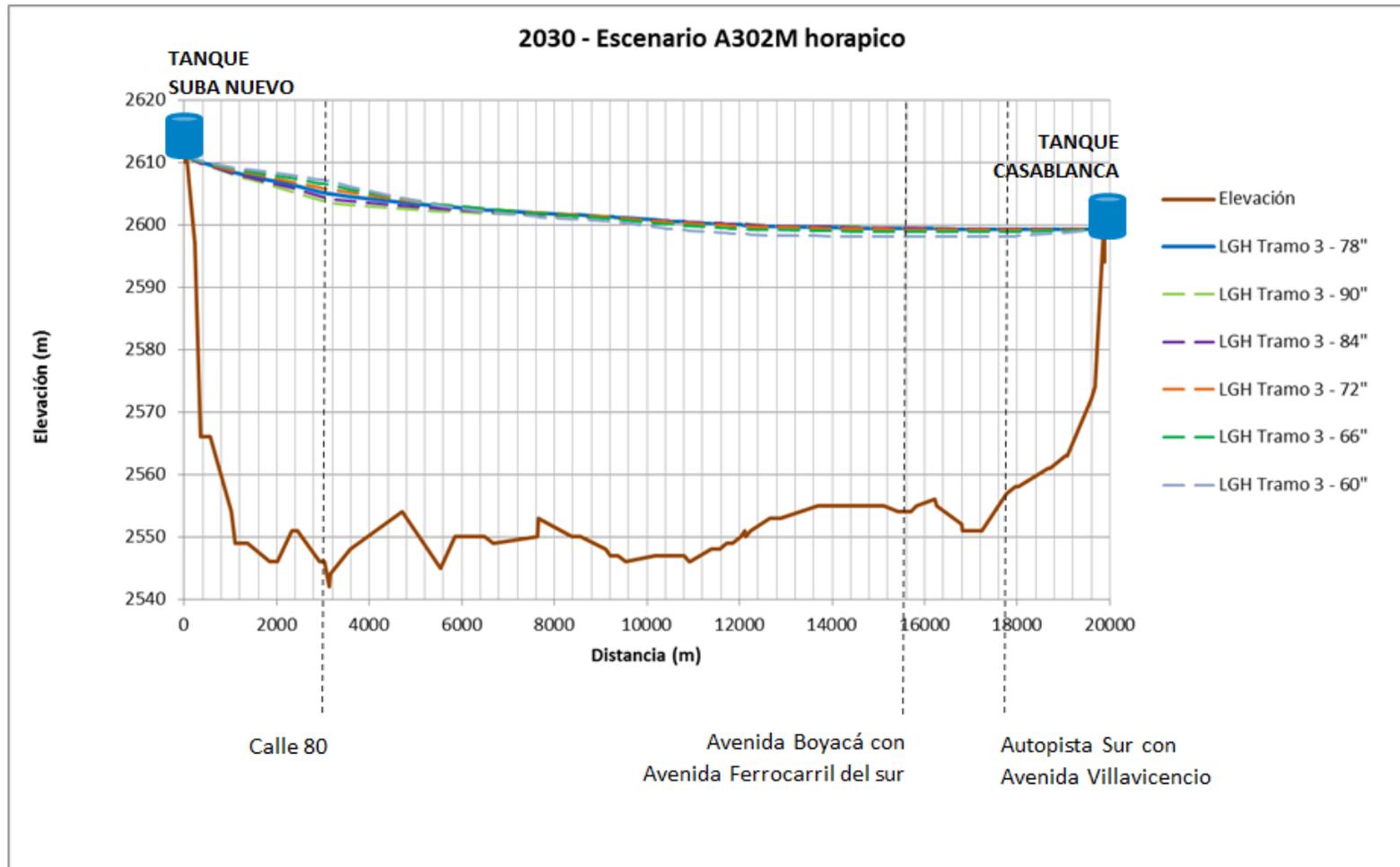


Figura 2-2. Línea de Gradiente Hidráulico para diferentes diámetros, escenario 2030 del Plan Maestro de red matriz 2011.



## 2.2 Resumen y recomendaciones

Con la simulación hidráulica se encontró que las pérdidas de energía son mayores en el escenario actual que en el futuro, esto se debe a que con las obras de refuerzo planteadas en el estudio del Plan Maestro de red matriz el caudal que entra desde la línea Wiesner - Suba se distribuye entre la tubería existente del Tramo 3 y la obra de refuerzo de los municipios, por lo tanto las pérdidas en el Tramo 3 también disminuyen.

Con el modelo conceptual se obtuvieron mayores pérdidas por fricción que en la simulación con el modelo en WaterGems, esto se da ya que con el modelo se está evaluando integralmente todo el sistema y el esquema de alimentación de los tanques es dinámico, variando para cada diámetro, mientras que en el modelo conceptual de este estudio se partía de los mismos datos iniciales para la evaluación de todos los diámetros.

Las pérdidas por fricción en el modelo original calibrado, que incluye pérdidas menores y una válvula de cheque en la Autopista sur con Avenida Villavicencio, aumentan en 43 m al cambiar de una tubería de 78" a una de 60".

Las pérdidas por fricción al disminuir el diámetro de 78" a 60" en el modelo de red matriz del Plan Maestro para los escenarios actual y futuro varían entre 3 m y 10 m. Adicionalmente, si se tienen en cuenta las pérdidas menores con las que el modelo fue calibrado se observa que las pérdidas aumentan significativamente al cambiar de una tubería de 78" a una de 60", teniendo consecuencias importantes en la presión disponible al final de la red. Por lo tanto, a nivel de estudio conceptual, la consultoría recomienda que el diámetro de la tubería se mantenga en 78" para mantener las condiciones hidráulicas del sistema.

## Sección 3

# Solución a nivel conceptual

Como se señaló, la ruta seleccionada para la localización de la conducción es la Avenida Boyacá – Avenida del Ferrocarril – Avenida Ciudad de Villavicencio. La construcción de los primeros 14,5 km que comprenden el tramo de la Avenida Boyacá y la Avenida del Ferrocarril se haría mediante obra subterránea, el tramo sobre la Avenida Villavicencio se realizaría en zanja y desde la válvula 44 hasta la bifurcación del tanque de Casablanca se haría una rehabilitación de la conducción existente. En la tabla 3-1 se presenta el detalle de la localización.

**Tabla 3-1. Detalle de localización de la nueva conducción**

| Desde   | Hasta   | Tramo   | Longitud (km) |
|---------|---------|---|---------------|
| K35+793 | K48+041 | Válvula 39 – Válvula 42 (Avenida Boyacá)        | 12,2          |
| K48+041 | K50+296 | Válvula 42 – Válvula 43 ( Avenida Ferrocarril)  | 2,3           |
| K50+296 | K51+425 | Válvula 43 – Válvula 44 (Avenida Villavicencio) | 1,1           |
| K51+425 | K52+131 | Válvula 44 – Tanque Casablanca                  | 0,7           |
|         |         |   | 16,3          |

La alternativa de rehabilitación de este último tramo depende de la posibilidad de operar temporalmente el sistema alimentando el tanque Casablanca por medio de la tubería de 42” y alimentando desde Tibitoc el tramo desde la válvula 44 hacia el norte. A nivel conceptual, este estudio estimó para el by-pass entre la válvula V44 y el Tanque Casablanca un diámetro de 38”.

La estimación del diámetro se realizó a partir del escenario futuro del modelo del Plan Maestro de red matriz, teniendo en cuenta el caudal máximo (2,68 m<sup>3</sup>/s) que se suministra desde el tanque Casablanca en el escenario seleccionado y una pérdida de 5 metros entre el tanque Casablanca y la válvula V-44.

En caso que los análisis técnicos y financieros de los diseños detallados muestren que la construcción de este by-pass no es viable, se podría recurrir al reemplazo de este tramo de la misma forma como se propone para el tramo de la Avenida Ciudad de Villavicencio.

A continuación se presenta la metodología utilizada para el trazado de la variante y los criterios de diseño que se utilizaron.

### 3.1 Metodología para el Trazado

Para la localización del eje de la nueva conducción se utilizaron unas ortofotos de Bogotá del año 2.009 e imágenes satelitales de Google, las cuales permiten una adecuada precisión para localización previo al trabajo de campo. Las imágenes se ensamblaron para contar con una imagen continua a lo largo del corredor entre la válvula 39 y el tanque Casablanca, puntos seleccionados como inicio y fin de la conducción.

Con base en dichas imágenes, se hizo un recorrido detallado en campo, localizando punto por punto todos los sitios requeridos para el diseño tales como eje del túnel, puntos de inflexión, pozos de operación y construcción y, zonas de trabajo.

Posteriormente, en la oficina de la consultoría se determinaron las coordenadas de todos los puntos identificados en campo. De esta manera se tiene un trazado detallado del eje del túnel con una precisión suficiente, a nivel conceptual, de tal manera que sirva como base a los estudios posteriores.

## 3.2 Criterios de diseño del alineamiento del túnel

Entre los criterios de diseño que se tuvieron en cuenta para determinar el alineamiento del túnel, se encuentran los siguientes: alineamiento general, requerimientos operativos, requisitos de construcción, aspectos prediales, aspectos de movilidad y precisión de la localización. Como se mencionó, se aprovecharon criterios de diseño desarrollados por el Consorcio Tibitoc 2006.

### 3.2.1 Alineamiento general

Como criterio general para el alineamiento del túnel de la nueva conducción, se determinó que el eje de la conducción coincidiera con el sardinel de la calzada occidental de la Avenida Boyacá. Al escoger dicho eje, se busca evitar que las obras de construcción de los pozos de acceso, cuyo ancho sería de unos seis metros, invadan más de un carril de la calzada occidental de la avenida Boyacá. Cabe anotar que, al costado derecho del eje de la conducción se cuenta con una amplia zona que abarca, además de las áreas peatonales, la zona de la ciclovía existente, por lo cual no se prevé ninguna afectación de construcciones adyacentes. En el Anexo 5 se presenta el alineamiento propuesto para la conducción y la localización de los pozos del túnel.

### 3.2.2 Requerimientos operativos y conexión de derivaciones

A lo largo de la conducción del Tramo 3 existen 20 derivaciones de red matriz para atender diferentes zonas de servicio; 12 de ellas están localizadas sobre la Avenida Boyacá, dos (2) sobre la Avenida del Ferrocarril, cuatro (4) sobre la Av. Villavicencio y dos (2) en el tramo que va desde la válvula 44 hasta el tanque Casablanca. En la Tabla 3-2 se presenta el listado y ubicación de estas derivaciones sobre la tubería existente.

**Tabla 3-2. Derivaciones existentes de red matriz en el Tramo 3**

| Derivaciones de red matriz ubicadas en el Tramo 3 de la tubería Tibitoc-Casablanca |                                      |                              |
|--|--------------------------------------|------------------------------|
| Abscisa  | Dirección                            | Diámetro                     |
| K35+963,61   | Avenida Boyacá<br>Autopista Calle 80 | 24" occidente                |
| K37+080,59   | Avenida Boyacá<br>Avenida Calle 68   | 16" oriente<br>16" occidente |

| Derivaciones de red matriz ubicadas en el Tramo 3 de la tubería Tibitoc-Casablanca |   |   |
|--|---|---|
| Abscisa  | Dirección   | Diámetro                                  |
| K37+915,86   | Avenida Boyacá<br>Calle 66 <sup>a</sup>           | 24" oriente<br>24" occidente <sup>3</sup> |
| K40+023,47   | Avenida Boyacá<br>Avenida El Dorado               | 24" oriente<br>24" occidente              |
| K41+579,96   | Avenida Boyacá<br>Canal San Francisco             | 42" oriente<br>42" occidente              |
| K42+539,48   | Avenida Boyacá<br>Avenida Calle 13                | 16" oriente<br>16" occidente <sup>4</sup> |
| K43+293,59   | Avenida Boyacá<br>Avenida Villa Alsacia           | 24" occidente <sup>5</sup>                |
| K45+045,49   | Avenida Boyacá<br>Avenida Américas                | 24" occidente<br>24" occidente            |
| K45+045,49   | Avenida Boyacá<br>Avenida Américas                | 16" oriente                               |
| K46+420,73   | Avenida Boyacá<br>Avenida 1 de Mayo               | 24" occidente<br>24" occidente            |
| K47+798,85   | Avenida Boyacá<br>Calle 39B sur                   | 16" oriente<br>16" occidente              |
| K48+085,80   | Avenida Boyacá con Avenida<br>Ferrocarril del Sur | 24" oriente                               |
| K48+627,99   | Avenida Ferrocarril del sur<br>Calle 42B sur      | 12" occidente                             |
| K49+589,45   | Avenida Ferrocarril del sur<br>Carrera 64         | 12" occidente                             |
| K50+328,55   | Autopista Sur<br>Avenida Villavicencio            | 36" occidente                             |
| K50+403,37   | Avenida Villavicencio<br>Autopista Sur            | 24" oriente<br>24" occidente              |
| K51+083,51   | Avenida Villavicencio<br>Calle 63 sur             | 12" occidente                             |
| K51+426,06   | Avenida Villavicencio<br>Calle 67A sur            | 24" oriente                               |
| K51+955,15   | Transversal 70C<br>Diagonal 68D sur               | 12" oriente                               |
| K52+036,11   | Bombeo Sierra Morena                              | 36" occidente                             |

Con base en estos datos sobre las derivaciones y su identificación en campo, estas localizaciones se proyectaron sobre el eje de la nueva conducción en lugares que permitan la construcción del pozo de acceso correspondiente y su zona de trabajo donde se cuente con espacio público.

<sup>3</sup> Tanto en el modelo como en los planos record consultados esta tubería tiene un diámetro de 24", pero según información recibida por el acueducto en reunión con la consultoría el diámetro es de 30".

<sup>4</sup> Según información recibida por el acueducto en reunión con la consultoría en esta zona ya está construida la obra de refuerzo de 24" propuesta por el estudio del Plan Maestro de red matriz, denominada línea Centenario.

<sup>5</sup> En la actualidad también esta está construida en este punto la línea hacia el oriente de 16".

En el Anexo 1 se presenta la localización de las derivaciones y el esquema de conexión correspondiente. Como complemento, durante la consultoría se elaboró un memorando técnico con información complementaria y esquemas sobre las derivaciones existentes y su conexión al Tramo 3 de la Línea matriz Tibitoc – Casablanca; se relacionan las fuentes de información sobre la materia y se anexan esquemas identificados durante esta consultoría en el estudio Tibitoc – Casablanca 2006; otros tomados de planos de obra construida de la Dirección de Red Matriz, y esquemas elaborados por esta consultoría con base en la información recopilada. Esta información deberá ser complementada en detalle en el diseño de construcción de la variante de la línea matriz.

Por otra parte, basados en la información existente se corroboró que en los sitios seleccionados para los pozos y estructuras superficiales no existieran interferencias con colectores tanto de aguas lluvias como de aguas negras ni con redes de acueductos principales.

### 3.2.3 Requisitos de construcción

Tal como se mencionó, la conducción en el tramo de la Avenida Boyacá será sin zanja. Se recomendó la tecnología de microtunelería + sliplining, que ha sido ampliamente probada con éxito para este tipo de proyectos. Para este tipo de construcción se requieren bocas de acceso separadas entre sí no más de 700 a 800 metros, por lo cual además de los pozos requeridos para ubicar las derivaciones existentes se ubicaron pozos intermedios para contar con bocas de acceso de construcción a distancias que no superaran los requisitos mencionados.

Para la localización de estas bocas de acceso se tuvieron en cuenta, asimismo, los aspectos de movilidad, prediales y de interferencias de servicios públicos mencionados.

### 3.2.4 Aspectos prediales

Dado que en cada pozo de construcción se requiere de un área suficiente para la logística de construcción del túnel, alrededor de cada pozo se identificó un área de trabajo de 800 m<sup>2</sup> aproximadamente, de manera que estuviera localizada en espacio público, como por ejemplo, zonas verdes de intersecciones viales principales, áreas recreacionales y parqueaderos públicos.

En casos excepcionales se determinaron canchas deportivas de instituciones educativas que podrían ser negociadas como de ocupación provisional.

Por lo anterior, con el trazado propuesto no se prevén afectaciones prediales en áreas privadas que requieran adquisición de predios. Sin embargo, no se debe descartar una revisión detallada de las probables afectaciones durante la etapa de diseños detallados y, de ser necesario, realizar la gestión predial de servidumbres con el Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público – DADEP del Distrito.

### 3.2.5 Aspectos de movilidad

Una de las grandes ventajas de la conducción en túnel es que el impacto en la movilidad vehicular se minimiza puesto que, en los únicos sitios donde se harán construcciones superficiales, sería en los sitios donde están localizados los pozos para construcción, los cuales han sido diseñados de tal manera que solo ocuparían un carril de la calzada occidental de la avenida Boyacá y la zona de trabajo tendría una longitud máxima de 80 m.

### 3.2.6 Interferencias de redes de servicios públicos

La información de interferencias de redes de servicios públicos, empleada para determinar el trazado planta-perfil de la nueva conducción, fue la entregada por la EAB referente a redes de alcantarillado, gas natural y telecomunicaciones ETB. Adicional a esta información, se realizó la localización de puentes vehiculares y se consultó las interferencias de la tubería existente del estudio del Consorcio Tibitoc 2006.

El perfil de la nueva conducción se definió teniendo en cuenta principalmente las redes troncales de alcantarillado, redes matrices de acueducto y la ubicación de puentes (ver Anexo 2), puesto que las redes de gas natural y telecomunicaciones no son determinantes en la selección de la profundidad del túnel.

#### 3.2.6.1 Gas Natural

Las interferencias de gas natural se analizaron a partir de la información entregada por la EAB. Se tomó un margen de 150 m a lado y lado del trazado de la nueva conducción de donde se pudo identificar los siguientes aspectos:

- Los diámetros de las tuberías de gas natural varían entre ½ pulgada y 14 pulgadas.
- El tramo de 14 pulgadas atraviesa la Avenida Boyacá a la altura de la Avenida de las Américas (la información recibida no cuenta con datos de profundidad para este tramo).
- En 10 pulgadas se tiene un tramo que atraviesa la Avenida Boyacá a la altura de la Avenida José Celestino Mutis, otro tramo en la intersección de la Autopista Sur con Avenida Villavicencio (con una profundidad de 2,5 m<sup>6</sup>).
- El tramo de 8 pulgadas atraviesa la Avenida Boyacá a la altura de la Avenida Centenario (la información recibida no cuenta con datos de profundidad para este tramo).
- En 4 pulgadas se tiene tramos a lo largo del trazado con profundidades entre 0,6 y 4,18 metros. Los tramos con profundidad mayor a 1,5 metros se encuentran fuera del corredor de la Boyacá por lo que no afectan la selección de la profundidad de la nueva conducción.
- En las tuberías con diámetros menores a 4 pulgadas las profundidades son menores a 1,5 metros por lo que no se consideran determinantes en la selección de la profundidad.
- De la información recibida un 12% de las tuberías no posee información de profundidad.

---

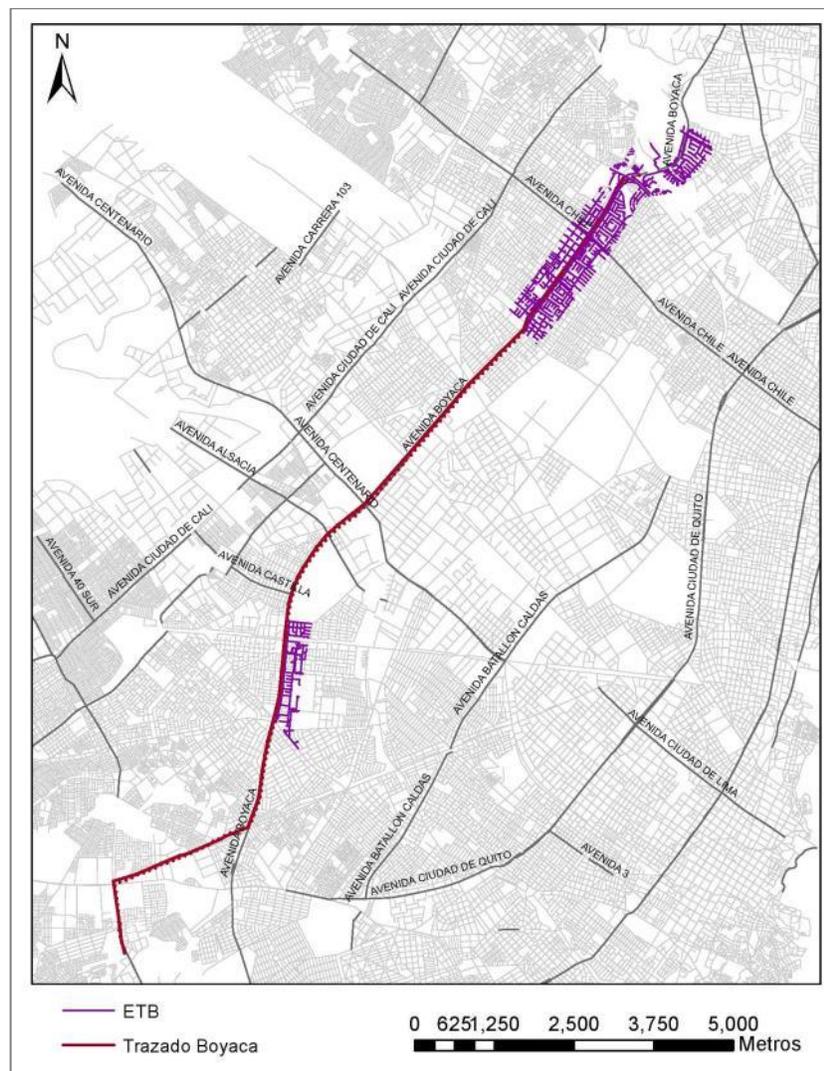
<sup>6</sup> La mayoría de tubos no tienen información de profundidad y para los que tienen es de 2,5 metros.

### 3.2.6.2 Telecomunicaciones ETB

La información recibida de ETB solo cuenta con la localización en planta de la red, pero dado que estas redes en general no están muy profundas (aproximadamente 2,5 metros, estimado a partir de los planos planta perfil del estudio Consorcio Tibitoc 2006 para la tubería existente), no se considera determinante a nivel conceptual contar con esta información, pues no influye en la selección de la profundidad de la nueva conducción. Adicionalmente, en la información recibida solo se encuentra el trazado en planta entre la Calle 80 y la Avenida José Celestino Mutis y entre la Avenida Américas y la Avenida Primero de Mayo (Ver Figura 3-1).

Durante la etapa de diseño para construcción será crítico completar esta información, definir directamente con la ETB cuál debe ser el manejo de estas interferencias

**Figura 3-1. Red de telecomunicaciones – ETB, entregado por la EAB.**



### 3.2.6.3 Alcantarillado

Las interferencias de alcantarillado pluvial como sanitario/combinado se analizaron a nivel de red Troncal, a partir de la información suministrada por la EAB. Siendo las más representativas:

- **Interceptor Derecho Boyacá:** Paralelo a la nueva conducción desde la Calle 68B hasta la Calle 26 donde se convierte en el Interceptor Boyacá. Este interceptor cruza la avenida José Celestino Mutis a una profundidad aproximada de 4 m.
- **Canal Boyacá:** Paralelo a la nueva conducción desde la Calle 70 hasta la Calle 26 donde cruza hacia la Calle 73A a una profundidad de 4 m aproximadamente.
- **Interceptor Boyacá:** Paralelo a la nueva conducción desde la Calle 26, donde recibe al interceptor Boyacá Derecho, al interceptor Boyacá Izquierdo y al interceptor del Can, hasta el río Fucha. El interceptor Boyacá cruza la nueva conducción en dos zonas: 1) en el canal san francisco donde recibe los interceptores derecho San Francisco e izquierdo San Francisco 2) En el río Fucha
- **Canal San Francisco:** Cruza transversalmente toda la Boyacá según la información recibida de la EAB la cota batea en el punto de cruce es 2518,8 m, este dato debe ser revisado pues en el estudio del Consorcio Tibitoc 2.006 y en los planos de American Pipe de la tubería de 78" la profundidad del canal es de 5 metros aproximadamente.
- **Colector de 1,4 m de diámetro:** Entre la Calle 21 y el canal San Francisco se encuentra una tubería de agua lluvia paralela a la nueva conducción por el costado occidental de aproximadamente 400 metros de longitud y 3 m de profundidad.
- **Colector Interindustrial:** Paralelo desde la Avenida Centenario hasta el río Fucha con un diámetro de 1,10 metros.
- **Río Fucha:** Cruza transversalmente toda la Boyacá, según la información en shapes recibida de la EAB la cota batea en el punto de cruce es 2509,4 m, este dato debe ser revisado pues en el estudio del Consorcio Tibitoc 2.006 y en los planos de American Pipe, de la tubería de 78", la profundidad del canal es de 4 metros aproximadamente.
- **Interceptor Izquierdo del río Fucha:** Este interceptor cruza transversalmente la Boyacá a la altura del río Fucha, con una profundidad aproximada de 7 metros.
- **Interceptor del Sur:** Este interceptor es paralelo al trazado de la nueva conducción desde la calle 12A hacia el sur, sobre la Boyacá. El interceptor se encuentra localizado hacia el costado oriental pero cruza el trazado de la conducción propuesta en la calle 12A con una profundidad aproximada de 4 metros.
- **Colector Cooperativa de Suboficiales:** Este colector es paralelo al trazado desde la calle 12A hasta la calle 8A sobre la Boyacá. El colector se encuentra localizado hacia el costado oriental pero cruza el trazado de la conducción propuesta en la calle 12A con una profundidad aproximada de 3 metros.
- **Colector de agua lluvia de 1 m de diámetro:** Entre la calle 7B y 7A se encuentra una tubería de agua lluvia paralela a la nueva conducción por el costado occidental de aproximadamente 3 m de profundidad.
- **Colector Hipotecho:** Este colector es paralelo al trazado desde la Avenida de las Américas hasta la calle 3 sobre la Boyacá. El colector se encuentra localizado hacia el costado oriental pero cruza el trazado de la conducción propuesta en la Avenida de las Américas con una profundidad aproximada de 4 metros.

- **Colector Mandalay-Ciudad Kennedy:** Este colector es paralelo al trazado desde la Avenida de las Américas hasta la calle 3 sobre la Boyacá. El colector se encuentra localizado en el costado occidental y de la calle 5 hacia el sur se localizaría casi encima de la tubería a una profundidad aproximada de 2 m.
- **Colector Providencia Occidental:** Cruza la tubería proyectada en la calle 34 sur, sobre la Boyacá, a una profundidad aproximada de 2 metros.
- **Colector Provivienda Occidental:** Paralelo por el costado occidental de la Boyacá desde la calle 39B sur a la calle 39D sur, cruza con el trazado de la nueva conducción en la calle 39B sur a una profundidad aproximada de 3 metros.
- **Río Tunjuelo:** Cruza transversalmente la nueva conducción en la Avenida Ferrocarril del Sur, según el estudio del Consorcio Tibitoc 2006 y los planos de American Pipe de la tubería de 78", la profundidad del río es de 8 metros aproximadamente.
- **Interceptor Tunjuelo Medio:** Este interceptor cruza con el trazado de la nueva conducción en la Avenida ferrocarril del sur con carrera 64B a una profundidad aproximada de 7 metros.
- **Interceptor de 1,10 metros de diámetro:** Cruza el trazado de la nueva conducción en la intersección de la Autopista Sur con Avenida Villavicencio, con una profundidad aproximada de 5 metros.

Adicional a las interferencias mencionadas, se identificaron las más críticas (mayores a 3 metros de profundidad) del estudio del Consorcio Tibitoc 2006 que no están incluidas en la información de red troncal recibida de la EAB. Estas interferencias se muestran en el Anexo 2.

En cuanto a proyectos futuros, se revisó el informe de evaluación de capacidad hidráulica y diseño de la subcuenca Boyacá, del contrato 1-02-25500-1318-2013, Consultoría para la actualización del plan maestro de abastecimiento y la elaboración y formulación del plan maestro de alcantarillado para Bogotá y sus municipios vecinos, informe de evaluación de capacidad hidráulica y diseño de la subcuenca Boyacá. En este proyecto se propone:

1. Reemplazar tramos del interceptor derecho Boyacá y del interceptor izquierdo Boyacá entre la calle 50 y la calle 70, en este caso las interferencias con el trazado de la conducción de reemplazo del Tramo 3 de la línea Tibitoc-Casablanca no cambia ya que las cotas de batea así como la ubicación de los interceptores se mantienen.
2. Adicionar tubería GRP de 1,4 metros entre el canal San Francisco y el río Fucha, para ampliar la capacidad del Interceptor Boyacá. En este caso el trazado propuesto del interceptor auxiliar coincide con el de la conducción y se encuentra a una profundidad aproximada de 4 metros.

Figura 3-2. Propuesta de refuerzo del interceptor Boyacá, Contrato 1-02-25500-1318-2013.



### 3.2.6.4 Acueducto

El trazado de la nueva conducción proyectada del Tramo 3 tiene interferencia, principalmente, con la red troncal de acueducto en los puntos donde están ubicadas las derivaciones. Adicional a estos puntos, y considerando un margen de 150 m a lado y lado del trazado de la nueva conducción, se tiene interferencia con la línea de 42" Silencio-Casablanca en los siguientes puntos (Nota: las profundidades son aproximadas, se tomaron de los planos planta-perfil del estudio del Consorcio Tibitoc 2006):

- En la Avenida Boyacá al norte de la Avenida Ferrocarril del Sur, calle 39B sur – profundidad de 4 m.
- En la Avenida Ferrocarril del sur con carrera 72G – profundidad de 6 m.
- En la intersección de la Autopista Sur con Avenida Villavicencio – profundidad de 6 m.
- En la Avenida Villavicencio con calle 63 sur – profundidad de 8 m.
- En la transversal 70c con calle 68F sur – profundidad de 6 m.

### 3.2.6.5 Puentes Vehiculares

El trazado de la nueva conducción cruza 8 puentes vehiculares, uno en la intersección de la autopista sur con Avenida Villavicencio y el resto sobre la Avenida Boyacá, adicionalmente, en la actualidad existe otro proyectado sobre la Avenida José Celestino Mutis.

A continuación se relacionan puentes existentes sobre el corredor de la Avenida Boyacá:

- Calle 80
- Avenida Chile
- Calle 26
- Avenida La Esperanza
- Avenida Centenario
- Avenida de las Américas
- Avenida Primero de Mayo

### 3.2.7 Precisión de la localización

De acuerdo con el reconocimiento en campo, realizado en toda la longitud del Tramo 3, que permitió identificar aspectos claves para la localización de la nueva conducción, y con la metodología utilizada para localizar el eje de la nueva conducción, se cuenta con un trazado con una precisión que a nivel conceptual es viable y permite estimar el presupuesto del proyecto, y definir los elementos requeridos para el cálculo preliminar de su alineamiento geométrico.

El reconocimiento en campo fue cuidadosamente realizado por un equipo de consultoría con trayectoria en proyectos de este tipo. En el Anexo 3 se muestran el alineamiento, el perfil de la conducción y la localización de los pozos, a nivel preliminar. El perfil del trazado general de la nueva conducción tiene una profundidad suficiente para minimizar interferencias con otras redes de servicios públicos, información que será estudiada y evaluada en detalle en el diseño de construcción.

## 3.3 Sectorización de la ruta

Por sus diferentes características la ruta seleccionada se ha dividido en cuatro tramos, un primer tramo comprendido entre su inicio, válvula 39 (K35+793), corriendo a lo largo de la Avenida Boyacá hasta su intersección con la Avenida del Ferrocarril, K48+041; el tramo dos, sector de la Avenida del Ferrocarril y la intersección de la Avenida Ciudad de Villavicencio con la Autopista del Sur K50+296; el sub-tramo tres, Avenida Ciudad de Villavicencio entre la intersección ya mencionada y la válvula 44, K51+425; y un tramo final de aproximadamente 700 m desde la válvula 44 hasta la bifurcación de entrada al tanque de Casablanca.

### 3.3.1 Tramo uno

El alineamiento del tramo se ha localizado a lo largo de la calzada occidental de la Avenida Boyacá y su eje se ha ubicado sobre el sardinel. A lo largo del alineamiento se han previsto 20 pozos, 14 de los cuales para la conexión de las derivaciones existentes a lo largo de la ruta. El resto se han ubicado considerando los requerimientos de construcción.

### 3.3.2 Tramo dos

Aunque no se conoce la paramentación de la futura Avenida del Ferrocarril, por la cual se proyecta construir el tren de cercanías, el alineamiento de la tubería se localizó en el costado occidental para minimizar futuras interferencias. Es importante por lo tanto, tener en cuenta que este alineamiento es de carácter provisional y que su localización definitiva deberá diseñarse una vez se conozca la paramentación definitiva de esta importante Avenida.

Como aspecto relevante de este tramo, se encuentra el cruce subfluvial del río Tunjuelo, zona que presenta características geológicas, geotécnicas y constructivas especiales. Otro aspecto relevante es el cruce del alineamiento de la tubería con los puentes y glorieta de la intersección de la Autopista del Sur con la Avenida Ciudad de Villavicencio.

### 3.3.3 Tramo tres

El tramo tres de la conducción está localizado a lo largo de la Avenida Ciudad de Villavicencio en el sector comprendido entre la intersección de la Autopista del Sur y la Avenida Ciudad de Villavicencio hasta la válvula número 44. Este tramo presenta características geológicas y geotécnicas particulares que deberán ser estudiadas cuidadosamente.

### 3.3.4 Tramo cuatro

El último tramo es de 800 m dividido en una sección de 700 m, que va desde la válvula 44 hasta la bifurcación de entrada al tanque de Casablanca, y otra sección que va desde allí otros 100 m hasta el muro del tanque.

Este cuarto tramo presenta algunos inconvenientes para localización de una tubería nueva debido a la estrechez del corredor por diversas interferencias existentes, por lo que se propone la rehabilitación de la tubería existente, previa construcción y puesta en operación de un by-pass para garantizar el servicio de acueducto.

## 3.4 Zonas de trabajo

En el reconocimiento detallado de campo se determinaron las zonas de trabajo que se requerirán para la construcción de las obras subterráneas, en principio se previeron áreas de alrededor de 800 m<sup>2</sup>.

En la localización de estas zonas, según se muestra en los esquemas del Anexo 6, se tuvo en cuenta que en principio se ubicarán en espacio público; sin embargo, con algunas excepciones estas se localizaron en sitios tales como canchas deportivas o áreas actualmente no construidas, las cuales se podrían negociar para su ocupación temporal. Además de la zona requerida por el constructor, se tuvo en cuenta que se contara con el espacio requerido para el desvío de la ciclorruta y de los andenes de tráfico peatonal.

## Sección 4

# Localización de estructuras y equipos hidráulicos

### 4.1 Estructuras

Dados los requisitos de pozos de acceso en el diseño de la nueva conducción se homogenizaron los pozos de acceso para que sirvan tanto de pozos de construcción como de cámaras para las conexiones de las derivaciones y la instalación de los diferentes equipos hidráulicos con previsiones para necesidades operativas de la EAB.

De esta manera, se esbozó un pozo típico el cual se presenta en el Anexo 4, este sería construido por medio de pantallas estructurales pre-excavadas que requieren un área de 6m de ancho por 10 m de longitud. El pozo tendrá los equipos necesarios, tales como válvulas, ventosas, purgas, y las conexiones de las derivaciones, entre otros; además contará con las facilidades de acceso de personal, iluminación, desagües, etc. En aquellos pozos donde no se vayan a localizar equipos, se dejarán instaladas bocas de acceso y las previsiones necesarias para conectar futuras derivaciones u otros equipos hidráulicos.

Una vez terminada la construcción del túnel se prevé la demolición de unos 2,5 m de la parte superior de las pantallas y se construirá una tapa estructural de concreto que conectará la cámara a la rasante de la vía.

### 4.2 Equipos hidráulicos

#### 4.2.1 Pozos de acceso

Se ha propuesto que las 20 derivaciones actuales sean mantenidas y conectadas a la nueva tubería como se puede observar en el Anexo 1. El esquema consiste en derivar del ramal occidental de la derivación existente una ramificación que se conectará a la futura tubería. De esta manera el pozo de acceso se ha localizado en las cercanías del ramal occidental con el fin de minimizar la longitud de la conexión. Dicha conexión se construiría en zanja hasta el pozo, a la misma cota de la red y una vez dentro del pozo se bajará hasta el nivel de la futura conducción.

En los pozos, además de las derivaciones podrán localizarse otros elementos requeridos tales como válvulas, ventosas o purgas. En el Anexo 4 se ilustra un esquema general de pozo en el cual estarían localizadas una válvula principal con su bypass, ventosa, boca de acceso, purga derivación, etc.

En cuanto a las dimensiones de los pozos, su ancho se preestableció por los requerimientos operativos de los elementos que se instalarían dentro de él, y su longitud, asimismo, por el número de elementos que se deban instalar dentro de él y de las transiciones que se requieran en el caso de instalación de válvulas. Sin embargo, la longitud definitiva será establecida una vez se determinen los requisitos de construcción del túnel entre los cuales cabe mencionar la dimensión de las tuberías o blindajes que se vayan a utilizar.

La profundidad del pozo estará determinada por la profundidad de la solera de la conducción. Preliminarmente se ha previsto una profundidad alrededor de los 10 metros.

La construcción del pozo se ha previsto por medio de la utilización de pantallas pre-excavadas que podrían estar soportadas por arriostramientos, si se requieren con fines estructurales.

#### **4.2.2 Válvulas directas**

En la solución conceptual de la nueva conducción se propone mantener la misma cantidad de válvulas (V-40, V-41, V-42, V-43 y V-44) de la línea matriz y se proponen algunas válvulas intermedias para permitir tener menores longitudes de aislamiento en el tramo, así como una aumentar las opciones de operación para mantenimiento u otros casos especiales.

#### **4.2.3 Válvulas de purga, ventosas, bocas de acceso y cámaras de válvulas**

Las válvulas de purga y ventosas se deberán especificar una vez se conozca el perfil definitivo de la nueva conducción y sus requisitos operativos.

## Sección 5

# Estimación conceptual de costos y presupuestos

Teniendo en cuenta los métodos de construcción propuestos para cada uno de los tramos descritos y según el análisis y estimación conceptual de costos del Producto 2, a continuación se presenta el presupuesto de la alternativa seleccionada como recomendable:

- Microtuneladora + Sliplining:
  - Avenida Boyacá entre válvulas 39 y 42 (12,2 km)
  - Avenida del antiguo corredor del Ferrocarril del Sur, entre válvulas 42 y 43 (2,34 km), para 14,54 km.
- Construcción con Zanja: entre las válvulas 43 y 44 (1,1 km)
- Rehabilitación de la tubería PCCP 78" existente: desde la válvula 44 hasta el tanque Casablanca (800 m), previa construcción de un bypass de 36 pulgadas.

El valor de las obras de la tubería por el método de zanja incluye los costos de excavación suministro e instalación de tubería, rellenos, manejo de redes de servicios públicos, retiro de sobrantes y la restitución de la superficie del terreno.

Con el fin de ser conservativos y de acuerdo con los lineamientos y políticas de inversión de la EAB, para la construcción sin zanja la estimación conceptual de los costos se realizó con base en el método de microtunelería + sliplining; sin embargo, en la etapa de diseño deberá continuarse con el estudio de la posibilidad de realizar la construcción mediante microtuneladora + pipejacking con una tubería.

Con base en la información suministrada por la industria, el costo directo promedio de construcción por unidad de longitud aquí presentado para el método de microtuneladora + sliplining es válido para cualquier tipo de material que se utilice. Puede ser tubería mayor de RCP e instalación de tubería menor de CCP; o tubería GRP, que podría ser la más conveniente debido a su facilidad de manejo e instalación y a que no es susceptible al deterioro por corrosión. Sin embargo, la decisión final sobre el tipo de tubería deberá tomarse en la etapa de diseño detallado. En el método sliplining, para las conexiones de válvulas, equipos hidráulicos y derivaciones con la tubería GRP se requerirían piezas especiales en acero las cuales son estándar tanto para tuberías de GRP como de acero y su afectación adicional en los presupuestos no es considerable y está prevista en la estimación conceptual de costos.

Para el cálculo conceptual del presupuesto de construcción se asumió un valor de administración, imprevistos y utilidad (AIU) del 32%. A lo anterior se adicionó lo correspondiente al Impuesto al valor agregado-IVA sobre la utilidad del contratista. Dado que este estudio se realiza a nivel conceptual y con información secundaria, se estima un porcentaje de variación del costo del proyecto del 30%.

El costo directo de instalación utilizando microtuneladora + sliplining por metro es de \$18 millones, según la información suministrada por proveedores y constructores consultados. A continuación, en la Tabla 5-1, se muestran los demás costos directos e indirectos de la alternativa seleccionada.

**Tabla 5-1. Estimación conceptual del Presupuesto total de construcción de la alternativa seleccionada -**

|   | Actividad                                       | Abscisas |   | Tramo   | Unidad | Cantidad | Costo Directo Unitario (Millones de pesos por metro) | Subtotal Costos Directos | Administración | Imprevistos | Utilidad  | IVA               | Costo total           | Variación por incertidumbre (Δi) |
|---|---|----------|---|---|--------|----------|--|--------------------------|----------------|-------------|-----------|-------------------|-----------------------|----------------------------------|
|   |   |          |   |   |        |          |  | Millones de Pesos        | (A)<br>21%     | (I)<br>3%   | (U)<br>8% |                   |                       | 16%                              |
| Alternativa Seleccionada<br><br>Corredor Avenida Boyacá<br><br><u>Tecnologías:</u><br><br>Microtunelería + Siplining<br><br>+ Zanja<br><br>+ Rehabilitación | Microtunelería + Siplining                      | K35+793  | K48+041   | válvula 39 - válvula 42 (Avenida Boyacá)                            | m      | 12.248   | \$ 18,0  | \$ 220.464               | \$ 46.297      | \$ 6.614    | \$ 17.637 | \$ 2.822          | \$ 293.834            |                                  |
|   | Microtunelería + Siplining                      | K48+041  | K50+296   | válvula 42 - válvula 43 (Avenida del Ferrocarril)                   | m      | 2.255    | \$ 18,0  | \$ 40.590                | \$ 8.524       | \$ 1.218    | \$ 3.247  | \$ 520            | \$ 54.098             |                                  |
|   | Con Zanja                                       | K50+296  | K51+425   | válvula 43 - válvula 44 (Avenida Villavicencio)                     | m      | 1.129    | \$ 11,0  | \$ 12.373                | \$ 2.598       | \$ 371      | \$ 990    | \$ 158            | \$ 16.491             |                                  |
|   | Rehabilitación Tubería PCCP 78"                 | K51+425  | K52+243   | Válvula 44 - Tanque Casablanca                                      | m      | 818      | \$ 5,0   | \$ 4.090                 | \$ 859         | \$ 123      | \$ 327    | \$ 52             | \$ 5.451              |                                  |
|   | Equipos hidráulicos y estructuras               |          |   | Válvulas, cámaras, pozos, bocas de acceso y derivaciones            | Global | 1        | \$ 15.183  | \$ 15.183                | \$ 3.188       | \$ 456      | \$ 1.215  | \$ 194            | \$ 20.236             |                                  |
|   | Manejo de interferencias Con Zanja              |          |   | Válvula 43 - válvula 44 (Avenida Villavicencio)                     | m      | 1.129    | \$ 1,8   | \$ 2.039                 | \$ 428         | \$ 61       | \$ 163    | \$ 26             | \$ 2.718              |                                  |
|   | Manejo de Tráfico, Ambiental y Social Con Zanja |          |   | Señalización, plan de tráfico, social, manejo ambiental - con zanja | m      | 1.129    | \$ 0,5   | \$ 588                   | \$ 124         | \$ 18       | \$ 47     | \$ 8              | \$ 784                |                                  |
| Manejo de Tráfico, Ambiental y Social Sin Zanja   |   |          | Señalización, plan de tráfico, social, manejo ambiental - sin zanja | m   | 14.503 | \$ 0,5   | \$ 7.554   | \$ 1.586                 | \$ 227         | \$ 604      | \$ 97     | \$ 10.068         |                       |                                  |
| <b>Alternativa Seleccionada</b>   |   |          |   |   |        |          |  | <b>\$ 302.881,9</b>      |                |             |           | <b>\$ 403.681</b> | <b>± \$ 121.104,3</b> |                                  |

## Sección 6

# Implementación de la alternativa propuesta

La implementación de la alternativa propuesta para la variante del Tramo 3 de la Tubería Tibitoc – Casablanca por el Corredor de la Avenida Boyacá, se dividió en dos etapas. La primera, incluye la contratación y ejecución de los estudios y diseños detallados para la construcción, conexión y puesta en marcha de la variante, de acuerdo con el cronograma de diseños de la EAB; la segunda presenta el programa de construcción, de acuerdo con los planteamientos de los productos 2 y 3 de esta consultoría.

En cuanto a la elaboración de los diseños para construcción, cuya duración se había previsto fuera de 12 meses, en el cronograma actualizado se incluye con una duración de 20 meses. Lo anterior, dado que durante la elaboración del Producto 4 de esta consultoría, la EAB solicitó que los diseños para construcción, conexión y puesta en marcha de la variante se desarrollaran con entregas parciales para ejecutar las obras por etapas. Esto, implica que durante los diseños detallados, se establezca la viabilidad de las etapas, se definan los sub-tramos correspondientes, se definan las condiciones de operación de la red matriz durante la conexión de la variante y en especial durante los diversos empates a la tubería existente, PCCP 78 pulgadas. El hecho de intervenir la tubería PCCP 78 pulgadas, implica mayores riesgos, por las condiciones de vejez de la misma, por sus características de falla, por la incertidumbre sobre su estado y por las condiciones de sus válvulas. Por tanto, se requiere contar con planes de contingencia, inspeccionar la tubería PCCP 78 pulgadas, y realizar otra serie de análisis para asegurar su integridad y la continuidad del servicio a los usuarios que dependen del tercer tramo de la línea. Por esta razón se requiere un tiempo de ejecución mayor para los diseños, que la EAB estableció en 20 meses.

Es pertinente anotar que la decisión de la EAB de realizar la construcción, conexión y puesta en marcha de la variante por etapas, se debe a restricciones de programación financiera y a compromisos previos con el IDU, en el sentido de construir el sub-tramo de la variante entre la calle 72 y la calle 80 en forma inmediata, para que allí se pueda construir la Troncal de la Avenida Boyacá. Al respecto, dada la vulnerabilidad de la línea matriz, esta consultoría se permite resaltar la importancia de asegurar los recursos para construir lo más pronto posible la totalidad de la variante (Calle 80 - tanque Casablanca).

A continuación se presenta el programa de construcción para la totalidad de la variante, como previsto por esta consultoría en el desarrollo de los productos 1 a 3. Esta se programa por sectores paralelos de construcción (denominados tramos en la sectorización presentada en la Sección 4.5 de este documento), discriminando entre: (i) actividades previas y alistamiento; (ii) construcción de la conducción; e (iii) instalación de equipos, construcción de derivaciones y obras complementarias y, empate a la red matriz.

La duración de la construcción se estimó considerando los siguientes aspectos:

- El proyecto se ejecutará de acuerdo con lo planteado en la alternativa seleccionada, es decir que se realizará la instalación de la tubería mediante microtunelería + sliplining sobre la Avenida Boyacá y el corredor del Antiguo Ferrocarril del Sur, entre las válvulas 39 y 43; el tramo correspondiente a la Avenida Ciudad de Villavicencio, entre las válvulas 43 y 44, se ejecutaría con zanja abierta; por último, en el tramo final entre la válvula 44 y el Tanque Casablanca se realizaría la rehabilitación de la tubería existente.
- El rendimiento de ejecución de la metodología microtunelería + sliplining es de 7 m/día en promedio.

- La instalación de la tubería sin zanja se realizará con cuatro frentes de obra distribuidos uniformemente que trabajarían en paralelo.
- Se establecen cuatro meses para apropiación y complementación de diseños detallados. Además, se plantea una actividad previa a la excavación de 7 meses requerida para la fabricación y entrega de los equipos de microtunelería + sliplining.
- Se establece una actividad complementaria de construcción de pozos, manejo de interferencias, construcción de derivaciones, instalación de equipos y accesorios y el empate de la variante. Esta actividad inicia cuatro meses antes de la excavación y finaliza dos meses después de la misma.
- El rendimiento medio de la instalación en la construcción con zanja es de 3m/día.
- Las interferencias con redes y otra infraestructura existente no genera ningún atraso durante la construcción.
- Se asume que antes del inicio de la construcción se logra la aprobación de la totalidad de permisos y licencias exigidas en el proyecto.

Con las anteriores consideraciones, la implementación total del proyecto tiene una duración de 1.680 días, de los cuales 810 corresponden a la etapa de pre-construcción y 870 a la etapa de construcción.

Dentro de la etapa de construcción, la ruta crítica del proyecto está dada por la construcción en cuatro frentes, mediante microtunelería + sliplining, de la variante en la Avenida Boyacá y la Avenida del Antiguo Ferrocarril del Sur (14,5 km aproximadamente) y sus actividades complementarias previas y posteriores. Para la construcción de la variante en la Avenida Ciudad de Villavicencio y la rehabilitación de la tubería existente, entre la válvula 44 y el Tanque Casablanca, se tiene una holgura de 120 días.

Teniendo en cuenta la nueva duración de los diseños de detalle, a nivel conceptual se estima que la ejecución del proyecto se culminaría el 19 de mayo de 2019, utilizando el método de microtunelería + sliplining en un 89% de la línea.

Dado que en la presente consultoría se estableció que es necesario construir la variante antes de construir Transmilenio Avenida Boyacá y que durante la realización de la presente consultoría la EAB ha previsto construir la variante en forma independiente de otros proyectos de infraestructura como Transmilenio Avenida Boyacá y la Avenida del Antiguo Ferrocarril del Sur/ Tren de Cercanías, es importante que el diseñador de la variante y la EAB en la etapa de planeación del diseño consideren las oportunidades que puedan existir para coordinar la ejecución de las obras sobre dichos corredores con el IDU y otras entidades gubernamentales que sea pertinente. Esto, para efectos de establecer la mejor solución desde un punto de vista de beneficio-costos, y para minimizar el impacto sobre la movilidad de la ciudad, y en general, el impacto urbano, ambiental y social que se producirá durante la construcción del proyecto. En este sentido, es conveniente contar con una gerencia de programa para asegurar la debida coordinación interinstitucional y de los diferentes actores involucrados en todo el proyecto.



## Sección 7

# Conclusiones y recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

1. La alternativa seleccionada en el Producto 2 para la variante del Tramo 3 de la línea Tibitoc – Casablanca, se desarrolló a nivel conceptual en este producto; consiste en reemplazar la tubería existente, PCCP de 78 pulgadas, desde el empate con el Tramo 2 de la misma línea hasta el tanque de Casablanca, mediante una conducción de igual diámetro manteniendo el corredor actual. Dado el riesgo de falla de la tubería existente, lo recomendado es realizar cuanto antes el proyecto de la variante para todo el Tramo, con un empate simultáneo a la red matriz, que minimice el riesgo. Además, mientras que se cuenta con la nueva conducción, es necesario contar con un plan de contingencia para mitigar los riesgos de falla y de racionamiento del servicio de acueducto a la población que depende de esta línea matriz, lo cual puede requerir refuerzos previos de la red.
2. La solución propuesta para la construcción de la variante del Tramo 3 de la línea Tibitoc – Casablanca, es la siguiente: (i) mediante microtunelería + sliplining, el tramo comprendido entre el K35+793 (válvula 39) y el K50+296 (válvula 43), sector que corresponde a la Avenida Boyacá y a la Avenida del Ferrocarril – esto, de acuerdo con los requerimientos de la EAB, en el sentido de que se debe contar con experiencia comprobada exitosa durante la construcción y operación con la tecnología, en proyectos similares; (ii) mediante sistema con zanja, el sector ubicado sobre la Avenida Ciudad de Villavicencio (K50+296 – K51+425), desde la válvula 43 hasta la válvula 44; (iii) para el último sector, entre la válvula 44 y el Tanque Casablanca, rehabilitar la tubería PCCP 78 pulgadas, previa construcción de un by-pass para garantizar el servicio de acueducto.
3. Al realizar la revisión del proyecto con base en el modelo de simulación hidráulica de la red matriz de propiedad de la EAB, se confirmó que mantener el corredor permite preservar el esquema de operación actual del sistema y que el diámetro interno de la conducción debe ser de 78 pulgadas. Esto, de acuerdo con lo siguiente: las pérdidas por fricción al disminuir el diámetro de 78” a 60” en el modelo de red matriz del Plan Maestro para los escenarios actual y futuro varían entre 3 m y 10 m. Además, si se tienen en cuenta las pérdidas menores con las que el modelo fue calibrado, se observa que las pérdidas aumentan a más de 20 m si se cambia de una tubería de 78” a una de 60”, lo que tiene consecuencias importantes en la presión disponible al final de la red. Por lo tanto, a partir del análisis conceptual se recomienda que el diámetro de la tubería se mantenga en 78”.
4. Se estima un costo conceptual total de construcción del proyecto de \$403.681 millones, con una variación posible de más o menos el 30%. El plazo total de implementación del Proyecto es de 26 meses. La ruta crítica del proyecto comprende: la apropiación de los diseños, la fabricación, transporte y montaje de los equipos de microtunelería y de pipejacking, la instalación sin zanja de la tubería en la Avenida Boyacá y en la Avenida del Antiguo Ferrocarril del Sur (unos 14,5 km) y un mes adicional para ejecución de derivaciones, estructuras, y de instalación de equipos y cierre de los últimos pozos utilizados en el procedimiento constructivo. Las obras sobre la Avenida Villavicencio y la rehabilitación de la tubería existente, se realizarán en paralelo y existe holgura para su construcción.

5. Como criterio general para el alineamiento del túnel se determinó que el eje de la conducción coincidiera con el sardinel de la calzada occidental de la Avenida Boyacá. La razón para esto, es el evitar que las obras de construcción de los pozos de acceso, cuyo ancho en principio es de seis metros, invadiera más de un carril de la calzada occidental de la Avenida Boyacá. Cabe anotar que al costado derecho del eje de la nueva conducción sobre la Avenida Boyacá, se cuenta en la mayor parte, con una amplia zona que abarca, además de las áreas peatonales, la zona de la ciclovía.

## 7.2 Recomendaciones

1. Es importante que durante la etapa de diseños se logre una coordinación interinstitucional con otras entidades públicas y privadas que prevean la ejecución de proyectos de infraestructura en el corredor seleccionado, tales como Transmilenio, Metro, Tren de Cercanías, etc. Esta coordinación debe permitir la planeación y ejecución coordinada de los proyectos, optimizando así el programa de ejecución, los costos y minimizando el impacto del conjunto de proyectos en la comunidad, en especial la afectación de la movilidad. De igual manera, se deberá establecer una coordinación estrecha con Ecopetrol, las empresas de servicios públicos y otras entidades a nivel nacional, regional y local, para la investigación y solución adecuada de interferencias de infraestructura y redes de servicios públicos.
2. Al inicio de la consultoría de diseño para construcción de la variante es necesario establecer mecanismos de coordinación y acuerdos con el Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, y otras entidades involucradas en los proyectos, para identificar las oportunidades de trabajo conjunto en el corredor de la Avenida Boyacá y para asegurar la disponibilidad del corredor y la ruta que se establezcan para la variante. De igual manera, para establecer la interacción requerida para la definición de las obras de la variante en relación con el Proyecto Transmilenio Avenida Boyacá, el cruce con la primera línea del Metro, y la interacción con la segunda línea del Metro que se prevé sea construida por la Avenida Boyacá. Sobre este último tema la EAB consultó con el IDU, sin que hubiese objeción de parte del IDU; sin embargo, no ha habido una respuesta que permita establecer si hay condiciones particulares que se deban tener en cuenta para el efecto. También se realizaron reuniones con el equipo directivo encargado del diseño de la troncal de Transmilenio Avenida Boyacá por parte del IDU, en la que se expuso que la variante objeto de este estudio se proyectaría por el costado occidental de la Avenida Boyacá, lo cual fue aceptado por el IDU.
3. Se recomienda a la EAB, visitar proyectos de líneas matrices de acueducto de gran diámetro con condiciones similares al proyecto de la variante, construidas mediante tecnología sin zanja y que estén en operación, con el fin de conocer de primera mano sobre las condiciones particulares relacionadas con su construcción, conexión, puesta en marcha, operación y mantenimiento, para efectos de definir la tecnología a implementar y conocer los aspectos claves al respecto.
4. Se recomienda y realizar cuanto antes la construcción, empare y puesta en marcha de toda la Variante del Tramo 3, entre la Calle 80 con Avenida Boyacá y el Tanque Casablanca.

## Sección 8

### Referencias

- Acosta, J. S. (2011). *Sistema de conservación y mantenimiento del transporte eléctrico trolebús. Serie 4700. Tesis.* Mexico D.F.: Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica.
- American Pipe and Construction Company. (1967). *Dead and Live Loads on Underground Conduits. Volumen 2 de Engineering topics.*
- American Water Works Association - AWWA. (1964). *AWWA Standard for reinforced concrete water pipe - Steel Cylinder.* New York: AWWA.
- American Water Works Association - AWWA. (1993). *AWWA standard for design of prestressed concrete cylinder pipe.* Denver: ANSI/AWWA.
- ATCO. (s.f.). *Cálculo Mecánico 2.* México: Asociación de Fabricantes de Tubos de Concreto. A.C.
- AWWA Research Foundation & EPA. (2008). *Failure of Prestressed Concrete Cylinder Pipe.* U.S. Environmental Protection Agency (USEPA).
- Cal y Mayor y Asociados (C&M). (1998). *Estimación de la Demanda de Tránsito para la Avenida Longitudinal de Occidente.* Bogotá: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD.
- Cal y Mayor y Asociados (C&M) y Duarte Guterman & Cia. Ltda. (2006). *Formulación del Plan Maestro de Movilidad para Bogotá D.C. que Incluye Ordenamiento de Estacionamiento.* Bogotá: Secretaría de Tránsito y Transporte.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2010). *Documento Conpes 3677.* Bogotá: Departamento Nacional de Planeación (DNP).
- Consortio Civiltec - La Vialidad . (IDU-032-98). *Estudios y Diseños de la Troncal Avenida Boyacá. Estudios y diseños acueducto.* Bogotá.
- Consortio Civiltec - La Vialidad. (1998). *Estudios y Diseños de la Troncal Avenida Boyacá. Estudios y diseños acueducto. Contrato IDU-032-98.* Bogotá.
- Consortio Metrovias Malla Vial. (2009). *Calzadas rápidas y lentas de la Avenida Boyacá entre el Canal del Fucha y la Calle 26, y entre la Avenida 72 y la Calle 80. Conectantes y orejas de la Avenida Boyacá por Calle 13 y conectantes de la intersección Avenida Boyacá por Calle 80.* Obtenido de <http://webidu.idu.gov.co:9090/jspui/handle/123456789/36458>
- Consortio rehabilitación Tibitoc - Pure Technologies Ltd. (2014). *Fonrensic investigation and external electromagnetic inspection of the 78 Inch Tibitoc-Casablanca pipeline.* Bogotá: Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá - EAB.
- Consortio Tibitoc 2006. (2008). *Estudios y Diseños para la Rehabilitación de la Línea Red Matriz de 78" Tibitoc - Casablanca.* Bogotá: Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá E.S.P-EAB.

- Consorcio Tibitoc 2006. (2009). *Estudios y Diseños para la Rehabilitación de la Línea Red Matriz de 78" Tibitoc - Casablanca*. Bogotá: Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá E.S.P-EAB.
- DANE. (2005). *Censo General 2005, boletín*. Bogotá.
- Duranceau, S.J. G.E.C. Bell and M.J. Schiff. (1996). *Effects of electrical grounding on pipe integrity and shock hazard*. Denver: American Water Works Association - AWWA.
- Empresa de Acueducto Alcantarillado Y Aseo de Bogotá EAB E.S.P. (2010). *Manual de operaci[on de la red Matriz de Bogota*.
- Empresa de Acueducto Alcantarillado y Aseo de Bogotá EAB E.S.P. (2010). *Manual de operación de la red Matriz de Bogotá*.
- Federation of Canadian Municipalities. (2002). *Deterioration and inspection of water distribution systems*. National Guide to sustainable municipal infrastructure.
- Granados, C. A. (2001). *Informe de rehabilitación de tuberías Línea 78" al sur de la avenida 80*. Bogotá.
- Granados, C. A. (2001). *Informe de rehabilitación de tuberías Línea 78" al sur de la avenida 80*. Bogotá.
- HOBAS (Dirección). (s.f.). *Trenchless Installation with HOBAS pipes* [Película].
- IEI, I. d. (1983). *Estudio de la línea Tibitoc - Cantarrana - Evaluación de resultados de campo*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- IEI, I. d. (1983). *Estudio de la línea Tibitoc - Cantarrana - Evaluación de resultados de campo*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Instituto de Desarrollo Urbano. (2013). *Estudio de Factibilidad de la Troncal Avenida Boyacá hasta la Avenida San José entre Avenida Boyacá y Autopista Norte*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá. IDU.
- Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (2013). *Estudio de Factibilidad de la Troncal Avenida Boyacá hasta la Avenida San José entre Avenida Boyacá y Autopista Norte. Agosto 2013*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá. IDU.
- ISTT - The International Society For Trenchless Technology. (2014 ). *Pipe Jacking & Microtunneling*. Obtenido de <http://www.istt.com/guidelines/pipe-jacking-microtunneling>
- ISTT - The International Society For Trenchless Technology. (2014). *Slip Lining*. Obtenido de <http://www.istt.com/guidelines/slip-lining>
- Junior, R. R. (2007). *Obras de desagüe urbanas Pipe Jacking Vs. Zanja abierta* . Lima.
- Kenisson, H. (1982). *Tests on Prestressed Concrete Embedded Cylinder Pipe*. ASCE Transactions.
- PAVCO. (s.f.). *Poliéster reforzado con fibra de vidrio - Manual técnico*. Obtenido de <http://www.pavco.com.co/manuales/manuales-tecnicos/4-25/i/25>
- Peabody, A. (2001). *Control of Pipeline corrosion*. Houston: NACE International Society.
- Robert E. Price. (1985). *Estudios y Diseños de la Red Matriz de Distribución. Inspección y evaluación de la tubería de 2 metros de la red matriz Tibitoc - Casablanca.OP-8511E*. Bogotá.

- Romer A.E. Ellison D. (2008). *Failure of prestressed concrete cylinder pipe*. Washington: Awwa Research Foundation.
- Romer, A.E., G.E.C. Bell. (2004). *External corrosion control for buried water mains*. Denver: AWWA research foundation.
- Saldarriaga, J. (1998). *Hidráulica de tuberías*. Bogotá: McGraw Hill.
- Steer Davis and Gleave. (2011). *Revisión, Actualización y Calibración del Modelo de Transporte de Cuatro (4) Etapas de Bogotá y la Región Capital*. Bogotá: Secretaría Distrital de Movilidad.
- Universidad del Cauca. (s.f.). *Ayudas de diseño, Flujo a presión*. Recuperado el 1 de Julio de 2014, de Universidad del Cauca: [http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/ayudas\\_fpresion.pdf](http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/ayudas_fpresion.pdf)
- Washington Suburban Sanitary Commission-WSSC. (2012.). *Pipeline Design Manual Amendment Proposed 80-Foot Setback*.
- Zarghamee, M., Ojdrovic, R., & Nardini, P. (2011). *Prestressed Concrete Cylinder Pipe Condition Assessment—What Works, What Doesn't, What's Next*. ASCE.