



PROYECTO DE REHABILITACIÓN DEL TRAMO 3 DE LA LÍNEA TIBITOC-CASABLANCA

Autor: Mauricio Jiménez Aldana

1. RESUMEN

La EAB dentro de su Plan Maestro de Acueducto ha venido ejecutando la rehabilitación de la tubería Tibitoc-Casablanca de 2 m de diámetro, a lo largo de sus 53 Km de longitud, la cual suministra el agua al 30% de la ciudad de Bogotá. Para su ejecución previó una rehabilitación en tres fases por trayectos, priorizados por su vulnerabilidad, por su importancia, desde el punto de vista de red de distribución y por sus facilidades de construcción, entre otros aspectos. El Tramo 1 y el Tramo 2 fueron rehabilitados desde la planta de Tibitoc hasta hasta la calle 80 con Avenida Boyacá; falta por rehabilitar el Tramo 3, de una longitud aproximada de 16,4 km, desde la calle 80 hasta el tanque de Casablanca, donde se tiene contemplado realizar la rehabilitación de aproximadamente 9 km con la metodología sin zanja

2. INTRODUCCION

Este artículo contiene la descripción del proyecto de rehabilitación del Tramo 3 de la línea Tibitoc-Casablanca, la cual corresponde a una conducción de gran diámetro que hace parte del Sistema Matriz de Acueducto de la EAB, y que actualmente es utilizada para realizar la distribución de la zona occidental de la ciudad de Bogotá y a siete municipios vecinos, a los cuales se les suministra agua por medio de la modalidad de Venta de Agua en Bloque. Esta línea actualmente se encarga de abastecer a una población aproximada de 4 millones de habitantes.

En el artículo se hace una descripción de las principales características de la línea, la cual fue construida en tubería PCCP de diámetro de 78 pulgadas, y también se resumen las condiciones que llevaron a plantear la necesidad de ejecutar obras de rehabilitación sobre la misma, incluyendo el hecho de que entre los años 1978 y 1989 se generaron once fallas, dos de las cuales fueron de carácter catastrófico. El artículo también incluye una descripción de cómo fue la concepción y desarrollo del proyecto de rehabilitación de la línea, así como el detalle de en qué consistieron las obras que ya fueron ejecutadas en el Tramo 1 y 2.

Con base en este contexto, se mencionan las consideraciones especiales a tener en cuenta respecto a la rehabilitación del Tramo 3 de la línea Tibitoc-Casablanca, y se describen los resultados del estudio de los diseños detallados para dicha rehabilitación y su cronograma de ejecución.

3. INDICE

1. Descripción del Sistema de Acueducto de la EAB
2. Características de la línea Tibitoc-Casablanca
3. Concepción y desarrollo del proyecto de rehabilitación de la línea Tibitoc-Casablanca
4. Obras ejecutadas para la rehabilitación del Tramo 1 y 2 de la línea Tibitoc-Casablanca
5. Obras a desarrollar para la rehabilitación del Tramo 3 de la línea Tibitoc-Casablanca
6. Conclusiones y recomendaciones

4. DESARROLLO

1. Descripción del Sistema de Acueducto de la EAB

La Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB) presta el servicio de acueducto a la ciudad de Bogotá y a los municipios de Soacha y Gachancipá. Adicionalmente, suministra agua en bloque a los municipios de Sopó, Tocancipá, Cajicá, Chía, La Calera, Funza, Mosquera y Madrid.

El caudal medio consumido por la ciudad y los municipios vecinos fue de 15.3 m³/s en el mes de agosto de 2017, que corresponde a la demanda de agua de alrededor de 9 millones de habitantes. El suministro a esta población es garantizado mediante un sistema de acueducto que cuenta con tres plantas de tratamiento y una red de 9000 kilómetros de tuberías que se dividen en 37 sectores hidráulicos.

1.1 Sistema de Abastecimiento de la EAB

En la actualidad, el suministro de agua a la ciudad de Bogotá y los municipios vecinos es garantizado mediante un sistema de acueducto que cuenta con tres plantas de tratamiento principales, cada una de las cuales depende de una determinada fuente de suministro. A continuación se realizará una breve descripción de las plantas que actualmente se encuentran en operación:

- PTAP Francisco Wiesner: Esta planta fue construida en el municipio de La Calera y es abastecida mediante agua proveniente del Embalse Chuza y algunos pozos de captación de quebradas. Durante contingencias, la planta también puede ser abastecida con agua proveniente del Embalse San Rafael. Tiene una capacidad para tratar un caudal de 14 m³/s, de los que actualmente se utilizan alrededor de 10.4 m³/s para abastecer a al oriente y al centro de la ciudad de Bogotá y a los municipios de La Calera, Funza, Mosquera, Madrid y Soacha.
- PTAP Tibitoc: Esta planta fue construida en el municipio de Tocancipá y es abastecida mediante agua proveniente del Río Bogotá, el cual es regulado por tres embalses que componen al Sistema Agregado Norte: Neusa, Sisga y Tominé. Durante contingencias, la planta también puede ser abastecida con agua proveniente del Embalse Aposentos, el cual regula el caudal del río Teusacá. Tiene una capacidad para tratar un caudal de 10 m³/s, de los que actualmente se utilizan alrededor de 4.5 m³/s para abastecer a la zona norte y occidente de la ciudad de Bogotá y a los municipios de Sopó, Gachancipá, Tocancipá, Chía y Cajicá.
- PTAP El Dorado y PTAP La Laguna: Estas plantas fueron construidas en la localidad de Usme. La bocatoma de las dos plantas se encuentra ubicada en el embalse La Regadera, el cual hace parte del grupo de embalses conocido como Sistema Agregado Sur, que son utilizados para regular al río Tunjuelito. En esquema de operación normal, la planta El Dorado surte la demanda de la localidad de Usme, que corresponde a un caudal de alrededor de 0.4 m³/s. Durante contingencias, esta demanda es suplida por la planta Vitelma y/o La Laguna.

Los 9000 kilómetros de redes de acueducto que dependen de este sistema de abastecimiento ha venido siendo organizados y adecuados de tal manera que toda la red está interconectada para que pueda ser abastecida mediante alguna de las plantas principales.

1.2 Sistema de Matriz de Acueducto de la EAB

La distribución del agua potable que es producida por la EAB es realizada a través de dos sistemas: la Red Matriz de Acueducto y las redes menores o secundarias. El primero de éstos está compuesto por las líneas expresas de alta presión y troncales de conducción que permiten transportar el agua producida en las plantas de tratamiento hasta los principales tanques de almacenamiento que existen en diversas zonas de la ciudad. Este sistema también incluye a las conducciones, estaciones de bombeo y tuberías de impulsión que permiten transportar el agua hasta unos tanques de almacenamiento secundarios, así como a las diferentes estructuras de control que regulan cada uno de estos elementos. Adicionalmente, el Sistema Matriz cuenta con unas líneas que varían entre 16 pulgadas y 2.2 m, y que son utilizadas para distribuir el agua almacenada en los tanques, a cada uno de los 37 sectores hidráulicos en los que se ha dividido la ciudad de Bogotá. Por otra parte, el sistema secundario comprende las redes menores con diámetro inferior a 12 pulgadas, y que permiten transportar el agua potable hasta las acometidas de los usuarios pertenecientes al área de servicio de la EAB.

El Sistema Matriz de Acueducto fue dividido en Zonas de Servicio, las cuales fueron definidas teniendo en cuenta la topografía de la ciudad y asegurando que en lo posible, cada área contará con varios puntos de alimentación. En el esquema de operación normal, cada área se abastece mediante un punto de alimentación, pero cuando se presentan contingencias, se pueden plantear esquemas alternativos de operación, en los que se puede buscar que la

alimentación de cada área de servicio sea garantizada a través de un punto de alimentación alternativo. Cada una de estas áreas de servicio, está a su vez subdividida en sectores hidráulicos. En total, la Red Matriz cuenta con 37 sectores hidráulicos, los cuales operan normalmente de forma aislada, pero pueden ser interconectados en caso de contingencias. De forma similar a las áreas de servicio, los sectores fueron delimitados teniendo en cuenta la topografía de la ciudad, la topología del sistema de acueducto y asegurando que cada sector contara con múltiples puntos de alimentación.

La longitud total de la red matriz de acueducto es de alrededor de 560 km, con diámetros comprendidos entre 16 pulgadas y 2.20 metros. Además, el sistema cuenta con 65 tanques de almacenamiento que tienen una capacidad de almacenamiento de 600.000 m³, así como 34 estaciones de bombeo, utilizadas para abastecer las zonas altas de la ciudad, las cuales están ubicadas a lo largo de los cerros orientales y en la zona suroccidental. El sistema matriz también incluye 19 Estructuras de Control, compuestas por válvulas utilizadas para regular caudal o presiones en los principales puntos de la red. Estos componentes son los que permiten implementar los distintos esquemas de operación mediante los cuales se opera el Sistema Matriz de Acueducto.

Adicionalmente, se cuenta con tres centrales hidroeléctricas que fueron construidas en zonas donde anteriormente se contaba con estructuras de control de presión, y que aprovechan la energía del agua para la generación de energía, mientras que permiten disiparla a niveles adecuados para la operación del sistema matriz. La central de mayor tamaño se encuentra ubicada aguas arriba del Tanque Santa y tiene una capacidad de producción de 7.7 MW. Las otras dos centrales se encuentran ubicadas aguas arriba del Tanque Nuevo Suba y en la Estación Usaquén, con capacidad de producción de 2.8 y 1.8 MW, respectivamente.

2. Características de la línea Tibitoc-Casablanca

La tubería Tibitoc-Casablanca tiene un diámetro de 78 pulgadas y es de tipo PCCP (por sus siglas en inglés, Prestressed Concrete Cylinder Pipe). Fue fabricada por American Pipe entre los años 1968-1972, según norma AWWA C-301 del año 1964. Este tipo de tubería está conformada por un cilindro de acero embebido en concreto, al cual se le enrolla helicoidalmente un alambro de alta resistencia, que a su vez es revestido con una capa de mortero de cemento para protegerlo contra la corrosión. La tubería proporciona un empalme hermético, usando anillos de acero soldados a los extremos del cilindro (espigo – campana) y sellados mediante un empaque redondo de caucho.

La línea inicia en la planta Tibitoc, ubicada en el municipio de Tocancipá, y atraviesa de norte a sur toda la ciudad, pasando por el corredor de la Autopista Norte hasta llegar a la Calle 129, por donde se deriva hacia al occidente hasta el cruce de la Avenida Boyacá, vía por la cual se mantiene hasta llegar a la Avenida Ferrocarril del Sur. La línea continúa por este corredor hasta llegar al cruce de la Autopista Sur con Avenida Ciudad de Villavicencio, por donde sube hacia el occidente hasta llegar a la Diagonal 72, en donde se desvía hasta llegar al Tanque Casablanca, ubicado en la localidad Ciudad Bolívar. La línea tiene una longitud aproximada de 53.2 km, y fue concebida como una conducción troncal, es decir, es una tubería de gran diámetro que tiene derivaciones a lo largo de su recorrido. En la siguiente figura se presenta el área de servicio de la línea.

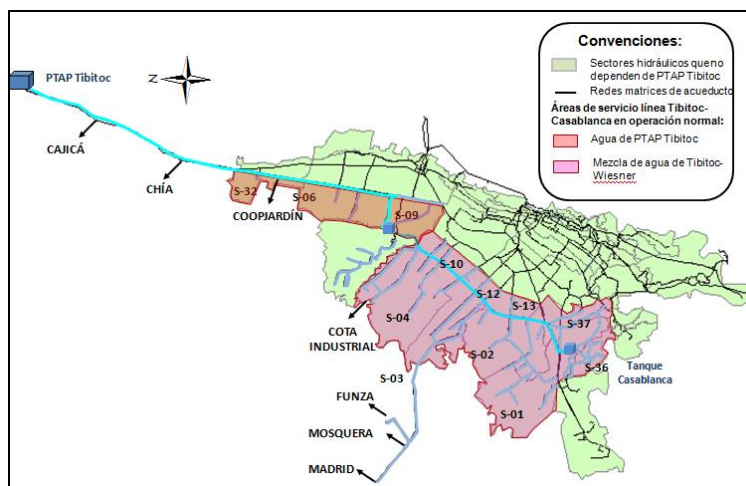


Figura 1 Área de servicio de la línea Tibitoc-Casablanca.

Como se puede observar en la Figura 1, la línea Tibitoc-Casablanca está encargada del suministro de agua a toda la zona occidental de la ciudad. En el norte abastece a los municipios de Chía y Cajicá y a los sectores hidráulicos S-06, S-09 y S-32, que corresponden a la parte occidental de la localidad de Usaquén, la zona oriental de la localidad de Suba y a la parte nor-occidental de la localidad de Barrios Unidos. Dicha área de servicio es abastecida con agua proveniente de la planta Tibitoc. Por otra parte, la línea Tibitoc-Casablanca también atiende al área que está comprendida entre la calle 80 (al norte) y el tanque Casablanca (al sur) y entre la Avenida 68 (al oriente) y el río Bogotá (al occidente), con una mezcla de agua proveniente de las plantas Tibitoc y Wiesner, teniendo en cuenta que a la altura de la Calle 127, la tubería Tibitoc-Casablanca se conecta con otra línea proveniente del Tanque Nuevo Suba, el cual es abastecido por la planta Wiesner. La zona descrita anteriormente comprende los sectores hidráulicos S-01, S-02, S-03, S-04, S-10, S-12, S-13, S-36 y S-37, los cuales corresponden a las localidades de Engativá, Fontibón, Kennedy y Bosa, y parcialmente a las localidades de Tunjuelito, Ciudad Bolívar y Puente Aranda. Adicionalmente, de esta tubería se abastecen los municipios de Mosquera, Funza, Madrid, y se tiene previsto a futuro la conexión de los municipios de Anapoima y La Mesa. En total, para el año 2017, la línea abastece a una población de alrededor de 4 millones de habitantes.

Como se mencionó anteriormente, la zona norte del área de servicio de la línea Tibitoc-Casablanca es abastecida por la planta Tibitoc, la cual cuenta con dos tanques de almacenamiento, con una diferencia de 30 metros de altura en su ubicación, y que se denominan Tanque Bajo y Tanque Alto. Lo anterior hace posible la operación de la línea Tibitoc-Casablanca con dos esquemas de presión; por lo que cuando se opera con Tanque Alto, las presiones de trabajo a lo largo de la línea oscilan entre 85 y 40 m.c.a, mientras que al operar con Tanque Bajo, las presiones de trabajo varían entre 65 y 40 m.c.a.

2.1 ¿Por qué se rehabilita la línea Tibitoc-Casablanca?

A nivel mundial se registraron una serie de fallas catastróficas y no catastróficas en tuberías PCCP de gran diámetro, que fueron fabricadas según la norma AWWA C-301/1964, y que se produjeron después de 15 a 20 años de instalación. Por tal razón, como medida de seguridad, la norma AWWA C-301 fue modificada en el año 1984. En particular, la tubería Tibitoc-Casablanca presentó once fallas entre los años 1978 y 1989, dos de ellas catastróficas y una con pérdida de vidas humanas. Durante la otra falla catastrófica, el agua liberada recorrió una distancia de 200 metros en sentido horizontal, afectando infraestructura y viviendas, pues la falla se presentó en inmediaciones del antiguo canódromo de la ciudad. Así mismo, durante una inspección interna de la tubería realizada en 1989, se evidenció que en la abcisa K24+544, la tubería estaba a punto de fallar, por fisuras en el cilindro interno del concreto, pérdida de concreto de recubrimiento y corrosión del alambro pretensado (CDM Smith, 2013).

Otro aspecto de importancia para la toma de decisión respecto a la rehabilitación de la línea Tibitoc-Casablanca fueron las características del corredor por donde la tubería fue instalada. Las obras fueron ejecutadas en 1972, año en el cual aún no se había realizado la construcción de la Avenida Boyacá; por lo que inicialmente la tubería operó con cargas correspondientes a zonas verdes. Sin embargo, esta condición cambió debido a que posteriormente se realizaron las obras de la Avenida Boyacá, la cual actualmente corresponde a uno de los corredores viales de mayor tráfico de la ciudad, que se caracteriza además, por altas tasas de tráfico pesado, debido a que es de las pocas vías principales que están ubicadas al occidente de la ciudad, y que permiten recorrerla de norte a sur, o viceversa.

Sobre el corredor por el que pasa la línea también es importante mencionar que algunos sectores cuentan con suelos agresivos o muy agresivos, en cuanto al potencial corrosivo por pH, resistividad y potencial redox; condición que aumenta el riesgo de falla de la tubería (Consortio Tibitoc 2006, 2006).

El conjunto de condiciones descritas anteriormente hizo necesario que la EAB proyectará la ejecución de diversos estudios, con el fin de evaluar el estado real de la tubería y poder determinar la solución técnica óptima para realizar la rehabilitación de la misma, y así garantizar la continuidad de operación de una de las líneas troncales de mayor importancia en el suministro de agua a la ciudad y a los municipios vecinos.

3. Concepción y desarrollo del proyecto de rehabilitación de la línea Tibitoc-Casablanca

Como resultado de las fallas que se presentaron durante los años 1978 a 1989, la EAB empezó a realizar diversos estudios con el fin de evaluar el estado real de la tubería y definir el manejo más adecuado para adelantar las obras

de rehabilitación de la misma. Como parte de lo anterior, en 1984 se realizó un Foro Internacional de Expertos y con base en sus conclusiones se contrataron diversos estudios en los cuales se adelantaron las siguientes actividades: recopilación de la información sobre los daños ocurridos, evaluaciones de continuidad eléctrica, investigaciones puntuales de tramos y definiciones teóricas de cargas. Así mismo, dentro de actividades propias del mantenimiento de la EAB, se realizaron retiros puntuales de unos tramos de la tubería.

A partir de los resultados de estos estudios previos, en el año 1993 se realizó un contrato de consultoría con la firma Jason Consultants, que tuvo como objetivo la definición de la metodología óptima de rehabilitación para la línea Tibitoc-Casablanca. En este estudio se analizaron diferentes tecnologías de rehabilitación, incluyendo el reforzamiento con fibra de carbono o la inserción interna de tuberías en acero o GRP. El estudio concluyó que la mejor alternativa para la rehabilitación correspondía a la inserción de encamisados de acero, y además, se realizó una definición conceptual de tramos, con el fin de priorizar las obras de rehabilitación, teniendo en cuenta criterios como el estado estructural de la tubería, las condiciones de trabajo, y la posibilidad de contar con líneas paralelas que aseguraran la continuidad del servicio durante las obras de rehabilitación. En la siguiente figura se presentan los tramos en los que fue dividida la línea Tibitoc-Casablanca.

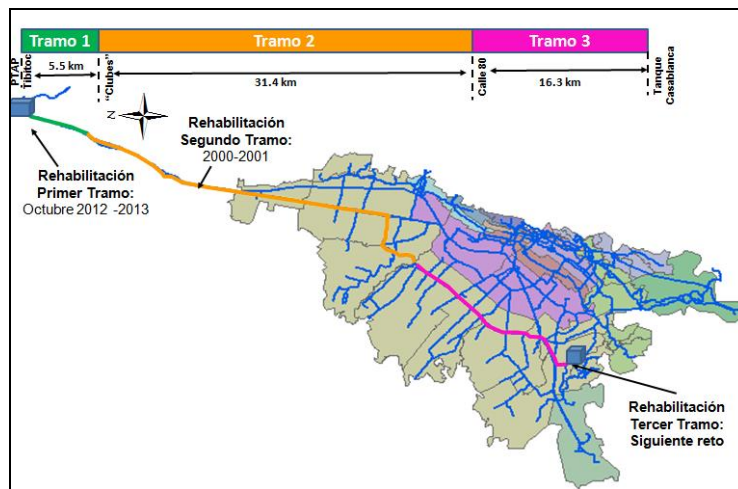


Figura 2 Tramos de la línea Tibitoc-Casablanca.

El tramo de mayor prioridad correspondía al Tramo 2, a lo largo del cual se presentaron todas las fallas de la tubería y en donde se definió que era necesario la construcción de dos manijas en 24 pulgadas y una de 36 pulgadas, para que operando en conjunto con la otra línea que sale de la planta Tibitoc (línea Tibitoc-Usaquén de 60 pulgadas), se lograra garantizar la continuidad del servicio en toda el área de servicio. En el año 2000, a través del contrato de concesión de la planta Tibitoc, se desarrollaron los diseños detallados y las obras de rehabilitación del Tramo 2, los cuales incluyeron: la construcción de manijas para garantizar la continuidad del servicio, el aislamiento de tramos a rehabilitar, la instalación interna de camisas de acero de 72 pulgadas, y a medida que se realizaban las obras, una inspección interna de la tubería.

Durante ese mismo año, la EAB también adelantó con el consultor Jairo René Rojas, los estudios del Plan Maestro de Rehabilitación del Sistema Matriz de Acueducto, que tenían como objetivo realizar la formulación de un programa estructurado de rehabilitación, con base en los resultados de evaluaciones estructurales de las redes matrices y de evaluaciones geotécnicas de los corredores de las tuberías. Posteriormente, este estudio fue actualizado en el año 2004 por la firma Salgado Meléndez y Asociados. En ambos casos, se analizaron los Tramos 1 y 3 de la línea Tibitoc-Casablanca, y se concluyó que era necesario continuar prioritariamente con los proyectos de rehabilitación de la tubería en estos tramos, debido a la incertidumbre existente respecto al estado estructural de la misma y a su importancia para el suministro de la ciudad. De esta manera, con base en los resultados de estos estudios, la EAB incluyó dentro sus Planes Estratégicos y los Planes de Inversiones a los proyectos de rehabilitación del Tramo 1 y Tramo 3.

Es importante mencionar que en los estudios descritos anteriormente, se priorizaron las obras de rehabilitación del Tramo 1 debido a que, según los resultados de la evaluación estructural realizada con base en los criterios de la

AWWA C-304, al trabajar con la presión del Tanque Alto de Tibitoc, se podría dar inicio a la condición de daño por descompresión del núcleo de concreto; y para la EAB era necesario poder contar con la posibilidad de trabajar con el Tanque Alto, teniendo en cuenta que desde el año 1998 se venían adelantando de forma periódica las actividades de mantenimiento de los túneles de Chingaza. Estos últimos conforman el sistema de aducción a la planta Wiesner, por lo que cuando se realizan las labores de mantenimiento, es necesario disminuir la producción de dicha planta e incrementar los caudales provenientes de la planta Tibitoc, con el fin de garantizar el suministro continuo a la ciudad y a los municipios vecinos.

Por tal razón, en el año 2006 la EAB a través del Consorcio Salgado, Meléndez y Asociados - Silva Carreño y Asociados, realizó los diseños detallados de las obras de rehabilitación del Tramo 1, estudios que incluyeron la ejecución de las siguientes actividades, entre otras: diagnóstico del estado actual de la tubería, análisis de alternativas para la rehabilitación y los diseños detallados de las obras de rehabilitación del Tramo 1 y las obras complementarias que fuesen necesarias para garantizar el suministro continuo de la ciudad y los municipios vecinos; igualmente se realizó con este Consorcio la factibilidad detallada del tramo 3.

Es importante mencionar que como parte del diagnóstico sobre el estado actual de la tubería, se realizó una inspección electromagnética de la tubería; para lo cual fue necesario aislarla y desaguarla por subtramos. Dichas actividades fueron posibles debido a que como se explicó anteriormente, de la planta Tibitoc salen dos tuberías de gran diámetro paralelas e interconectadas a lo largo de la zona norte de la ciudad, por lo que se cuenta con esquemas alternativos de operación para garantizar la continuidad del servicio a la ciudad y los municipios vecinos. También es importante mencionar que el análisis de alternativas incluyó una evaluación respecto a si era mejor realizar un reemplazo o una rehabilitación puntual o completa de la misma. El estudio concluyó que, dada la incertidumbre frente al estado estructural de varios subtramos de la tubería, así como por temas de economía de escala y de mejores prácticas para la operación y el mantenimiento del sistema, la mejor alternativa era realizar una rehabilitación completa del Tramo 1.

A partir de estos estudios, en el año 2012, la EAB adelantó la contratación de las obras de rehabilitación del Tramo 1 de la línea Tibitoc-Casablanca, las cuales fueron desarrolladas por el Consorcio Rehabilitación Tibitoc. Como parte de este contrato, se realizó la rehabilitación de 5.09 kilómetros de tubería mediante la inserción interna de encamisados de acero de 72 pulgadas, y se retiró y reemplazaron cuatro válvulas mariposa en línea de 60 pulgadas. En el Numeral 4 se describen en detalle las actividades realizadas para las obras de rehabilitación del Tramo 1 y 2.

3.1 Consideraciones especiales respecto a la rehabilitación del Tramo 3 de la línea Tibitoc-Casablanca

Como se mencionó anteriormente, el tramo 3 está comprendido entre la Calle 80 y el Tanque Casablanca, y pasa por los corredores de la Avenida Boyacá, Avenida Ferrocarril del Sur y Avenida Ciudad de Villavicencio. A lo largo de este recorrido, se cuenta con 5 válvulas mariposa en línea de 60 pulgadas, que no cierran herméticamente; por lo que actualmente no es posible realizar un aislamiento de subtramos, condición que dificulta cualquier actividad de mantenimiento y que imposibilita la ejecución de inspecciones internas. Así mismo, al contrario de los Tramos 1 y 2, a lo largo del Tramo 3 no se cuenta con una línea troncal paralela que permita garantizar la continuidad de servicio, en caso de que se presenten contingencias.

Sumado a estas condiciones, es importante tener en cuenta que el Tramo 3 transcurre por corredores de gran importancia vial para la ciudad, los cuales cuentan con altas tasas de tráfico liviano y pesado, y en donde adicionalmente, el Distrito prevé realizar en el mediano plazo la construcción de nuevas troncales de Transmilenio y de la primera línea del Metro de Bogotá.

Por tales razones, en el año 2013, la EAB contrató con la firma CDM Smith, un estudio conceptual sobre el Tramo 3 de la línea Tibitoc-Casablanca, mediante el cual se realizó la definición de los impactos potenciales que podría tener la construcción de troncales Transmilenio sobre la tubería. Este estudio concluyó que existía un alto riesgo de que se presentarían fallas de la tubería por la posibilidad de que durante la construcción u operación de las Troncales, la tubería fuese sometida a cargas superiores a la máxima admisible de diseño, y por el riesgo de que se presenten asentamientos diferenciales que causen su desempate. Dicha probabilidad de falla se incrementa al tener en cuenta las características de fabricación de la tubería y las condiciones agresivas de los suelos, las cuales generan alta incertidumbre sobre su estado estructural actual.

Como resultado de lo anterior, en el estudio se concluyó que la construcción de las Troncales Transmilenio sólo sería posible una vez la tubería Tibitoc-Casablanca hubiese sido rehabilitada o relocalizada.

Por tal razón, con base en estos resultados, en el año 2015, la EAB realizó la contratación de los diseños detallados de la rehabilitación de la conducción del Tramo 3.

4. Obras ejecutadas para la rehabilitación del Tramo 1 y 2 de la línea Tibitoc-Casablanca

Las obras de rehabilitación del Tramo 1 y Tramo 2 consistieron en la inserción interna de encamisados de acero de 72 pulgadas, fabricadas de acuerdo con la norma AWWA C-200, a partir de chapas de acero ASTM A-36 de espesor de 11.5 mm, y con las cuales se formaron cilindros de 2, 4 y 7 metros, según los requerimientos de montaje de cada sitio. Se empleó un recubrimiento interior de mortero de cemento de espesor de 12 mm, aplicado de acuerdo con la norma AWWA C-205. Uno de los extremos de estos cilindros fue expandido formando una campana para facilitar el acople con el siguiente tubo y se unió a este por una soldadura de filete ejecutada en el campo de acuerdo a la norma AWWA C-206. Una vez realizada y aprobada la junta soldada se rellenó el espacio vacío (entre el tubo existente y la camisa) con mortero de cemento de la misma especificación que el utilizado para el recubrimiento interior de la camisa.

Cada 500 m en promedio, dependiendo de los accidentes propios y accesorios de la actual conducción, se construyó un acceso o ventana, de dimensiones aproximadas 7.50 m x 4.50 m, la cual fue debidamente protegida con el entibado adecuado y dotada con las facilidades de acceso para el personal y equipos. Una vez construida la ventana, y realizadas las operaciones de aislamiento del tramo a trabajar y de vaciado de la tubería, se procedió a romper en dos secciones longitudinales el tubo existente, sacando la mitad superior y dejando la mitad inferior para que sirviera de piso firme y estable para toda la operación de rehabilitación. Las zonas laterales se conformaron con materiales de relleno adecuados y se proyectó un pozo de drenaje para evacuar las aguas de infiltración.

Posteriormente, se realizó el proceso de limpieza interna de la tubería, mediante el ingreso de una cuadrilla que contaba con una maquina que proporciona un chorro de agua a presión, así como otras herramientas manuales como escobas y barredores, para retirar la película de la tubería. Los residuos producidos por la actividad de limpieza fueron evacuados por purgas o por la ventana abierta por bombeo al alcantarillado. Esta limpieza se realizó hasta lograr que la superficie interna de la tubería quedara libre de adherencias, tuberculizaciones o mortero deteriorado, que le pudieran restar capacidad de adherencia entre el revestimiento interno del tubo existente y el relleno de mortero inyectado.

Al mismo tiempo en que se realizó la limpieza, ingresó una comisión de topografía encargada de levantar y de comprobar los accidentes del tubo existente, con el fin de contar con la información necesaria para que la fábrica encargada de la producción de los encamisados procediera a hacer el despiece definitivo de los tramos a rehabilitar. De esta manera, se generó un nuevo plano de instalación, en el que la secuencia, los accidentes y demás pormenores, estaban de antemano predeterminados, evitando así errores y pérdidas de tiempo en la secuencia de instalación prevista.

Efectuadas las dos operaciones anteriores, se procedió a la instalación de los encamisados de acero. Por medio de una grúa se bajaron las camisas a la ventana, en donde se contaba con un equipo de transporte interno, el cual llevaba la camisa hasta su lugar definitivo de instalación. Este equipo consistió en una viga metálica de accionamiento hidráulico, empujada por un mecanismo eléctrico, el cual fue construido a partir de la adecuación de un vehículo usado para la práctica de golf. El equipo tenía la posibilidad de desplazar la camisa hacia arriba o hacia abajo y de ayudar al acople en forma autónoma; así mismo, al contar con un motor eléctrico, evitaba la emisión de monóxido de carbono al interior de la tubería.

Una vez la camisa estaba en su posición definitiva, era soportada sobre la tubería existente por medio de separadores de acero, los cuales buscaban controlar el efecto de flotación y garantizar la permanencia de la camisa en la posición requerida, hasta el final de la operación. Luego se procedía a hacer la soldadura de la junta por medio de equipos de soldadura semiautomática; las pruebas de la misma fueron efectuadas por métodos no destructivos, previamente aprobados por la Interventoría.

Una vez que se completaba cierta longitud de revestimiento, se realizaba la inyección del espacio anular entre la tubería existente y la camisa de acero (0.076 metros), utilizando una mezcla de mortero y cemento que cumple con

los requerimientos de las normas ASTM C-33 y ASTM C-150, respectivamente, y que fue aligerada con un aditivo espumante, hasta satisfacer las necesidades de resistencia, homogeneidad y manejabilidad de la mezcla, teniendo en cuenta las recomendaciones de los fabricantes de las bombas de inyección. Esta actividad fue realizada a través de huecos que habían sido dejados en la camisa desde su fabricación. En la medida en que se avanzaba en las operaciones descritas anteriormente, se colocaban codales rigidizantes aproximadamente cada 2.33 m, con el fin de proporcionar soporte a la manguera de la inyección anular, y para evitar deformaciones que pudieran causarse por el efecto de flotación de la presión generada por la inyección anular. Terminada la inyección, se procedió a tapar con mortero de cemento, los huecos de la inyección anular, las juntas y a reparar cualquier otro deterioro que se hubiera causado durante la ejecución de las operaciones anteriormente descritas.

Una vez terminada la rehabilitación correspondiente a cada ventana, se procedió a tapar el hueco de la ventana, reemplazando el tubo que se sacó inicialmente por medio de dos camisas de 3.35 m de longitud a cada lado y un cinturón de cierre con el cual se completa el ciclo y deja los dos tramos adyacentes debidamente reparados. Terminado este proceso se cubrió la tubería dejando el sito de la ventana en las mismas o similares condiciones con que originalmente se recibió.

Como parte de las actividades de cierre de la rehabilitación, se realizó la desinfección de la tubería y las pruebas hidrostáticas, las cuales fueron realizadas a una presión de 300 psi. Una vez confirmó el estado adecuado de las obras ejecutadas, se procedió a realizar las actividades de llenado, presurización y puesta en marcha de la línea rehabilitada.

5. Obras a desarrollar para la rehabilitación del Tramo 3 de la línea Tibitoc-Casablanca

Como se mencionó anteriormente, en el año 2015 la EAB adelantó la contratación de los diseños detallados para la rehabilitación del Tramo 3. Como parte de estos estudios, se realizó un estudio de factibilidad, en el cual se incluyó un análisis de factibilidad, que buscaba determinar la alternativa óptima para realizar la rehabilitación del Tramo 3, involucrando una evaluación de materiales y de técnicas de construcción o rehabilitación disponibles, y en cada caso, de los costos directos relacionados al proyecto, así como de los indirectos generados por impactos ambientales o sociales.

La conclusión de este análisis fue que la mejor alternativa para el suministro de la ciudad consiste en realizar la rehabilitación de la tubería actual en toda su longitud (16,4 km), complementada con la construcción de una nueva tubería de diámetro 60 pulgadas y 12,4 km de longitud, que iría paralela a la tubería actual, por el corredor de la Avenida Boyacá, para garantizar la continuidad del servicio durante la ejecución de las obras de rehabilitación, así como para generar mayor confiabilidad al sistema en el mediano y largo plazo.

En el estudio se ha recomendado ejecutar dicho proyecto en 3 etapas: a) Fase 1: Rehabilitación de la actual tubería Tibitoc- Casablanca en el subtramo sur comprendido entre la Av. Boyacá-cruce Av. El Ferrocarril (Calle 39 A sur), b) Fase 2: Instalación de Manija en tubería de 60" instalada en zanja y/o tubería hincada, por toda la Av. Boyacá (subtramo norte), con una longitud cercana a los 12,4 km, y c) Fase 3: Rehabilitación de la actual tubería Tibitoc-Casablanca en el subtramo norte, comprendido entre la Av. Boyacá- Calle 80 y la Av. Boyacá-cruce Av. El Ferrocarril (Calle 39 A sur), con una longitud de 12,4 km. La división realizada entre el Subtramo Norte y Sur correspondió a que, por solicitud del Instituto de Desarrollo Urbano y la Secretaría de Movilidad, se requería dar prioridad a la rehabilitación del Subtramo Sur, teniendo en cuenta que la tubería actualmente pasa por los corredores de la Avenida Ferrocarril del Sur y la Avenida Ciudad de Villavicencio, en donde se prevé construir Troncales de Transmilenio en el corto plazo.

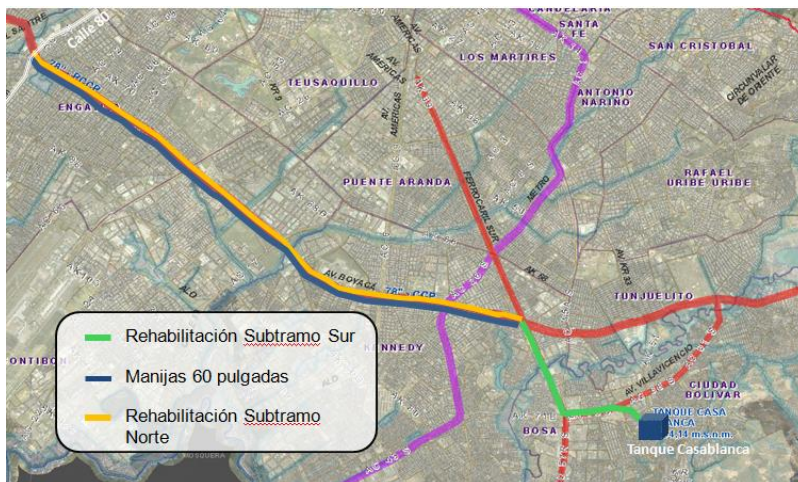


Figura 3 Etapas de la rehabilitación del Tramo 3 de la línea Tibitoc-Casablanca.

5.1 Obras requeridas en el Subtramo Sur

Las obras del Subtramo Sur comprenden la rehabilitación de aproximadamente 4.000 metros de la tubería existente; actividad que como se describió anteriormente, consiste en insertar dentro de la tubería actual de 78 pulgadas, una camisa de acero de 72 pulgadas, llenando el espacio anular entre las 2 tuberías, con un mortero de cemento fluido. Se complementa con el cambio de todas las válvulas en línea (5 válvulas de 60 pulgadas), derivaciones y demás accesorios de la línea; así como la rehabilitación y/o construcción de nuevas estructuras en concreto para las cajas de válvulas. Así mismo, es importante resaltar que con el fin de garantizar la continuidad del servicio, previo a la ejecución de las obras de rehabilitación, es necesario construir manijas de 36, 24 y 14 pulgadas, y que en total suman una longitud de aproximadamente 1.700 metros.

Adicionalmente, dentro de la licitación de las obras del Subtramo Sur se ha involucrado la relocalización de una longitud de 70 m de la línea Tibitoc-Casablanca, en el cruce de la Avenida Boyacá con la Avenida Primero de Mayo, con el fin de darle cabida a la cimentación del proyecto del Metro.

5.2 Obras requeridas en el Subtramo Norte

Como se mencionó anteriormente, en el subtramo Norte se requiere realizar previamente la construcción de una manija de 60 pulgadas de diámetro y 12.4 kilómetros de longitud, que iría por el corredor lateral de la calzada occidental de la Avenida Boyacá, y que permitirá garantizar la continuidad del servicio durante las obras de rehabilitación de la tubería existente.

Con el objetivo de minimizar impactos urbanos durante la construcción de la nueva conducción, se planteó realizar la construcción de alrededor de 8.7 kilómetros mediante el método de pipejacking, con lo que se prevé que una vez sea ejecutada esta fase, el proyecto se convierta en uno de vanguardia a nivel mundial, teniendo en cuenta que no existen muchos ejemplos de tuberías que transporten fluidos a presión que hayan sido instalados utilizando esta técnica, en una longitud de esta magnitud. Por otra parte, los 3.7 kilómetros restantes serán instalados mediante la técnica tradicional de zanja abierta, aprovechando que la ciudad cuenta con unos corredores de Franja Ambiental que pueden ser utilizados para la nueva conducción, sin generar impactos sobre la movilidad urbana de la ciudad.

La siguiente etapa consiste en las obras de rehabilitación del Subtramo Norte, lo que comprende la instalación interna de encamisados de acero de 72 pulgadas y su correspondiente inyección anular con mortero de cemento fluido, durante una longitud de 12.4 kilómetros. Como parte de este trabajo, se deberá realizar el reemplazo de las válvulas en línea y la renovación de las derivaciones existentes, así como la conexión con las derivaciones construidas con la nueva manija.

5.3 Cronograma del proyecto

En la siguiente tabla se incluye el cronograma previsto para la totalidad del proyecto de rehabilitación del Tramo 3 de la línea Tibitoc-Casablanca.

Fase	Actividad	Año 2017		Año 2018				Año 2019				Año 2020				Año 2021			
		Trimestre		Trimestre				Trimestre				Trimestre				Trimestre			
		3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
I	Rehabilitación del Subtramo Sur																		
	Licitación y contratación																		
	Ejecución de obra																		
II	Construcción manijas de 60 pulgadas																		
	Licitación y contratación																		
	Ejecución de obra																		
III	Rehabilitación del Subtramo Norte																		
	Licitación y contratación																		
	Ejecución de obra																		

6. Conclusiones y recomendaciones

- La rehabilitación del Tramo 3 de la línea Tibitoc-Casablanca es un proyecto que se encuentra enmarcado dentro del Plan Estratégico y el Plan de Inversiones de la EAB, y el Plan Maestro de Rehabilitación.
- Las características agresivas de los suelos por donde transcurre el Tramo 3, el registro histórico de fallas, y las variaciones de carga a la que ha sido expuesta la tubería, así como las que se podrían presentar con la construcción de los nuevos proyectos de infraestructura vial, hacen necesaria la ejecución de un proyecto de rehabilitación de la línea Tibitoc-Casablanca; la cual es de importancia estratégica en la distribución de agua de la ciudad y los municipios vecinos.
- Los resultados de los estudios de factibilidad permitieron concluir que la mejor alternativa para la rehabilitación del Tramo 3 consiste en la rehabilitación interna por encamisados de acero y la construcción de unas manijas, que permitirán garantizar la continuidad del servicio y darán mayor robustez al sistema durante su operación normal.
- Para poder desarrollar el proyecto de rehabilitación del Tramo 3, teniendo en cuenta que no existen líneas paralelas que permitan garantizar continuidad del servicio y que las válvulas en línea no son herméticas, es necesario realizar la construcción de manijas previo a la ejecución de las obras de rehabilitación.
- Como el Tramo 3 de la Tibitoc-Casablanca va por uno de los corredores de mayor tráfico en la ciudad, se ha optado por realizar la construcción de cerca de 9 km de la nueva conducción utilizando una tecnología sin zanja, con el fin de mitigar los impactos generados a la movilidad urbana.
- Así mismo, una parte de la nueva conducción será construida en zanja abierta en los sectores en donde existe Franja de Adecuación Ambiental, con el fin de contar con zonas en donde no haya impacto a la movilidad urbana.

7. REFERENCIAS

- CDM Smith. (2013). *Consultoría para la elaboración de un estudio estratégico sobre el Tramo 3 de la línea Tibitoc-Casablanca, en armonía con el proyecto Transmilenio de la Avenida Boyacá, con base en información existente*. Bogotá D.C.
- Consorcio Tibitoc 2006. (2006). *Estudios y diseños para la rehabilitación de la línea de la red matriz de 78" Tibitoc – Casablanca*. Bogotá.