



Título: Renovación de redes y acometidas de alcantarillado sin zanja en barrios periféricos con accesos por escalas: caso “Picacho”, Medellín

Autor: Miguel Duque Bernal

1. ABSTRACT

This paper illustrates a success story of main and lateral sewer renovation with trenchless technologies on the hills of a densely populated residential neighbourhood in Medellín City (Colombia). In a project initially designed with open trench methods, limited access through narrow stairs with slopes of 20%-60%, the presence of boulders and floaters, among other difficulties faced by the contractor (Ingeniería y Contratos S.A.S.), innovative thinking transformed a potential nightmare into a success story.

The combined use of pipe bursting for sewer mains and CIPP for lateral connections in sewer suggested by the contractor was technically, socially, environmentally and economically better. It saved time and costs to the municipality (Empresas Públicas de Medellín), avoided a major disruption on the daily life of the inhabitants and improved the safety conditions and life quality for the workers. This experience can be reproduced in other cities.

2. ÍNDICE

1. ABSTRACT

2. ÍNDICE

3. INTRODUCCIÓN

4. DESARROLLO

4.1. *Datos iniciales del proyecto*

4.2. *Caracterización de la zona de trabajo*

4.3. *Concepción del diseño contractual para el alcantarillado*

4.4. *Dificultades encontradas en la ejecución de las obras*

4.5. *Propuesta de rediseño en TSZ*

4.6. *Tecnologías sin Zanja empleadas en el proyecto y sus resultados*

4.6.1. *Pipe bursting estático*

4.6.2. *Tecnología de CIPP-curado con calor para acometidas*

4.7. *Implementación en el proyecto y balance final*

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. REFERENCIAS

3. INTRODUCCIÓN

La modernización de redes de acueducto y alcantarillado, bien sea porque han cumplido su vida útil o porque se requiere ampliar su capacidad, es una necesidad recurrente de las entidades prestadoras de servicios públicos (Boulos, 2017).

Tradicionalmente, dichas obras se realizan a zanja abierta. Otra alternativa es el uso de las denominadas TECNOLOGÍAS SIN ZANJA (TSZ) (ASCE, 2009), un conjunto de técnicas que permiten el diagnóstico, la

instalación, la reparación, y la renovación de redes con un menor número de excavaciones en comparación con la zanja abierta; como consecuencia, éstas presentan las siguientes ventajas:

- Menor impacto socio-ambiental.
- Menor dependencia del costo con la profundidad de la red.
- Menores imprevistos en el costo por daños, derrumbes o acabados superficiales.
- Menores tiempos de ejecución de las obras.
- Menores riesgos asociados a excavaciones profundas.

Entre los años 2015 y 2017, Ingeniería y Contratos S.A.S. (I&C), una empresa colombiana con más de 30 años de experiencia en la construcción de obras de acueducto, alcantarillado vías, edificaciones y estructuras, fue adjudicataria del contrato de construcción y reposición de redes de acueducto y alcantarillado Centro Parrilla grupo 4, para EPM, por lo que experimentó una transformación tecnológica que la llevó a abrir la línea de negocio de TSZ y constituirse como la empresa colombiana que probablemente cuente con el más amplio portafolio en esta materia.

Durante estos años, I&C ejecutó también un contrato de modernización de redes de acueducto y alcantarillado (Ver Tabla 1) ubicado en cercanías del barrio El Picacho en las laderas noroccidentales de la ciudad de Medellín.

Este documento ilustra el caso de éxito que se tuvo en el sector noroccidental de Medellín, donde las dificultades de un proyecto diseñado a zanja abierta fueron superadas replanteando parte del diseño con TSZ mediante la implementación combinada de Pipe Bursting (fracturación de tuberías) para colectores y CIPP (tubería curada en sitio) de acometidas. Dicha innovación evitó afectar severamente los accesos a las viviendas para la comunidad, eliminó el riesgo de derrumbamiento de las zanjas de hasta 4m de profundidad y rodeadas de muros son refuerzo que ponía en peligro a peatones y obreros, elevó los rendimientos de obra, generó ahorro para la entidad contratante y salvó al contratista de dificultades financieras asociadas a los bajos rendimientos de la zanja abierta. Este esquema de trabajo puede ser replicado en sectores con condiciones similares.

4. DESARROLLO

4.1. Datos iniciales del proyecto

Tabla 1. Datos iniciales del Proyecto Picacho-Grupo 2.

Objeto del contrato	Construcción, reposición y modernización de las redes y acometidas de acueducto y alcantarillado y obras complementarias en el sector 1 del Doce de Octubre y en el circuito Picacho.
Nombre corto	Picacho – Grupo 2
Entidad contratante	Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM)
Contratista	Ingeniería y Contratos S.A.S. (I&C)
Interventoría	Sedic S.A.
Valor del contrato	\$12.121.382.805 (COP)
Ubicación	Noroccidente de Medellín, Antioquia, Colombia. Barrios: El Triunfo, El Progreso No. 2, Efe Gómez, Santander, Picachito, Doce de octubre, París, Pedregal y otros.
Plazo inicial	360 días
Longitud redes alcantarillado a intervenir	4499 m (89% con zanja)
Longitud de redes de acueducto a intervenir	1325 m (100% con zanja)

La ejecución de este proyecto fue adjudicada mediante licitación pública a I&C. Para ese momento, otra firma había elaborado los diseños para la Entidad Contratante, por lo que el contrato con I&C no incluía la elaboración de diseños. Había además una Interventoría contratada para supervisar la construcción de la obra.

De acuerdo con el plan inicial, este proyecto contemplaba la intervención de 4.499 m de la red de alcantarillado, de los cuales 4.004 m estaban previstos a zanja abierta. Aunque el proyecto había previsto el uso de TSZ como Pipe Bursting (fracturación de tubería) para intervenir 355 m de colectores de alcantarillado y CIPP (*cured in place pipe*)

para la renovación de 140m de colectores de alcantarillado, los diseños indicaban la reposición de más de 4.004m de tubería de alcantarillado mediante zanja abierta (89% de la longitud intervenida en alcantarillado).

El alcantarillado existente estaba en concreto simple, usualmente con colectores de DN 200mm, gracias a las altas pendientes del mismo (>6%).

4.2. Caracterización de la zona de trabajo

La zona intervenida está ubicada en el noroccidente de Medellín en la Comuna 6, donde predomina el estrato socioeconómico 2¹ y la densidad de población es de 50.000 habitantes por km² (la más alta de Medellín) (Wikipedia, 2017). Se trata de una zona residencial con comercio básico, generalmente en viviendas unifamiliares con 6m de fachada, en terreno escarpado (laderas con pendientes del 20% al 60% entre los 1.600 y 1.900m.s.n.m.), con acceso vehicular limitado, complementado por escalas.

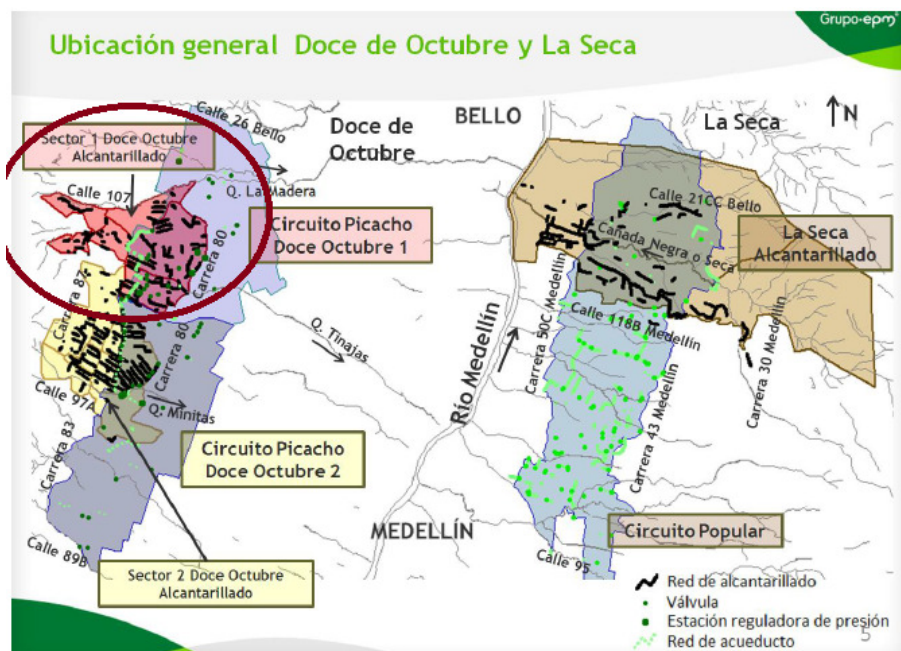


Figura 1. Mapa de la zona de trabajo (ver círculo). Fuente: (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2014)

¹ La estratificación socioeconómica en Colombia se refiere a la clasificación de los inmuebles residenciales para cobrar de manera diferencial los servicios públicos. Los estratos van del nivel 1 (bajo-bajo) al nivel 6 (alto) (Wikipedia, 2017).

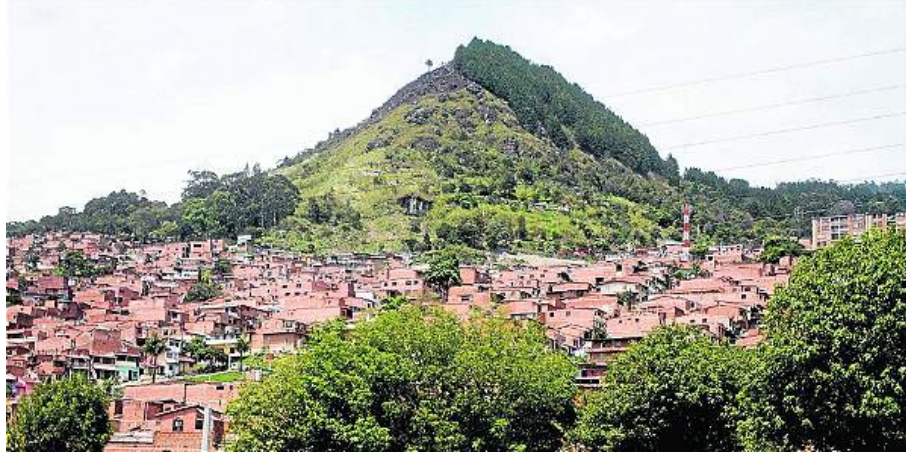


Figura 2. Barrio 12 de Octubre y Cerro el Picacho. Fuente: Periódico *El Tiempo*, Octubre de 2015

Hacia la década de 1970, el desarrollo de esta zona se dio de forma poco planificada (Wikipedia, 2017), de modo que los moradores ocuparon irregularmente el espacio público y construyeron antejardines en terrazas sobre el espacio que hubiera ocupado la vía. Así, el acceso a los callejones se redujo a escalas en concreto con 0.9-1.5m de ancho. Las redes de alcantarillado quedaron ubicadas bajo estas escalas o bajo los antejardines en terrazas, cada uno de los cuales tiene un acabado diferente en enchape o concreto (ver Figura 3)



Figura 3. Fotografías de la zona de trabajo (calle 102C entre carreras 82F y 82FF). Obsérvese que el alcantarillado está construido por el costado derecho, bajo los antejardines.

4.3. Concepción del diseño contractual para el alcantarillado

En el diseño original de las obras se estipuló aumentar el diámetro de la tubería existente en concreto (usualmente DN200 mm y 2 metros de profundidad), haciendo reposición por tubería de mayor diámetro en PVC (usualmente DN250 mm). Bajo el argumento jurídico de retirar el alcantarillado existente de los predios privados, el diseñador estableció la construcción de la nueva línea de alcantarillado bajo las escalas de 1,2 – 1,5m de ancho como las indicadas en la Figura 3. Todas las acometidas debían reconstruirse a zanja abierta en tubería de PVC.

Por otra parte, se previó el uso de CIPP para la renovación de 6 colectores de alcantarillado, mas no para renovar acometidas domiciliarias.

4.4. Dificultades encontradas en la ejecución de las obras

Aunque algunos tramos se encontraban sobre la vía y pudieron ejecutarse según el diseño inicial, la construcción de los tramos de alcantarillado bajo escalas, en direcciones como la ilustrada en la Figura 3, se vieron afectados por las siguientes razones:

- Problemas de seguridad: al inicio del contrato, las obras se suspendieron por la presencia de bandas criminales que pretendían extorsionar al contratista (Teleantioquia Noticias, 2015). El asunto fue hecho público y se logró retomar gracias a un acercamiento con la comunidad a través de la Junta de Acción Comunal. Este asunto no está relacionado directamente con los diseños, pero resalta la importancia de mantener buenas relaciones con la comunidad, las cuales pueden verse afectada por los impactos de las obras.
- Necesidad de excavación manual: los accesos peatonales con escalas impedían el uso de maquinaria, por lo cual las demoliciones, excavaciones y transporte de materiales en escala eran manuales.
- Rutas limitadas de acceso: la estrechez de las escalas limitaba las rutas de transporte de materiales de excavación y llenos, así como otros suministros de materiales de obra. Además, se limitaba el número de trabajadores que podían trabajar en un frente de obra simultáneamente. Ver Figura 4.
- Presencia de roca sin posibilidad de usar métodos explosivos: se encontró roca bajo las escalas en niveles del 12% en promedio, y múltiples puntos con mucha mayor presencia de roca (>50%), lo cual reducía el rendimiento del trabajo de redes en escalas. Por otra parte, los mayores volúmenes de excavación en roca se convertían en un mayor costo de las obras para la entidad contratante, que había previsto un porcentaje de roca promedio del <1% en las excavaciones.
- La excavación en roca debía hacerse por métodos químicos para no afectar la estabilidad de los muros y las casas, proceso que por su lentitud generaba un alto stand-by en el personal, ya que la norma colombiana NEGC-1300 limita las longitudes excavadas en zanja. A pesar de tener un precio alto para la excavación roca, la actividad de excavación no resultaba rentable por las largas esperas del personal.
- Imposibilidad de cumplir con los estándares de construcción y senderos peatonales de EPM (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2002) por la estrechez de las escalas: de acuerdo con la norma, durante la instalación de tuberías a zanja abierta *“Para excavaciones hasta 2 m de profundidad, a cada lado de la zanja se deberá dejar una faja mínima de 0,60 m de ancho libre de tierra excavada, escombros, tubos u otros materiales. Para profundidades mayores de 2 m esta faja deberá ser mínimo de 1 m de ancho”*.
- Diferentes acabados superficiales: la reconstrucción de acabados superficiales diferentes en cada antejardín, algunos de los cuales eran enchapes de referencias discontinuadas en el mercado, retardaba las labores de reconstrucción de las zonas afectadas.



Figura 4. Excavaciones a zanja abierta en terreno rocoso y estrecho. Picacho, Grupo 2.

4.5. Propuesta de rediseño en TSZ

Los problemas anteriores generaron rendimientos de obra inferiores a 1 m por día por frente de trabajo en los colectores de alcantarillado instalados a zanja abierta en escalas. Más importante aún, estas excavaciones ponían en riesgo la seguridad del personal ante un derrumbamiento de las paredes de la zanja y los muros sin refuerzo estructural de los antejardines en terraza (ver Figura 5, izquierda)

Lo anterior se convirtió en un problema técnico y financiero para I&C, que se veía en una imposibilidad para ejecutar el contrato de la forma establecida, exponiendo su personal a altos riesgos de accidente, así como la empresa a pérdidas económicas y sanciones por incumplimiento contractual. La respuesta de las directivas fue la siguiente: I&C se propuso demostrar a la entidad contratante, mediante argumentos técnicos, jurídicos y económicos, que la forma de hacer viable el proyecto consistía en implementar masivamente las TSZ, así:

1. La reposición de colectores de alcantarillado para instalar tubería de 10" podía hacerse sin zanja empleando la misma línea de tubería existente en 8", aplicando de manera masiva la técnica de pipe bursting para insertar una tubería de polietileno. Esto evitaría las excavaciones en roca, aumentaría el rendimiento, reduciría los costos y minimizaría el riesgo de afectar las construcciones adyacentes.
2. Al mantener igual la línea del colector, ya no era necesaria la reposición de las acometidas existentes y su rehabilitación con TSZ era posible instalando un revestimiento mediante CIPP AGUA CALIENTE, siendo necesario primero hacer una excavación puntual sobre el colector en el punto de empalme con la acometida para reconectar la acometida a la tubería de polietileno instalada por pipe bursting.

4.6. Tecnologías sin Zanja empleadas en el proyecto y sus resultados

4.6.1. Pipe bursting estático

La técnica de fracturación de tuberías o pipe bursting, empleada desde 1975, permite instalar una tubería nueva de mayor o igual diámetro, por la misma línea de otra tubería pre-existente que es destruida en el proceso. En este proceso, los fragmentos de la tubería pre-existente quedan enterrados y las conexiones domiciliarias son desconectadas, siendo necesario hacer excavaciones puntuales para reconectar la tubería. En Colombia, la mayoría de las veces se selecciona tubería de polietileno para este tipo de reposición sin zanja. Existen en el mercado local algunos conectores especiales que permiten re-empalmar la tubería nueva del colector con las acometidas pre-existentes (The international Pipe Bursting Association, 2012)

En este proyecto estaba previsto instalar 355m de tubería de polietileno por el método de pipe bursting en colectores de alcantarillado. Al revisar los diseños detalladamente, I&C seleccionó tramos de alcantarillado que eran candidatos ideales para el cambio de tecnología. Se seleccionó la tecnología de pipe bursting porque los diseños contemplaban un aumento de diámetro de 8" a 10".

Tras ser aceptada la propuesta para hacer reposición de los colectores existentes en 8", sin zanja, mediante pipe bursting, se instalaron no 355m, sino 1.700m de tubería de polietileno para alcantarillado por dicho método, donde la cantidad excedente correspondió a tramos diseñados inicialmente a zanja abierta. En lugar de cambiar el trazado de los colectores e instalar tubería PVC de 10" bajo las escalas, se instaló tubería de polietileno de 10" conservando el alineamiento de la antigua tubería, usualmente bajo los antejardines. Este alineamiento es visible en las dos fotografías de Figura 3, donde los colectores están bajo los antejardines del costado derecho y son visibles las tapas de las cámaras de inspección. Como resultado, las conexiones domiciliarias del alcantarillado tienen longitudes diferentes a ambos costados en la imagen: aquellas del costado derecho son cortas (longitud menor a 2m), y aquellas del costado izquierdo son largas (longitud de hasta 14m).

Para la ejecución de los trabajos, con longitudes promedio de 20m por tramo, se emplearon dos máquinas de pipe bursting estático: una máquina de barras y otra de cable, con fuerzas de halado de 80Ton y 90Ton métricas, respectivamente. Debido a la dificultad de acceso por escalas, fue necesario desarrollar un carro mecánico de rueda triple para ser halado por winche y cable para desplazar la máquina de pipe bursting hasta cada pozo (Ver Figura 5, izquierda). El cambio de la máquina de barras por la máquina de cable se efectuó con el fin de aligerar la carga para los transportes por escalas y por su versatilidad.

La pendiente natural del terreno y las terrazas se aprovecharon para suprimir la construcción de los pozos de lanzado en algunos tramos (Ver Figura 5, derecha).



Figura 5. Izquierda: transporte de unidad de halado por escalas. Derecha: halado de tubería polietileno con equipo de pipe bursting sin excavar pozo de lanzado (la máquina se ubica arriba).

Como resultado de este cambio de tecnología de zanja abierta por pipe bursting:

- Los costos para la entidad contratante se disminuyeron hasta en un 60% para algunos tramos. En otros tramos, el costo para la entidad contratante fue similar pero aumentaron los rendimientos de la obra.
- Los tiempos de ejecución por tramo de alcantarillado, sin incluir la construcción de acometidas, se redujeron entre 30% y 80%, dependiendo de los tramos. Esto evitó que se desbordara el plazo del proyecto
- La comunidad no fue afectada por el cierre de los pasos peatonales en escala que hubiera implicado la construcción a zanja abierta de los colectores.
- Se evitó que las excavaciones afectaran los muros sin refuerzo estructural de los antejardines.
- Se eliminó la incertidumbre con la excavación en roca, pues el pipe bursting instaló tubería en un lleno antrópico correspondiente al lleno de la tubería pre-existente.
- I&C adquirió una nuevo equipo de pipe bursting estático con cable.

Una vez hecha la reposición del colector, era necesario intervenir las acometidas domiciliarias de alcantarillado, actividad que inicialmente también estaba concebida para realizar con zanja abierta. Las acometidas cortas, es decir, las de las viviendas ubicadas del mismo costado del colector, con longitudes menores a dos metros, fueron reconectadas a zanja abierta. Sin embargo, para las acometidas largas, la zanja obligaría a demoler las escalas, los muros de los antejardines y gran parte de los acabados superficiales de los mismos, con problemas similares a los ya expuestos para la intervención de los colectores, por lo que I&C propuso un cambio de tecnología.

Para las acometidas domiciliarias, la técnica de pipe bursting, aunque está disponible, ofrecía pocas ventajas debido a que (1) la presencia de curvas en las acometidas impide el uso de dicha tecnología, (2) las excavaciones necesarias para posicionar los equipos y para halar la tubería afectarían un alto porcentaje de los antejardines. Por esta razón I&C propuso una tecnología menos invasiva, denominada rehabilitación mediante tubería curada in situ (CIPP).

4.6.2. Tecnología de CIPP-curado con calor para acometidas

La tecnología de CIPP, en la cual un textil impregnado con resina (denominado manga) es invertido en una tubería existente y reacciona para formar un revestimiento, fue introducida en Inglaterra hacia 1971 (Bueno, 2011). Dependiendo de los materiales empleados, la resina puede curar a temperatura ambiente, puede requerir una fuente de calor como agua caliente o vapor de agua, o puede requerir la aplicación de luz de determinada longitud de onda para desencadenar la reacción química. El revestimiento así instalado puede prolongar la vida útil de la tubería en 50 años y mejorar las condiciones hidráulicas debido a una menor rugosidad, corrigiendo incluso filtraciones y daños estructurales de la tubería.

Para el caso del proyecto mencionado, se empleó una resina poliéster y el curado fue acelerado con agua caliente. La manga, impregnada en sitio en un tráiler especial (ver Figura 6, izquierda), fue invertida desde la caja de registro, con un solo punto de acceso. El proceso se llevó con equipos livianos (peso < 80kg) y con un mínimo impacto socio-ambiental al evitarse por completo las excavaciones (ver Figura 6, derecha). Usando esta técnica fueron rehabilitados 656m de tubería, correspondientes a 137 acometidas domiciliarias de alcantarillado de 150mm de diámetro.



Figura 6. Izquierda: tráiler para impregnación y equipos auxiliares del CIPP de acometidas. Derecha: Fotografía tomada durante una rehabilitación de acometida domiciliar de 7m con CIPP.

Como resultado de este cambio de tecnología de zanja abierta a CIPP para las acometidas:

- Se alcanzaron rendimientos promedio de 4 acometidas por jornada independientemente de su longitud. En algunos tramos, se rehabilitaron hasta 7 acometidas por jornada. El rendimiento máximo se vio limitado por el transporte de los equipos a través de las escalas, y fue necesario conformar un equipo de 8 personas para efectuar los trabajos. En comparación, con un grupo de 10 personas, el rendimiento promedio a zanja abierta era de una a una y media acometida diaria. Es decir, el rendimiento por día y por persona creció en un 233% en promedio.
- Los costos directos para la entidad contratante se redujeron en el 15% para algunos tramos, y se aumentaron en el 10% para otros tramos, dependiendo de la profundidad y acabados superficiales. Los mayores rendimientos generaron un ahorro en los costos indirectos, al mantener bajo el plazo del proyecto. Esto último se entiende mejor cuando se considera el costo mensual de la administración del contratista y de la interventoría del proyecto.
- La comunidad no fue afectada por el cierre de los pasos peatonales en escala que hubiera implicado la construcción a zanja abierta de los colectores. Tampoco fue necesario hacer demoliciones en los antejardines de las viviendas, que habrían generado ruido y polvo con afectación a los moradores.
- Se evitó que las excavaciones afectaran los muros sin refuerzo estructural de los antejardines.
- Se eliminó la incertidumbre con la excavación en roca, ya que no fue necesario hacer más excavaciones, excepto donde fue necesario ampliar las cajas de registro o construirlas.
- Se generó un precedente local para considerar esta tecnología en contratos con problemática similar.
- Hubo mejoras en las condiciones laborales de los empleados de I&C que se capacitaron en esta tecnología.

4.7. Implementación en el proyecto y balance final

La adopción del cambio de tecnología en el proyecto no fue inmediata. Primero fue necesario revisar los diseños por parte de I&C, identificar y cuantificar la problemática con la ejecución de trabajos a zanja abierta, estudiar, seleccionar y costear las alternativas de solución, presentar el estudio comparativo a la Entidad Contratante y la Interventoría, negociar el precio, legalizar el cambio en el contrato, implementar la tecnología y entrenar el grupo de trabajo. Este proceso, aunado a otras dificultades del proyecto llevaron a exceder el plazo inicialmente previsto, pese al mayor rendimiento obtenido con esta tecnología.

Los resultados de la ejecución final se resumen en la Tabla 2, donde se comparan con la programación inicial de la obra o línea base del proyecto.

Tabla 2. Datos iniciales del Proyecto Picacho-Grupo 2.

Dato	Programado	Ejecutado
Costo (COP)	\$12.121.382.805	\$11.769.952.464
Plazo	360 días	540 días
Renovación de Acometidas de alcantarillado	1.325m con zanja	656m con CIPP (El resto sin zanja)
Renovación colectores con pipe bursting	355m	1.700m
Renovación de colectores con CIPP-UV	140m	140m
Alcance	No se modificó	

Para analizar si este balance es positivo, es importante compararlo con otros contratos similares que se ejecutaron simultáneamente en el mismo sector, donde se experimentaron problemáticas análogas con la zanja abierta pero no hubo cambio de tecnología: en ambos casos, los contratistas tuvieron grandes problemas.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las tecnologías sin zanja empleadas en este proyecto por I&C, tales como Pipe Bursting y CIPP proporcionaron una alternativa de solución a los problemas encontrados en la instalación del alcantarillado, tales como grandes riesgos para el personal, bajo rendimiento, sobrecosto del proyecto, rentabilidad negativa del contratista y afectación a la comunidad. Esta alternativa se sugirió e implementó exitosamente en “Picacho-Grupo 2”.
- Desde el punto de vista socio-ambiental, la implementación masiva de CIPP y Pipe Bursting en Picacho-Grupo 2, transformó positivamente el ambiente del sitio de obra al reducir las emisiones de ruido y polvo y permitir a los peatones la circulación sin el riesgo de la zanja abierta.
- En la etapa de diseño del alcantarillado, es recomendable analizar individualmente cada uno de los tramos para seleccionar la tecnología que mejor se aplica. En este caso, los diseñadores consideraron la aplicación marginal de pipe bursting y CIPP para algunos colectores, pero no identificaron el problema de ejecutar a zanja abierta los tramos bajo escalas.

6. REFERENCIAS

- ASCE. (2009). *Trenchless Renewal of Culverts and Storm Sewers*. (L. Osborn, Ed.) Reston, Virginia, Estados Unidos.
- Boulos, P. F. (2017). Optimal Scheduling of Pipe Replacement. *Journal AWWA* (109:1), 42-46.
- Bueno, S. M. (10 de Febrero de 2011). *Trenchless Technology: CIPP Turns 40*. Obtenido de Trenchless Technology: <https://trenchlesstechnology.com/cipp-turns-40/>
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (27 de Diciembre de 2002). Decreto 1266 de 2002. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (Julio de 2014). Pliego EP-2014-001055. *Construcción, reposición y modernización de las redes y acometidas de acueducto y alcantarillado y obras accesorias; en las cuencas La Seca y el sector Doce de Octubre y en los circuitos Picacho y Popular*. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Teleantioquia Noticias. (26 de Mayo de 2015). Por extorsión, contratistas de EPM suspenden obras de alcantarillado en el 12 de Octubre. Medellín, Antioquia, Colombia. Obtenido de https://youtu.be/L6rpvT_8RJ8
- The international Pipe Bursting Association. (Enero de 2012). Guideline for Pipe Bursting. Owing Mills, Maryland, Estado Unidos.
- Wikipedia. (21 de Junio de 2017). *Doce de Octubre (Medellín)*. Obtenido de Wikipedia, la enciclopedia libre: [https://es.wikipedia.org/wiki/Doce_de_Octubre_\(Medell%C3%ADn\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Doce_de_Octubre_(Medell%C3%ADn))

- Wikipedia. (21 de Junio de 2017). *Estratificación socioeconómica en Colombia*. Obtenido de Wikipedia, la enciclopedia libre:
https://es.wikipedia.org/wiki/Estratificaci%C3%B3n_socioecon%C3%B3mica_en_Colombia

