



Estudio de las Metodologías Implementadas para la Instalación de Tubería de Agua

Potable en la Construcción de la Manija Matriz de Bogotá.

Claudia Manuela Barajas Rueda

Trabajo de Grado para optar título de Constructor en Arquitectura e Ingeniería

Asesora:

Dra. María Paz Duque Gutiérrez

Universidad Santo Tomás

Decanatura de División de Educación Abierta y a Distancia

Centro de Atención Universitario Bucaramanga

Construcción en Arquitectura e Ingeniería

Dedicatoria y agradecimientos

Dedico esta tesis de grado a mi hijo Santiago Fuentes, por ser la mayor inspiración en mi vida, agradeciendo a mi madre que su ejemplo valió más que mil palabras. A mis hermanos que siempre me acompañaron aun estando lejos. Mil gracias a mi asesora Dra. Maria Paz Duque Gutiérrez, por hacer muy amena esta parte de mi vida.

Tabla de contenido

Presentación del problema.....	14
1.1 Introducción	14
1.1 Descripción del Problema	14
1.2 Pregunta del problema	17
1.2.1 Objetivos	17
1.2.1.1 Objetivo General	17
1.2.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 Justificación del problema	18
1.4 Antecedentes del Problema.....	20
2. Marcos de Referencia	24
2.1 Marco Institucional	24
2.1.1 Breve reseña histórica	24
2.1.2 Filosofía Institucional	25
2.1.3 Objetivos Institucionales	26
2.2 Marco Conceptual	28
2.2.1 Zanja abierta.....	28
2.2.2 Las tecnologías sin zanja	29
2.2.3 Presupuesto de obra.....	30
2.2.4 Impacto social.....	30
2.2.5 Impacto ambiental	30
2.2.6 Normas de las buenas prácticas para la construcción	30
2.3 Marco Contextual.....	31

2.4 Marco Geográfico	34
2.5 Marco Legal	37
2.6 Marco Teórico.....	38
2.6.1 Metodología sin zanja.....	40
2.6.2 Método convencional de Zanja abierta.....	42
3. Metodología e instrumentos de recolección de datos	45
3.1 Metodología	45
3.2 Instrumento de recolección de datos.....	51
3.2.1 Primera parte (Aplicable a los documentos previos al inicio de la obra).....	51
3.2.2 Segunda parte (Aplicable a los 28 informes de la muestra).....	51
4. Resultados	53
4.1 Proceso constructivo	53
4.1.1 Proceso constructivo Tubería con metodología a zanja abierta	53
4.1.1.1 Maquinaria y equipos de trabajo	53
4.1.1.2 Proceso Etapa de localización y replanteo del alcantarillado.....	53
4.1.1.3 Etapa de descapote (retiro de capa vegetal).....	54
4.1.1.4 Etapa de excavación y retiro de material	54
4.1.1.5 Etapa de instalación de tuberías	55
4.1.1.6 Etapa de rellenos	56
4.1.1.7 Localización y replanteo	56
4.1.1.8 Descapote.....	57
4.1.2 Proceso de Excavación para Instalación de Tuberías a zanja abierta	57
4.1.2.1 Inicio de la Excavación.....	57

4.1.2.2 Conformación de la Zanja	58
4.1.2.3 Apuntalamiento de la Zanja	58
4.1.2.4 Mantenimiento de la Pendiente	58
4.1.2.5 Incremento de Cota de Excavación.....	58
4.1.2.6 Consideración de Materiales Adicionales	59
4.1.2.7 Excavación Principal y Secundaria.....	59
4.1.2.8 Instalación de tuberías	59
4.1.2.9 Rellenos	62
4.1.3 Proceso constructivo Tubería con metodología sin Zanja	63
4.1.3.1 Herramienta de Corte:.....	64
4.1.3.2 Sistema de empuje y avance	64
4.1.3.3 Sistema de Retirada del Detritus	64
4.1.3.4 Sistema de Láser Guía y Control Remoto.....	65
4.1.3.5 Tubería.....	65
4.1.3.6 Proceso de Empuje Cíclico	65
4.1.3.7 Sistema de lubricación de la tubería	65
4.1.3.8 Hincado de tuberías.....	73
4.1.3.9 Sostenimiento y mantenimiento	81
4.2 Aspectos geotécnicos	82
4.2.1 Unidades Geológicas.....	83
4.2.2 Análisis Geotécnico para la instalación de tubería metodología de zanja abierta	85
4.2.3 Análisis Geotécnico para la instalación de tubería metodología sin zanja de Pipe Jacking	91
4.3 Análisis de variable presupuestal.....	98

4.4 Análisis de variable social	100
4.4.1 Períodos con mayor recepción de PQRS.....	101
4.4.2 Temas recurrentes en las PQRS.....	101
4.6.1 Vida útil Metodología a zanja abierta.....	103
4.6.2 Vida útil Metodología sin zanja.....	104
4.7.1 Mantenimiento metodología a zanja abierta	106
4.7.2 Mantenimiento metodología sin zanja	109
5. Conclusiones.....	117
Referencias bibliograficas.....	121

Lista de tablas

Tabla 1: Proyección de población beneficiaria de la Manija Matriz.	16
Tabla 2: Estudios previos a la obra de la Manija Matriz de Bogotá. Elaboración propia.....	34
Tabla 3: Marco Legal	37
Tabla 4: Operacionalización de variables	48
Tabla 5: Perfil geotécnico Manija Av. Boyacá-ZG 1, Tramo K00+000.00 a K00+419.41.....	87
Tabla 6: Perfil geotécnico Manija Av. Boyacá-ZG 5, Tramo K05+434.37 a K05+855.56 y K05+880.79 a K06+700.00	87
Tabla 7: Perfil geotécnico Manija Av. Boyacá-ZG 6, Tramo K06+700.00 a K07+140.40 y K07+201.89 a K07+500.16	88
Tabla 8: Perfil geotécnico Manija Av. Boyacá-ZG 7, Tramo K09+601.57 a K10+780.00.....	89
Tabla 9: Perfil geotécnico Manija Av. Boyacá-ZG 8, Tramo K10+780.00 a K10+890.22.....	90
Tabla 10: Perfil geotécnico Manija Av. Boyacá-ZG 9, Tramo K12+485.90 a K12+538.63.....	90
Tabla 11: Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 1, Tramo K00+420.00 a K01+140.00...	91
Tabla 12: Perfil geotécnico manija av. Boyacá –ZG 2, tramo K01+140.00 a K02+140.00.....	92
Tabla 13: Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 3, tramo K02+140.00 a K03+640.00....	92
Tabla 14: Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 4, tramo K03+640.00 a K04+487.61....	93
Tabla 15: Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 5, tramo K03+640.00 a K04+487.61....	93
Tabla 16: Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 6, tramos K08+318.08 a K08+904.95 ..	94
Tabla 17: Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 7, tramo K03+640.00 a K04+487.61....	95
Tabla 18: Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 8, tramo K10+864.93 a K12+180.00....	96
Tabla 19: Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 9, tramo K12+180.00 a K12+492.59....	96
Tabla 20: Ejecución de lo programado	98

Tabla 21: Presupuesto ejecutado	99
Tabla 22: Ventajas y desventajas del método a zanja abierta.	110
Tabla 23: Desventajas de la metodología a zanja abierta y la metodología sin zanja	113

Lista de figuras

Figura 1: Tubería instalada con metodología a zanja abierta.....	28
Figura 2: Equipo Pipe Jacking	29
Figura 3: Trazado de la rehabilitación de la tubería Tibitoc-Casablanca.....	31
Figura 4: Componente técnico de la fase 2	33
Figura 5: Fases de la rehabilitación del tramo 3 de la tubería Tibitoc-Casablanca.....	35
Figura 6: Trazado de la Manija Matriz de la EAAB.....	35
Figura 7: Población Cabecera Bogotá, D.C	36
Figura 8: Fases del proceso cuantitativo.	52
Figura 9: Esquema del funcionamiento y la colocación de anillos de tubería e izado de los detritus de perforación. (Adolfo cursos)	65
Figura 10: Sistema de empuje y avance	69
Figura 11: Diagrama de microtuneladora con acceso frontal	72
Figura 12: Configuración habitual del método de microtuneladora. (Grafica cortesía ISTT).....	73
Figura 13: Inserción de tuberías con gatos hidráulicos.....	77
Figura 14: Diagrama de inserción.....	78
Figura 15: Maquina cortadora de frente abierto.....	80
Figura 16: Equipo de presión de tierras	80
Figura 17: Presupuesto programado. Elaboración propia	99
Figura 18: Participación divulgación de información. Elaboración propia	100
Figura 19: Períodos con mayor recepción de PQRS. Elaboración propia	101
Figura 20: Temas recurrentes en las PQRS. Elaboración propia	101
Figura 21: Plan de manejo ambiental. Elaboración propia	102

Lista de fotografías

Fotografía 1: Participación ciudadana.....	44
Fotografía 2: Localización y replanteo	56
Fotografía 3: Localización y replanteo 2	56
Fotografía 4: Área sin descapotar	57
Fotografía 5: Área descapotada.....	57
Fotografía 6: Colocación de piedra Rajón 1	59
Fotografía 7: Colocación de piedra Rajón 2	60
Fotografía 8: Colocación de Tubería 1	61
Fotografía 9: Colocación de Tubería 2	61
Fotografía 10: Lleno de Atraque con gravilla 1	61
Fotografía 11: Lleno de Atraque con gravilla 2	61
Fotografía 12: Colocación de tuberías secundarias 1.....	62
Fotografía 13: Colocación de tuberías secundarias 2.....	62
Fotografía 14: Colocación de tuberías secundarias 3.....	62
Fotografía 15: Colocación de tuberías secundarias 4.....	62
Fotografía 16: Relleno y acabado de la capa superior 1	63
Fotografía 17: Relleno ya acabado de la capa superior 2	63
Fotografía 18: Relleno utilizando material excavado 1	63
Fotografía 19: Relleno utilizando material excavado 2	63
Fotografía 20: Tubería instalada con la metodología pipe jacking.	63
Fotografía 21: Instalación del primer anillo de hincas en el tubo inicial. (Fotografía en obra)	70
Fotografía 22: Cinta transportadora para extracción de material.....	73

Lista de Apéndices

Apéndice 1: Guía para las buenas prácticas en la instalación de tubería de agua potable.....	125
Apéndice 2: Cronograma	126
Apéndice 3: Presupuesto	127

Resumen

Título: Comparación de metodologías constructivas para tuberías de agua potable

Autor: Claudia Manuela Barajas Rueda

Palabras clave: Construcción de acueductos, Manija matriz, Pipe jacking, Zanja abierta.

Descripción:

El siguiente documento se realizó con el propósito de analizar y comparar de manera metodológica las técnicas constructivas empleadas en la construcción de la Manija Matriz de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, con el objetivo de mejorar las prácticas para la instalación de tuberías de agua potable en el área de impacto directo del proyecto.

La construcción de tuberías puede llevarse a cabo mediante dos metodologías principales: la zanja abierta y la sin zanja, cada una con sus propias ventajas y desventajas. El método de construcción de tuberías con zanja abierta es una metodología tradicional que consiste en excavar zanjas para colocar las tuberías y luego rellenar el área. Por otro lado, la construcción de tuberías con metodología sin zanja, pipe jacking, se caracteriza por su capacidad para instalar o rehabilitar tuberías con mínimas excavaciones.

El presente trabajo utiliza un enfoque cuantitativo al determinar una muestra dada por la utilización del muestreo aleatorio simple a una población total de informes mensuales de obra a los cuales se aplica un instrumento de recolección de datos, resultante de la operacionalización de las variables abordadas en el marco teórico.

Finalmente, se concluye que la elección entre la construcción con zanja abierta y la metodología sin zanja depende de factores como el presupuesto disponible, el entorno de instalación y la necesidad de disminuir el impacto en la comunidad. Mientras que la zanja abierta puede ser más económica, la metodología sin zanja ofrece ventajas significativas en términos de sostenibilidad y reducción de molestias para la población.

Abstract

Title: Comparison of construction methodologies for potable water pipelines

Author: Claudia Manuela Barajas Rueda

Key Words: Aqueduct construction, Pipe jacking, Open trench

Description:

The following document was carried out with the purpose of analyzing and comparing in a methodological way the constructive techniques used in the construction of the Matrix Handle of the Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, with the objective of improving the practices for the installation of drinking water pipelines in the area of direct impact of the project.

Pipeline construction can be carried out using two main methodologies: open trench and trenchless, each with its own advantages and disadvantages. The open trench method of pipeline construction is a traditional methodology that involves digging trenches to lay the pipelines and then backfilling the area. On the other hand, the trenchless pipe jacking method of pipeline construction is characterized by its ability to install or rehabilitate pipelines with minimal excavation.

The present work uses a quantitative approach by determining a sample given by the use of simple random sampling to a total population of monthly work reports to which a data collection instrument is applied, resulting from the operationalization of the variables addressed in the theoretical framework.

Finally, it is concluded that the choice between open trench and trenchless construction depends on factors such as the available budget, the installation environment and the need to reduce the impact on the community. While open trench may be more economical, the trenchless methodology offers significant advantages in terms of sustainability and reduced disturbance to the population.

Presentación del problema

1.1 Introducción

El presente trabajo de investigación se desarrolló con base en la obra actualmente en ejecución de la Manija Matriz de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), cuyo objeto es la CONSTRUCCIÓN DE LA MANIJA MATRIZ DE ACUEDUCTO Y OBRAS COMPLEMENTARIAS, QUE CONFORMAN LA FASE II DE LA REHABILITACIÓN DEL TRAMO 3 DE LA LÍNEA TIBITOC-CASABLANCA, QUE SE LOCALIZARÁ EN LA AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 80 Y AV. FERROCARRIL DEL SUR, durante el primer semestre del año 2024. Este documento se presenta como trabajo de grado del programa Construcción en Arquitectura e Ingeniería de la Universidad Santo Tomás, con el objetivo de estudiar y comparar metodológicamente las estrategias constructivas implementadas en la construcción de la Manija Matriz de la EAAB, con el fin de optimizar las prácticas para la instalación de tubería de agua potable en el área de influencia directa del proyecto.

Los elementos principales que aborda la investigación son las metodologías constructivas para la instalación de tuberías, específicamente el método tradicional a zanja abierta y la metodología sin zanja.

1.1 Descripción del Problema

La instalación de tuberías de agua potable es una actividad crítica para garantizar el suministro de agua potable a la población de manera eficiente y sostenible. En consecuencia, el incremento poblacional, especialmente en ciudades principales como Bogotá, ha demandado la atención de entidades como la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de la ciudad (EAAB), quien ha diseñado un Plan Maestro de Acueducto donde se contempla la rehabilitación de la tubería existente, de agua potable, Tibitoc-Casablanca, que lleva más de 50 años en

funcionamiento y se encuentra a lo largo de 53 Km de longitud. Para su ejecución dividió la rehabilitación en tres tramos.

Los tramos 1 y 2 comprendidos entre el tanque Tibitoc y la válvula V39 localizada en inmediaciones de la abscisa K35+793.75 (Av. Boyacá con calle 80) se encuentran rehabilitados actualmente, y el tramo 3 localizado entre la válvula V39 y el tanque de Casablanca, (final de la tubería) está pendiente por rehabilitar, para lo cual se establecieron tres fases:

- **Fase 1:** Rehabilitación del Subtramo Sur (Desde la Avenida Ferrocarril del sur hasta el tanque de Casablanca): Instalación de camisa de acero y trabajos preliminares.
- **Fase 2:** Manija de 60” (Desde la calle 80 a Av. Ferrocarril del sur a lo largo de la avenida Boyacá): Pipe Jacking y Zanja abierta con trabajos preliminares.
- **Fase 3:** Rehabilitación tubería existente (Desde la calle 80 a Av. Ferrocarril del sur a lo largo de la avenida Boyacá): Instalación de camisa de acero.

Siendo la fase 2 la que corresponde dentro de la obra en ejecución y el presente trabajo de investigación, se señala que esta requiere de la instalación de una Manija Matriz que supla el abastecimiento de agua potable para el 70% de la población de Bogotá y los municipios de Soacha, Gachancipá, Chía, Cajicá, Sopó, Tocancipá, La Calera, Mosquera, Funza, Madrid, Cota, Tenjo, Anapoima y La Mesa.

Según lo anterior la consultoría CONTENLAC, 2016 proyecta el crecimiento poblacional para Bogotá y los municipios vecinos y establece que el proyecto pretende abastecer a unos 10.625.694 de habitantes de Bogotá y municipios aledaños para el 2030.

Tabla 1

Proyección de población beneficiaria de la Manija Matriz.

Localización	2020	2025	2030
Bogotá	7.743.955	8.101.412	8.343.470
Soacha	735.696	884.191	1.055.181
Gachancipá	15.665	17.543	19.706
Chía	149.654	171.173	195.953
Cajicá	79.935	96.281	115.104
Sopó	30.654	33.422	36.610
Tocancipá	39.393	48.754	62.518
La Calera	46.414	57.800	70.911
Mosquera	144.259	218.407	252.156
Funza	114.932	139.533	167.860
Madrid	94.357	107.539	122.718
Cota	49.726	64.967	82.517
Tenjo	24.485	27.138	30.193
Anapoima	18.649	22.174	26.233
La Mesa	36.445	40.219	44.564

Nota. Proyección de población beneficiaria de la Manija Matriz. Tomado de CONTELAC, 2016.

En este trabajo se analizan los métodos seleccionados para la instalación de la tubería de la Manija Matriz, siendo estos zanja abierta y pipe jacking. Se analizan también las ventajas y desventajas que presentan ambas metodologías y así poder aportar en la construcción de las buenas prácticas de la instalación de tubería de agua potable en términos de eficiencia, sostenibilidad y beneficios para la comunidad de la ciudad de Bogotá y municipio aledaños.

Con relación a lo anterior, es importante señalar que la obra en mención contó inicialmente con un plazo contractual de treinta (30) meses, contados desde de la fecha de la firma del acta de inicio, en el mes de marzo del 2020, y debió ser entregada durante agosto de 2022, sin embargo, aún se encuentra en ejecución, habiéndose aprobado dos prórrogas, la última de estas, con finalización en junio del año actual. Observándose un evidente atraso, por diversas

variables que no han permitido cumplir a cabalidad con los tiempos contractuales pactados inicialmente.

Es relevante que mundialmente se registraron fallas catastróficas y no catastróficas en tuberías PCCP de gran diámetro fabricadas conforme a la norma AWWA C-301/1964. Después de 15 a 20 años de haber sido instaladas. Por lo anterior, la norma AWWA C-301 se modificó en 1984. Entre los años 1978 y 1989 se presentaron doce fallas en la Línea Tibitoc-Casablanca, dos de ellas catastróficas. La tubería Tibitoc-Casablanca es de tipo PCCP, fue fabricada por American Pipe entre 1968-1972, conforme a la norma AWWA C-301 de 1964. Por ende, continuar con su rehabilitación es crucial, para garantizar el suministro adecuado de agua potable de Bogotá y municipios circundantes, así como para la prevención de accidentes causados por el deterioro de esta. No obstante, dicha rehabilitación actualmente se ve retrasada por las demoras de la obra de la fase 2 del tramo 3, instalación de la Manija Matriz de la EAAB.

1.2 Pregunta del problema

¿Es posible construir una guía de buenas prácticas en la instalación de tuberías de agua potable por medio del análisis del proyecto en ejecución y comparación de las metodologías?

1.2.1 Objetivos

1.2.1.1 Objetivo General. Comparar las metodologías implementadas en la construcción de la Manija Matriz de la EAAB, con el fin de optimizar las prácticas para la instalación de tubería de agua potable en el sector de influencia directa del proyecto.

1.2.2.2 Objetivos Específicos.

- Identificar las variables de las metodologías constructivas implementadas para la instalación de tubería de agua potable en el proyecto de la Manija Matriz de la EAAB.

- Analizar los factores que intervienen en las prácticas para la instalación de tubería de agua potable en el área de influencia directa del proyecto.
- Establecer buenas prácticas para la instalación de tubería de agua potable de la Manija Matriz de la EAAB.

1.3 Justificación del problema

El presente proyecto de investigación nace del interés por examinar la problemática que presenta actualmente en la obra de la instalación de la Manija Matriz del Acueducto de Bogotá, cuyo objeto es CONSTRUCCIÓN DE LA MANIJA MATRIZ DE ACUEDUCTO Y OBRAS COMPLEMENTARIAS, QUE CONFORMAN LA FASE II DE LA REHABILITACIÓN DEL TRAMO 3 DE LA LÍNEA TIBITOC-CASABLANCA, QUE SE LOCALIZARÁ EN LA AV. BOYACÁ ENTRE CALLE 80 Y AV. FERROCARRIL DEL SUR.

Con más de 50 años en funcionamiento, esta tubería ha presentado dos fallas catastróficas, que fueron rupturas de tuberías debido a la presión excesiva, corrosión, desgaste o defectos en el material de las tuberías. Las rupturas provocaban erosión de los suelos e interrupciones del servicio de agua, adicional a ello cabe destacar que es una tubería de PCCP fabricada según la AWWA C-301/1964, norma que fue modificada en 1984, debido las eventualidades que algunos proyectos estaban presentando. Para la rehabilitación de la línea Tibitoc-Casablanca se dispuso de tres tramos, el tercero de ellos se subdividió en tres fases. La segunda fase requiere de la construcción de una Manija Matriz. Reemplazar la red matriz de agua potable fue necesario por varias razones fundamentales:

- Seguridad del agua: Una red dañada puede permitir la entrada de contaminantes externos, lo que pone en riesgo de alterar la calidad del agua potable destinada al consumo.

- Pérdida de agua: Las fugas en una red dañada provocan pérdidas significativas de agua. Esto no solo es un desperdicio de recursos, sino también lleva a problemas de suministro.
- Eficiencia del suministro: Una red en mal estado resulta en una distribución ineficiente del agua, con baja presión en algunas áreas y exceso en otras.
- Cumplimiento normativo: Las regulaciones y normas de calidad del agua exigen que las infraestructuras de suministro de agua estén en buen estado.
- Demanda: El crecimiento poblacional del área de estudio va incrementando exponencialmente, por ende, el consumo aumenta.

La obra contó inicialmente con un plazo contractual de treinta (30) meses, iniciando desde la fecha de la firma del acta de inicio, en el mes de marzo del 2020, sin embargo, aún se encuentra en ejecución, habiéndose aprobado dos prórrogas, la última de estas, con finalización en junio del año actual. Observándose un evidente atraso, por diversas variables que no han permitido cumplir a cabalidad con los tiempos contractuales pactados inicialmente, lo que hace pertinente el estudio y comparación de las metodologías implementadas, cuyos resultados sirvan para optimizar las buenas prácticas en la instalación de la tubería de agua potable.

Se estima que los resultados de esta investigación puedan ser aplicados a este y a otros proyectos similares, teniendo en cuenta que, al implementar las Normas de buenas prácticas para la construcción, se pueden entender y planificar mejor los requisitos para una buena construcción desde el comienzo del proyecto hasta el final de la construcción (Global Shelter Cluster, 2021).

Se pretende realizar una comparación entre dos de las metodologías implementadas en la construcción de la Manija Matriz de la EAAB, con el fin de optimizar las prácticas para la instalación de tubería de agua potable del área de influencia del proyecto, haciendo énfasis en la importancia de la etapa de estudios y diseños dentro de una obra a ejecutar.

Según, Sánchez (2011) una de las metodologías a analizar en este proyecto es conocida como Pipe Jacking, implementada en Colombia a finales de los años 90”, para ciudades altamente pobladas, con el objetivo de disminuir el impacto social y ambiental. En Bogotá se utilizó por primera vez en 2005, para instalar y renovar 50.000 metros de líneas de redes de alcantarillado en Fontibón. Por otra parte, O-teck (2019) da a conocer que esta tecnología de instalación por método sin zanja ha sido cada vez más utilizada principalmente en proyectos de agua y saneamiento, donde se ha posicionado como la mejor metodología para el sector de la construcción y la ingeniería civil, superando a la metodología de zanja abierta, ya que permite instalaciones a mayores profundidades con menores impactos especialmente en zonas urbanas.

De esta manera, se anhela que los resultados de esta investigación proporcionen una visión integral y detallada de las metodologías utilizadas en la construcción de la manija matriz de la EAAB, por medio de la implementación de un enfoque cuantitativo que permita contribuir al desarrollo y aplicación de buenas prácticas en la instalación de tuberías de agua potable en proyectos similares en el futuro, enfocándose en el análisis de las variables tenidas en cuenta en la fase de estudios y diseños, ya que su efecto en la fase de ejecución, es crucial, en aspectos tan relevantes como; el presupuesto, el cumplimiento de los tiempos contractuales, la calidad de la obra, los impactos sociales y ambientales, entre otros.

1.4 Antecedentes del Problema

A lo largo de los años, se ha detectado un aumento en la frecuencia de fallas y fugas, lo que ha llevado a un incremento en los costos para mantenimiento y reparación. Las inspecciones realizadas por el equipo de mantenimiento han revelado signos de corrosión, deterioro y obstrucciones en varias secciones de la red.

Además, el incremento poblacional y la expansión urbana han aumentado la demanda de agua, lo que ha puesto presión adicional sobre el sistema existente. La capacidad de las tuberías actuales no es suficiente para cubrir las demandas actuales y futuras, y la eficiencia en la distribución del agua se ha visto comprometida.

Considerando lo anterior, para el desarrollo del proyecto de investigación que aquí se presenta se tuvieron en cuenta los siguientes antecedentes principales en relación con el trabajo de investigación, donde se establecieron los siguientes hallazgos:

Amado y Pacheco (2014), en su tesis de grado, titulada, Comparación tecnológica y costos del método de instalación de tuberías sin zanja más eficiente para los suelos, señalan que las metodologías sin zanja más utilizadas en para la instalación de tubería en Bogotá son: Pipe Jacking, Microtunelado y Auger Boring. Argumentan que la elección correcta de la metodología para instalación de una tubería está determinada por aspectos que incluyen: la longitud del trazado, el diámetro de tubería, la profundidad de instalación, el tipo de suelo, entre otras. La investigación de Amado, J. y Pacheco, L. (2014), arrojó que la metodología Pipe Jacking, mostró una disminución en tiempos de ejecución de un 30% en relación con los tiempos requeridos para la instalación de tubería mediante zanja abierta. Por el contrario, respecto a los costos se evidenció que sería un 21% más costoso la implementación de la tecnología sin zanja. Sin embargo, al verificar los costos por perjuicios colaterales en sectores altamente poblados, la metodología sin zanja resulta ser un 2% menos costosa en comparación con la metodología con zanja. Puntualizando la importancia de tener en cuenta los costos por perjuicios colaterales desde las etapas de planeación, diseño y construcción de los proyectos en el país.

Por su parte, Naranjo (2023), en su tesis de maestría, Huella de carbono de la instalación y/o renovación y/o rehabilitación de tuberías de acueducto y alcantarillado: zanja abierta vs.

tecnologías sin zanja. Se enfoca en la relevancia del cambio climático y su influencia en el desarrollo sostenible, dirigiendo su argumento en la afectación generada por la huella de carbono (HC), la cual se define como:

Valderrama, Espindola, & Quezada (2011) citado por Naranjo (2023). Resaltan que la cantidad de gases efecto invernadero liberados a la atmósfera, resultantes de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios, y se ha convertido en un factor de competitividad. Asimismo, este indicador ha propiciado que a nivel internacional temas relacionados con las emisiones como la fuga de carbono, el análisis del ciclo de vida en la cadena productiva y comercial ganen relevancia, así como las responsabilidades asociadas con la contabilidad global del carbono.

Es así como, el aumento de la población urbana requiere la instalación, la restauración y/o rehabilitación de tramos de tubería en sistemas de acueducto y alcantarillado, para lo cual puede emplearse la tecnología con zanja abierta realizada por medio de la excavación de zonas, método altamente invasivo, que dispone de maquinaria, recursos humanos y económicos, generando la producción de residuos, gases, material particulado, deterioro ecológico, efectos en la movilidad, costos y demoras de las obras, entre otras Cuello (2021) citado por Naranjo (2023).

La evolución de diversas tecnologías sin zanja para la instalación de tuberías ha optimizado los procesos de instalación, renovación y rehabilitación de tuberías, reduciendo la necesidad de excavaciones y minimizando los efectos sobre la sociedad, el medio ambiente y la movilidad, entre otros. Sin embargo, algunas empresas de construcción de tuberías no consideran sus emisiones de carbono, a pesar de que emplean distintos materiales y técnicas para instalar nuevas tuberías o restaurar las existentes. Estas empresas se concentran principalmente en los

costos financieros al seleccionar el método de instalación y desatienden los costos sociales y el impacto ambiental.

Adicionalmente Pinzón, (2011) en su tesis de grado, Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá. Manifiesta que la motivación que condujo al desarrollo de la tecnología sin zanja fue, por un lado, la necesidad de construir ductos para el transporte de combustibles y la búsqueda de herramientas para la renovación y rehabilitación de redes existentes. Además, señala que, aunque actualmente se conocen varias metodologías sin zanja, para su implementación es indispensable tener en cuenta aspectos tales como los diámetros, las propiedades del suelo, materiales de las redes existentes, entre otros. Lo que hace que determina metodología sea o no la más adecuada en determinado proyecto.

Sumado a lo anterior, Pinzón (2011) expone que si bien, los costos de los proyectos con metodologías sin zanja son similares a los costos de la metodología convencional a zanja abierta. Este último puede llegar a ocasionar costos sociales y ambientales debido a los efectos adversos que causan. En resumen, Pinzón (2011) concluye que, “usar las tecnologías sin zanja reduce en un alto porcentaje los costos asociados a las externalidades transmitidas a la sociedad como por ejemplo los impactos al transporte, los costos medioambientales y también los costos de tipo económico” (p. 148).

2. Marco de Referencia

El siguiente capítulo obedece a los Marcos de Referencia que guiaron la investigación. A continuación, se encuentra el Marco Institucional, compuesto de una breve reseña histórica, la Filosofía Institucional y los Objetivos de la institución. Asimismo, se presenta El Marco Conceptual donde se definen los términos de zanja abierta y sin zanja, así como los demás conceptos relevantes relacionados con la investigación. El Marco contextual, que permite comprender la realidad previa y actual en la que se encuentra enmarcada la investigación. El Marco Geográfico, donde se ubica el proyecto de la Manija Matriz de la EAAB. El Marco Legal que abarca normatividad internacional, nacional y local. Y el Marco Teórico, que conjuga la estructura principal del documento.

2.1 Marco Institucional

2.1.1 Breve reseña histórica

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) es una institución pública encargada de la prestación de servicios de agua potable y saneamiento básico en la ciudad de Bogotá, Colombia. Su historia se remonta al siglo XIX, cuando se crearon las primeras entidades encargadas de la gestión del agua en la ciudad. En 1886 se creó la Junta de Obras de Acueducto, dedicada a la administración del sistema de agua potable de Bogotá. Posteriormente, en 1894, se creó la Empresa de Acueducto de Bogotá, la cual se encargaba de la construcción y operación de infraestructuras para el suministro de agua.

Durante el siglo XX, la empresa experimentó un crecimiento significativo con la construcción de nuevos acueductos, plantas de tratamiento y redes de distribución. En 1955 se creó la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), fusionando la Empresa de Acueducto con otras entidades encargadas del servicio de alcantarillado. Según (EAAB, 2023) en

el siglo XXI la EAAB ha continuado modernizando sus infraestructuras y servicios para garantizar el acceso al agua potable y saneamiento básico a toda la población de Bogotá. Se han implementado programas de conservación del recurso hídrico, así como proyectos de expansión de redes y mejora en la calidad del agua.

2.1.2 Filosofía Institucional

Visión: Excelencia en la gestión empresarial del agua, compromiso y empresa para todos.

Misión: Agua para la vida, generando bienestar para la gente.

Valores Corporativos:

- **Honestidad:** Actuar siempre con fundamento en la verdad, cumpliendo los deberes con transparencia y rectitud, y siempre favoreciendo el interés general.
- **Respeto:** Reconocer, valorar y tratar de manera digna a todas las personas, con sus virtudes y defectos, sin importar su labor, su procedencia, títulos o cualquier condición.
- **Compromiso:** Ser consciente de la importancia del rol como servidor público y estar en disposición permanente para comprender y resolver las necesidades de las personas con las que éste se relaciona en las labores cotidianas, buscando siempre mejorar su bienestar.
Disposición y actitud en el desarrollo de la función pública, para satisfacer con excelencia las necesidades y requerimientos del cliente externo o interno.
- **Diligencia:** Cumplir con los deberes, funciones y responsabilidades asignadas de la mejor manera posible, con atención, prontitud y eficiencia, para así optimizar los recursos del Estado. Capacidad de desarrollar con competitividad, pertinencia y diligencia las funciones, para asumir las consecuencias de los propios actos u omisiones, implementando acciones para corregirlos.

- Justicia: Actuar con imparcialidad, garantizando los derechos de las personas, con equidad, igualdad y sin discriminación.

2.1.3 Objetivos Institucionales



Captar, almacenar, tratar, conducir y distribuir agua potable.



Recibir, conducir, tratar y disponer las aguas servidas, en los términos y condiciones fijadas por las normas para estos servicios.



Recoger, conducir, regular y manejar las aguas lluvias y aguas superficiales que conforman el drenaje pluvial y el sistema hídrico dentro de su área de actividad.



Realizar la construcción, instalación y mantenimiento de la infraestructura necesaria para prestar los servicios públicos domiciliarios a su cargo.



Solicitar, operar y/o administrar concesiones de aguas y licencias para vertimientos que requiera para su gestión y colaborar con las autoridades competentes en la conservación y reposición del recurso hídrico.



Operar y gestionar proyectos de saneamiento básico integral, manejo de residuos líquidos y sólidos, energía y mecanismos de desarrollo limpio.



Fijar, liquidar, facturar y recaudar las tarifas de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado prestados, con base en las fórmulas que defina periódicamente la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico – CRA-.



Adoptar el reglamento de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado y celebrar con los usuarios el contrato de prestación de dichos servicios.



Adquirir, enajenar, expropiar, dar o tomar en arrendamiento y gravar bienes muebles e inmuebles necesarios para su actuación.



Administrar, expropiar predios y/o constituir servidumbres con miras a conservar las zonas de protección y preservación ambiental.



Fijar, liquidar, facturar y recaudar las tarifas por la prestación de aquellos servicios diferentes a los domiciliarios de acueducto y alcantarillado y establecer precio y forma de pago de los bienes y obras, ciñéndose a la ley y a las decisiones de las autoridades competentes.



Percibir y administrar subsidios y aportes solidarios, con arreglo a las leyes vigentes que regulan esta materia.



Asociarse, aportar o suscribir acciones en sociedades que tengan por objeto la prestación de los mismos servicios o la realización de actividades conexas o complementarias.

Asimismo, podrá asociarse, consorciarse y formar uniones temporales con otras entidades públicas o privadas, nacionales o extranjeras, para el desarrollo de sus cometidos sociales.



Promover la investigación y el desarrollo de tecnologías en los campos relacionados con la empresa; explotar y divulgar los resultados y avances que obtenga la empresa, según las reglas pertinentes.



Celebrar convenios de cooperación con entidades nacionales y extranjeras en desarrollo de su objeto.



Contratar empréstitos y realizar operaciones financieras encaminadas a obtener recursos para atender las obligaciones a su cargo.



Participar y presentar ofertas en procesos de licitación nacional e internacional en forma individual o mediante la constitución de consorcios o uniones temporales.



Expedir los actos, celebrar los contratos y realizar las operaciones necesarias para el cumplimiento de su objeto social.



En general, cumplir las demás funciones o actividades que, por razón de su objeto, le señalan la Ley, los Acuerdos y Decretos Distritales, y las decisiones de la Junta Directiva.

2.2 Marco Conceptual

A continuación, se relacionan los principales términos y conceptos que serán utilizados en el presente trabajo.

2.2.1 Zanja abierta

Alarcón y Pacheco (2014) mencionan que el método tradicional o método de zanja, se fundamenta en la excavación a cielo abierto de las zonas en las cuales se realizará la instalación o renovación de nuevas tuberías o para la rehabilitación de tuberías existentes. Este método es invasivo y requiere gran cantidad de recursos humanos, mecánicos, y económicos. Antes de realizar la excavación se requiere contar con los estudios de suelos que indiquen las características de estos, así como investigar si en el sitio de obra se cruzan otras redes de servicios públicos existentes con el fin de solicitar la autorización para realizar los trabajos.

Figura 1

Tubería instalada con metodología a zanja abierta



Nota. Tomada del informe técnico de julio 2023 Manija Matriz.

2.2.2 Las tecnologías sin zanja

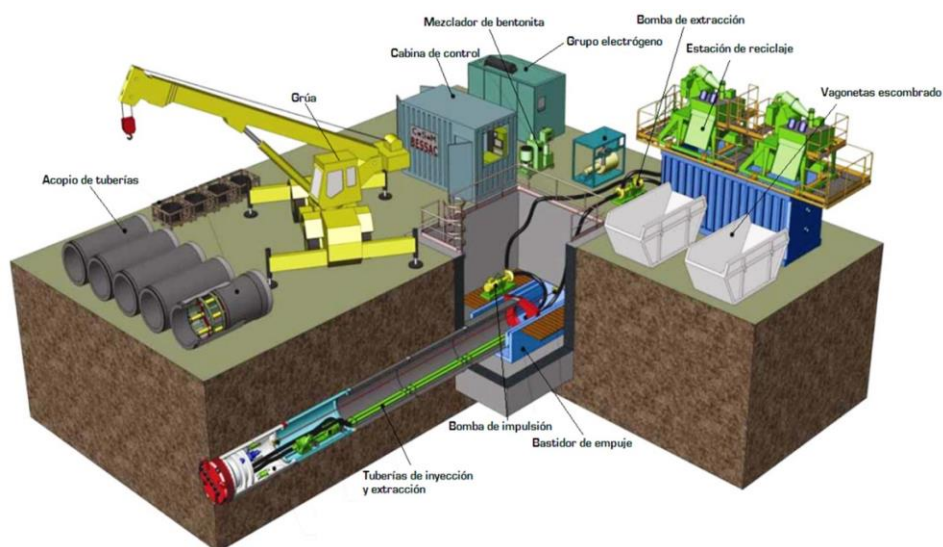
Alarcon y Pacheco (2014) define las tecnologías sin zanja como las técnicas a utilizar en la instalación, reemplazo y renovación de tuberías con excavación mínima del terreno. Estas tecnologías protegen el medio ambiente, son menos contaminantes, utilizan los recursos de forma más sostenible y tratan los residuos de forma más aceptable que la tecnología convencional con zanja abierta.

2.2.2.1 Pipe Jacking

Pipe Jacking o hincado de tubería, es un método para la instalación tuberías subterráneas, conductos y alcantarillas. Se utilizan potentes gatos hidráulicos para impulsar tuberías especialmente diseñadas a través del suelo detrás de un escudo al mismo tiempo que se realiza la excavación dentro del escudo. (PJA, 2020) Destacan que el método ofrece una tubería que es flexible, estructural, hermética y que se instala a medida que se avanza la excavación del túnel.

Figura 2

Equipo Pipe Jacking



Nota. Tomada de “Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá” (Pinzón, 2010, p.38)

2.2.3 Presupuesto de obra

Un presupuesto de obra es una estimación de lo que costará un proyecto de construcción, en él se detalla a cuánto ascienden todos los costes asociados a la obra. (Plan radar, 2022) Es fundamental conocer los elementos debemos incluir y cómo calcularlos, así como aprender a diferenciarlos.

2.2.4 Impacto social

Se refiere a los efectos que la intervención propuesta tiene sobre la comunidad. El impacto puede manifestarse como una alteración en los resultados del proceso. Este cambio puede reflejarse en la manera en que se lleva a cabo el proceso o las prácticas que se utilizan y que dependen, en gran medida, de las personas que la ejecutan. “El impacto social se refiere al cambio efectuado en la sociedad debido al producto de las investigaciones de la comunidad” (Libera, 2007, p. 2). Lo anterior se refiere al impacto que se genera en la zona y percibido por la comunidad, no se puede cuantificar en pesos, pero si en la sensación de malestar que se registra con el aumento de quejas ciudadanas.

2.2.5 Impacto ambiental

La Gestión de Recursos Naturales, GRN (2018) resaltan que el impacto ambiental es la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada, en términos simples el impacto ambiental es la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

2.2.6 Normas de las buenas prácticas para la construcción

Desde la perspectiva de (Global Shelter Cluster, 2021) las Normas de las buenas prácticas para la construcción, engloban las acciones de todos los sectores responsables de la seguridad, plazos y calidad de los proyectos de construcción, al implementar las Normas de buenas

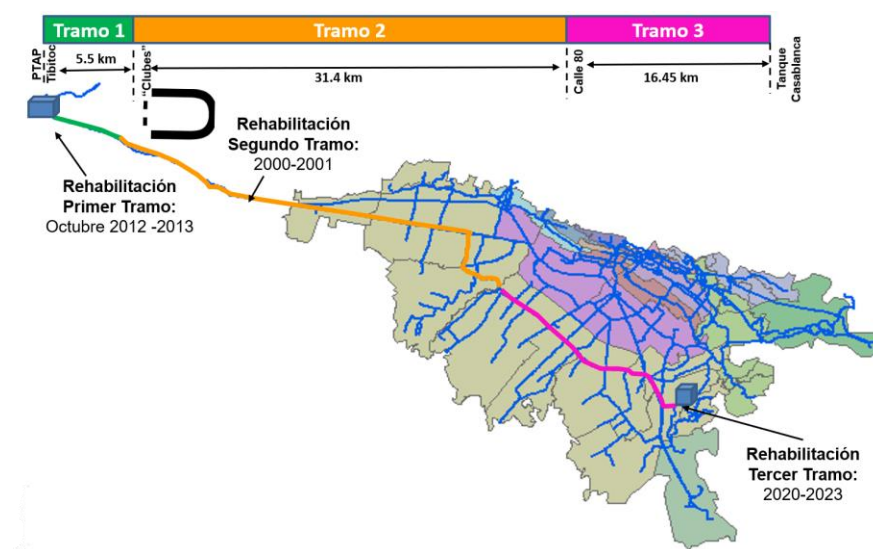
prácticas para la construcción, se pueden entender y planificar mejor los requisitos para una buena construcción desde el comienzo del proyecto hasta el final de la construcción.

2.3 Marco Contextual

La EAAB dentro de su Plan Maestro de Acueducto tiene contemplada la rehabilitación de la tubería Tibitoc-Casablanca, a lo largo de sus 53 Km de longitud. Para llevar a cabo el proyecto, la empresa planificó una rehabilitación en tres fases, distribuidas en diferentes trayectos. Estas fases fueron priorizadas en función de su vulnerabilidad, su relevancia para la red de distribución y las facilidades de construcción. Los tramos 1 y 2 comprendidos entre el tanque Tibitoc y la válvula V39 localizada en inmediaciones de la abscisa K35+793.75 (Av. Boyacá con calle 80) se encuentran rehabilitados actualmente, y el tramo 3 localizado entre la válvula V39 y el tanque de Casablanca, (final de la tubería) está pendiente por rehabilitar (CONTELAC, 2016), siendo este el que compete al interés del presente trabajo de investigación.

Figura 3

Trazado de la rehabilitación de la tubería Tibitoc-Casablanca



Nota. Trazado de la rehabilitación de la tubería Tibitoc-Casablanca. Tomada de CONTELAC, 2016.

El Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, planteó el diseño de una troncal de Transmilenio por la Av. Boyacá, utilizando el separador central, por el cual discurre parte del trazado de la tubería, lo cual significa construir en este separador una estructura vial. Los estudios previos realizados por la EAAB mediante el contrato EAAB N° 2-02-25400-1513- 2013, con la firma CDM Smith Inc., profundizaron sobre los efectos de esta nueva infraestructura vial sobre el tramo 3 de la tubería Tibitoc- Casablanca, concluyendo que se debe reemplazar la tubería en este tramo, pues se tiene un alto riesgo de una falla catastrófica, por el efecto que las nuevas cargas de tráfico generarían con la construcción y operación del Transmilenio Av. Boyacá.

Durante el proceso de evolución del proyecto del Transmilenio por la Av. Boyacá, el IDU ha propuesto ajustar el trazado del corredor del proyecto, permitiendo que la tubería de la red matriz de acueducto, en el proyecto se usó una tubería de protección catódica contra la corrosión, PCCP, de diámetro D, D=78”, quede localizada bajo la calzada de la ruta del Transmilenio, con excepción de los sitios de las estaciones, donde la tubería en mención no quedará bajo las mismas, condición que permitiría la ejecución de las dos importantes obras mencionadas (Rehabilitación de la tubería PCCP D=78” y Transmilenio), priorizando la rehabilitación de la tubería en mención, para poder acometer las obras del Transmilenio en forma segura, aspectos en los que están de acuerdo tanto el IDU como la EAAB, estableciéndose la posibilidad de rehabilitar la totalidad de la tubería PCCP D=78” hasta el tanque Casablanca, definición que difiere sustancialmente de los proyectos anteriores del Transmilenio por la Av. Boyacá, que imponían la relocalización de la tubería que estuviera localizada en el separador de la Av. Boyacá, que en gran porcentaje ocupa la tubería, en su recorrido, por el tramo comprendido entre la calle 80 y Av. del ferrocarril con Av. Boyacá (CONTELAC, 2016).

Los diseños hidráulicos del Tramo 3 de la Línea matriz Tibitoc-Casablanca presentados en el producto No 6 “ESTUDIOS Y DISEÑOS HIDRÁULICOS - DISEÑO HIDRÁULICO

DETALLADO” elaborado por la Consultoría, van desde la Av. Boyacá con calle 80, hasta el tanque Casablanca, sin embargo, el alcance del diseño presentado va únicamente desde la válvula V39 hasta la válvula V42N en el sector comprendido como subtramo norte que abarca los primeros 12.5 km aproximadamente y se disponen todos por el corredor de la Av. Boyacá. La localización de los diseños está dentro de la zona de servicio conocida como Zona Baja Norte (ZBN) de la red matriz de acueducto de Bogotá, donde se instala la Manija Matriz de la EAAB. La instalación incluye:

Figura 4

Componente técnico de la fase 2

Longitud a Instalar en Microtúnel con Hincado	• 8.7 Km en 60"
Longitud a Instalar en Zanja Abierta	• 3.7 Km en 60"
Pasos Aéreos	• CANAL SAN FRANCISCO • RÍO FUCHA
Interconexiones Operacionales	• 4 Interconexiones en 60": (Calle 66 A, Calle 22, Av. Las Américas (norte), Av. 1° Mayo (norte))
Derivaciones para suministro	• 11 derivaciones en diámetros entre 16 y 42"
Válvulas de 60"	• 15 Válvulas de Mariposa para Interconexiones
Válvulas de diámetros entre 12 y 48"	• 35 Válvulas de Mariposa para Derivaciones

Nota. Componente técnico de fase 2, Manija Matriz de EAAB. Tomada de CONTELAC (2016).

Esta instalación estuvo precedida de variedad de estudios previos. A continuación, un breve resumen de los estudios realizados para el desarrollo de la obra de construcción de la Manija Matriz de la EAAB.

Tabla 2

Estudios previos a la obra de la Manija Matriz de Bogotá. Elaboración propia

Estudios previos	
Estudios realizados por el Consorcio Bogotá IV	1985
Estudio de factibilidad de rehabilitación de la línea – Jason Consultants	1993
Consultoría para la elaboración de plan maestro de rehabilitación – Jairo René Rojas	2000
Estudios de Factibilidad del Tramo 3 Tubería Tibitoc – Casablanca y diseños detallados Tramo 1 – Consorcio Tibitoc 2006 (Silva Carreño – SMA)	2006
Estudio Conceptual sobre el Tramo 3 Tibitoc – Casablanca – CDM Smith	2013
Estudios y Diseños para la rehabilitación Tramo 3 Tibitoc – Casablanca – CONTELAC	2016

Para finalizar es importante mencionar que la obra de la Manija Matriz de la EAAB contó inicialmente contando con un plazo contractual de treinta meses, iniciando en la fecha de la firma del acta de inicio, en marzo de 2020, Luego de haberse aprobado dos prórrogas, la última de estas, con finalización en junio del año actual, la obra lleva a marzo del 2024, 48 meses en ejecución con un porcentaje actual de avance del 78%.

2.4 Marco Geográfico

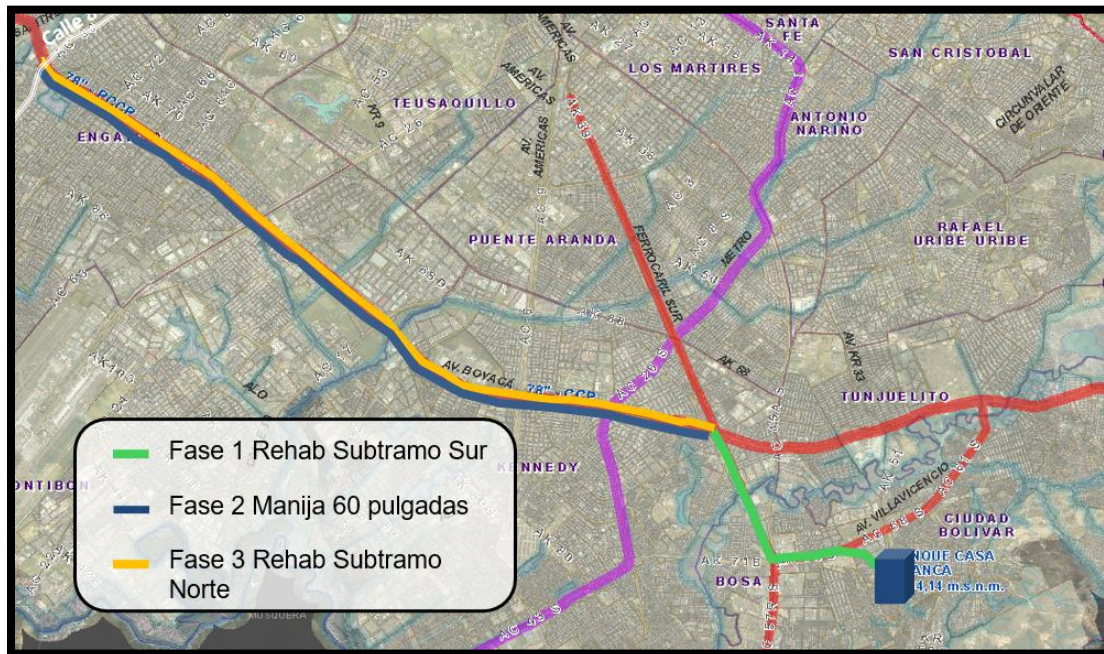
La tubería existente, de agua potable, Tibitoc-Casablanca, con más de 50 años en funcionamiento, se encuentra a lo largo de 53 Km de longitud. Para su rehabilitación se dividió en tres tramos como se puede observar en la Figura 3

Trazado de la rehabilitación de la tubería Tibitoc-Casablanca 5.

Los tramos 1 y 2 comprendidos entre el tanque Tibitoc y la válvula V39 localizada en inmediaciones de la abscisa K35+793.75 (Av. Boyacá con calle 80) se encuentran rehabilitados actualmente, y el tramo 3 localizado entre la válvula V39 y el tanque de Casablanca, (final de la tubería) está pendiente por rehabilitar, para lo cual se establecieron tres fases:

Figura 5

Fases de la rehabilitación del tramo 3 de la tubería Tibitoc-Casablanca.

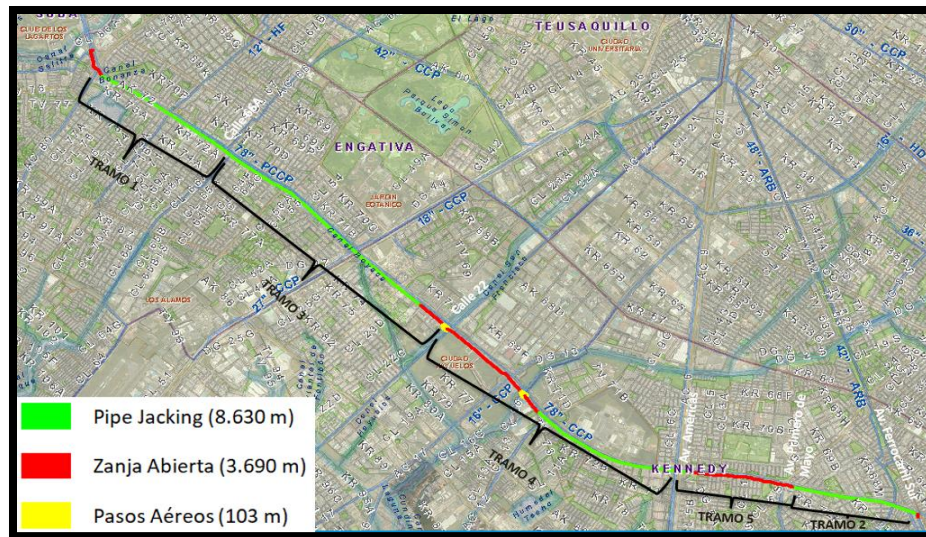


Nota. Fases de la rehabilitación del tramo 3 de la tubería Tibitoc-Casablanca. Tomada de CONTELAC (2016).

La fase 2, requiere de la instalación de una Manija de 60" (Desde calle 80 a Av. Ferrocarril del sur a lo largo de la avenida Boyacá), para ello se estableció la utilización de la metodología, Pipe Jacking y Zanja abierta con obras preliminares. La Manija Matriz tiene:

Figura 6

Trazado de la Manija Matriz de la EAAB.

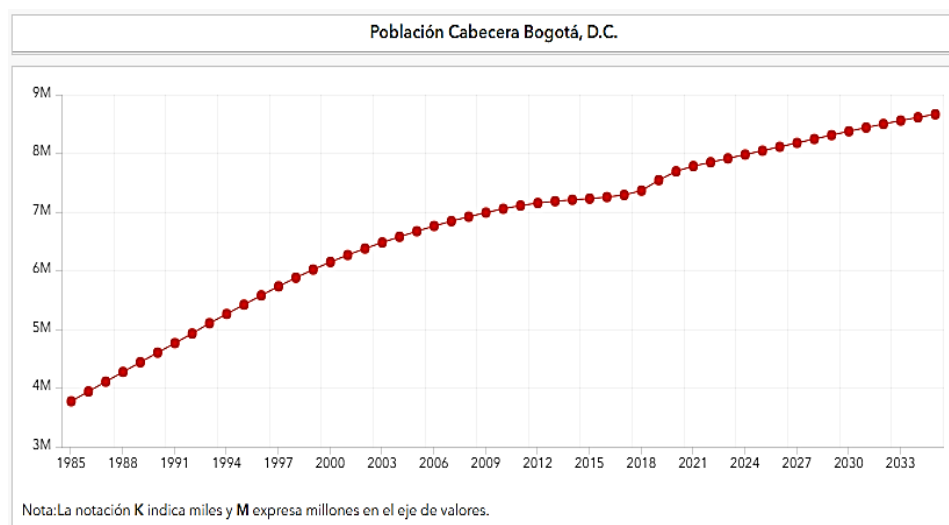


Nota. Trazado de la Manija Matriz de la EAAB. Tomada de CONTELAC (2016).

La ciudad de Bogotá enfrenta la necesidad de mejorar su red matriz de alcantarillado debido al aumento continuo de su población. A medida que la población de Bogotá crece, la infraestructura existente debe adaptarse para manejar el mayor volumen de aguas residuales y garantizar un servicio eficiente y sostenible.

Figura 7

Población Cabecera Bogotá, D.C



Nota: Tomada DANE. Proyecciones y retroproyecciones con Censo (2018).

2.5 Marco Legal

La siguiente tabla indica las normas nacionales e internacionales que rigen los servicios públicos domiciliarios, estableciendo principios para la prestación, regulación y control del suministro de agua.

Tabla 3

Marco Legal

Marco legal			
Ámbito	Norma	Descripción	Año
INTERNACIONAL	AWWA C-301	La norma AWWA C301 establece los requisitos para tuberías de concreto reforzado con acero para agua a presión y alcantarillado. Algunos puntos clave de esta norma incluyen, la especificación de los materiales permitidos para la fabricación de tuberías, incluyendo cemento, agregados, agua y acero de refuerzo. El diseño y la fabricación de las tuberías, incluyendo dimensiones, espesores, refuerzos, juntas y acabado de la superficie. Los métodos de prueba para verificar la conformidad de las tuberías con los requisitos de la norma, incluyendo pruebas de resistencia, estanqueidad y dimensionales. Los requisitos para el marcado de las tuberías, incluyendo información como el fabricante, el diámetro nominal, la presión nominal y la fecha de fabricación, así como los requisitos de embalaje para su transporte y almacenamiento.	019 (Última versión)

NACIONAL	LEY 142	Denominada como la Ley de Servicios Públicos Domiciliarios en Colombia, establece el marco regulatorio para los servicios públicos domiciliarios en el país. Esta ley busca garantizar la prestación eficiente, continua y segura de servicios como agua potable, energía eléctrica, gas combustible y telecomunicaciones. Algunos puntos clave de la Ley 142 incluyen, la creación de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), encargadas de regular y supervisar los servicios públicos. Esta ley también establece mecanismos para que los usuarios participen en la toma de decisiones sobre los servicios públicos, como la conformación de veedurías ciudadanas y la realización de audiencias públicas. Por último, esta ley determina derechos y deberes para los usuarios de servicios públicos.	1994
LOCAL	NP-032	Tuberías para acueducto	2008
	NS-028	Presentación de diseño acueducto	2012
	NS-031	Estudios de población y demanda de agua en sectores específicos de la ciudad	2004
	NS-033	Criterios para diseño de red matriz	2005

Nota. Marco legal. Elaboración propia.

2.6 Marco Teórico

Naranjo (2023), señala que, un sistema de acueducto tiene como objetivo entregar agua potable con calidad y en cantidad suficiente para abastecer y suplir a la población. Un sistema de acueducto está conformado por:

- Captación: parte inicial del sistema donde se capta el agua de acuerdo con la disponibilidad del recurso existente para satisfacer a la población. Las fuentes de captación pueden ser: aguas superficiales, aguas pluviales, aguas subterráneas, y/o agua de mar.
- Aducción y conducción: La línea de aducción está compuesta por estructuras civiles y electromecánicas por medio de las cuales se transporta el agua cruda desde el lugar de captación hasta una primera estancia que puede ser una reserva de almacenamiento o un desarenador. La línea de conducción corresponde a la parte del sistema que teniendo en cuenta la calidad y condiciones del suministro, conduce el agua hasta la planta de tratamiento o lugar de consumo.
- Planta de tratamiento: Se encarga de realizar todos los procedimientos físicos, mecánicos y químicos necesarios para que el agua tenga características óptimas para el consumo humano. Los objetivos principales son que el agua cumpla con los parámetros de calidad y seguridad para la población, así mismo que sea accesible y asequible.
- Almacenamiento: Para almacenar un sistema de acueducto puede emplear tanques con capacidad suficiente de agua de reserva para eventualidades como sequía, etc.
- Línea de alimentación y red de distribución: Es el conjunto de las tuberías responsables de conducir el agua hasta cada uno de los puntos domiciliarios de los consumidores. Está compuesto por válvulas, tuberías, tomas domiciliarias, medidores, equipos de bombeo, entre otros dispositivos necesarios para que la población tenga acceso al servicio.

Se debe tener en cuenta que un sistema de acueducto y alcantarillado pueden presentar diversas fallas como resultado de la intervención de ciertos agentes y que estas fallas pueden ocasionar diferentes daños como fisuras, grietas, abrasiones o simplemente los que obedecen a afectaciones relacionadas con falta de mantenimiento de las tuberías o de los diferentes dispositivos y elementos que componen el sistema. En general, las fallas en tuberías de

acueducto y alcantarillado se clasifican en dos grupos: fallas operacionales y fallas estructurales. De igual manera, González (2014), citado por Naranjo (2023) resalta que se pueden analizar las fallas como localizadas si afectan uno o varios tramos, y sistemáticas generalizadas cuando se debe intervenir toda la tubería

Dentro de las causas internas de las fallas de las tuberías se encuentran las características fisicoquímicas del fluido, el rendimiento hidráulico, el tiempo de construcción de la red, la edad de la red, el tipo material de la tubería y los métodos constructivos utilizados en la construcción del sistema de alcantarillado. Con respecto a las causas externas que pueden ocasionar fallas en las tuberías González (2014, citado por Naranjo (2023) mencionan que se tienen las sobrecargas de tráfico, sobrecargas del suelo, intrusión de raíces, la presencia de otras redes de servicios públicos subterráneas, el tipo de suelo, el nivel freático y la variación del uso del suelo o la redensificación de las zonas.

En este orden de ideas, la tubería Tibitoc-Casablanca, la cual ha presentado dos fallas catastróficas y que lleva más de 50 años en funcionamiento se encuentra en proceso de rehabilitación, para ello se dispuso de tres tramos, el tercero de estos subdividió su intervención de 3 fases, a segunda de ellas obedece a la obra en la cual se desarrolla este proyecto de investigación, siendo la instalación de una Manija Matriz, donde se implementan dos metodologías principales.

2.6.1 Metodología sin zanja

Yeun & Sunil (2004) citado por Pacheco (2014) resaltan que la primera metodología, se encuentra dentro del grupo de la tecnología sin zanja, esta se define como la técnica a utilizar en la instalación, reemplazo y renovación de tubería con excavación mínima del terreno, su

utilización es casi con exclusividad dirigida a los servicios de utilidad subterránea, en una gama de tuberías de distintos diámetros

La Micro Tunnelling Boring Machine (MTBM) es una máquina esencial para los procesos de microtunelación. Combina varias funciones y componentes clave para realizar la excavación y el avance de la tubería de manera eficiente.

La tecnología sin zanja implementada se trata del método de inserción de tuberías conocido como pipe jacking, que implica la instalación de tubos mediante un escudo, generalmente operado por un técnico. El empuje es generado de manera hidráulica desde un pozo de atraque de manera que los tubos formen una tubería continua en el terreno. Estos tubos se diseñan con el objetivo de soportar las fuerzas de empuje generadas por los suelos, así como también para ser ensamblados durante el proceso de instalación. La Asociación Ibérica de tecnologías Sin Zanja (2013) citado por Pacheco (2014) destacan que al utilizar los sistemas de pipe jacking generalmente la maquinaria cuenta con bastidores de empuje con gatos hidráulicos.

Akkerman (2011) citado por Pacheco (2014) señala que el método de pipe jacking, requiere de los siguientes aspectos para tener en cuenta:

- Profundidad de la instalación: El proceso de pipe jacking puede instalar tuberías en grandes profundidades, asumiendo que el suelo presenta buenas condiciones de estabilidad.
- Área de instalación: Si, por ejemplo, la instalación se realizará cruzando un río contaminado con sólidos, esta puede no ser la mejor opción, pues en este caso debería emplearse una maquina manejada a control remoto.
- Condiciones del suelo: Este método se adapta correctamente al trabajar en diferentes formaciones de suelos con excepción de suelos sometidos a presión, para estos últimos

existen una gran variedad de máquinas capaces de lidiar con los problemas generados, con una única condición, la cual es que los diámetros sean mayores a seis pies.

2.6.2 Método convencional de Zanja abierta

La segunda metodología implementada en la obra y que hace parte del objeto de análisis de esta investigación es el método convencional de Zanja abierta. El método tradicional, conocido como el método de zanja, se fundamenta en la excavación a cielo abierto de las zonas en las cuales se realizará la instalación o renovación de nuevas tuberías o para la rehabilitación de tuberías existentes. Según Alarcón y Pacheco (2014) este método es invasivo y requiere gran cantidad de recursos humanos, mecánicos, y económicos. A continuación, se exponen las ventajas y desventajas de este método.

- Buenas Prácticas en la Construcción: El propósito de implementar buenas prácticas en la construcción no es otro que el construir mejor y de manera más segura, productividad, calidad, seguridad, impacto ambiental. Los presupuestos que se destinan para la construcción brindan la oportunidad de crear proyectos que mejoren la calidad de vida de las comunidades. La buena administración de estos presupuestos ha de verse reflejada desde la fase de planeación y diseño “con un buen diseño y planificación, los responsables pueden anticiparse y solucionar problemas antes de la fase de ejecución, la probabilidad de éxito del proyecto aumenta con unas buenas prácticas de supervisión, entrega y mantenimiento de la obra” (Global Shelter Cluster, 2021, p.3).

Esto para que, al ejecutarse el proyecto, cumpla con todos los componentes, desde los aspectos técnicos, sociales, ambientales, de seguridad, aspectos de calidad, entre otros, hasta garantizar la vida útil de la obra.

Global Shelter Cluster (2021) resalta que, al implementar las Normas de buenas prácticas para la construcción, se pueden entender y planificar mejor los requisitos para una buena construcción desde el comienzo del proyecto hasta el final de la construcción.

Las Normas de buenas prácticas para la construcción de Global Shelter Cluster (2021), se basan en nueve principios rectores:

- **Gobernanza nacional:** En todos los casos, el sistema nacional de gobernanza de la construcción es el principal impulsor de las normas de construcción. La primacía de las normas nacionales informa la toma de decisiones sobre cómo se planifica, diseña y ejecuta la construcción.
- **Programación:** Los proyectos de construcción no existen de forma aislada, sino que se llevan a cabo para permitir una programación esencial para la mejora de los resultados para los beneficiarios.
- **Normas de seguridad:** Los proyectos de construcción cumplen las normas locales (gubernamentales) o internacionales aceptadas en materia de vida/seguridad estructural, salud pública, entre otras.
- **Evaluación del peligro:** Los proyectos de construcción tienen en cuenta los múltiples riesgos evaluados localmente e incorporan técnicas de mitigación de riesgos.
- **Práctica local:** Los diseños se basarán en los conocimientos y prácticas locales para apoyar que el proyecto pueda mantenerse, utilizarse de forma sostenible y reproducirse.
- **Medios de subsistencia locales:** Se fomentará la adquisición de materiales y mano de obra locales y se desarrollarán las competencias locales, siempre que sea posible. Los pagos a los proveedores serán puntuales y transparentes.
- **Seguridad del sitio:** La Seguridad y Salud de todas las partes implicadas en el proyecto de construcción son fundamentales en toda la planificación y la toma de decisiones.

- **Mantenimiento:** La planificación del mantenimiento se considera en una fase temprana del ciclo del proyecto, lo que garantiza la aceptación y propiedad del proyecto por parte de la comunidad en funcionamiento.
- **Sostenibilidad:** La sostenibilidad a largo plazo del proyecto, incluidas las repercusiones medioambientales y sociales en la zona, se tienen en cuenta y los efectos adversos se mitigan adecuadamente.

Se podría incluir como aspecto importante dentro de estos principios la Participación comunitaria: A las comunidades se les consulta, involucra y empodera en todos los puntos de decisión de las normas descritas anteriormente.

Fotografía 1

Participación ciudadana



3. Metodología e instrumentos de recolección de datos

3.1 Metodología

Esta investigación se realizó bajo un enfoque cuantitativo, Gómez (2006) señala que “bajo la perspectiva cuantitativa, la recolección de datos es equivalente a medir” (p.121). De acuerdo con la definición clásica del término, medir significa asignar números a objetos y eventos de acuerdo con ciertas reglas. Muchas veces el concepto se hace observable a través de referentes empíricos asociados a él. Los estudios de corte cuantitativo pretenden la explicación de una realidad, vista desde una perspectiva externa y objetiva. Según Galeano (2004) su intención es “buscar la exactitud de mediciones o indicadores sociales con el fin de generalizar sus resultados a poblaciones o situaciones amplias. Trabajan fundamentalmente con el número, el dato cuantificable” (p.24). Según Hernández (2014) El enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas, y confía en la medición numérica, el conteo y en el uso de la estadística para establecer patrones de comportamiento en una población.

La investigación se enmarca en el paradigma positivista, planteado por Emile Durkheim y August Comte. El positivismo: “Denota un enfoque filosófico, teoría o sistema basado en la opinión de que, en la vida social, así como el sentido de las ciencias naturales experiencias y su tratamiento lógico y matemático son la fuente exclusiva de toda la información” (Adler, 1964, p. 520, citado por Villamar, 2015, p. 30)

Al momento de aplicarlo, se busca que el conocimiento que se obtenga sea medible, cuantificable, sistemático y comprobable por medio de la experiencia. Asimismo, se tiene en cuenta que la realidad existente es solo una y por lo tanto solo es posible estudiarla “desde un método único que subordina y analiza aquellos aspectos particulares que se encuentren en la

investigación, a leyes generales que hacen adecuar el objeto de estudio al método y no de forma contraria” (Martínez, 2013, pp. 2-3).

Por otra parte, esta investigación esta guiada por enfoque metodológico cuantitativo, la línea de Investigación e innovación en educación en Ingeniería de la Universidad Santo Tomás. El presente proyecto determina una muestra dada por la utilización del muestreo aleatorio simple, a una población total de informes mensuales de obra, a los que se les realizó el instrumento de recolección de datos, resultante de la operacionalización de las variables abordadas en el marco teórico.

En este orden de ideas y teniendo que cuenta que esta investigación, pretendió comparar las metodologías implementadas en la construcción de la manija matriz de la EAAB, por medio del análisis de las variables. Se optó por una investigación de Tipo Descriptivo, “los estudios descriptivos buscan especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice” (Hernández, 2014, p. 119).

Los resultados e información obtenida fueron analizados y sistematizados, concluyendo que existen variables desde los diferentes componentes que influyen en la ejecución óptima del proyecto, entre estas se pueden mencionar, aspectos sociales, ambientales, de movilidad, seguridad, de calidad y una de las más importantes los informes de los estudios previos. Dichos resultados permitieron generar la Guía de las buenas prácticas en la instalación de tubería de agua potable, como producto final.

Por otra parte, Pineda et al (1994) citado por López (2004) dan a conocer que la población, entendida como, el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación, constituido por personas, registros médicos, los nacimientos, las muestras de laboratorio, entre otros. Que para el caso de estudio está conformada por los 48 informes

mensuales de la obra mencionada, contados a partir de la fecha de inicio (marzo 2020) y hasta la fecha actual (marzo 2024).

Para identificar el tamaño de la muestra en esta investigación, se realizó un muestreo aleatorio simple. Donde cada elemento se elige al azar. En este tipo de muestreo (Otzen y Manterola, 2017) dan a conocer que cada informe tiene la misma probabilidad de ser elegido en cualquier etapa del proceso. Para llevar a cabo este tipo de muestreo, es necesario tener un listado numerado de todos los elementos de la población. Generalmente, se utiliza un listado de números aleatorios, que se puede obtener de libros de estadística, programas estadísticos, o software para calcular el tamaño de la muestra que incluya la opción de generar números aleatorios. La fórmula por utilizar es la siguiente:

P =Proporción estimada de la población con una característica específica.

N =Tamaño de la población.

n =Tamaño de la muestra.

$$P = 1 - N - \frac{1}{N} \cdot \frac{N-2}{N-1} \cdots \frac{N-n}{N-(n-1)}$$

$$\text{Eliminando} = 1 - \frac{N-n}{N}$$

$$\text{Eliminando} = \frac{n}{N}$$

$$= \frac{100}{1000}$$

$$= 10\%$$

En esta investigación se determinó una población de 48 informes mensuales de obra. Después de la aplicación de la formula se obtuvo que, el tamaño de la muestra calculado es de 28 informes, este tamaño de muestra es suficiente para alcanzar un nivel de confianza del 90% con un margen de error del 10%.

La técnica de recolección de datos cuantitativos fue el cuestionario. Se puede considerar al cuestionario como “una técnica que utiliza un conjunto de procedimientos estandarizados de investigación mediante los cuales se recoge y analiza una serie de datos de una muestra de casos representativa de una población o universo más amplio, del que se pretende explorar, describir, predecir y/o explicar una serie de características” (Casas et al. 2002. p. 528). De igual manera, se menciona que las características del cuestionario no es describir a los elementos particulares sino describir un perfil estadístico de la población, de tal forma que se presenten en tablas y gráficos estadísticos.

Cabe señalar que, para la elaboración del cuestionario o instrumento de recolección de datos, fue necesario desarrollar la siguiente operacionalización de variables:

Tabla 4

Operacionalización de variables

Operacionalización de variables		
Variable	Dimensión	Preguntas
Diseño		
Geotécnica	Se define el estudio geotécnico como el compendio de información cuantificada en cuanto a las características del terreno en relación con el tipo de construcción prevista y el entorno donde se ubica, necesario para proceder al análisis de las cimentaciones de las obras. El estudio geotécnico es el proceso de estudio y la justificación técnica del comportamiento del terreno en relación con un proyecto. (Pleiades Ingeniería Consultoría, 2022).	¿Qué aspectos geotécnicos se tuvieron en cuenta para determinar cada metodología constructiva implementada?
Construcción		

Presupuestal	El presupuesto de construcción, también conocido como presupuesto de obra, es un documento que presenta un cálculo detallado y anticipado del costo de construcción de una obra. El monto total del presupuesto refleja todos los costos y gastos que debe asumir el propietario del proyecto para llevarlo a cabo. El presupuesto se elabora según los cálculos métricos y los análisis de precios unitarios de cada partida del proyecto. Los precios unitarios se fundamentan en la certeza del cálculo de los costos de materiales, equipos y mano de obra, directa e indirecta requeridos para la construcción. (Data construcción, 2021)	¿Se ejecutó en el presente mes (¿del informe analizado?) el presupuesto programado según las actividades programadas? Si / No Si la respuesta es no, ¿por qué?
Social	El componente social de las obras permite entender que el diseño, construcción y ejecución de un proyecto de obras hidráulicas genera impactos en su contexto los cuales pueden ser positivos como negativos, tales como: cambio de la estructura y dinámica de la población, cambios en el uso del suelo, generación de empleo, cambios en su cultura, entre otros. Uno de sus propósitos es integrar la participación ciudadana en los diferentes procesos de ejecución de las obras; hacer partícipes a los actores sociales, mediante estrategias como: reuniones, volantes, piezas comunicativas, oficinas de atención al usuario entre otras, con el fin de mantener informada a la comunidad acerca del desarrollo del proyecto, estas estrategias tienen como finalidad hacer que los habitantes ejerzan veeduría a las obras, para dar cumplimiento a lo estipulado en las actas de vecindad que se realizan y que buscar el mejoramiento de la calidad de vida de la población. (Cámara de comercio de Pasto, 2021).	¿Cuántos espacios de participación y divulgación de información se generaron en el periodo del informe? ¿Los espacios establecidos? Son: • Veedurías ciudadanas • Reuniones y/o socializaciones con la comunidad • Jornadas de volanteo y/o entrega de piezas comunicativas ¿Cuántas PQRS, se recibieron en el periodo del informe? ¿Cuáles fueron los temas más recurrentes en las PQRS? ¿Qué surgió a partir de las PQRS?

Ambiental	El plan de manejo ambiental de obra es una herramienta de la gestión ambiental que tiene como principal objetivo reducir los impactos ambientales en las obras de construcción y garantizar el uso responsable de los recursos naturales en cada una de las actividades que se realizan en las obras; de esta forma se contribuye a alcanzar un óptimo desempeño ambiental hacia un desarrollo sostenible. (Ovalle, S. 2017).	¿Se cumplió a cabalidad con el plan de manejo ambiental en el periodo del informe? Si / no Si la respuesta es no, mencione los aspectos con falencias.
Operación y Mantenimiento		
Vida útil	la vida útil se define como el período de tiempo después de la instalación o construcción durante el cual, una obra, cumple o excede los requisitos mínimos de rendimiento para los que fueron diseñados y construidos. (Ingenieros y asesores, 2022)	¿Cuál se estima es la vida útil de cada una de las tuberías, instaladas con las dos metodologías implementadas?
Mantenimiento	El sostenimiento de obras es el conjunto de acciones que la municipalidad responsable del bien físico debe realizar, continua o periódicamente, en forma sistemática, para proteger las obras físicas en su proceso de uso y operación, que asegure su máximo rendimiento. (ISABU, 2023)	¿Cuál es el costo aproximado y periodicidad del sostenimiento y/o mantenimiento de la obra?, teniendo en cuenta aspectos propios de las tuberías instaladas con cada metodología.

Nota. Operacionalización de variables. Elaboración propia.

De esta manera se elaboran preguntas pertinentes que permitirán acceder a lo que se pretende saber de la implementación de cada una de las metodologías constructivas necesarias para la instalación de tubería de agua potable en la Manija Matriz de Bogotá, con el fin de aportar en las buenas prácticas de la instalación de tubería de agua potable. El cuestionario se compone de 8 preguntas, para obtener los datos relevantes relacionados con las variables tratadas en la investigación.

El siguiente es el instrumento para recolectar la información que se diseñó para esta investigación, el instrumento se compone de dos partes. La primera parte obedece a la información que suministran los documentos previos al inicio de la obra, como el informe de la consultoría. Y la segunda parte son los cuestionamientos que han de aplicarse a los 28 informes de la muestra resultante.

3.2 Instrumento de recolección de datos

Se tuvo como objetivo comparar las metodologías implementadas en la construcción de la Manija Matriz de la EAAB, con el fin de optimizar las prácticas para la instalación de tubería de agua potable en el área de influencia directa del proyecto.

3.2.1 Primera parte (Aplicable a los documentos previos al inicio de la obra)

1. ¿Qué aspectos geotécnicos se tuvieron en cuenta para la determinación de la cada metodología?
2. ¿Cuál se estima es la vida útil para la metodología de zanja abierta?
3. ¿Cuál se estima es la vida útil para la metodología sin zanja?
4. ¿Cuál es el costo aproximado y periodicidad del sostenimiento y/o mantenimiento de la obra con la metodología de Zanja abierta?
5. ¿Cuál es el costo aproximado y periodicidad del sostenimiento y/o mantenimiento de la obra con la metodología Pipe Jacking?

3.2.2 Segunda parte (Aplicable a los 28 informes de la muestra)

1. ¿Qué aspectos geotécnicos se tuvieron en cuenta para la determinación de la cada metodología?
2. ¿Se ejecutó en el presente mes el presupuesto programado según las actividades programadas? Si / No? Si la respuesta es no, ¿por qué?

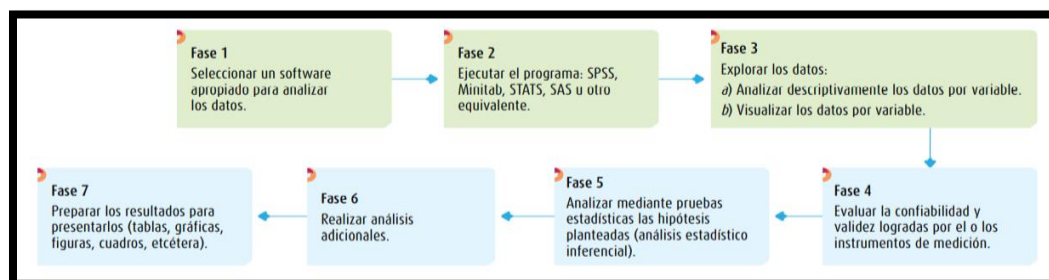
3. ¿Cuántos espacios de participación y divulgación de información se generaron en el periodo del informe?
 - Veedurías ciudadanas
 - Reuniones y/o socializaciones con la comunidad
 - Jornadas de volanteo y/o entrega de piezas comunicativas
4. ¿Cuántas PQRS, se recibieron en el periodo del informe?
5. ¿Cuáles fueron los temas más recurrentes en las PQRS?
 - Afectación a predios.
 - Ruido y vibraciones.
 - Relacionados con cierres de vías y temas de movilidad.
6. ¿Qué surgió a partir de las PQRS?
7. ¿Se cumplió a cabalidad con el plan de manejo ambiental en el periodo del informe? Si / no
Si la respuesta es no, mencione los aspectos con falencias.

Se recopilaron y organizaron los datos cuantitativos, que luego se tabularon, promediaron y representaron gráficamente para facilitar el análisis y obtener conclusiones.

Para el análisis cuantitativo, Sampieri (2014) propone siete fases consecutivas:

Figura 8

Fases del proceso cuantitativo.



Nota. Fases para el proceso de análisis cuantitativo. Tomada de Sampieri (2014).

4. Resultados

4.1 Proceso constructivo

Como primer resultado del presente trabajo a continuación se describe las principales características del proceso constructivo de ambas metodologías.

4.1.1 Proceso constructivo Tubería con metodología a zanja abierta

En la construcción de alcantarillado pluvial, el personal técnico y profesional que participa en el proceso juega un rol crucial para asegurar que el proyecto se realice de manera eficiente y conforme a los estándares requeridos. A continuación, se detalla el personal clave involucrado:

- Ingeniero civil. o constructor.
- Topógrafo y cadenero.
- Ingeniero ambiental
- Ingeniero civil especialista en hidráulica para diseño y supervisión.
- Auxiliares y técnicos.
- Técnico en construcción (Maestro general de obra)
- Profesional en el área de seguridad industrial y profesional trabajador social.

4.1.1.1 Maquinaria y equipos de trabajo

La maquinaria y equipos de trabajo son herramientas esenciales para llevar a cabo tareas de manera eficiente y efectiva. Estos equipos varían ampliamente según la etapa constructiva y la función que desempeñan.

4.1.1.2 Proceso Etapa de localización y replanteo del alcantarillado.

Para ejecutar esta labor se requiere de topógrafos, cadeneros y auxiliares que tomen los datos en campo con:

- Estación

- Mira
- Nivel de alta precisión
- Cinta métrica
- Plomadas
- Dron

4.1.1.3 Etapa de descapote (retiro de capa vegetal)

Para la etapa del descapote se requiere la siguiente maquinaria junto con el personal capacitado para estas:

- Bulldozer
- Azadones
- Volqueta para el transporte de la capa vegetal
- Herramienta menor.

4.1.1.4 Etapa de excavación y retiro de material

Cuando se inicia esta etapa se debe tomar datos topográficos para garantizar la precisión y eficacia en la construcción del alcantarillado pluvial, es crucial contar con un equipo y herramientas adecuadas. A continuación, se exponen los equipos y materiales necesarios para el proceso de excavación y verificación de niveles:

- **Retroexcavadora**

Función: Moviliza y excava grandes cantidades de tierra. Es esencial para la creación de zanjas y la preparación del terreno.

Consideraciones: Debe estar bien mantenida y operada por personal capacitado para asegurar una excavación precisa y segura.

- **Material de Entibado (Encofrado de Zanjas)**

Función: Proporciona soporte a las paredes de la zanja para evitar derrumbes y garantizar la seguridad durante la excavación.

Tipos Comunes: Laminas de madera, láminas metálicas o sistemas de entibados prefabricados.

Consideraciones: El tipo de entibado debe ser adecuado para la profundidad de la zanja y las características del suelo.

- **Volqueta**

Función: Transporta el material excavado desde la zanja a un área de disposición o almacenamiento.

Consideraciones: Debe estar en buenas condiciones y tener la capacidad adecuada para manejar el volumen de tierra extraída.

- **Herramienta Menor de Obra**

Función: Realiza tareas complementarias y de ajuste durante la excavación, como la nivelación final y la limpieza de áreas de trabajo.

Tipos Comunes: Palas, picas, rastrillos, y otras herramientas manuales.

Consideraciones: Las herramientas deben estar en buen estado y ser apropiadas para el tipo de trabajo requerido.

4.1.1.5 Etapa de instalación de tuberías

Se requiere una retroexcavadora para mover y ubicar la tubería correctamente, personal de obra para dirigir su colocación, y equipo de topografía para asegurar la orientación vertical y horizontal de la tubería. También se necesita mano de obra para trabajar con herramientas menores, como palas y picas.

4.1.1.6 Etapa de rellenos

Se utiliza una retroexcavadora para manejar el material de atraque y relleno. Además, se emplean herramientas menores para distribuir el material de manera uniforme y se realiza un control topográfico para garantizar que los niveles en la obra sean exactos.

4.1.1.7 Localización y replanteo

Para iniciar el proceso constructivo, es fundamental analizar y llevar al terreno la información contenida en los planos de planta del alcantarillado. Esto requiere localizar en el terreno los elementos del alcantarillado para comenzar, en la medida de lo posible, las labores de descapote y excavación en las áreas asignadas. El topógrafo asignado, quien utiliza equipos de alta precisión, como estaciones totales, miras, plomadas y niveles, para guiar y dirigir el proyecto.

Fotografía 2: Localización y replanteo



Fotografía 3: Localización y replanteo 2



4.1.1.8 Descapote

Una vez realizada la localización y el replanteo de la zona, se comienza a retirar la capa vegetal, con una altura máxima de 3 cm, para conservarla y reutilizarla en la misma área de excavación al finalizar la construcción del alcantarillado. Si no es posible, se puede disponer en otro lugar para su posterior uso en jardinería. Esta tarea se realiza con maquinaria pesada, como bulldozers, o manualmente, utilizando herramientas como azadones, picas y palas.

Fotografía 4

Área sin descapotar



Fotografía 5:

Área descapotada



4.1.2 Proceso de Excavación para Instalación de Tuberías a zanja abierta

Durante la construcción del alcantarillado pluvial, el proceso de excavación es fundamental y debe ser cuidadosamente gestionado para asegurar que el sistema funcione de manera óptima y se ajuste con las especificaciones del proyecto.

4.1.2.1 Inicio de la Excavación

- Ubicación: Se comienza en la cota más baja del plano y se avanza hacia la parte más alta.
- Objetivo: Evitar la acumulación de agua en la zanja durante el proceso de excavación y evitar problemas relacionados con la gestión de aguas subterráneas.

4.1.2.2 Conformación de la Zanja

- Equipo: Se utiliza una retroexcavadora para excavar la zanja.
- Dimensiones: La zanja debe ser adecuada tanto para la instalación de la tubería como para el almacenamiento de materiales de relleno o atraque.

4.1.2.3 Apuntalamiento de la Zanja

- Condiciones: En caso de que la excavación tenga una gran profundidad o el terreno sea inestable, se deben apuntalar las paredes de la zanja.
- Métodos de Apuntalamiento: Se utilizan estructuras de protección como láminas de madera o láminas metálicas.
- Determinación de Necesidad: La necesidad de apuntalamiento la determina el encargado del diseño del alcantarillado.

4.1.2.4 Mantenimiento de la Pendiente

- Importancia: Es crucial para asegurar que el alcantarillado funcione correctamente por efecto de gravedad y para evitar sobrecostos.
- Procedimiento: El topógrafo debe verificar que la pendiente se mantenga constante a lo largo de la excavación.
- Herramientas: Se utilizan un nivel profesional y una mira de alta precisión. La mira se coloca cada 2 metros a lo largo de la zanja.

4.1.2.5 Incremento de Cota de Excavación

- Requisito: Generalmente, la excavación debe incrementarse en 3.6 cm por cada 10 metros de avance.
- Precisión: Requiere un trabajo de alta precisión para mantener la cota adecuada.

4.1.2.6 Consideración de Materiales Adicionales

- Estabilización del Suelo: La cota final de excavación debe considerar el material adicional necesario para la estabilización del suelo y su asentamiento.
- Resultado: El nivel final de la excavación quedará ligeramente por encima de lo previsto debido a estos factores.

4.1.2.7 Excavación Principal y Secundaria

- Excavación Principal: Se refiere a la zanja para la tubería de la red matriz del alcantarillado.
- Excavaciones Secundarias: Se realizan para las redes que se conectan a la tubería principal y para las estructuras de captación y entrega de aguas lluvias. Estas excavaciones se ajustan a medida que avanza la instalación de la tubería principal.

4.1.2.8 Instalación de tuberías

Después de excavar, se procede a instalar la tubería, pero no es necesario excavar toda la longitud de la zanja de una vez, ya que esto puede provocar derrumbamientos. En lugar de eso, se excava una sección adecuada para instalar uno o dos tubos, se completa el relleno de esa sección y luego se continúa con la excavación y la instalación de nuevos tubos.

Fotografía 6

Colocación de piedra Rajón 1



Antes de instalar el tubo, es fundamental mejorar la capacidad de carga del suelo en que se colocará. Esto requiere extender y compactar una capa de material granular, siguiendo las recomendaciones del diseñador del alcantarillado, para garantizar uniformidad y estabilidad. Además, es crucial mantener la pendiente adecuada durante este proceso.

Fotografía 7

Colocación de piedra Rajón 2



Después de instalar y compactar la capa estabilizadora de rajón, se coloca una capa de gravilla para alisar la superficie y facilitar la descarga de la tubería. Esta capa es parte del material de atraque, que fija y asegura la tubería en la zanja. Una vez colocada la tubería, se verifica su posición horizontal y vertical según la topografía. Luego, se rellenan los espacios entre la zanja y la tubería con material granular, siguiendo las especificaciones y espesores detallados en los planos de perfil de atraque.

Fotografía 8*Colocación de Tubería 1***Fotografía 9***Colocación de Tubería 2*

La tubería se descarga en la zanja utilizando una retroexcavadora, que facilita su movimiento y colocación. La máquina también ayuda a empujar la tubería para que el espigo encaje en la campana del siguiente tubo, el cual está sellado con un empaque de caucho para evitar filtraciones.

Fotografía 10*Lleno de Atraque con gravilla 1***Fotografía 11***Lleno de Atraque con gravilla 2*

La colocación de la cinta de alerta sobre el atraque con gravilla pretende señalar la presencia de tuberías cercanas, para que, en futuras excavaciones en la zona, se pueda identificar fácilmente la ubicación de las tuberías.

Fotografía 12*Colocación de tuberías secundarias 1***Fotografía 13***Colocación de tuberías secundarias 2***Fotografía 14***Colocación de tuberías secundarias 3***Fotografía 15***Colocación de tuberías secundarias 4*

4.1.2.9 Rellenos

Una vez instalada la tubería y colocados los materiales de atraque, se puede rellenar el resto de la zanja con el material extraído durante la excavación en cada sección. Dado que los

alcantarillados suelen ubicarse bajo las vías vehiculares, después de completar el atraque de la tubería, se procede a realizar un relleno que imite la estructura de la vía original. Esto implica usar material granular para construir capas sucesivas hasta alcanzar el nivel del pavimento.

Fotografía 16*Relleno y acabado de la capa superior 1***Fotografía 17***Relleno ya acabado de la capa superior 2***Fotografía 18***Relleno utilizando material excavado 1***Fotografía 19***Relleno utilizando material excavado 2*

4.1.3 Proceso constructivo Tubería con metodología sin Zanja

Fotografía 20

Tubería instalada con la metodología pipe jacking

Nota. Tomada del informe técnico de julio 2023. Manija Matriz.

La Micro Tunelling Boring Machine (MTBM) es una máquina esencial para los procesos de microtunelación. Combina varias funciones y componentes clave para realizar la excavación y el avance de la tubería de manera eficiente. Sus principales sistemas son:

4.1.3.1 Herramienta de Corte:

Función: Realiza la excavación del terreno.

Características: Equipado con cuchillas o discos de corte para romper y triturar el suelo o roca al frente de la perforación.

4.1.3.2 Sistema de empuje y avance

Función: Facilita el avance de la máquina y la tubería a través del terreno.

Características: Utiliza cilindros hidráulicos para empujar la tubería y el escudo a medida que se excava.

4.1.3.3 Sistema de Retirada del Detritus

Función: Transporta el material excavado desde el frente de corte hasta el pozo de entrada.

Características: Puede incluir cintas transportadoras, tornillos sinfines, o sistemas de bombeo para trasladar el detritus.

4.1.3.4 Sistema de Láser Guía y Control Remoto

Función: Asegura que la perforación siga la alineación y dirección deseada.

Características: Emplea láseres y sensores para guiar la MTBM y realizar ajustes en tiempo real mediante control remoto.

4.1.3.5 Tubería

Función: Se instala detrás del escudo y actúa como el revestimiento del túnel excavado.

Características: Diseñada para resistir las tensiones durante el proceso de hincia y garantizar una conducción continua y segura.

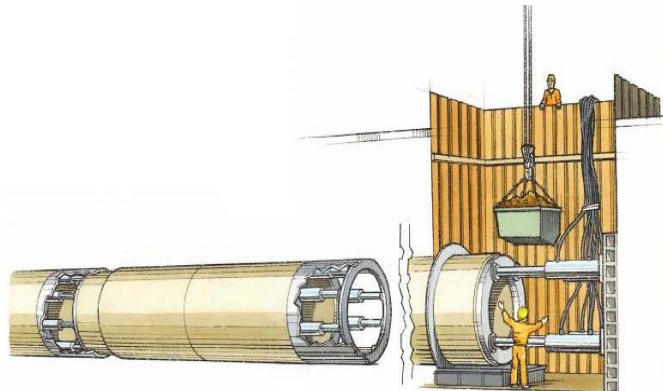
4.1.3.6 Proceso de Empuje Cíclico

Características: La MTBM opera en un ciclo continuo, el empuje de la tubería y la excavación se realizan de forma sincronizada, sin necesidad de intervención manual dentro del túnel.

4.1.3.7 Sistema de lubricación de la tubería

Figura 9

Esquema del funcionamiento y la colocación de los anillos de tubería e izado de los detritus de perforación. (Adolfo cursos)



La instalación de tubería pluvial mediante la metodología sin zanja abierta es una técnica menos invasiva que evita la excavación de zanjas a lo largo de la ruta de la tubería. Esta metodología es especialmente útil en áreas urbanas densamente pobladas o en situaciones donde es crucial minimizar el impacto en la superficie. A continuación, se describe el proceso:

a. Planificación y Diseño

- **Estudio de Campo:** Evaluación del sitio para entender las condiciones del terreno, tipo de suelo, obstáculos subterráneos y topografía.
- **Diseño del Sistema:** Elaboración de planos detallados del sistema de drenaje, especificando la ruta de la tubería, el diámetro de las tuberías y la profundidad de instalación.
- **Estudio Geotécnico:** Realización de estudios geotécnicos para identificar las características del suelo y posibles obstáculos.

b. Preparación del Sitio

- **Obtención de Permisos:** Obtención de todos los permisos exigidos por las autoridades locales y organismos reguladores.
- **Planificación del Trayecto:** Delimitación del trayecto de la perforación y ubicación de las zonas de entrada y salida.
- **Establecimiento del Sitio de Trabajo:** Preparación de las áreas de entrada y salida para la perforación, incluyendo la instalación de equipos y la implementación de medidas de seguridad.

c. Perforación Piloto

- **Instalación de la Perforadora:** Colocación de la máquina perforadora en el punto de entrada.

- **Perforación Piloto:** Ejecución de la perforación inicial con una cabeza de perforación guiada por sistemas de navegación, que permite ajustar la dirección y profundidad de la perforación según el diseño.
- **Monitoreo y Ajuste:** Monitoreo continuo de la perforación utilizando tecnología de localización y ajustes necesarios para mantener la precisión del trayecto.

d. Ensanchamiento del Agujero (Reaming)

- **Reaming:** Ampliación del agujero piloto para alcanzar el diámetro requerido para la instalación de la tubería. Este proceso se puede realizar en varios pasos, dependiendo del tamaño final necesario.
- **Fluidos de Perforación:** Uso de fluidos de perforación (bentonita o polímeros) para estabilizar el agujero, lubricar la broca y remover los recortes del suelo.

e. Instalación de la Tubería

- **Preparación de la Tubería:** Ensamblaje y alineación de las secciones de tubería en el punto de salida.
- **Tirado de la Tubería:** Enganche de la tubería a una cabeza de tracción y tirado a través del agujero ensanchado desde el punto de salida hasta el punto de entrada.

En el método de hincado de tubería, es esencial construir un pozo de entrada y otro de salida para llevar a cabo la instalación de la tubería. El tamaño y diseño de estos pozos dependen del método de excavación utilizado en cada proyecto. La ejecución del proceso de hincado se realiza desde el pozo de atraque o de hincado, avanzando en sentido ascendente con respecto a la dirección de la tubería.

Para asegurar una instalación eficiente y sin problemas, el recorrido de la tubería a instalar debería ser idealmente recto, tanto en planta como en elevación. Esto minimiza las

complicaciones durante el proceso y ayuda a garantizar una colocación precisa y estable de la tubería.

La tubería debe ser empujada de manera continua mientras avanza la excavación, asegurando que no se desplace más allá de la sección de atraque en ningún momento. Es fundamental evitar que la excavación excesiva alrededor de la tubería supere la sección del escudo de corte en el punto de contacto con el frente de atraque. En trazados que no sean perfectamente rectilíneos, es especialmente importante prevenir la formación de huecos entre la virola metálica de la estación intermedia y la tubería. Estos huecos podrían permitir la entrada de elementos extraños y causar rupturas localizadas en la tubería.

Para garantizar una reacción adecuada contra la fuerza aplicada por los gatos hidráulicos, se construye un muro de empuje. El diseño del muro de empuje debe adaptarse a las variaciones del terreno para garantizar una respuesta efectiva a las fuerzas de empuje. Además, se utiliza un anillo de empuje para distribuir las fuerzas de los gatos alrededor de la circunferencia de la tubería durante el empuje, evitando daños a la tubería.

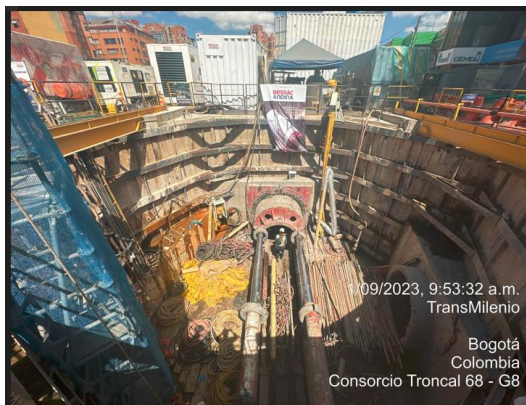
El mecanismo de propulsión incluye gatos hidráulicos, una estructura de empuje y una plataforma. La plataforma, tiene una capacidad de empuje de hasta 1000 toneladas. Esta estructura está diseñada para suministrar el nivel de presión necesario para el escudo de microtuneladora (MT). La fuerza de empuje necesaria (JF) se estima utilizando la siguiente fórmula: $JF = \pi \times OD \times L \times F$

- OD = Diámetro exterior de la tubería (m)
- L = Longitud total de perforación (m)
- F = Factor de fricción (t/m²)

Este cálculo permite estimar la magnitud de la fuerza necesaria para superar la resistencia del terreno y asegurar un avance continuo y eficiente del proceso de hinca.

Figura 10

Sistema de empuje y avance



Para asegurar una operación de hinca eficiente, se debe procurar que el proceso sea lo más continuo posible, evitando interrupciones siempre que sea factible. Esto previene el asentamiento del tubo; incluso una parada breve puede afectar el trazado, por lo que se recomienda completar el tramo en una sola operación.

Es fundamental contar con un sistema adecuado para la recolección del material excavado. La longitud máxima de hinca la determina la presión máxima que los gatos de empuje pueden ejercer sobre la tubería, teniendo en cuenta la resistencia de la tubería y la del terreno. No se debe exceder la longitud máxima de empuje sin emplear una estación intermedia, la cual debe ser calculada específicamente para cada hinca.

Las tolerancias máximas permitidas de la tubería hincada en relación a las alineaciones del proyecto, para evitar concentraciones de tensiones debido a una distribución desigual de las presiones, son las siguientes:

Siendo Diámetro nominal DN.

- En alzado: 30 mm para $DN \leq 1500$ mm y 50 mm para $DN > 1500$ mm

- En planta: 100 mm para DN 1500 mm y 200 mm para DN > 1500 mm

Fotografía 21

Instalación del primer anillo de hincia en el tubo inicial. (Fotografía en obra)



- **Inspección Inicial:** Verificación de la integridad y alineación de la tubería una vez instalada.

f. Conexión y Acabado

- **Conexión de Tuberías:** Realización de las conexiones necesarias para integrar la nueva tubería al sistema de drenaje existente.
- **Pruebas de Funcionamiento:** Realización de pruebas hidráulicas (pruebas de estanqueidad, pruebas de flujo) para asegurar que el sistema funciona correctamente y no presenta fugas.
- **Restauración del Sitio:** Restauración de las áreas de entrada y salida y cualquier otro sitio afectado durante el proceso, asegurando que el terreno quede en condiciones similares o mejores a las iniciales.

g. Mantenimiento y Monitoreo

- **Programa de Mantenimiento:** Establecimiento de un plan de mantenimiento regular para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de drenaje pluvial.

- **Monitoreo Continuo:** Implementación de sistemas de monitoreo para detectar posibles problemas y realizar intervenciones preventivas o correctivas oportunas.

h. Microtuneladora rotativa con lodo o hidroescudos

Este sistema de excavación emplea un cabezal sellado en la parte frontal de la microtuneladora para evitar la entrada de suelo o líquidos. El flujo del lodo se regula ajustando la velocidad de bombeo y se supervisa mediante sensores de presión instalados en la máquina.

El material excavado es empujado desde el frente de perforación hacia una cámara de mezcla, donde se combina con lodo. Esta mezcla de lodo y material excavado se transporta a un sistema de clasificación de sólidos, que permite reciclar el lodo para su reutilización en el proceso.

Este método es adecuado para condiciones con altos niveles freáticos y suelos blandos, ya que la presión del lodo equilibra la presión del frente y del agua subterránea. Es efectivo para rangos de tuberías con diámetros entre 250 mm y 3000 mm, y puede instalarse a distancias superiores a 2500 m.

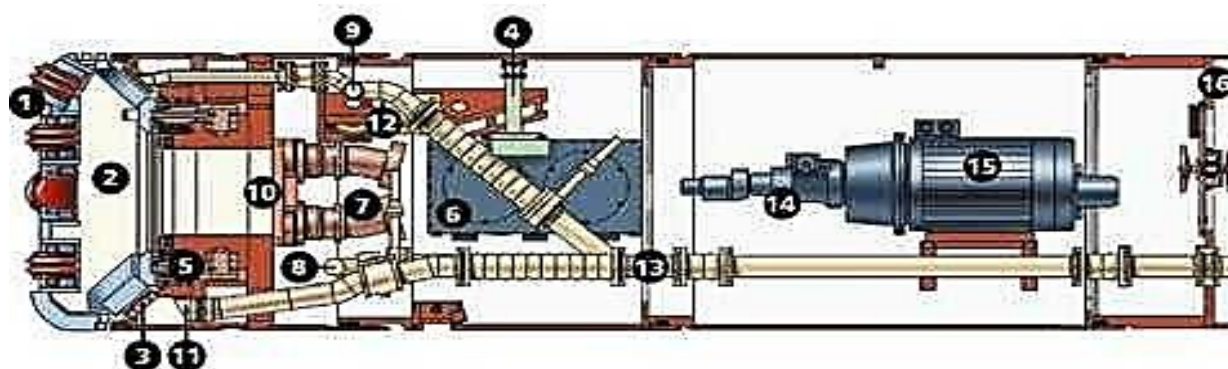
Entre las microtuneladoras bentoníticas disponibles en el mercado, se destacan aquellas equipadas con rodamiento o accionamiento periférico. Estas máquinas incluyen una puerta de acceso a la cámara de machaqueo, lo que, junto con el innovador diseño de los discos de corte, facilita el reemplazo de las herramientas de corte desde la parte trasera de la rueda de corte (cámara de machaqueo), sin requerir acceso al frente de perforación.

Estas innovaciones han incrementado la rapidez y seguridad del proceso. Ahora, las microtuneladoras para diámetros nominales (DN) de 1200 permiten esta nueva ejecución, mientras que antes, para contar con una puerta de acceso al frente, se requerían microtuneladoras

con un diámetro mínimo de DN1600. Estas novedades facilitan la realización de hincas de larga distancia en terrenos rocosos de alta dureza a partir de DN1200.

Figura 11

Diagrama de microtuneladora con acceso frontal



- | | |
|---------------------------|---|
| 1. Rueda de Corte. | 9. Toberas de inyección rueda de corte. |
| 2. Cámara de extracción | 10. Puerta de acceso. |
| 3. Machacadora. | 11. Tubería de extracción. |
| 4. Diana ELS. | 12. Cilindros de orientación. |
| 5. Rodamiento periférico. | 13. Bypass. |
| 6. Switch box. | 14. Bomba accionamiento ppal. |
| 7. Motores. | 15. Motor accionamiento ppal. |
| 8. Toberas de inyección. | 16. Puerta de esclusa |

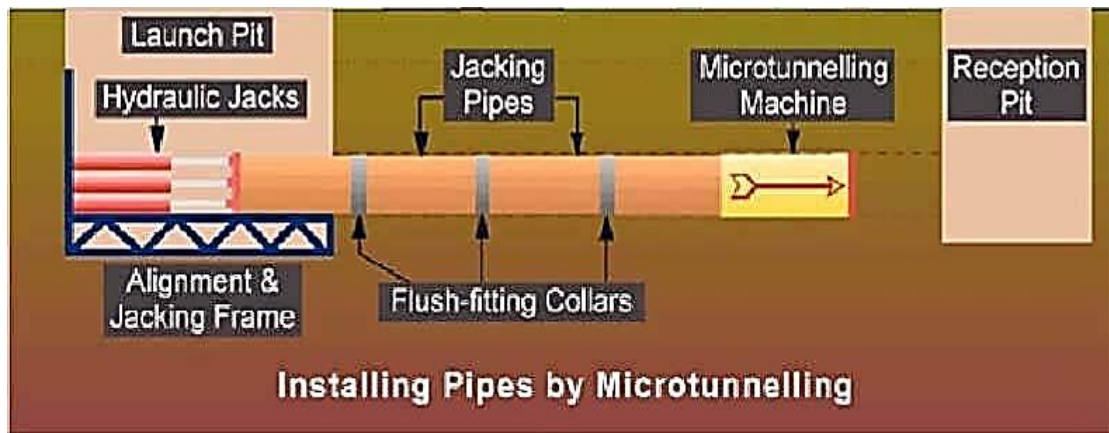
i. Extracción por aspiración:

El método de extracción de detritus desde la cabeza de corte es ideal para suelos firmes, como arenas arcillosas, arcillas y roca. Sin embargo, no es adecuado para suelos blandos situados por debajo del nivel freático. El agua producida durante la excavación y acumulada en el pozo debe ser evacuada de manera adecuada.

En la Figura 12, se presenta el esquema típico de trabajo entre una tuneladora y la hinka de tubería. Como se mencionó anteriormente, ambos métodos están estrechamente relacionados y, en algunos casos, se emplean en combinación.

Figura 12

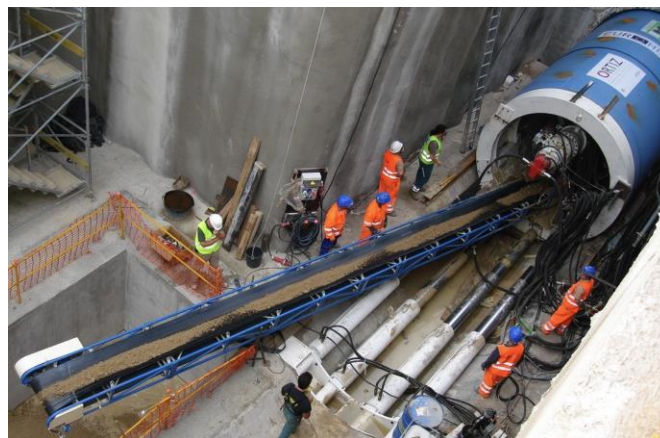
Configuración habitual del método de microtuneladora. (Grafica cortesía ISTT).



La Fotografía 22 ilustra el proceso de evacuación de detritus generados por la microtuneladora. Estos detritus son transportados a través de cinta para disposición adecuada.

Fotografía 22

Cinta transportadora para extracción de material



Fuente: Microtunnel, Projctcs. Tuneladoras de escudo cerrado.

4.1.3.8 Hincado de tuberías

Este método se utiliza para instalar tuberías subterráneas con mínima alteración en la superficie. Emplea cilindros hidráulicos para impulsar tuberías diseñadas especialmente a través del terreno. En este proceso, el tubo actúa tanto como el componente final del túnel como el

elemento de empuje para la tuneladora (Hidroescudo, Escudo Abierto o EPB). La hincada es un procedimiento cíclico en el que la tubería avanza gracias a la fuerza de los gatos hidráulicos mientras se realiza la excavación en el frente. El material excavado es transportado a través de la tubería hasta el pozo de entrada, donde se elimina. Una vez instalado un segmento, los cilindros se retraen para permitir la colocación de otro segmento y reiniciar el ciclo.

Las tuberías utilizadas pueden ser de hormigón armado (de paso único) o de fibra de vidrio reforzada o recubiertas de acero (de paso doble), y se emplean para acometidas, colectores, oleoductos, gasoductos, entre otros. En el caso de un escudo abierto, la excavación puede llevarse a cabo de manera manual (Sistema Hand Mining) o mecánica (utilizando una rozadora, picos, mini retroexcavadora u otros equipos). La excavación manual se realiza con un escudo abierto, mientras que la excavación mecánica se efectúa con un escudo equipado con rozadora o retroexcavadora.

Los escudos abiertos tienen un diámetro interno mínimo de 1200 mm y son apropiados únicamente para distancias cortas debido a consideraciones de salud y seguridad. La excavación manual se usa solo si otros métodos mecanizados no son viables. Es crucial gestionar el equipo y las prácticas para minimizar la exposición a ruidos, vibraciones y otros riesgos.

La diferencia principal entre microtunelado e hincado de tuberías es que, en hincado, los trabajadores operan dentro de la tubería durante el proceso manual, mientras que en microtunelado se utiliza una MTBM controlada remotamente. El hincado se aplica a tuberías de 150 mm a 3000 mm de diámetro, con excavación manual o mecánica dentro del escudo abierto o con una TBM. Los tubos de hormigón armado para hincado deben cumplir estrictos controles de calidad debido a los esfuerzos que deben soportar y a la necesidad de un paralelismo perfecto entre sus caras.

Los tubos de hormigón armado para hincado deben diseñarse y fabricarse bajo estrictos controles de calidad, por lo que deben soportar y la complejidad del proceso de hincado, que exige un paralelismo perfecto entre sus superficies. Cuatro aspectos fundamentales definen y condicionan el diseño de estos tubos:

- a. Limitación de la longitud útil:** La longitud útil de los tubos se limita a tres metros para prevenir el pandeo. Las superficies frontales deben ser planas y libres de irregularidades para prevenir concentraciones puntuales de carga. La norma UNE 127 010 especifica las tolerancias dimensionales permitidas para estos tubos.
- b. Zuncho metálico galvanizado:** Los tubos incorporan un zuncho metálico (virola) en uno de sus extremos. Para asegurar la estanqueidad, se coloca una junta elástica en el extremo macho del tubo, que hace tope contra la virola. Esta pletina de acero se integra durante la fabricación del tubo, conectándose a la armadura. Además, se intercalan aros de madera conglomerada entre los extremos de los tubos para evitar el descascaramiento del hormigón debido a los esfuerzos de empuje.
- c. Taladros metálicos:** Los tubos de hincado presentan taladros metálicos en sus paredes para facilitar la inyección de lodos bentoníticos, que lubrican y reducen la fricción, evitando el desmoronamiento del terreno perforado.
- d. Armadura de los tubos:** En las juntas de medio espesor, las armaduras deben extenderse desde el cuerpo del tubo hacia los extremos macho y hembra. La armadura transversal debe reforzarse en un 20% en ambos extremos del tubo, a lo largo de una longitud de $0,25 D$ con un mínimo de 25 cm. Es necesario instalar estribos que conecten la armadura exterior e interior en ambos extremos del tubo. La armadura longitudinal debe ser al menos un 10% de la armadura transversal, con una separación máxima entre barras de 40 cm.

e. Ventajas y Construcción: La técnica de hincado de tuberías ofrece menores impactos ambientales y ventajas técnicas constructivas. Se construye un pozo de atraque con un muro de reacción para soportar las presiones de empuje y un pozo de llegada para recuperar la máquina. En hincas de gran longitud, se instalan "Estaciones Intermedias" entre los tubos para distribuir los esfuerzos.

El hincado de tuberías requiere maquinaria especializada, como tuneladoras, escudos, estaciones de empuje y estaciones de bombeo de bentonita, además de tubos diseñados para soportar tensiones de empuje con uniones resistentes. Los tubos están equipados con virolas protectoras para garantizar la estanqueidad.

El avance se logra mediante el empuje de cilindros hidráulicos en el pozo de atraque sobre el tubo de hincas, que debe fabricarse siguiendo normas estrictas para soportar grandes esfuerzos sin deterioro. El sistema más común es el hincado de tuberías de hormigón armado con microtuneladora, compuesto por las siguientes partes principales:

- **Pozo de atraque:** Debe ser lo suficientemente amplio para albergar los componentes del hincado y proteger la zona de trabajo. La pared trasera debe resistir los empujes previstos durante la instalación de la tubería.
- **Cabeza perforadora o microtuneladora:** Incluye el cabezal de atraque con grupos eléctricos, oleo-hidráulicos, compresor, depósitos de aire y combustible, y coronas de corte adaptadas al tipo de terreno. Esta sección también alberga cuadros eléctricos, automatismos, estación de control y cabeza de guiado, proporcionando al operario toda la información necesaria. La estación de mando muestra la ubicación exacta de los gatos hidráulicos para dirigir la cabeza, corrigiendo posibles desviaciones de trayectoria. Estos equipos suelen incorporar un sistema de guiado por láser para monitorear la posición en tiempo real.

- **Elemento de empuje:** Está compuesto por cilindros hidráulicos adecuados al diámetro de los tubos. Utilizan una corona para distribuir los esfuerzos e impulsar los tubos hacia la perforación. Debido a que los cilindros tienen un alcance restringido, se utilizan extensores para seguir avanzando el tubo a medida que este progresa. Para tuberías de gran longitud, se instalan estaciones intermedias de empuje con cilindros de carrera corta que alternan el empuje con la estación principal. La longitud de la perforación está determinada por la presión máxima que los cilindros pueden generar y la resistencia a la compresión longitudinal de la tubería.

Este método emplea potentes gatos hidráulicos para empujar la tubería, diseñada para atravesar el terreno detrás de un escudo, mientras se excava dentro del escudo. Esto garantiza que la tubería permanezca flexible y hermética durante la excavación del túnel.

Figura 13

Inserción de tuberías con gatos hidráulicos

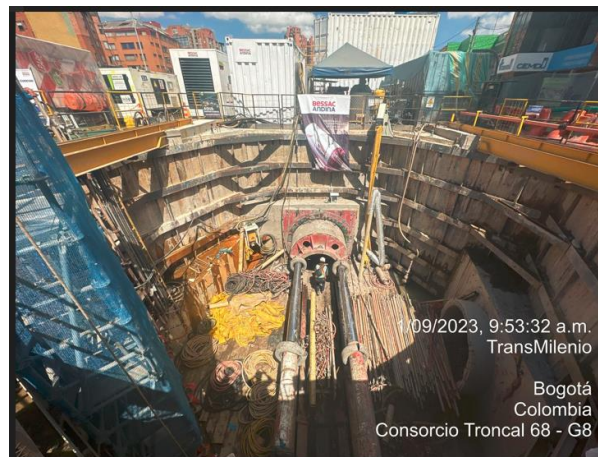
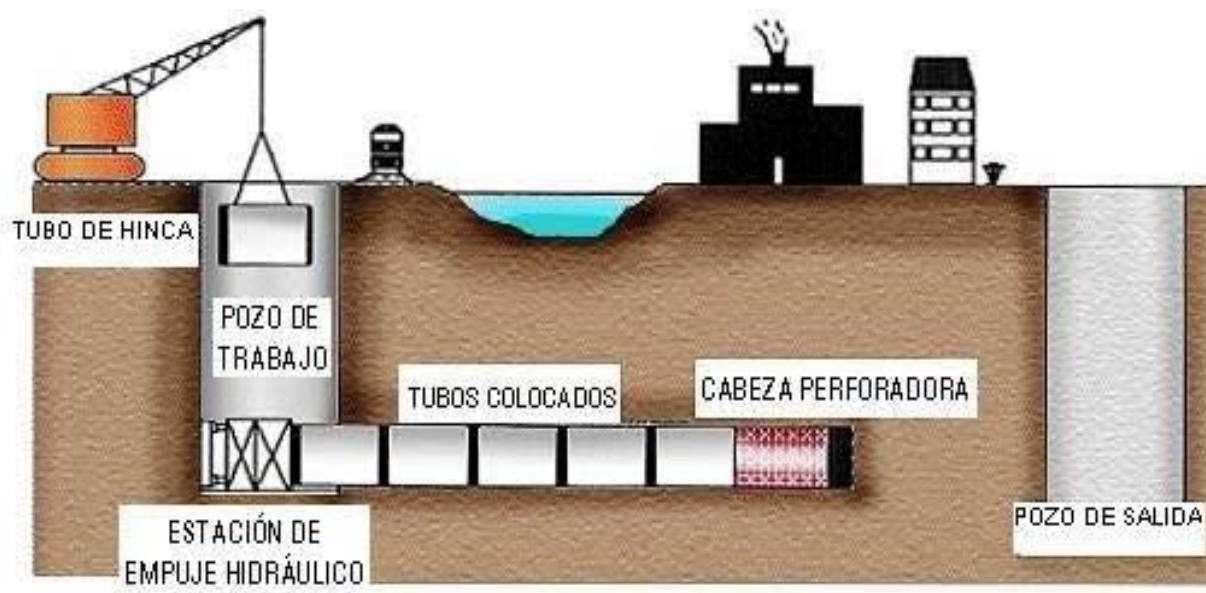


Figura 14*Diagrama de inserción*

Nota: Mínguez Santiago, Felicidad (2015). Métodos de excavación sin zanjas

Durante la colocación de tuberías de hormigón armado mediante hincado, se identifican dos tipos principales de cargas aplicadas al tubo: la presión del suelo, que proviene del relleno y puede incluir sobrecargas debido al asentamiento del terreno circundante, y la compresión longitudinal, que resulta de las presiones aplicadas por los gatos durante la instalación.

El cálculo de la carga de relleno se fundamenta en el peso del prisma de tierra que descansa sobre la perforación, las fuerzas de fricción entre dicho prisma y los prismas vecinos, así como en la cohesión del suelo.

La fuerza de empuje se divide en la fuerza en el frente de avance y la fuerza de fricción envolvente. La fuerza en el frente de avance se calcula considerando la tensión de corte del terreno, que varía entre 300 y 600 kN/m². Para la fricción envolvente, se asume una presión omnidireccional del terreno sobre el tubo, lo que representa el escenario más desfavorable. Para reducir la fricción, se utilizan productos lubricantes como la bentonita, que puede reducir la

fricción a menos de 10 kN/m². El coeficiente de fricción entre el tubo y el relleno se considera restrictivo, con un valor de $m = 20 \text{ kN/m}^2$.

Las tuberías de hormigón armado se utilizan comúnmente en redes de manejo de aguas residuales (pluviales, fecales, drenajes, etc.). También se pueden emplear tuberías de hormigón de gran diámetro para crear galerías de servicio visitables, donde se pueden instalar servicios como electricidad, telecomunicaciones o abastecimiento, manteniendo la tubería accesible.

Para el hincado de tuberías de acero, el procedimiento es parecido, pero las tuberías de acero se sueldan durante el proceso de instalación de los tramos. Las tuberías de acero se utilizan comúnmente como una vaina o camisa para alojar una tubería de producto en su interior, lo que amplía su aplicación, especialmente en abastecimiento y saneamiento. Dentro de las tuberías de acero, se pueden instalar tuberías de fundición, PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio), PVC (policloruro de vinilo), polietileno, gres, entre otros.

- ***Rango de diámetros y longitudes:*** Los diámetros más comunes para las tuberías de acero oscilan entre 1200 mm y 3000 mm. No es habitual fabricar tuberías de mayor tamaño debido a la falta de fabricantes y a las dificultades de transporte por carretera. Para diámetros mayores, el revestimiento del túnel (en el caso de tuneladoras) se realiza mediante dovelas.

El hincado por empuje puede realizarse con escudo abierto o cerrado. En el caso del escudo abierto, pueden presentarse problemas si la excavación para el hincado del tubo es insuficiente en alguna área, lo que puede no ser evidente antes del proceso de hincado. Esto puede causar un impacto o colisión entre el terreno y la tubería, lo que podría deteriorar el elemento debido a la acumulación de tensiones en ese punto. Existen cinco métodos diferentes para la excavación con hincado de tuberías, los cuales se ilustran en las figuras 15 y 16. La

elección del método dependerá de la técnica de soporte más adecuada para el tipo de terreno a atravesar:

- Con máquina cortadora de frente abierto
- Con equipo de presión de tierras
- Con miniretroexcavadora
- Con microtuneladora

La elección del sistema adecuado estará influenciada por el espacio disponible en el pozo y en el túnel, el método de excavación del suelo, el sistema de control de estabilidad de la presión en el frente de excavación y la longitud total del túnel.

Figura 15

Maquina cortadora de frente abierto



Figura 16

Equipo de presión de tierras



Nota: Microtúnel, Proyectos. Tuneladoras de escudo cerrado.

Debido al uso de sistemas de guía y control instalados en el escudo, tanto el micro túnelado como el hincado de tuberías son adecuados para instalaciones que requieren alta precisión en el trazado y nivelación de la tubería. Estos métodos se aplican comúnmente en la instalación de tuberías para el transporte de aguas residuales, redes de drenaje, conexiones de agua y gas, oleoductos, cables de telecomunicaciones y electricidad, así como sistemas de

alcantarillado. Pueden cruzar carreteras, vías férreas, ríos y estructuras, reduciendo las interrupciones típicamente asociadas con los métodos de excavación a cielo abierto.

La selección de la tubería es fundamental para el éxito y la calidad del trabajo. Las tuberías hincadas deben ser altamente resistentes y rígidas para soportar los esfuerzos del terreno. Las opciones para reparar una tubería desde el interior son limitadas en caso de rotura o fallo durante la instalación. Si ocurre una rotura cerca del inicio, se pueden añadir y empujar secciones adicionales hasta que la parte dañada sea expulsada por el pozo de salida. La tubería seleccionada debe ser capaz de soportar la fuerza de empuje de los gatos hidráulicos.

4.1.3.9 Sostenimiento y mantenimiento

Los costos de mantenimiento de tuberías de concreto presionado y revestido de acero (PCCP) pueden variar según diversos factores, como el tamaño de la tubería, su antigüedad, el entorno en el que se encuentra, el tipo y frecuencia de mantenimiento requerido. Algunos de los costos asociados con el mantenimiento de tuberías PCCP pueden incluir:

Inspecciones regulares: Para detectar posibles problemas como fisuras, corrosión, o deterioro del revestimiento, es necesario realizar inspecciones regulares, ya sea visualmente o mediante tecnologías de inspección más avanzadas como el ultrasonido o las pruebas de presión.

Reparaciones: Si se encuentran defectos durante las inspecciones, pueden requerir reparaciones desde parches simples hasta el reemplazo de secciones completas de tubería.

Limpieza: Dependiendo del entorno en el que se encuentre la tubería, puede ser necesario limpiarla regularmente para evitar obstrucciones y mantener un flujo adecuado, empleando limpiezas químicas, hidro lavado o chorro de arena, este último limpia y reduce el óxido.

Protección contra la corrosión: Las tuberías PCCP revestidas de acero pueden requerir medidas adicionales para protegerlas contra la corrosión, como el recubrimiento con materiales protectores o la aplicación de corriente catódica.

Monitoreo de condiciones: Implementar sistemas de monitoreo para detectar cambios en las condiciones de la tubería y anticipar posibles problemas antes de que ocurran fallas costosas.

Por otro lado, el mantenimiento de tuberías de concreto cilíndricas pretensadas (CCP) al igual que la anterior incluye además factores como:

- Mantenimiento preventivo: Esto puede incluir medidas para proteger las tuberías contra la corrosión, como la aplicación de recubrimientos protectores o la instalación de sistemas de monitoreo para detectar corrosión temprana, cada 24 meses.
- Reemplazo o rehabilitación: Eventualmente, las tuberías CCP pueden llegar al final de su vida útil de 50 a 100 años, norma NTC 747 y requerir reemplazo o rehabilitación. Estos proyectos pueden ser costosos y deben planificarse con anticipación para minimizar interrupciones en el suministro de agua u otros servicios.

Los costos específicos de mantenimiento de las tuberías CCP varían según las condiciones locales y necesidades de mantenimiento específicas de cada sistema de tuberías. Es importante realizar evaluaciones regulares de las condiciones de las tuberías y efectuar un plan de mantenimiento para garantizar su funcionamiento seguro y eficiente a lo largo del tiempo.

4.2 Aspectos geotécnicos

La segunda variable analizada se refiere a los aspectos geotécnicos relevantes en el proyecto para ambas metodologías.

Los resultados que arroja esta investigación señalan que los últimos estudios realizados por la consultoría CONTELAC fueron elaborados con base en estudios previos, los cuales tenían

sus resultados más recientes en el año 2013, sin embargo, la obra inicio su ejecución en el 2020, a lo cual la Sociedad Colombiana de Geotecnia, refiere, que los estudios geotécnicos tienen una validez de entre 1 a 5 años previo al inicio de las actividades constructivas, tiempos que probablemente ha influido en los retrasos de la obra, ya que a la hora de su ejecución se han encontrado con diferentes características del terreno que no se tenían previstas.

Desde la perspectiva de (Ingeominas, 1995) Bogotá se localiza sobre un extenso relleno sedimentario que conforma la sabana de Bogotá y se encuentra rodeada por cerros constituidos por rocas tipo areniscas, arcillolitas y conglomerados. A continuación, se presenta la descripción resumida de las unidades geológicas, cuyos detalles se pueden consultar en la memoria geológica y que se encuentran dentro del área de influencia de la zona de estudio tramo sur.

4.2.1 Unidades Geológicas

Formaciones rocosas: En la ciudad de Bogotá afloran rocas sedimentarias de origen marino y continental, estas formaciones, ordenadas de la más antigua a la más reciente, incluyen: Chipaque (Ksch), Guadalupe (Ksg), Arenisca dura (Ksgd), Plaeners (Ksgp), Labor-Tierra (Ksglt), Guaduas (Ktg), Cacho (Tpc), Bogotá (Tpb), Arenisca La regadera (Ter) y Usme (Tu). Dentro del área de estudio, hacia el piedemonte sur occidental, se encuentra afloramientos de la formación Guaduas.

Suelo Residual (Qrs): Es el material resultante de la meteorización de las rocas y es significativo debido a su espesor, que puede alcanzar hasta 10 metros, especialmente en la parte suroriental de la ciudad. Dado que estos suelos son predominantemente arcillosos, presentan baja permeabilidad y un comportamiento geomecánico deficiente. Las formaciones de composición arcillosa que han favorecido el desarrollo extensivo de estos suelos incluyen: Chipaque, Plaeners, Guaduas, Bogotá, Usme y La Regadera.

Derrubios de Pendiente (Qdp): Con depósitos formados por la fracturación, meteorización y erosión de rocas preexistentes, que han sido trasladados por la acción de la gravedad y se han acumulado en las secciones media e inferior de las laderas. Los mejores afloramientos se encuentran en los piedemontes orientales, suroriental y suroccidental. En el área de estudio se identifican dos tipos de depósitos de esta categoría: los coluviones, que presentan una predominancia de matriz fina sobre el material grueso, y los taludes, donde predominan los materiales gruesos.

Complejo de Conos o Abanicos (Qcc): Esta unidad incluye el Cono del Río Tunjuelo, el Cono de Terreros, los Depósitos de Flujos Torrenciales y los Conos del piedemonte oriental de Bogotá, como los de San Cristóbal y Claret, entre otros. La composición, textura, espesor y edad varían para cada depósito, dependiendo de las fuentes de aporte, la distancia y el tipo de transporte. En general, esta unidad se caracteriza por bancos de bloques, guijarros y cantos rodados en una matriz areno-arcillosa en las zonas superiores, y por materiales predominantemente arenosos y limos arcillosos en las áreas más distales.

Depósitos Fluvio – Lacustre (Terraza Alta, Qta): Conocida también como Formación Sabana, según Hubach (1957) y Helmens (1990), este depósito está compuesto por arcillas plásticas que contienen lentes de arena suelta y capas intercaladas de cenizas volcánicas. En algunos sectores, se encuentran varios niveles de turbas con espesores de hasta 1 metro. Esta unidad representa el relleno más significativo de la Sabana, originándose en un entorno lacustre.

Depósitos Fluvio – Lacustre (Terraza Baja, Qtb): Conocida también como Formación Chía, según Helmens (1990), esta unidad corresponde a depósitos formados por los ríos Bogotá, Tunjuelo, Juan Amarillo y Fucha. Exhibe geoformas planas a ligeramente onduladas, con escasa disectación, que se elevan en promedio unos 5 metros sobre las llanuras aluviales. Su

composición está predominantemente constituida por materiales limo-arcillosos y se considera que su ambiente de deposición es fluvial.

Llanura de Inundación (Qlla): Conocida también como Formación Chía según Helmens (1990), esta unidad incluye los depósitos más recientes de los ríos Bogotá, Tunjuelo y algunos de sus afluentes. Estos depósitos están compuestos principalmente por arcillas y limos, con un espesor promedio de 5 metros, y se formaron en un entorno fluvial y, en algunos casos, lacustre.

Rellenos de Basuras (Qb): Está conformado por los desechos sólidos que produce la ciudad y se concentran en los rellenos sanitarios de: El Cortijo, Gibraltar, Santa Cecilia y Doña Juana.

Rellenos de Excavación (Qr): Estos depósitos son el resultado de actividades humanas destinadas a la modificación de terrenos, especialmente en áreas de humedales deprimidos. Son comunes en diversas partes de la ciudad, incluyendo los alrededores de Guaymaral, el Aeropuerto El Dorado, la Autopista Norte y el norte de Bosa.

4.2.2 Análisis Geotécnico para la instalación de tubería metodología de zanja abierta

Las características geomecánicas de los materiales que atraviesa la red proyectada se definieron de acuerdo con la información recolectada de sondeos, condiciones geológicas y geotécnicas de exploraciones ejecutadas en el proyecto. Teniendo en cuenta la zonificación geotécnica del corredor de las conducciones y el trazado geométrico del alineamiento, se evaluaron profundidades de excavación de 3 metros a 8 metros de profundidad partiendo de que la tubería debe tener como mínimo un metro de cobertura.

Los tramos proyectados de instalación por zanja cruzan varias zonas geotécnicas las cuales presentan diferentes estratigrafías y parámetros de resistencia y clasificación, estas propiedades se tomaron para los respectivos análisis y las cuales presentan a continuación:

Prof.: Profundidad

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación del Suelo.

GW : Grava bien gradada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.

GP : Grava mal gradada, mezclas grava – arena, poco o ningún fino.

GM : Grava limosa, mezclas grava, arena, limo.

GC : Grava arcillosa, mezclas grava – arena arcillosas.

SW : Arena bien gradada.

SP : Arena mal gradada, arenas gravosas, poco o ningún fino.

SM : Arenas limosas, mezclas arena – limo.

SC : Arenas arcillosas, mezclas arena – arcilla.

ML : Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas.

CL : Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras (pulpa)

OL : Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.

MH : Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos (ambiente marino, naturaleza orgánica silíceo), suelos elásticos.

CH : Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.

OH : Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.

T : Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente orgánicos.

Y (KN/m³): Densidad de peso en Kilo newtons por metro cúbico.

Cu: Coeficiente de uniformidad

ϕ :Angulo de fricción interno del suelo

E0: Relación de vacíos.

Cc: Coeficiente de curvatura

Cr: Compacidad relativa

RSC: Relación de sobre consolidación

Tabla 5

Perfil geotécnico Manija Av. Boyacá-ZG 1, Tramo K00+000.00 a K00+419.41

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m3)	Cu (KPa)	ϕ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	2	Relleno:arena limosa	SC-SM	18.30		38	2400				18.00
2	4	Arcilla y limoarcilloso	CH-MH	17.06	48		12000	1	0.38	0.06	6.01
4	7.5	Arcilla con material orgánico	CH	16.30	38		9500	3.3	1.06	0.15	2.20
7.5	15	Arcilla con material orgánico	CH	15.34	25		6250	3.1	1.18	0.13	1.03
15	26	Arcilla con material orgánico	CH	15.08	28		7000	3.6	1.44	0.15	1.00

Nota. Contelac SAS.

Tabla 6

Perfil geotécnico Manija Av. Boyacá-ZG 5, Tramo K05+434.37 a K05+855.56 y K05+880.79 a K06+700.00

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m3)	Cu (KPa)	ϕ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	2	arena limo arcillosa	SM/ML	18.00		36	17280				18.00

2	5	Arcilla limosa y limos arenosos	CL-ML	17.00	40		10000	1.4	0.4	0.07	6.00
5	13	Arcilla limosa	CH-MH	16.70	29		7250	1.4	0.68	0.09	2.00
13	19	Arcilla limoarcillosa con presencia de m.o.	CH	15.60	35		8750	3.4	1.08	0.13	1.60
19	23	Arcilla con material orgánico	CH	15.50	38		9500	3.4	1.05	0.13	1.40
23	30	Arcilla con material orgánico	CH	16.70	46		11500	2.9	1.05	0.13	1.40

Nota: Contelac SAS.

Tabla 7

Perfil geotécnico Manija Av. Boyacá-ZG 6, Tramo K06+700.00 a K07+140.40 y K07+201.89 a K07+500.16

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m3)	Cu (KPa)	ϕ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	2	arena limo arcillosa	SM/ML	17.70		36	17200	0.6			18.00
2	6	Arcilla y limoarcilloso	CL/ML	17.30	38		9500	1.6	0.42	0.06	5.50
6	10	Arcilla y limoarcilloso	CL/ML	16.80	48		12750	1.5	0.62	0.08	4.00
10	13.5	Arcilla limosa	SM	18.10		36	25500	1.5	0.62	0.05	3.00
13.5	19	Arcilla limosa	CL-ML	16.40	61		15250	1.9	0.77	0.03	2.00
19	23	Arcilla limosa	CL-ML	17.50	65		16250	2	0.85	0.11	1.50

Nota: Contelac SAS.

Tabla 8

Perfil geotécnico Manija Av. Boyacá-ZG 7, Tramo K09+601.57 a K10+780.00

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m3)	Cu (KPa)	φ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	1.5	Relleno: Arena con limo y arcilla	SM/ML	18.50		36	21000	0.3			18.00
1.5	4.2	Arcilla con capas de limo arcilloso	CL	17.90	45		11250	0.5	0.2	0.04	6.60
4.2	7.5	Arcilla con capas de limo arcilloso	SM/ML	18.20	64		21040	0.7			5.80
7.5	10	Arcilla con capas de limo arcilloso	CL	18.30	51	36	12750	0.7	0.24	0.05	5.20
10	11.2	Arcilla con capas de limo arcilloso	SM/ML	18.10	61		22500	0.9			6.25
11.2	15.5	Arcilla con capas de limo arcilloso	CL	17.40	82		20500	1.4	0.53	0.07	3.96
15.5	16.5	Arcilla con capas de limo arcilloso	SM/ML	19.00			36070				6.32
16.5	18.5	Arcilla con capas de limo arcilloso	CL	17.70	90		22500	1.3	0.49	0.07	2.35
18.5	19.5	Arcilla con capas de limo arcilloso	SM/ML	18.00			30000				2.71
19.5	23	Arcilla con capas de limo arcilloso	CL	18.90	95		23750	0.8	0.28	0.05	3.00

Nota: Contelac SAS.

Tabla 9

Perfil geotécnico Manija Av. Boyacá-ZG 8, Tramo K10+780.00 a K10+890.22

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m3)	Cu (KPa)	φ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	2	Relleno: Recebo y arcilla limosa	SM-ML	17.90		35	16350				
2	5.8	Arcilla limo arenosa	CL	18.00	81		20250	0.7	0.3	0.05	2.00
5.8	6.5	Arena limosa	SM	18.10	59	35	18700				
6.5	12	Arena limosa	CL-ML	17.50	72		18000	0.5	0.18	0.04	3.70
12	13.4	Arcilla limo arcillosa	SC-SM	18.90		39	33800				
13.4	15	Arena limosa	CL	17.90	80		20000	0.9	0.32	0.06	2.90
15	16.2	Arena limosa	SM	19.10		36	27800				
16.2	17	Arcilla arenosa	CL	18.00	120		30000	0.9	0.34	0.06	3.4
17	19.3	Arcilla limo arcillosa	SM	18.40		38	32300				
19.3	20.2	Arcilla	CL	18.30	170		42500	0.9	0.34	0.06	3.4
20.2	21.6	Arena limosa	SM	18.50		38	37500				
21.6	22.4	Arcilla limosa	CL-ML	18.80	180		45000	0.9	0.34	0.06	2.9
22.4	23	Arcilla limosa	SM	19.50		34	27052				

Nota: Contelac SAS.

Tabla 10

Perfil geotécnico Manija Av. Boyacá-ZG 9, Tramo K12+485.90 a K12+538.63

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m3)	Cu (KPa)	φ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	0.5	Relleno	GP-GC	19.00		38	12949				

0.5	1.6	Arcilla limosa	CL	17.50	84		21000	0.7	0.27	0.05	10.00
1.6	4.5	Arena de grano fino	SC	20.20	96	32	16500				
4.5	7.5	Arcilla areno limosa	CL	16.60	51		10750	0.9	0.32	0.04	5.20
7.5	9.5	Arena de grano fino	SP-SC	21.80	100	36	30400				
9.5	11	Arena arcilla suelta	SC	16.00	31	24	5250				
11	15.5	Arena arcillo limoso	SC	19.50	108	38	36800				
15.5	17	Turba	PT	13.50	91		22750	0.9	0.29	0.05	2.30
17	15.5	Arena arcillo limosa	SC	17.70	83		20750				
15.5	28	Turba	PT	13.50	91		22750	0.9	0.34	0.06	2.00

Nota: Contelac SAS.

4.2.3 Análisis Geotécnico para la instalación de tubería metodología sin zanja de Pipe

Jacking

Los análisis geotécnicos de los tramos por los que transcurre la instalación de la tubería de metodología sin zanja Pipe Jacking, teniendo en cuenta la estabilidad y deformaciones del terreno en superficie debido a la excedencia o cedencia de la presión ejercida por el escudo del túnel, estableciendo esfuerzos admisibles mínimos y máximos a la cara externa del túnel. Los análisis se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 11

Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 1, Tramo K00+420.00 a K01+140.00

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m3)	Cu (KPa)	ϕ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	2	Relleno: arena limosa	SC-SM	18.30		38	2400				18.00
2	4	Arcilla y limoarcilloso	CH-MH	17.06	48		12000	1	0.38	0.06	6.01

4	7.5	Arcilla con material orgánico	CH	16.30	38		9500	3.3	1.06	0.15	2.20
7.5	15	Arcilla con material orgánico	CH	15.34	25		6250	3.1	1.18	0.13	1.03
15	26	Arcilla con material orgánico	CH	15.08	28		7000	3.6	1.44	0.15	1.00

Nota: Contelac SAS.

Tabla 12

Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 2, tramo K01+140.00 a K02+140.00

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m ³)	Cu (KPa)	ϕ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	2	Limo arenoso	ML	16.30		37	19500				18.00
2	4.5	Limo arenoso y limo arcilloso	ML/SM	15.70	18		4500	2.8	1.06	0.07	1.16
4.5	8.5	Arcilla	CH	15.30	24		6000	4.1	2.02	0.09	1.15
8.5	16	Arcilla	CH	14.50	20		5000	3.9	1.81	0.1	1.10
16	18	Arcilla	CH	14.60	24		6000	3.1	1.28	0.15	1.00
18	20	Arcilla	CH	14.50	28		7000	3.7	1.56	0.17	1.02

Nota: Contelac SAS.

Tabla 13

Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 3, tramo K02+140.00 a K03+640.00

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m ³)	Cu (KPa)	ϕ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	2	Arcillas y arenas limosas	CL/SM	16.50	46		11500				12.14
2	10	Arcilla a arcilla limosa	CH/ML	14.50	23		5750	2.7	1.1	1.1	1.68

10	20	Arcilla a arcilla limosa	CH	14.80	22		5500	3.4	3.4	1.53	1.49
20	27	Arcilla a arcilla limosa	CH	15.00	31		7750	3.4	3.4	1.53	1.49
27	35	Arcilla a arcilla limosa	CH	15.10	37		9250	3.4	3.4	1.53	1.49

Nota: Contelac SAS.

Tabla 14

Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 4, tramo K03+640.00 a K04+487.61

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m3)	Cu (KPa)	φ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	2	Relleno: arena limo arcillosa	SM	17.00		36	24000				15.00
2	6	Arcilla con presencia de m.o.	CH	15.50	28		7000	2.7	0.93	0.11	2.34
6	17	Arcilla con presencia de m.o.	CH	14.90	25		6250	3.2	1.47	0.15	1.50
17	21	Arcilla	CH	15.00	30		7500	3	1.13	0.13	1.16
21	24	Arcilla	CH	15.20	40		10000	2.9	1.1	0.13	1.14

Nota: Contelac SAS.

Tabla 15

Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 5, tramo K03+640.00 a K04+487.61

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m3)	Cu (KPa)	φ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	2	Arena limo arcillosa	SM/ML	18.00		36	17280				18.00
2	5	Arcilla limosa y limos arenosos	CL-ML	17.00	40		10000	1.4	0.4	0.07	6.00

5	13	Arcilla limosa	CH/MH	16.70	29		7250	1.4	0.68	0.09	2.00
13	19	Arcilla limosa con presencia de m.o.	CH	15.60	35		8750	3.4	1.08	0.13	1.60
19	23	Arcilla con presencia de m. organica	CH	15.50	38		9500	3.4	1.05	0.13	1.40
23	30	Arcilla con presencia de m. organica	CH	16.70	46		11500	2.9	1.05	0.13	1.40

Nota: Contelac SAS.

Tabla 16

Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 6, tramos K08+318.08 a K08+904.95

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m3)	Cu (KPa)	φ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	2	Arena limo arcillosa	SM/ML	17.70		36	17200	0.6			18.00
2	6	Arcilla y limo arcilloso	CL-ML	17.30	38		9500	1.6	0.42	0.06	5.50
6	10	Arcilla y limo arcilloso	CL/ML	16.80	48		12750	1.5	0.62	0.08	4.00
10	13.5	Arcilla limosa	SM	18.10		36	25500	1.5	0.62	0.05	3.00
13.5	19	Arcilla limosa	CL-ML	16.40	61		15250	1.9	0.77	0.03	2.00
19	23	Arcilla limosa	CL-ML	17.50	65		16250	2	0.85	0.11	1.50

Nota: Contelac SAS.

Tabla 17

Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 7, tramo K03+640.00 a K04+487.61

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m3)	Cu (KPa)	ϕ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	1.5	Relleno: Arena con limo y arcilla	SM/ML	18.50		38	21000	0.3			18.00
1.5	4.2	Arcilla con capas de limo arcilloso	CL	17.90	45		11250	0.5	0.2	0.04	6.60
4.2	7.5	Arena con capas de limo arcilloso	SM/ML	18.20	64	39	12750	0.7			5.80
7.5	10	Arcilla con capas de limo arcilloso	CL	18.30	51		12750	0.7	0.24	0.05	5.20
13.5	19	Arena con capas de limo arcilloso	SM/ML	18.10	61	35	22500	0.9			6.25
		Arcilla con capas de limo arcilloso	CL	17.40	82		20500	1.4	0.53	0.07	3.96
		Arena con capas de limo arcilloso	SM/ML	19.00		39	36070				6.32
		Arcilla con capas de limo arcilloso	CL	17.70	90		22500	1.3	0.49	0.07	2.35
		Arena con capas de limo arcilloso	SM/ML	18.00		36					2.71
19	23	Arcilla con capas de limo arcilloso	CL	18.90	95		23750	0.8	0.28	0.05	3.00

Nota: Contelac SAS.

Tabla 18

Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 8, tramo K10+864.93 a K12+180.00

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m3)	Cu (KPa)	φ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	2	Relleno: Recebo y arcilla limosa	SM-ML	17.90		35	16350				
2	5.8	Arcilla limo arenosa	CL	18.00	81		20250	0.7	0.3	0.05	2.00
5.8	6.5	Arena limosa	SM	18.10	59	35	18700				
6.5	12	Arena limosa	CL-ML	17.50	72		18000	0.5	0.18	0.04	3.70
12	13.4	Arcilla limo arcillosa	SC-SM	18.90		39	33800				
13.4	15	Arena limosa	CL	17.90	80		20000	0.9	0.32	0.06	2.90
15	16.2	Arena limosa	SM	19.10		36	27800				
16.2	17	Arcilla arenosa	CL	18.00	120		30000	0.9	0.34	0.06	3.4
17	19.3	Arcilla limo arcillosa	SM	18.40		38	32300				
19.3	20.2	Arcilla	CL	18.30	170		42500	0.9	0.34	0.06	3.4
20.2	21.6	Arena limosa	SM	18.50		38	37500				
21.6	22.4	Arcilla limosa	CL-ML	18.80	180		45000	0.9	0.34	0.06	2.9
22.4	23	Arcilla limosa	SM	19.50		34	27052				

Nota: Contelac SAS.

Tabla 19

Perfil geotécnico manija av. Boyacá – ZG 9, tramo K12+180.00 a K12+492.59

Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descripción material	SUCS	Y (KN/m3)	Cu (KPa)	φ (°)	E (Kpa)	E0	Cc	Cr	RSC
0	2	Arena limosa	SM	17.26		41	16400				
2	5	Limo arcillo arenoso	CL	18.14	70		17500	0.7	0.27	0.05	10.00

5	7	Limo arenoso	ML	18.22		38	23000				
7	9.5	Arena limo arcillosa	SM	17.74		37	24400				
9.5	13	Arcilla	CL	17.18	52		13000	0.8	0.3	0.04	7.6
13	18.5	Arena limosa	SM	19.58		36	42300				
18.5	23	Limo arcillo arenoso	ML	18.63	88		22000	0.9	0.32	0.04	5.20
23	25.5	Arena arcillo limosa	SC	17.70	83		20750	0.9	0.32	0.04	5.20
25.5	28	Turba	PT	13.50	91		22750	0.9	0.34	0.06	2.00
28	29	Arena	SP-SC	18.50		40	63120				

Nota: Contelac SAS.

El trazado de la línea de tubería se encuentra con depósitos aluvial y lagunar de renas de grano fino o que constituyen colinas redondeadas, a veces alargadas, que se conforman por gravas y arenas. La metodología de zanja abierta y la metodología sin zanja Pipe Jacking son aptas para este tipo de suelos.

Las dos metodologías resultan aptas para el tipo de suelo presente en la zona de influencia del proyecto, se realizaron los mismos ensayos para ambas metodologías y se utilizan los mismos parámetros.

Podemos concluir que la principal diferencia con relación a los aspectos geotécnicos es que en la metodología con zanja abierta se presentan derrumbes durante la construcción de la zanja por escorrentía que llega al fondo de las excavaciones. Para evacuar el flujo de agua hacia tales excavaciones, se necesita mantener un equipo de bombeo permanente con la capacidad necesaria para la evacuación del agua de infiltración y escorrentía.

Se deduce que, debido a las características de los materiales hallados en la exploración, la instalación de tuberías en zanja representa riesgos muy altos en términos de: (1) Retrasos por la dificultad en la excavación y contención y (2) Problemas de falla de fondo de zanja.

Así mismo, tomando en consideración el perfil estratigráfico del subsuelo del sector según registros de exploración geotécnica, donde se construye el colector pluvial, se identificó la presencia de arcillas de alta plasticidad y compresibilidad, con niveles freáticos superficiales. Estas condiciones geotécnicas pueden presentar asentamientos y afectar las edificaciones vecinas durante la ejecución de las excavaciones profundas.

4.3 Análisis de variable presupuestal

En la Tabla 20 se relacionan los meses donde se cumple o no el presupuesto programado.

Tabla 20

Ejecución de lo programado

Período	Año	¿Se ejecutó lo programado?
Marzo	2020	Si
Mayo	2020	No
Julio	2020	No
Septiembre	2020	No
Noviembre	2020	Si
Enero	2021	Si
Marzo	2021	Si
Mayo	2021	Si
Julio	2021	No
Septiembre	2021	No
Noviembre	2021	No
Enero	2022	No
Marzo	2022	No
Abril	2022	No
Junio	2022	No
Agosto	2022	No
Octubre	2022	No
Diciembre	2022	Si
Febrero	2023	No
Abril	2023	No
Junio	2023	No
Agosto	2023	No
Octubre	2023	No
Noviembre	2023	No

Diciembre	2023	Si
Enero	2024	Si
Febrero	2024	Si
Marzo	2024	No

Nota. Ejecución de lo programado. Elaboración propia.

Tabla 21

Presupuesto ejecutado

	Presupuesto	Mes	Año	Porcentaje
Total	\$ 262.616.143.269	Septiembre	2024	100%
Ejecutado	\$ 204.840.591.750	Marzo	2024	78%

Nota. Presupuesto ejecutado. Elaboración propia.

Figura 17

Presupuesto programado. Elaboración propia



Las actividades y presupuesto programado no han sido ejecutados totalmente como se consignó en la programación inicial, razones por las cuales la obra ha sido prorrogada dos veces, a la fecha y se encuentra actualmente en trámite para una tercera prórroga, hasta el mes de septiembre del presente año.

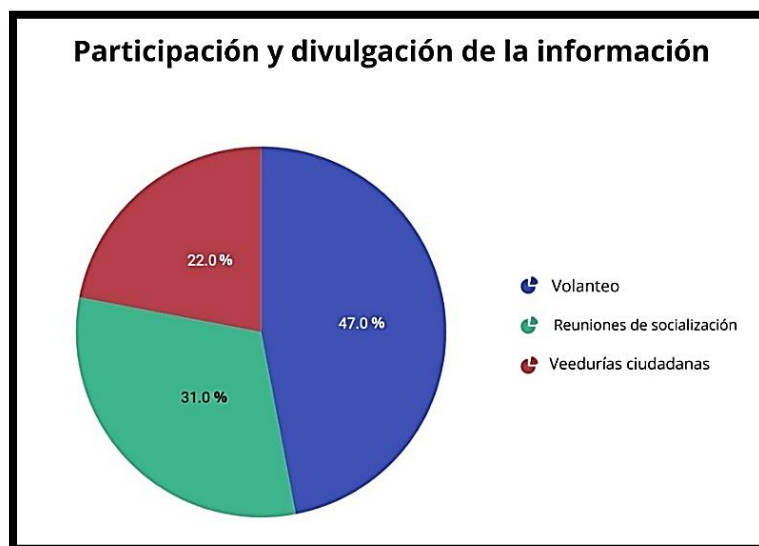
Diferentes factores han influido en los atrasos entre ellos el más relevante son los resultados de las pruebas hidrostáticas y la calidad de la tubería de CCP, instalada en los tramos de zanja abierta.

4.4 Análisis de variable social

Para el análisis del componente social se evaluaron las estrategias de participación divulgación de información.

Figura 18

Participación divulgación de información. Elaboración propia

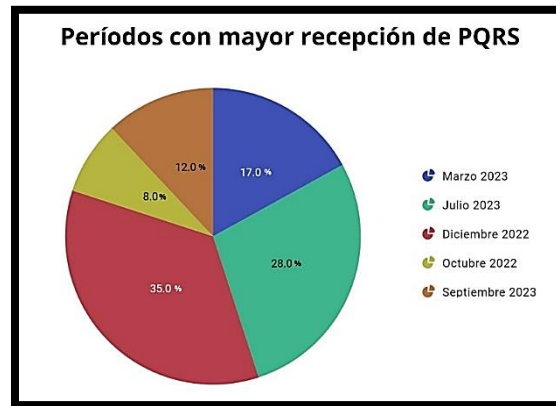


Aunque se evidencia el cumplimiento del plan de gestión social del contratista, este se ha quedado corto para atender y mantener informada a la comunidad aledaña a la zona de influencia del proyecto. Razones que han requerido extender las actividades del plan de gestión social especialmente, en el programa de comunicación e incluso ha sido necesaria la contratación de más personal del contractual para el componente social.

4.4.1 Períodos con mayor recepción de PQRS

Figura 19

Períodos con mayor recepción de PQRS. Elaboración propia

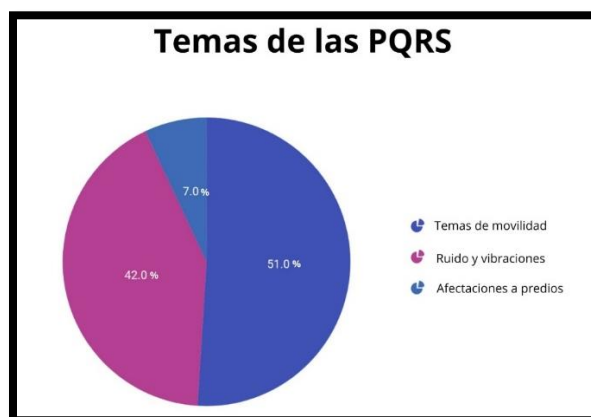


El aumento en las PQRS, ha sido progresivo, dado la extensión en plazos de la obra y las molestias e inconformidades que esto ha causado a la comunidad. Además, los meses señalados en la gráfica coinciden con el inicio de actividades constructivas, en los pozos de hincados de tablaestaca. Se considera que a medida que ha ido avanzando la obra con metodología a zanja abierta, la sensación de malestar se registra con el aumento de quejas.

4.4.2 Temas recurrentes en las PQRS

Figura 20

Temas recurrentes en las PQRS. Elaboración propia



El ruido y vibraciones causados por los tramos donde se hinca la tabla estacada ha sido uno de los temas que ha generado mayores molestias a la comunidad, así como la duración de los cierres y desvíos viales, que, dados los atrasos de la obra, ha tenido que ser extendidos.

A partir del aumento en las PQRS, se han implementado planes de contingencia, de atención al usuario, reuniones, socializaciones, jornadas de información y volanteo adicionales a las estipuladas en el plan de gestión social, aspecto que se resalta como positivo dentro de la ejecución de la obra, ya que se espera que aminore y minimice las inconformidades de la comunidad.

4.5 Análisis de variable Plan de manejo ambiental

Figura 21

Plan de manejo ambiental. Elaboración propia



Otro aspecto para resaltar como positivo a pesar de los atrasos y las quejas por parte de la comunidad, es el buen cumplimiento y seguimiento de la norma ambiental, durante la ejecución del proyecto. Se señala que la comunidad se ha manifestado en contra del traslado de los

individuos arbóreos, para lo que se ha socializado los motivos técnicos y se ha invitado a la veeduría ciudadana para vigilar el cumplimiento de la norma en dicha actividad.

4.6 Análisis variable de vida útil

4.6.1 Vida útil Metodología a zanja abierta

La vida útil de una tubería de concreto instalada mediante la metodología de zanja abierta puede variar según varios factores. Sin embargo, generalmente, las tuberías de concreto tienen una vida útil considerablemente larga si se instalan y mantienen adecuadamente. A continuación, se detallan los factores que determinan la vida útil y una estimación general:

a) Factores que Afectan la Vida Útil de las Tuberías de Concreto

Calidad del Concreto:

- **Composición:** La calidad del concreto, incluyendo la mezcla de cemento, agregados, y aditivos, es crucial para la durabilidad. Un concreto bien diseñado y curado tiene una vida útil más prolongada.
- **Resistencia:** La resistencia a la compresión del concreto afecta su durabilidad. Las tuberías deben cumplir con las especificaciones de resistencia para soportar las cargas y presiones operativas.

Condiciones del Entorno:

- **Corrosividad del Suelo:** Los suelos agresivos, como aquellos con alta concentración de sulfatos o cloruros, pueden acelerar la degradación del concreto. Se pueden usar mezclas especiales de concreto o revestimientos protectores para mitigar estos efectos.
- **Nivel Freático:** El agua subterránea puede afectar el concreto, especialmente si hay un riesgo de corrosión por contacto con agua salina o ácida.

Condiciones de Operación:

- **Carga y Tráfico:** La capacidad de la tubería para soportar cargas externas (como el tráfico vehicular) sin deformarse es esencial. Las tuberías deben ser diseñadas para las cargas esperadas.
- **Presión Interna:** La presión de los fluidos dentro de la tubería también afecta su durabilidad. Las tuberías deben ser adecuadas para la presión de trabajo a la que estarán sometidas.

Instalación:

- **Técnica de Instalación:** En la zanja abierta, la correcta instalación incluye la preparación del lecho de la zanja, el posicionamiento y el alineamiento de las tuberías, y el adecuado relleno y compactación del terreno. Un mal proceso de instalación puede reducir la vida útil.
- **Protección:** El concreto puede estar expuesto a condiciones adversas durante la instalación. Las prácticas de protección, como evitar la exposición prolongada al agua o a sustancias químicas, son importantes.

Mantenimiento:

- **Inspección Regular:** La revisión periódica para detectar daños o signos de deterioro puede ayudar a prolongar la vida útil.
- **Reparaciones:** Las reparaciones oportunas pueden evitar que problemas menores se conviertan en fallos importantes.
- Para las tuberías de concreto instaladas mediante zanja abierta, la vida útil promedio es de 50 a 100 años.

4.6.2 Vida útil Metodología sin zanja

La vida útil de las tuberías de concreto instaladas mediante métodos sin zanja, puede ser bastante larga, similar a las tuberías instaladas mediante la metodología de zanja abierta. Algunos factores que influyen en la vida útil de tuberías de concreto en métodos sin zanja

Calidad del Concreto:

- **Composición y Mezcla:** La vida útil del concreto depende de la calidad de la mezcla utilizada, incluyendo el tipo de cemento, los agregados y los aditivos. Un concreto bien formulado y curado tiene una durabilidad más prolongada.
- **Resistencia a la Compresión:** Las tuberías deben tener una resistencia adecuada para soportar las cargas externas y las presiones internas.

Condiciones del Terreno:

- **Corrosividad:** El tipo de suelo y las condiciones del agua subterránea afectan la durabilidad del concreto. Los suelos con altos niveles de sulfatos o cloruros pueden acelerar el deterioro del concreto, por lo que se deben utilizar mezclas específicas o recubrimientos protectores.
- **Nivel Freático:** Las tuberías deben ser diseñadas para resistir el contacto con agua subterránea, especialmente si es agresiva.

Condiciones de Operación:

- **Carga y Presión:** Las tuberías deben ser capaces de manejar las cargas externas esperadas y la presión interna de los fluidos que transportan.

Instalación:

- **Método de Instalación:** En los métodos sin zanja, como el microtunelado, la instalación se realiza con precisión para minimizar el impacto en las tuberías. El equipo utilizado para estas técnicas a menudo está diseñado para mantener la tubería en la alineación correcta y reducir el riesgo de daños.
- **Protección y Manejo:** Aunque los métodos sin zanja reducen la perturbación del terreno, las tuberías aún deben manejarse y protegerse adecuadamente durante la instalación para evitar daños.

Mantenimiento:

- Inspección Regular: La inspección periódica puede ayudar a detectar problemas tempranamente y permitir reparaciones que prolonguen la vida útil de la tubería.
- Reparaciones: Realizar reparaciones oportunas puede evitar que pequeños problemas se conviertan en fallos significativos.

Estimación General de Vida Útil:

Las tuberías de concreto instaladas mediante métodos sin zanja tienen una vida útil estimada similar a la de las instaladas mediante zanja abierta, siempre que se sigan las mejores prácticas durante la instalación y el mantenimiento, de 50 a 100 años.

La vida útil de las tuberías de concreto instaladas con métodos sin zanja es comparable a la de las instaladas con zanja abierta, siempre que se mantenga la calidad del concreto, se considere el entorno y se realice una instalación adecuada. La tecnología sin zanja ayuda a reducir la perturbación superficial y puede minimizar ciertos riesgos durante la instalación, pero la durabilidad de las tuberías depende en gran medida de la calidad del material y el cuidado en la instalación y el mantenimiento.

4.7 Variable de Mantenimiento**4.7.1 Mantenimiento metodología a zanja abierta**

El mantenimiento de tuberías de concreto instaladas mediante la metodología de zanja abierta implica una serie de prácticas y procedimientos específicos para asegurar que las tuberías continúen funcionando de manera eficiente y segura a lo largo de su vida útil. A continuación, se describen las etapas y técnicas clave para el mantenimiento de estas tuberías:

Inspección Regular

- **Inspección Visual:** Tiene por objetivo identificar problemas evidentes en la superficie de la tubería y en el entorno circundante. Su método es revisar el área alrededor de las bocas de acceso, cámaras de inspección y puntos de conexión para detectar señales de grietas, hundimientos, o filtraciones.
- **Inspección con Cámaras:** Tiene por objetivo examinar el interior de las tuberías para detectar obstrucciones, grietas o daños internos. Su método es utilizar cámaras de inspección robóticas que se insertan en la tubería para capturar imágenes y videos del estado interno.
- **Monitoreo de Condiciones:** Tiene por objetivo evaluar el impacto del entorno en la tubería, como el nivel freático y el tipo de suelo. Su método es medir los niveles de humedad, analizar la corrosividad del suelo y evaluar cualquier cambio en las condiciones ambientales.

Limpieza y Desobstrucción

- **Limpieza Regular:** Tiene por objetivo eliminar sedimentos, residuos y acumulaciones que puedan obstruir el flujo. Su método es utilizar equipos de chorro de agua a alta presión, cepillos mecánicos o sistemas de aspiración para limpiar las tuberías.
- **Desobstrucción:** Tiene por objetivo resolver bloqueos que afectan el rendimiento del sistema. Su método es emplear herramientas especializadas como serpentines, cabezales de corte, o técnicas de chorro de agua a alta presión para deshacer obstrucciones severas.

Reparación de Daños

- **Reparación de Grietas y Daños:** Tiene por objetivo restaurar la integridad estructural de la tubería y prevenir filtraciones. Su método es aplicar morteros reparadores, resinas o epoxis para sellar grietas y reforzar áreas debilitadas.

- **Reemplazo de Secciones Dañadas:** Tiene por objetivo sustituir partes de la tubería que están demasiado dañadas para reparar. Tiene por método excavar la zona afectada, retirar la sección dañada y reemplazarla con una nueva, asegurando una correcta alineación y sellado.

Control de Corrosión y Protección

- **Aplicación de Revestimientos:** Tiene por objetivo proteger la superficie del concreto contra la corrosión y otros daños. Su método es aplicar recubrimientos protectores o selladores, como pinturas impermeabilizantes o compuestos anticorrosivos.
- **Monitoreo de Corrosión:** Tiene por objetivo evaluar la presencia y el impacto de la corrosión. Su método es realizar pruebas periódicas para detectar signos de corrosión y aplicar medidas preventivas si se detecta.

Mantenimiento de la Infraestructura Circundante

- **Restauración del Terreno:** Tiene por objetivo mantener la estabilidad del terreno y prevenir problemas relacionados con la compactación o asentamiento. Su método es reparar cualquier daño en la superficie, como hundimientos o grietas en el pavimento, y asegurar una correcta compactación del relleno alrededor de la tubería.
- **Control de Cargas Externas:** Tiene por objetivo asegurarse de que las cargas externas no afecten la integridad de las tuberías. Su método es Monitorear y gestionar el tráfico vehicular o las construcciones cercanas que puedan ejercer presión adicional sobre las tuberías.

Documentación y Planificación

- **Registro de Inspecciones y Reparaciones:** Tiene por objetivo mantener un historial detallado de todas las actividades de mantenimiento. Su método es documentar todas las inspecciones,

reparaciones y mantenimiento realizado para facilitar la planificación futura y el seguimiento de patrones de problemas.

- **Plan de Mantenimiento Preventivo:** Tiene por objetivo establecer un programa regular de mantenimiento basado en las condiciones específicas de las tuberías. Su método es desarrollar un calendario de inspecciones, limpieza y mantenimiento basándose en las recomendaciones del fabricante y las condiciones del entorno.

4.7.2 Mantenimiento metodología sin zanja

Inspección: Se realiza inspección Visual e inspección con cámaras y equipos láser.

Monitoreo de Condiciones Ambientales: Monitorizar el nivel freático, la corrosividad del suelo y otras condiciones ambientales que puedan afectar las tuberías.

Limpieza y Desobstrucción:

- Emplear equipos de chorro de agua a alta presión, cepillos mecánicos o sistemas de aspiración para limpiar las tuberías y eliminar sedimentos y depósitos.
- Utilizar herramientas especializadas como serpentines, cabezales de corte, o técnicas de chorro de agua a alta presión para deshacer obstrucciones severas.

Reparación de Daños: Restaurar la integridad estructural y prevenir filtraciones, aplicando morteros reparadores, resinas o epoxis para sellar grietas y reforzar áreas dañadas y grietas.

Reemplazo de Secciones:

- En caso de requerir sustituir partes gravemente dañadas se debe realizar excavaciones controladas para reemplazar secciones dañadas de las tuberías, asegurando una correcta alineación y sellado.

Técnicas de Rehabilitación sin Excavación: Utilizar técnicas como el revestimiento con manga (CIPP, Cured-In-Place Pipe) que implica insertar una manga de resina dentro de la tubería existente, que se cura para formar una nueva capa interior.

Inserción de Forros: Insertar forros o mangas de material compuesto dentro de la tubería existente para reforzarla y sellar cualquier daño.

Control de Corrosión y Protección:

Aplicación de Revestimientos Protectores:

- Aplicar recubrimientos protectores o selladores que proporcionen una capa de protección contra la humedad y los agentes corrosivos.

Monitorización de Corrosión:

- Evaluar y controlar la corrosión interna y externa.

Registro de Inspecciones y Reparaciones:

- **Objetivo:** Mantener un historial detallado de las actividades de mantenimiento.
- **Método:** Documentar todas las inspecciones, reparaciones y tareas realizadas, incluyendo datos sobre las condiciones encontradas y las acciones tomadas.

Plan de Mantenimiento Preventivo:

- Desarrollar un calendario de inspecciones, limpieza y mantenimiento basado en las recomendaciones del fabricante y las condiciones específicas de las tuberías y el entorno.

Tabla 22

Ventajas y desventajas del método a zanja abierta.

Ventajas metodología zanja abierta	Ventajas metodología sin zanja
Costo inicial más bajo:	Menor Perturbación del Terreno: La principal ventaja es la reducción de la perturbación en la

En general, la construcción con zanja abierta tiende a ser menos costosa en comparación con métodos más avanzados como el túnel o el entubado sin zanja. Esto se debe a que el equipo necesario y la mano de obra suelen ser menos especializados y más accesibles.	superficie. Este método minimiza el impacto en el tráfico, el paisaje y las estructuras existentes, ya que no se requiere una excavación extensa.
Facilidad de Inspección y Mantenimiento: La zanja abierta permite un acceso directo a la tubería una vez instalada, lo que facilita las tareas de inspección y mantenimiento. Esto es útil para detectar y reparar problemas sin necesidad de equipos especializados.	Menos Impacto Ambiental: Al evitar la excavación de zanjas profundas, se mitiga el impacto en el medio ambiente circundante, protegiendo los ecosistemas y reduciendo la erosión del suelo.
Menor Necesidad de Tecnología Especializada: Este método no requiere de tecnología avanzada o maquinaria especializada, lo que puede simplificar la logística y reducir los costos asociados	Menor Interrupción de Servicios Públicos: La construcción sin zanja permite realizar instalaciones en áreas con servicios públicos existentes, como calles con redes de agua, electricidad y alcantarillado, sin tener que interrumpir estos servicios.
Flexibilidad en el Diseño: La construcción en zanja abierta puede adaptarse fácilmente a cambios en el diseño o a modificaciones durante el proceso de instalación. Esto	Reducción del Tiempo de Construcción: Los métodos sin zanja suelen ser más eficientes en cuanto al tiempo que la excavación tradicional. Esto se debe a que se evita el tiempo asociado

permite ajustes rápidos en respuesta a problemas imprevistos.	con la excavación y el posterior relleno de zanjas.
Mayor Control sobre el Proceso: Los trabajadores tienen un control directo sobre el proceso de instalación y la alineación de la tubería, lo que puede resultar en una mejor calidad de instalación en comparación con métodos menos visibles.	Mejora en la Seguridad: La reducción de excavaciones profundas disminuye el riesgo de colapsos de zanjas y otros accidentes relacionados con el trabajo en zanjas abiertas, lo que mejora la seguridad en el sitio de construcción.
Este método permite generar empleos rápidamente puesto que se los trabajadores requieren bajos niveles de habilidad para realizar los trabajos.	Menor Generación de Residuos: La construcción sin zanja puede generar menos residuos de excavación, ya que no se requiere remover grandes volúmenes de tierra. Menos Desplazamiento de Tráfico: En proyectos ubicados en áreas urbanas o con mucho tráfico, la construcción sin zanja reduce la necesidad de desviar el tráfico, lo que puede disminuir las molestias para el público y el impacto en la actividad comercial local.

Nota. Ventajas de la metodología a zanja abierta y la metodología sin zanja. Elaboración propia.

Tabla 23

Desventajas de la metodología a zanja abierta y la metodología sin zanja

Desventajas metodología zanja abierta	Desventajas metodología sin zanja
Impacto ambiental: La excavación extensa puede alterar significativamente el entorno natural, afectando la vegetación, los hábitats naturales y el paisaje. La excavación puede resultar en la liberación de polvo y contaminantes al aire, así como el riesgo de contaminación de aguas superficiales y subterráneas sino se maneja adecuadamente.	Costo inicial elevado: Equipos especializados: La inversión en equipos y maquinaria especializados para técnicas sin zanja puede ser considerablemente alta. Tecnología avanzada: Los métodos sin zanja suelen requerir tecnología avanzada y, por lo tanto, pueden tener costos iniciales elevados en comparación con métodos tradicionales.
Interrupción del tráfico y actividades urbanas Disrupción del tráfico: Las zanjas abiertas pueden bloquear calles y carreteras, causando congestión y molestias para los conductores y peatones. Impacto en negocios: Las áreas afectadas por las excavaciones pueden experimentar una disminución en la actividad comercial debido a la interrupción.	Requisitos de espacio: Espacio de trabajo: Aunque se evita la excavación extensiva, todavía se requiere espacio para instalar y operar los equipos de perforación y para el acceso de las maquinas.
Tiempo de construcción: Duración prolongada: La construcción con zanja abierta generalmente	Complejidad del proceso: Manejo de problemas: La identificación y manejo de

toma más tiempo debido a la necesidad de excavar, instalar tuberías y luego restaurar la superficie. Demoras por condiciones climáticas: Las condiciones meteorológicas adversas pueden retrasar el trabajo y afectar la programación del proyecto.	problemas durante la perforación (como obstrucciones imprevistas) pueden ser más complejos y difíciles de solucionar sin excavación abierta.
Costos: Altos costos de restauración: Restaurar el área excavada, incluyendo la reparación de pavimentos y la replantación de vegetación, puede ser costoso. Costos indirectos: Los costos asociados con la interrupción del tráfico y la actividad económica pueden sumar gastos adicionales.	Mantenimiento y reparaciones: Dificultades en reparaciones: Realizar reparaciones o ajustes posteriores en tuberías instaladas sin zanja puede ser más difícil y costoso en comparación con tuberías instaladas mediante excavación abierta.
Riesgos de seguridad: Peligros en el sitio de trabajo: Las zanjas abiertas presentan riesgos de seguridad para los trabajadores, como deslizamientos de tierras y caídas. Accidentes de tráfico: Las zanjas abiertas en áreas transitadas pueden ser un peligro para los conductores y peatones si no se señalizan y protegen adecuadamente.	Requisitos de capacitación: Formación especializada: Los operadores y técnicos deben recibir capacitación especializada para manejar el equipo y las técnicas sin zanja, lo que puede aumentar los costos y el tiempo de preparación.
Restricciones de espacio: Espacio requerido: Las zanjas abiertas requieren un espacio	Acceso a sitios de trabajo: Acceso a maquinas: Aunque se evitan grandes

considerable para la excavación y el almacenamiento de materiales, lo que puede ser problemático en áreas densamente urbanizadas como es la ciudad de Bogotá. Impacto en infraestructura existente: Daños a servicios públicos: La excavación puede dañar servicios públicos existentes, como cables eléctricos, tuberías de agua o sistemas de drenaje, lo que puede requerir reparaciones adicionales y causar más interrupciones. Efectos a largo plazo: Asentamientos y desigualdades: La restauración del terreno puede no ser perfecta, lo que podría resultar en asentamientos o desigualdades en la superficie con el tiempo. Mantenimiento: El mantenimiento de áreas restauradas puede ser necesario para asegurar que el terreno se estabilice adecuadamente y para abordar cualquier problema que surja después de la construcción.	excavaciones, se requiere acceso adecuado para las máquinas de perforación y otros equipos, lo que puede ser un desafío en espacios reducidos o áreas congestionadas.
--	--

Nota. Desventajas de la metodología a zanja abierta y la metodología sin zanja. Elaboración propia.

Aporte

Otro resultado importante que surge dentro del proceso investigativo para dar cumplimiento con los objetivos planteados es elaboración de La Guía de buenas prácticas para la instalación de tubería de agua potable Anexo 1. En la cual se pretende resaltar la importancia de todos los componentes además de los aspectos técnicos que se involucran en la buena ejecución del proyecto.

5. Conclusiones

Algunas de las metodologías constructivas implementadas en la instalación de tubería de agua potable son la metodología sin zanja y el método tradicional zanja abierta, ambas presentan ventajas y desventajas el análisis de escogencia de su implementación esta dado por factores como, elementos geotécnicos, presupuestales, entre otros.

Las técnicas de construcción que emplean tecnologías sin zanjas son muy diversas y adaptables, tanto en los métodos de aplicación como en los propósitos a los que se destinan. Este estudio proporciona una visión general de esta innovadora forma de construir y puede servir como referencia para elegir la técnica más adecuada en cada situación.

Uno de los criterios técnicos fundamentales cuando se utiliza el método de zanja a cielo abierto se refiere al diseño geométrico de la instalación de tubería. En esta etapa se debe considerar que este diseño debe conservar las derivaciones establecidas por el corredor de la conducción existente, lo cual permite mantener el sistema de operación actual.

Por otro lado, para la implementación de la metodología sin zanja, el criterio técnico fundamental se refiere a los sectores del corredor vial, respetando el espacio a viviendas en horizontal 4 metros y en vertical 3 metros a cota clave de tubería, las pendientes no serán mayores al 4%.

En la metodología con zanja, se presentaron retrasos debido al alto nivel freático de la ciudad de Bogotá, el cual causó derrumbes en la sección y una sobre excavación que no se tenía prevista.

Para la metodología sin zanja, pueden utilizarse varios tipos de tuberías, entre ellas de concreto reforzado, arcilla o gres, fibra de vidrio (GRP) y acero. Adicionalmente, las ventajas del uso es la instalación rápida, tecnología simple y de fácil manejo, depósito directo de sedimentos, optimización del tiempo en función al cronograma, reducción de tiempos de construcción.

Para el proyecto en cuestión en esta investigación, ha sido importante señalar la influencia de los componentes social, ambiental y de gestión del tráfico (PMT), dado que los elementos derivados de estos han afectado el equilibrio positivo o negativo de la ejecución del proyecto, siendo la metodología sin zanja la que provoca menos cierres de tráfico, beneficiando al sector productivo.

La comunidad es fundamental en los proyectos de construcción, orientados a mejorar la calidad de vida de las personas. Por lo tanto, la participación de sus miembros es crucial para el desarrollo exitoso del proyecto, así como la atención oportuna a solicitudes, quejas, reclamaciones y sugerencias, y la adecuada comunicación de las intervenciones y actividades constructivas.

El componente ambiental del proyecto tiene como objetivo principal minimizar los impactos ambientales de la construcción y asegurar el uso responsable de los recursos naturales en todas las actividades realizadas. De esta forma, se busca lograr un rendimiento ambiental óptimo y promover un desarrollo sostenible, cumpliendo plenamente con las normativas para proteger y respetar el medio ambiente, permitiendo así que el desarrollo coexista en armonía con el planeta. En concordancia con el objetivo del componente ambiental, la metodología sin zanja tiene un impacto ambiental menor en comparación con la metodología de zanja abierta. Reduce la alteración del suelo y la vegetación, minimiza la erosión y sedimentación, y disminuye el ruido y el polvo.

En este trabajo se ha llevado a cabo una clasificación y organización de los distintos procedimientos actuales, resaltando sus éxitos, limitaciones, beneficios y desventajas. Las técnicas de construcción basadas en tecnologías sin zanja son variadas y flexibles, tanto en sus métodos de aplicación como en los objetivos que buscan alcanzar. Este análisis proporciona una visión general de esta innovadora forma de construcción y puede servir como referencia para

seleccionar la técnica más adecuada según cada situación. Los métodos disponibles permiten realizar instalaciones, renovaciones y reparaciones de tuberías para servicios de agua potable, alcantarillado, electricidad, gas, cables e incluso túneles.

Se destaca la gran importancia de estos métodos y el avance significativo que presentan las distintas tecnologías, ya sea en términos de requerimientos de servicio, rapidez, economía, seguridad y eficacia al crear o mejorar infraestructuras.

No se puede ignorar la relevancia medioambiental de estos métodos, ya que minimizan y evitan los problemas asociados con la excavación de zanjas en las ciudades, como la generación de polvo, el ruido elevado de la maquinaria, la acumulación de grandes volúmenes de tierra, entre otros, que provocan inconvenientes en las grandes ciudades. Además, estos métodos evitan impactos negativos en negocios, zonas comerciales, accesos a hospitales, salidas para cuerpos de emergencia, pistas de aterrizaje, entre otros.

Entre las ventajas más notables y comunes a la mayoría de estos métodos se incluyen:

Ventajas de la Metodología sin Zanja Abierta

Menor Impacto Ambiental y Urbano: Minimiza la alteración de la superficie, reduciendo los inconvenientes en áreas urbanas, como la reducción de los efectos ambientales negativos como ruido y polvo, reducción de la cantidad de material que necesita ser transportado, además, permite realizar trazados a través de cuerpos de agua o montañas.

Eficiencia y Rapidez: Puede ser más rápida que la metodología de zanja abierta, especialmente en terrenos complicados, no interrumpe el tránsito de vehículos en autopistas o líneas ferroviarias, y permite cubrir grandes distancias, incluso de varios kilómetros. En general, es posible atravesar con todos los materiales naturales disponibles (excepto rocas masivas de alta resistencia).

Reducción de Costos Asociados a la Restauración del Terreno: Menor necesidad de restaurar pavimentos, aceras y áreas verdes, son aplicables con una gran variedad de diámetros, hasta varios metros.

Mayor Seguridad: Reduce los riesgos asociados a la apertura de zanjas, tanto para los trabajadores como para el público en general, permiten el paso a través de infraestructuras existentes sin alterar su funcionamiento o integridad.

La metodología sin zanja abierta es una opción eficiente y menos invasiva para la instalación de tuberías pluviales, ofreciendo numerosas ventajas en términos de impacto ambiental, costos y seguridad, especialmente en entornos urbanos o áreas con infraestructuras existentes.

Se espera que la guía de buenas prácticas para la instalación de tubería de agua potable sirva para ser aplicada en este y proyectos similares futuros, con aras de generar minimizar los impactos a la comunidad beneficiaria y aledaña a la zona de influencia de las obras.

Referencias bibliográficas

Alarcon, J y Pacheco, J. (2014). *Comparación tecnológica y costos del método de instalación de tuberías sin zanja (Trenchless) más eficiente para los suelos encontrados en un proyecto de Bogotá* (tesis de pregrado), Pontifica Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

American Water Works Association. (2019). *Prestressed Concrete Pressure Pipe, Steel-Cylinder Type AWWA C-301*. Recuperado de:

<https://engage.awwa.org/PersonifyEbusiness/Bookstore/Product-Details/productId/81647229>

Asociación Ibérica de Tecnologías Sin Zanja. (2013). *Manual de tecnología sin zanja*.
<https://tecnologiasinzanja.org/libro-blanco-de-las-tecnologias-sin-zanja/>

Bonilla, L. (2007). Impacto, impacto social y evaluación del impacto. *ACIMED*, v(15).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352007000300008

Cámara de comercio de Pasto. (2021). *Departamento de Competitividad y Relaciones Internacionales*. La importancia del componente social en los proyectos de infraestructura.
<https://competitividad.ccpasto.org.co/la-importancia-del-componente-social-en-los-proyectos-de-infraestructura/>

Casas Anguita J, et al. (2002). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos. *Aten Primaria*, 31(8),527-38.

CONTELAC. (2016). *Acueducto, agua y alcantarillado*. Estudios y diseños para la construcción, conexión y puesta en operación de la nueva conducción del tramo 3 de la línea Red Matriz Tibitoc – Casablanca y sus obras complementarias. Recuperado de:

https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/inicio!/ut/p/z1/hY5BC4JAEIV_iwevzrRLYt22DoJEshJkewm1TQ11ZV3177fQKdjowRzmzfeGBwJyEEOxtHVhWjUUnd1vIryH_iibCMkZeYbIS6lMb2QOKFw_QcIe8YfYmjzwoEwPGTkQBHjIDiBrx8JiLpT5acuG0oa1SC0fEotdTb

razfGjNPeRx_XdQ2KapaPuTIqqFRvx0dXsFGTgdzFw9jnNp2y4l53hvtB_OW/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/

Data Construcción. (2021). *Presupuesto de construcción*. Recuperado de <https://www.dataconstruccion.com/blog/presupuesto-obra-construccion>.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Normatividad. https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/inicio!/ut/p/z1/hY5BC4JAEIV_iwevzrRLYt22DoJESHjkewm1TQ11ZV3177fQKdjowRzmzfeGBwJyEEOxtHVhWjUUnd1vIryH_libCMkZeYbI-S6lMb2QOKFw_QcIe8YfYmjzwoEwPGTkQBHjldiBrx8JiLpT5acuG0oa1SC0fEotdTbrazfGjNPeRx_XdQ2KapaPuTIqqFRvx0dXsFGTgdzFw9jn-Np2y4l53hvtB_OW/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/

Gestión en Recursos Naturales. (2018). *Impacto ambiental*. Recuperado de: <https://www.grn.cl/impacto-ambiental.html>

Global Shelter Cluster. (2021). *Normas de buenas prácticas para la construcción*. Recuperado de: <https://sheltercluster.org/documents/normas-de-buenas-practicas-para-la-construccion-2021>

Hernández Sampieri, R. Fernández Collado, C. y Batista Lucio, M. P. (2014) *Metodología de la Investigación*. McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V, 6ª ed.

Mínguez Santiago, Felicidad (2015). *Métodos de excavación sin zanjas*. (Tesis de maestría). E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM).

Ingenieros y Asesores. (2022). *Vida útil de una obra*. Recuperado de: <https://ingenierosasesores.com/actualidad/mantenimiento-y-durabilidad-de-las-estructuras/>

ISABU. (2023). *Plan de Mantenimiento de la Infraestructura*. Recuperado de:
<https://isabu.gov.co/wp-content/uploads/2023/01/PAN-PL-02-PLAN-DE-MANTENIMIENTO-DE-LA-INFRAESTRUCTURA-2023.pdf>

Ley 142 de 1994. (1994, 11 de julio). Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Julio 11 de 1994.

López, P. (2004). Población muestra y muestreo. *Punto Cero*, 09(08), 69-74.

Naranjo, Y. (2023). *Huella de carbono de la instalación y/o renovación y/o rehabilitación de tuberías de acueducto y alcantarillado: zanja abierta vs. tecnologías sin zanja*. Tesis de Maestría. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

Otzen, T. y Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. J. Morphol*, 35(1), 227-232.

Ovalle, S. (2017). *Plan de manejo ambiental*. Recuperado de:
https://aulasvirtuales.uniquindio.edu.co/RecDigital/GestionAmbiental/recursos/unidad4/Descargable_U3_EA1.pdf

Plan Radar, (2022). *Presupuesto de obra*. Recuperado de:
<https://www.planradar.com/es/presupuestos-obra/>

Pleiades Ingeniería Consultoría. (2022) *Estudios geotécnicos: Qué son, para que sirven, y cuando son necesarios*. Recuperado de: <https://pleiadesic.com/es/estudios-geotecnicos-que-son-para-que-sirven-y-cuando-son-necesarios/>

Pinzón, J. (2011). *Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá*. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

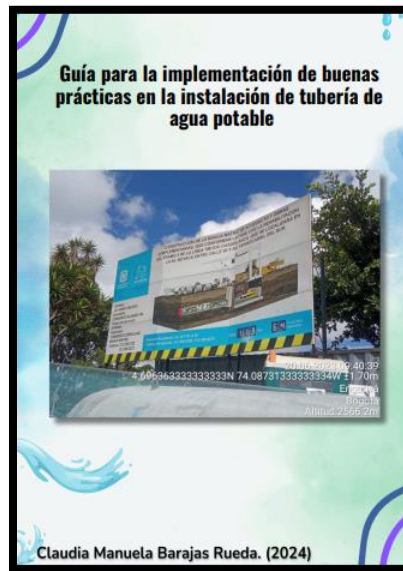
Idiger. (2023). *Zonificación Geotécnica*. Bogotá D.C. Recuperado de:

<https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/zonificacion-geotecnica/resource/689952d6-5023-4307-9cc1-33a99447f452>

Apéndice

Apéndice 1

Guía para las buenas prácticas en la instalación de tubería de agua potable.



https://drive.google.com/file/d/168jFPUfYUJvchT9zW9W_WmDzghpxUvCZ/view?usp=drive_l

ink

Apéndice 2

Cronograma

Actividad	Meses/Semanas																Total, tiempo por actividad
	1er Mes				2do Mes				3er Mes				4to Mes				
	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	
Definición del lugar donde se realizará la investigación	X																1 semana
Definición del tema	X																1 semana
Definición de la metodología de investigación		X															1 semana
Revisión del estado del arte		X	X														2 semanas
Definición de la problemática				X													1 semana
Planteamiento de objetivos tentativos				X													1 semana
Inicio de la construcción del documento					X												1 semana
Elaboración de marcos de referencia					X	X											2 semanas
Elaboración de antecedentes						X											1 semana
Elaboración de planteamiento del problema							X										1 semana
Definición clara de los objetivos								X									1 semana
Elaboración de la justificación del proyecto								X									1 semana
Elaboración del marco metodológico									X								1 semana
Determinación de la muestra									X								1 semana
Elaboración del instrumento de recolección de datos										X							1 semana
Aplicación del instrumento										X	X						2 semanas
Análisis de resultados											X						1 semana
Elaboración de Guía de buenas prácticas												X					1 semana
Elaboración de conclusiones													X				1 semana
Elaboración de apartado de anexos														X			1 semana
Ajuste de observaciones al documento final															X	X	2 semanas
													Tiempo total del proyecto				4 meses

Apéndice 3*Presupuesto*

Actividad/Recurso	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Recurso humano (profesional en formación)	Mes	4	1.500.000	6.000.000
Recurso material (escritorio)	Unidad	1	330.000	330.000
Recurso material (silla)	Unidad	1	340.000	340.000
Recurso material (computador)	Unidad	1	2.500.000	2.500.000
Recurso tecnológico (internet)	Mes	4	100.000	400.000
			Valor total del proyecto	9.570.000