



**DISEÑO DE UNA MATRIZ DE APOYO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA  
CONSTRUCCIÓN DE ALCANTARILLADOS CONSIDERANDO TECNOLOGÍAS  
CONVENCIONALES Y/O SIN ZANJA**

Jessica Alejandra Ortega Arrieta

Ingeniería sanitaria

Asesora

Ph.D. Yudy Andrea Londoño Cañas

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Sanitaria  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2024

<b>Cita</b>	(Ortega Arrieta, 2024)
<b>Referencia</b>	Ortega Arrieta, (2024). <i>Diseño de una matriz de apoyo para la toma de decisiones en la construcción de alcantarillados considerando tecnologías convencionales y/o sin zanja</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda

**Decano/Director:** Julio César Saldarriaga

**Jefe departamento:** Julio Eduardo Cañón

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Mi dedicatoria es para mis queridos padres, por el apoyo incondicional desde el primer día de esta etapa. Cada esfuerzo de ustedes ha valido la pena. Hoy estamos recogiendo esos frutos que tanto les costó sembrar. Quiero darles las gracias por nunca dejarme rendir, por cada palabra de aliento, por estar siempre ahí para mí y darme tanto de todo. Los amo mucho y estaré infinitamente agradecida con Dios, porque me dio el privilegio de tenerlos como padres y como amigos de toda la vida.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi agradecimiento a la ingeniera Ana Teresa Rico por impulsarme a continuar formándome y al ingeniero Germán Luque por creer en mis capacidades, enseñarme a soñar y ayudarme a ser una mejor profesional. Agradezco a EPM y mis asesores de práctica por proporcionarme la información y el conocimiento requerido durante la realización de mis prácticas académicas.

## Tabla de contenido

Resumen .....	7
Abstract .....	8
Introducción .....	9
1 Planteamiento del problema .....	11
1.1 Antecedentes .....	11
2 Justificación.....	13
3 Objetivos .....	14
3.1 Objetivo general .....	14
3.2 Objetivos específicos.....	14
4 Marco teórico .....	15
4.1. Tecnologías sin zanja .....	15
4.2. Criterios de diseño.....	18
4.3. Criterios Técnicos .....	20
4.3 Criterios ambientales.....	22
4.4. Costo total .....	23
5 metodología.....	24
6 Resultados .....	28
7 Discusión.....	29
8 Conclusiones .....	30
Referencias .....	31

## Lista de tablas

<b>Tabla 1:</b> Comparación de los criterios de diseño con las tecnologías a evaluar. Elaboración propia.....	20
<b>Tabla 2:</b> Los tipos de suelo que aplican para diferentes tipos de TSZ. (GÓMEZ, 2017).....	21

## Lista de figuras

<b>Ilustración 1:</b> Esquema de las tecnologías sin zanja en una población (Movitierra Construcciones S.A., 2024) .....	16
<b>Ilustración 2:</b> Determinar si es construcción nueva o rehabilitación. Elaboración propia. ....	24
<b>Ilustración 3:</b> Criterios de evaluación de la matriz. Elaboración propia. ....	25
<b>Ilustración 4:</b> Parametros de comparación con el ingreso de la información en la matriz. Elaboración propia. ....	26
<b>Ilustración 5:</b> Resultado de la ponderación de un proyecto en la matriz. ....	27

## **Resumen**

El continuo desarrollo urbanístico que caracteriza a las distintas ciudades, y la alta demanda de servicios públicos; ha generado que el sector de la construcción y particularmente el urbanismo, se tengan que realizar intervenciones para la instalación de redes nuevas o la renovación de las redes existentes de sistemas de drenaje. Sin embargo, la ejecución de estas labores de construcción y rehabilitación ha generado inconvenientes significativos en las áreas intervenidas, manifestándose en trastornos en la fluidez del tráfico vehicular, impactos negativos en la economía local, contaminación ambiental y preocupaciones relacionadas con la salud pública y el desequilibrio ecológico. Por tal motivo, las tecnologías sin zanja son una buena alternativa para mitigar estos impactos. En el mercado actual existen diferentes tecnologías, por lo cual, se hace necesario la implementación de una matriz que permita elegir la tecnología más adecuada, involucrando diferentes aspectos como el económico, social, hidrológico, la disponibilidad de la tecnología en el sector, el tiempo de ejecución entre otras.

*Palabras clave:* Zanja, tubería, rehabilitación

## **Abstract**

The continuous urban development that characterizes various cities, along with the high demand for public services, has led the construction sector and, particularly urban planning, to carry out interventions for the installation of new networks or the renovation of existing drainage systems. However, the execution of these construction and rehabilitation works has generated significant inconveniences in the affected areas, manifesting as disruptions in vehicular traffic flow, negative impacts on the local economy, environmental pollution, and concerns related to public health and ecological imbalance. For this reason, trenchless technologies are a good alternative to mitigate these impacts. Currently, there are various technologies available in the market, making it necessary to implement a matrix that allows for the selection of the most suitable technology, involving different aspects such as economic, social, hydrological, the technology's availability in the sector, execution time, among others.

*Keywords:* Trench, pipeline, rehabilitation



## Introducción

Con el continuo desarrollo urbanístico que caracteriza a las distintas ciudades, se ha evidenciado la necesidad de optimizar la prestación de servicios públicos esenciales, con particular énfasis en el suministro de agua potable y el manejo adecuado de aguas residuales a través de sistemas de alcantarillado, los cuales se definen como un conjunto de estructuras de tuberías y obras complementarias que reciben, evacúan, disponen aguas residuales producto de las actividades humanas o de la precipitación pluvial. Estas se clasifican según su origen y procedencia, en alcantarillado sanitario, pluvial y combinado (Rivera, 2021).

Con el pasar del tiempo se evidencia la necesidad de optimizar los sistemas de alcantarillado, con el fin de mejorar la capacidad hidráulica de las infraestructuras existentes y expandir la red de distribución para atender a zonas en expansión demográfica y garantizar el servicio continuo. Sin embargo, la ejecución de estas labores de construcción y rehabilitación ha generado inconvenientes significativos en las áreas intervenidas, manifestándose en trastornos como la fluidez del tráfico vehicular, impactos negativos en la economía local, contaminación ambiental y preocupaciones relacionadas con la salud pública y el desequilibrio ecológico. Ante estos desafíos, surge la propuesta de implementar tecnologías sin zanja. Dentro de las tecnologías conocidas en el mercado para la instalación de redes, se tienen: Pipe ramming, auger Boring, perforación horizontal dirigida (PHD), pipe Jacking, tunnel liner entre otras. Para sustituir redes como el pipe bursting y pipe eating y otras tecnologías para rehabilitar redes como el Cured-in-Place-Pipe Lining (CIPP), close-fit slip lining y spiral wound lining. Metodologías con la mínima cantidad de intervenciones como demoliciones y excavaciones, que conllevan directamente a reducción en actividades con el lleno y la pavimentación. A pesar de que las tecnologías sin zanja (TSZ) son una excelente opción para mitigar los impactos ambientales, estas suelen ser muy costosas y se aplican en condiciones óptimas.

En EPM, se reciben solicitudes para reposiciones en el sistema de recolección de aguas residuales del Valle de Aburrá. Estas solicitudes llegan a la Unidad de Desarrollo de Inversiones de Inversión, ya sea para realizar cambios en el material de la tubería, aumentos de diámetro para mejorar la

capacidad hidráulica o para abordar obstrucciones u otras situaciones previamente mencionadas. La generación de estas solicitudes se realiza mediante la creación de órdenes de trabajo (OT) por parte de la Unidad de Operación Integrada. Cada orden de trabajo se codifica asignándole una secuencia que comienza con "GPZ" (Gestión Proyectos Menores de Alcantarillado). Si la ubicación pertenece a la zona Norte, se agrega la letra "N"; en caso de ser de la zona Sur del área metropolitana, se añade la letra "S", seguida de un número de cuatro dígitos.

En la actualidad, la empresa se enfrenta a un significativo volumen de solicitudes pendientes de atención, por lo que se hace imperativo implementar una estrategia que permita brindar respuestas oportunas a cada una de ellas. Con este propósito, se ha establecido una matriz de decisiones que considera una diversidad de parámetros técnicos, entre ellos la ubicación, los metros a instalar y el diámetro de la red y los factores económicos, sociales y ambientales.

En esta evaluación, se contempla la consideración de cinco tipos de tecnología para reposiciones nuevas pipe jacking, tunnel liner, perforación horizontal dirigida (PHD), ramming y auger boring), así como dos opciones para trabajos de rehabilitación (pipe bursting y CIPP). Este enfoque integral busca seleccionar la tecnología más adecuada para cada situación específica, optimizando la eficiencia del proceso y minimizando el impacto en la comunidad y el entorno.

## **1 Planteamiento del problema**

La toma de decisiones para definir la tecnología a utilizar en una reposición de redes de alcantarillado suele ser un proceso tedioso y que demanda tiempo, debido a que en el mercado existen muchas opciones de construcción de redes para el saneamiento. Adicionalmente, cada una de estas opciones está limitada por diversos factores, como el diámetro, la profundidad de instalación de la red, el tipo de suelo, el espacio disponible para la instalación de equipos, los costos y otras variables que varían según el tipo de tecnología y su ubicación geográfica. No existen unos lineamientos claros para determinar cuál es la opción más conveniente para el proyecto, sino que éstas están sujetas al criterio del diseñador o constructor dependiendo el caso.

Al mismo tiempo para definir el tipo de tecnología a implementar se asocia principalmente a dos factores: el técnico y el costo de construcción. Los factores sociales y ambientales son poco tenidos en cuenta, sea por falta de una forma práctica de asociarlos o porque simplemente no existe una metodología eficiente para llevar a cabo esta evaluación. Adicionalmente el tiempo de ejecución es un factor sumamente relevante en un proyecto de alcantarillado, ya que es crucial satisfacer las necesidades dentro del menor tiempo.

### **1.1 Antecedentes**

Los sistemas de alcantarillado son complejos y requieren un mantenimiento constante. El proceso de deterioro de las tuberías en las redes sanitarias es causado por muchos factores, tales como estructurales, hidráulicos, ambientales, funcionales, vida útil de la tubería, calidad de la construcción inicial, tipo de material de la tubería o por normatividad. (Nayafi, 2016). Para mantener los sistemas de alcantarillado en óptimas condiciones, es necesario llevar a cabo mantenimientos preventivos o correctivos. En muchos casos, la solución implica el cambio de tuberías. Generalmente, la reposición de las redes se realiza mediante el método tradicional de zanja abierta. Sin embargo, también existen métodos constructivos alternativos, agrupados bajo la

denominación de 'Tecnología sin Zanja (TSZ)', que no requieren un corte abierto al terreno. (Najafi, 2010)

Aunque a finales del siglo XIX, en Europa se data de pequeños desarrollos de (TSZ), la mayoría surgieron en los años 70. Posteriormente, el reino unido ha sido líder en el desarrollo de este tipo de tecnologías donde surgió método de Curado de tuberías in-situ (CIPP), seguido por Estados Unidos donde se creó la perforación horizontal dirigida (PHD). En Colombia, este tipo de tecnologías surgieron en los años 80, cuando la Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá realizó reposición de redes mediante las TSZ, posteriormente Ecopetrol y empresas públicas de Medellín (EPM). (GÓMEZ, 2017).

Actualmente existen diferentes artículos donde unifican las tecnologías para comparar las ventajas y desventajas desde aspectos como el diámetro, la longitud, la forma de la tubería, entre otros. Dos de los artículos utilizados para el desarrollo de este trabajo son:

**Rehabilitación sin zanjas de tuberías de aguas residuales desde la perspectiva de toda la cadena tecnológica: una revisión del estado del arte:** En dicho artículo, se aborda inicialmente la limpieza de las redes mediante diferentes robots, y la toma de decisiones a través de *Decision tree/matrix*, que consiste en un enfoque de decisión mediante diagramas. Además, se analizan las bases de datos *Trenchless assessment guide* (TAG), donde se evalúan 29 métodos de construcción, y TAG-R, que evalúa 70 métodos de construcción. Asimismo, el *Decision support system* (DSS) como herramienta para el análisis de múltiples criterios. Se resalta la cantidad de parámetros evaluados sin embargo no se encontraron la herramienta para ser utilizadas, en este artículo se resalta que tienen en cuenta 23 normas internacionales, las disponibilidades de contratista y las preferencias locales. (Li , y otros, 2023)

*Metodología para selección de tecnologías de rehabilitación de alcantarillados sin zanja en Bogotá, Colombia (2021):* Este artículo se toma la decisión de la tecnología a implementar mediante el software SELECTOR, el cual es un programa que compara diferentes metodologías de rehabilitación sin zanja mediante pequeños árboles de decisión que se combinan para tomar una

decisión final. Se destaca este artículo porque integra la parte de software y presenta una interfaz llamativa, lo que lo hace accesible y ameno a la hora del ingreso de la información. Cabe mencionar que está limitado a solo cuatro tecnologías, pero fue útil para esta matriz ya que se incluyeron las ocho variables mencionadas en el artículo. (Tovar Romero, Valero Fandiño, & Cepeda Ariza, 2021)

## **2 Justificación**

Las tecnologías sin zanja son indispensables en una zona como el área metropolitana de gran expansión y donde la ciudad presenta grandes problemas de movilidad en algunas de sus sectores y donde las superficie subterránea están colmatadas de redes de todo tipo.

El uso de tecnologías sin zanja representa un enfoque contemporáneo esencial que demanda una atención más prioritaria. Esta perspectiva se vuelve crucial para abordar y mitigar los múltiples aspectos adversos que podrían surgir durante la construcción de redes utilizando métodos tradicionales de zanja abierta.

Estas tecnologías no solo ofrecen beneficios prácticos, como la reducción de las molestias para la comunidad y la preservación del entorno, sino que también contribuyen a minimizar los impactos negativos a nivel económico, social y ambiental. Esto al evitar excavaciones masivas, se disminuyen los riesgos de accidentes laborales, se optimizan los recursos y se agilizan los plazos de ejecución.

Además, el empleo de tecnologías sin zanja alinea la infraestructura con los estándares modernos de construcción sostenible, promoviendo prácticas más respetuosas con el medio ambiente y consideradas socialmente responsables.

La creación de una matriz de selección de tecnología sin zanja, agilizará el proceso de toma de decisiones. Esto contribuirá a evacuar y construir la mayoría de los proyectos en la unidad de reposición de redes, al mismo tiempo que permitirá implementar aspectos sociales y ambientales

para lograr una construcción holística en cada proyecto. Este enfoque integral no solo optimizará los tiempos de ejecución, sino que también favorecerá la sostenibilidad y la integración con la comunidad circundante.

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Construcción de una matriz de toma de decisiones para la construcción de pequeños tramos de alcantarillado considerando tecnologías convencionales y/o sin zanja.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Identificar los aspectos relevantes para la construcción de tramos de alcantarillado con tecnologías sin zanja
- Elaborar una matriz que permita facilitar los procesos de selección de tecnologías sin zanja.
- Identificar los casos de estudios en la matriz de tecnología sin zanja.

## **4 Marco teórico**

Colombia tiene aproximadamente 43 millones de habitantes, de los cuales un 80% se encuentran ubicados en zonas urbanas (DANE, 2011). El crecimiento de la población en las distintas ciudades de Colombia ha incrementado la demanda de servicios públicos, situación que se evidencia en el desarrollo de redes de infraestructura del país. Por ejemplo, las tres principales ciudades del país Bogotá, Medellín y Cali suman en conjunto unos 13000 km de redes de acueducto y cerca de unos 14000 km de redes de alcantarillado (Jaramillo L., 2010). Conforme a la demanda de servicios públicos el sector de la construcción y particularmente en el urbanismo, es necesario realizar intervenciones para la instalación de redes nuevas o renovación de las redes existentes, (Montañez, 2021). Estos proyectos de construcción de redes generan impactos negativos a la comunidad como:

- Tráfico vehicular, afectando a la comunidad en la pérdida de espacio para estacionamiento, consumo adicional de combustible por cierres viales, demoras al trasladarse, accidentabilidad vehicular y deterioro del pavimento,
- Afectación económica, pérdida de ingresos del sector comercial, reducción en la productividad y posibles daños a la propiedad,
- Contaminación por ruido, polución polvo, contaminación del agua y vibraciones.
- Afectación a la salud social y ecológica como los es la reducción de especies, costos por restauración ambiental y afectaciones psicológicas por las perturbaciones de la intervención de las obras (Duque callejas, 2018).

### **4.1. Tecnologías sin zanja**

Estas son una familia de métodos, materiales y equipos para la instalación, el reemplazo, traslado, diagnóstico, localización, renovación y rehabilitación de servicios subterráneos con una mínima excavación e interrupción de la superficie. (LAMSTT, 2023)



**Ilustración 1:** Esquema de las tecnologías sin zanja en una población (Movitierra Construcciones S.A., 2024)

Debida a la amplia variedad de métodos en la industria la escogencia de la selección de la tecnología más adecuada involucra una diversidad de variables complejas propias de cada proyecto, entre las que se destaca el tipo de intervención (instalación o rehabilitación), profundidad, longitud de la obra, diámetro de las tuberías y el tipo de suelo (Pinzón Abaunza, 2011). Algunas de ellas es:

- **Perforación horizontal dirigida (PHD):** Es una tecnología versátil que se emplea para la instalación de nuevos colectores. HDD es el método más adecuado para la instalación de tuberías de agua potable (ISTT, 2016). Este sistema principalmente se puede utilizar en terrenos compactables y en longitudes y diámetros reducidos (desde 25mm hasta 160 mm). Según la Administración Federal de Carreteras de E.E.U.U (2015), la perforación horizontal dirigida se puede clasificar en 3 grupos por su diámetro de aplicación: mini-HDD (50-250 mm), medio-HDD (250-600 mm) y maxi-HDD (600-1200 mm). (GÓMEZ, 2017)
- **Hincado de tuberías y microtunelado (pipe jacking and microtunnelling):** Este consiste en el empuje de tuberías prefabricadas a través de una ruta prediseñada desde el pozo de lanzamiento hasta el pozo de recepción, tiene capacidad para la instalación de tuberías con diámetros desde 100 mm (4 pulg.) hasta 5000 mm (200 pulg.). (Peng , Hideki , Sheng , & Dyson , 2023)



- **Perforación e hincado de tubería por golpeo (Pipe ramming):** Es un sistema no orientable para formar un orificio impulsando una carcasa de acero, generalmente con el extremo abierto lo que permite que el suelo entre en ella, mediante el uso de una máquina de empuje de tuberías por percusión desde un foso de conducción. Estas máquinas guardan similitud con los martillos de desplazamiento de suelo accionados neumáticamente, empleados para triturar mediante impacto; sin embargo, en este proceso permanecen ubicados dentro de la excavación de lanzamiento e impulsan la tubería de acero por acción dinámica (Howell, 2004) lo que permite que la carcasa se instale a profundidades relativamente bajas y en condiciones de suelo difíciles, incluyendo arenas, gravilla, adoquines y cantos rodados. (ISTT, 2016)
- **Tornillo sin fin (Auger boring):** Este método se utiliza principalmente para instalar tuberías de acero en condiciones de suelos blandos y estables. La perforación se realiza mediante el uso de “una cabeza de corte giratoria que se abre camino entre el suelo, mientras que la fuerza de hincado la proporcionan unos cilindros de empuje hidráulico. El suelo se transporta de vuelta al pozo de entrada por la rotación del tornillo dentro de la tubería de acero (The International Society for Trenchless Technology, 2024).
- **Sistema de fractura de tuberías (Pipe bursting):** Este método, desarrollado en 1980 en el Reino Unido, es una técnica de construcción utilizada para reemplazar la infraestructura subterránea de agua, alcantarillado o gas existente con una nueva línea de igual o mayor diámetro. La rotura de tuberías emplea fuerza estática o neumática para fragmentar una tubería existente (o principal) mientras se instala simultáneamente una tubería nueva en su lugar a lo largo de la misma alineación horizontal. Este método se reconoce como la única técnica de reemplazo de tuberías que puede sustituir una línea existente con otra de mayor diámetro, lo que permite capacidades de flujo iguales o superiores. (Ariaratnam, Lueke, & Mich, 2014)
- **Curado de la tubería in situ (Cured in place pipe- CIPP):** Esta técnica se utiliza para rehabilitar tuberías de alcantarillados de aguas residuales, alcantarillados pluviales, tuberías de agua potable y gas. El procedimiento de curado consiste en la inserción de una membrana flexible, en forma de tubo y mediante el uso de agua o aire a presión el tubo se invierte de tal forma que el

lado interior del revestimiento quede en contacto con el lado interior de la tubería receptora y se adapte a su forma. Luego se cura el revestimiento con radiación ultra – violeta (UV), vapor o aire caliente (GÓMEZ, 2017).

Cada tecnología cuenta con algunas particularidades por lo que es necesario conocer algunas de las variables que se deben considerar.

#### **4.2. Criterios de diseño**

El diseño implica que se puedan utilizar cierto tipo de tecnologías, por ejemplo, las tecnologías de renovación se aplican cuando no hay variación en el diámetro, el Revestimiento se aplica internamente para restaurar la tubería existente y el encamisado se coloca una nueva tubería dentro de la existente. (LAMSTT, 2023)

**Espacio disponible:** En áreas urbanas o con restricciones de espacio, el diámetro afecta la elección de la tecnología. Algunas técnicas requieren más espacio para maniobrar y operar. Por ejemplo:

- Perforación Horizontal Dirigida (HDD): Ideal para tuberías de diámetro mediano a grande, pero necesita espacio para la maquinaria. (GÓMEZ, 2017)
- Micro túneles: Adecuados para diámetros más pequeños y espacios limitados (Peng , Hideki , Sheng , & Dyson , 2023).

**Profundidad de la Tubería:** la profundidad es un factor relevante para definir el tipo de tecnologías sin zanja a implementar, algunas son limitadas para ciertas profundidades. (Alarcon Rocha & Pacheco Calvo, 2014)

**Longitud del tramo a instalar:** Las tecnologías sin zanjas también son limitadas a ciertas longitudes por lo que estas son determinantes a la hora de elección: (Alarcon Rocha & Pacheco Calvo, 2014)

**Material:** Este debe ser compatible con la tecnología sin zanja seleccionada. Algunas consideraciones:

- Tuberías de PVC o Polietileno: Son más flexibles y adecuadas para técnicas como perforación horizontal dirigida (HDD).
- Tuberías de Acero: Son más resistentes y se utilizan en tecnologías como micro túneles y CIPP

**Acometidas:** La presencia de acometidas puede aumentar los costos de construcción de tecnologías sin zanja, ya que pueden requerir medidas adicionales de mitigación de riesgos, pueden interferir en la realización de actividades y en algún caso se termina haciendo una cantidad de excavaciones en zanja abierta, lo cual afecta áreas como la movilidad entre otras.

Tecnología sin Zanja	Diámetro	Longitud	Profundidad	Material	Acometida
Pipe jacking	≥16"	<180 m	Mínimo 2 veces el diametro	Concreto Fibra de vidrio	El espesor de las tuberías no permite la conexión de domiciliarias
Tunnel liner	16" ≤ $\varnothing$ ≤ 48"	<180 m	<1000 mm	Concreto si se aplica directamente sobre las láminas de acero. Cualquier material si se utiliza como camisa	El espesor de las tuberías no permite la conexión de domiciliarias.
Pipe ramming	Hasta 1500 mm	<80 m	<1000 mm	Acero como camisa de la perforación y Polietileno de alta densidad y PVC como tubería interna	Requiere rotura de la superficie para conectar las domiciliarias

Tecnología sin Zanja	Diámetro	Longitud	Profundidad	Material	Acometida
Auger Boring	Hasta 1500 mm	<140 m	<600mm	Acero y concreto	Requiere rotura de la superficie para conectar las domiciliarias
PHD	$6'' \leq \phi \leq 24''$	<180 m	<600mm	Polietileno de alta densidad	Requiere rotura de la superficie para conectar las domiciliarias
Pipe bursting	$\leq 16''$	<120 m	<500 mm	HDPE, PVC	Requiere rotura de la superficie para conectar las domiciliarias
CIPP	$6'' \leq \phi \leq 42''$	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Vinilester, poliester, resinas epoxicas con o sin refuerzo en fibra de vidrio	Se pueden reconectar con robot sin romper la superficie

**Tabla 1:** Comparación de los criterios de diseño con las tecnologías a evaluar. Elaboración propia.

Nota: Los criterios de diseño de la tabla 1 se basaron en la experiencia obtenida en campo y con diferentes artículos bibliográficos. Estos datos pueden variar según el autor.

### 4.3. Criterios Técnicos

- **Área de espacio público y tráfico vehicular:** Hay algunas tecnologías que necesitan acceso a equipos, como las tecnologías de rehabilitación las cuales son vehículos de gran tamaño y que pueden generar afectaciones al tráfico o no se pueden implementar debido a la disponibilidad de espacio (Duque callejas, 2018).
- **Condiciones geotécnicas:** Las condiciones geotécnicas son importantes en tecnologías sin zanja porque afectan la facilidad y seguridad de la instalación. Factores como el tipo de suelo, la estabilidad, la presión del agua subterránea y la presencia de rocas influyen en la eficiencia y

viabilidad de los proyectos. Es crucial considerar estas condiciones para seleccionar métodos adecuados y garantizar la seguridad durante la instalación de la infraestructura subterránea (GÓMEZ, 2017).

•

Condiciones del Suelo	Pipe jacking	Tunnel liner	Pipe ramming	Auger Boring	PHD
Arcillas blandas a muy blandas limos y depósitos orgánicos	M	M	Y	Y	Y
Arcillas medias a muy rígidas y arcillas duras	Y	Y	Y	Y	Y
Arenas medias a sueltas por debajo del nivel freático	Y	Y	N	Y	Y
Arenas muy sueltas a sueltas por encima del nivel freático	M	Y	N	M	Y
Arenas medianas a densas por debajo del nivel freático	N	N	N	N	Y
Arenas medianas a densas por encima del nivel freático	Y	Y	N	Y	Y
Grava y cantos rodados de menos de 50-100 mm de diámetro	Y	Y	Y	Y	M
Rocas y obstrucciones de más de 100-150 mm de diámetro	M	M	Y	M	M
Rocas meteorizadas, margas, tizas y tobas ligeramente meteorizadas adecuadas para excavación manual	M	Y	M	Y	Y
Rocas masivas no meteorizadas	N	N	N	Y	M

**Tabla 2:** Los tipos de suelo que aplican para diferentes tipos de TSZ. (GÓMEZ, 2017)

Donde:

**Y:** Indica que el método es adecuado para esas condiciones del suelo.

**M:** Sugiere que el método puede ser adecuado, pero puede requerir modificaciones o equipo especializado.

**N:** Significa que el método no es adecuado para esas condiciones del suelo.

**Nota:** Las calificaciones pueden variar, pueden requerirse modificaciones en el equipo o procedimientos en condiciones de suelo difíciles. Problemas sustanciales, generalmente inadecuados o puede requerirse soporte adicional.

### 4.3 Criterios ambientales

Las variables ambientales juegan un papel crucial en la evaluación y gestión del impacto de las actividades de instalación en el entorno. Aunque su impacto sea menor en comparación con la instalación a zanja abierta, también generan impactos, por lo que es importante tenerlas en cuenta (GÓMEZ, 2017). Algunas de estas variables son:

- **Ruido (dB(A)):** El ruido generado por actividades de construcción o instalación puede afectar la salud y el bienestar de las personas que viven o trabajan cerca. En áreas sensibles como hospitales o centros educativos, es fundamental controlar y minimizar el ruido. (Callejas, 2018)
- **Polución (volumen: ppm y densidad:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ):** La polución del aire y del agua tiene consecuencias significativas para la salud humana y el ecosistema. La concentración de sustancias tóxicas y partículas en el aire y el agua debe monitorearse cuidadosamente (Callejas, 2018).
- **Polvo (ppm):** Las partículas de polvo pueden afectar la calidad del aire y la salud respiratoria. En zonas sensibles, como áreas de salud, es importante implementar medidas para reducir la emisión de polvo durante las obras (Callejas, 2018).

- **Contaminación del Agua (mg/L):** En la instalación se debe controlar la liberación de sustancias contaminantes en cuerpos de agua (Callejas, 2018)
- **Vibración (G):** Las vibraciones generadas por actividades de construcción pueden afectar estructuras cercanas y causar molestias a las personas. En áreas sensibles, se deben tomar precauciones para minimizar las vibraciones (Callejas, 2018).

#### **4.4. Costo total**

Si bien los costos directos del proyecto siempre se consideran, existen otros costos que pueden afectar su viabilidad. Por este motivo, es necesario tener en cuenta los costos ambientales y sociales asociados al proyecto, ya que estos también pueden tener un impacto significativo en su éxito a largo plazo. (GÓMEZ, 2017)





Al hacer clic en cualquiera de las dos opciones, el usuario será dirigido a una tabla correspondiente donde se encuentran organizados los criterios de evaluación en cuatro grupos principales: Diseño, Técnicos, Ambiental y Social, y Financieros. Estos criterios fueron seleccionados cuidadosamente con el propósito de abordar no solo aspectos técnicos, sino también consideraciones ambientales y financieras.

CRITERIOS DE ANÁLISIS			
D i s e ñ o		Número de tramo	
		Longitud (m)	
		Cambio de diámetro	
		Diámetro mínimo (mm)	
		Diámetro mínimo (pulgadas)	
		Diámetro máximo (mm)	
		Diámetro máximo (pulgadas)	
		Profundidad mínima de la Red (m)	
		Profundidad máxima de la Red (m)	
		Material de la tubería existente	
		Acometidas Existentes	
		Acometidas Nuevas	
T é c n i c o s		¿Existe acceso Vehicular?	
		¿Hay alto tráfico Vehicular y/o Peatonal?	
		¿Hay disponibilidad de espacio para construcción?	
		¿Hay presencia de redes principales?	
	s u e l o	Arcillas blandas a muy blandas limos y depósitos orgánicos	
		Arcillas medias a muy rígidas y arcillas duras	
		Arenas medias a sueltas por debajo del nivel freático	
		Arenas muy sueltas a sueltas por encima del nivel freático	
		Arenas medianas a densas por debajo del nivel freático	
		Arenas medianas a densas por encima del nivel freático	
		Grava y cantos rodados de menos de 50-100 mm de diámetro	
		Rocas y obstrucciones de más de 100-150 mm de diámetro	
		Rocas meteorizadas, margas, tizas y tobas ligeramente meteorizadas adecuadas para excavación manual	
Rocas masivas no meteorizadas			
Tenologías aplicables		<b>PIPE JACKING</b>	
		<b>TUNNEL LINER (PHD)</b>	
		<b>PIPE RAMMING</b>	
		<b>AUGER BORING</b>	
		<b>ZANJA ABIERTA</b>	

**Ilustración 3:** Criterios de evaluación de la matriz. Elaboración propia.

Diseño de una matriz de apoyo para la toma de decisiones en la construcción de alcantarillados considerando tecnologías convencionales y/o sin zanja

A medida que el usuario ingresa la información de cualquier GPZ para los 4 grupo de aspectos, la tabla misma compara automáticamente los datos ingresados con las cinco metodologías disponibles si se trata de reponer una red, y con dos metodologías si se necesita rehabilitación.

Criterio de Analisis	PIPE JACKING	TUNNEL LINER	PERFORACION HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD)	RAMMING	AUGER BORING
Longitud del Tramo	<180m	<180m	<180m	<80m	<140m
	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
	No aplica Tecnologia	No aplica Tecnologia	No aplica Tecnologia	No aplica Tecnologia	No aplica Tecnologia
Diámetro	∅>=400 mm	∅>=16" - 48" para el tunel	∅>= 6"-24" para el tunel	Hasta 1500 mm	Hasta 1500 mm
	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO
	Aplica Tecnologia	Aplica Tecnologia	Aplica Tecnologia	Aplica Tecnologia	Aplica Tecnologia
Material	GRP - Concreto	No tiene Restriccion	No tiene Restriccion	No tiene Restriccion	No tiene Restriccion
	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO
	Aplica Tecnologia	Aplica Tecnologia	Aplica Tecnologia	Aplica Tecnologia	Aplica Tecnologia
Acometidas Existentes	< 2 x 8m	< 2 x 5m	< 2 x 5m	< 2 x 5m	< 2 x 5m
	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	FALSO	FALSO
	< 2 x 8m	< 2 x 5m	< 2 x 5m	0	0
Acometidas Nuevas	Nuevas/Existentes <0.2	Nuevas/Existentes <0.2	Nuevas/Existentes <0.2	Nuevas/Existentes <0.2	Nuevas/Existentes <0.2
	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	FALSO	FALSO
	0	0	0	0	0

**Ilustración 4:** Parametros de comparación con el ingreso de la información en la matriz. Elaboración propia.

En esta matriz, el aspecto financiero va más allá de simplemente evaluar los costos de instalación. También se consideran los costos ambientales y sociales asociados, tal como se evidencia en la siguiente ecuación de evaluación:

$$Tecnologiaescogida = a * (Impactoambiental) + b * (impactosocial) + c * (Costo)$$

Donde a, b y c son constantes de elección y donde a= 25%, b=25% y c=50%

Una vez que el usuario haya completado el llenado de la información requerida, encontrará en la parte inferior la tecnología recomendada para implementar.

A m b i e n t a l  y  s o c i a l		¿Contaminación por polvo?	
		¿Residuos de la obra?	
		¿Afectación por lluvias?	
		¿Afectación al tránsito?	
		¿Acceso a iluminación pública?	
		¿Comercios en la zona?	
		¿Institutos Educativos?	
		¿Zona Netamente Residencial y/o Personas con limitaciones físicas?	
		¿Interfiere a acceso de viviendas?	
		¿presencia de árboles de gran diámetro?	
		Seguridad pública	
		¿Se encuentra la tecnología en el mercado?	
		¿Impacto económico de la Zona?	
		¿Impacto social de la Zona?	
Ponderación (costos)		<b>PIPE JACKING</b>	
		<b>TUNNEL LINER</b>	
		<b>(PHD)</b>	
		<b>PIPE RAMMING</b>	
		<b>AUGER BORING</b>	
		<b>ZANJA ABIERTA</b>	

**Ilustración 5:** Resultado de la ponderación de un proyecto en la matriz.

Cabe mencionar que, si no cumple ninguna de las tecnologías evaluadas, la matriz definirá que la mejor opción es realizarla por el método tradicional es decir zanja abierta.

## **6 Resultados**

El resultado de este trabajo de grado es una matriz desarrollada para la selección de siete tipos de tecnologías sin zanja. Esta matriz ofrece una evaluación integral de aspectos de diseño, técnicos, ambientales, sociales y financieros.

En particular, la evaluación financiera de esta matriz contempla no solo los costos asociados a la instalación de las tecnologías, sino también los costos ambientales y sociales. Esta consideración ampliada garantiza que la selección de la tecnología adecuada no se base únicamente en consideraciones económicas, sino que también tenga en cuenta su impacto en el medio ambiente y en la comunidad.

Al incorporar estos aspectos en la evaluación de las tecnologías, la matriz proporciona una visión más completa y equilibrada, lo que facilita la toma de decisiones de manera efectiva, informada y sostenibles en proyectos relacionados con la implementación de tecnologías sin zanja tipo GPZ, en el equipo de reposición de redes y su zona de influencia que es el área metropolitana.

## **7 Discusión**

Aunque la matriz actualmente en uso es una herramienta valiosa, se reconoce la necesidad de incorporar una gama más amplia de variables de discusión. Es fundamental considerar el histórico de costos asociados a cada tecnología específica en el área metropolitana para enriquecer aún más el proceso de evaluación y selección.

Para mejorar la estructura y funcionalidad de la matriz, se sugiere explorar métodos para facilitar el ingreso de información, lo que puede incluir la implementación de formularios interactivos o interfaces más intuitivas. Además, se podría considerar la inclusión de campos adicionales para capturar datos relevantes y ofrecer una evaluación más completa de cada tecnología sin zanja en consideración

## **8 Conclusiones**

Se ha logrado desarrollar una matriz de toma de decisiones destinada a guiar los proyectos tipo GPZ a ejecutar en el equipo de reposición de redes adscrito a la Unidad de Desarrollo de Intervenciones de Inversión EPM, especialmente diseñada para los profesionales encargados de la toma de decisiones en este ámbito. Este esfuerzo representa un trabajo arduo de investigación, orientado a mejorar los procesos existentes y garantizar que las decisiones se tomen de manera ágil y oportuna.

La implementación de esta matriz proporciona una estructura sólida y sistemática para evaluar y seleccionar las mejores opciones para cada proyecto, considerando una variedad de factores clave, como aspectos técnicos, financieros, ambientales y sociales. Además, al involucrar a los profesionales competentes en el desarrollo de esta herramienta, se asegura que refleje adecuadamente las necesidades y prioridades específicas del área de reposición de redes.

Con esta matriz a disposición, los profesionales pueden apoyarse para tomar decisiones informadas y estratégicas que maximicen la eficiencia y la efectividad en la ejecución de los proyectos de reposición de redes, contribuyendo así a la mejora continua y al éxito general de la unidad.

Es necesario seguir investigando sobre los factores que se ven afectados en las tecnologías sin zanja, ya que no se encuentran muchos pocos artículos o investigaciones que se puedan llevar.

## Referencias

- Alarcon Rocha, J. A., & Pacheco Calvo, J. L. (2014). Comparacion tecnologica y costos del método de instalacion de tuberias sin zanja (trenchless) más eficiente para los suelos encontrados en un proyecto de Bogotá.
- Ariaratnam, S., Lueke, J., & Mich, J. (2014). Tendencias actuales en rotura de tuberías para renovación de sistemas de infraestructura subterránea en América del Norte.
- Asociación Ibérica de tecnología sin zanja. (2024). *Ibstt*. Obtenido de <https://tecnologiasinzanja.org/quienes-somos/tecnologias-sin-zanja/>
- Callejas, J. E. (2018). Beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia.
- DANE. (2011). *Demografía*.
- Duque callejas, J. (2018). Beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia.
- GÓMEZ, J. D. (2017). Necesidades en normas y legislación con el fin de hacer más atractivas las tecnologías sin zanja.
- Howell, N. (2004). La técnica de pipe ramming.
- LAMSTT. (2023). *Latin American Society for Trenchless Technology - Asociación Latinoamericana de Tecnologías Sin Zanja*. Obtenido de <https://lamstt.org/es/tecnologia-sin-zanja>
- Li , B., Wei , Y., Yongen , X., Hongyuan , F., Xueming , D., Niannian , W., . . . Xiaohua , Z. (2023). Rehabilitación sin zanjas de tuberías de aguas residuales desde la perspectiva de toda la cadena tecnológica: una revisión del estado del arte.
- Montañez, W. A. (2021). Análisis de la efectividad de los métodos sin zanja (pipe bursting y perforación horizontal dirigida phd) para renovación de redes y cruces viales de redes de acueducto y alcantarillado en Bogotá D.C.
- Movitierra Construcciones S.A. (2024). Obtenido de <https://www.movitierra.com/es/tecnologia-sin-zanja-PG96>
- Najafi, M. (2010). *Nuevas instalaciones de tuberías*.
- Nayafi, M. (2016). "Introducción". *Cap. 1.1 en Renovación de Infraestructura de Oleoductos y Gestión de Activos . 1ª edición*. Nueva York.

Peng , M., Hideki , S., Sheng , H., & Dyson , N. (2023). Transition of the pipe jacking technology in Japan and investigation of its application status.

Pinzón Abaunza, J. A. (2011). Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá.

Rivera, D. T. (2021). *Guía de diseño y construcción de alcantarillados*. Tunja, Boyacá.

The International Society for Trenchless Technology. (2024). *Auger Boring*.

Tovar Romero, E., Valero Fandiño, J., & Cepeda Ariza, L. (2021). Metodología para selección de tecnologías de rehabilitación de alcantarillados sin zanja en Bogotá, Colombia.