



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE
ALCANTARILLADOS POR LA OPCIÓN CONVENCIONAL Y/O SIN ZANJA.**

**OSCAR AUGUSTO MORENO RINCÓN
YENNY PAOLA LÓPEZ MENESES**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTA D.C.
2021**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE
ALCANTARILLADOS POR LA OPCIÓN CONVENCIONAL Y/O SIN ZANJA.**

**OSCAR AUGUSTO MORENO RINCÓN
YENNY PAOLA LÓPEZ MENESES**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR
FELIPE SANTAMARÍA ALZATE
Ingeniero Civil Esp, Msc Recursos Hídricos y del ambiente**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTA D.C.**

2021



Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia



Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

BOGOTA D.C., 22, JUNIO, 2021

DEDICATORIA

A mi abuelo, al que debo lo que soy y siempre fueron mi ejemplo a seguir siendo una fuente interminable de enseñanzas y ahora me acompaña desde el cielo.

A mis padres por el apoyo, comprensión y colaboración que siempre me brindaron desde el primer día que decidí estudiar Ingeniería.

Y a cada una de las personas que pusieron de su tiempo y colaboración en este proyecto. Gracias totales...

OSCAR MORENO

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor de tesis el Ing. Msc. Felipe Santamaria, por su apoyo y colaboración que nos brindó siempre para que el presente trabajo sea lo mejor posible.

Al Ing. Yeison Ávila, por su cooperación y contribuciones importantes en el tema de alcantarillados para la investigación preliminar en este trabajo.

A cada uno de los colaboradores de las empresas EAAB-ESP, HINCATUBO LATAM, ASOCIACION ICTIS, PLINCO SA Y APINDICO SAS por su tiempo y colaboración con la encuesta que es un punto clave en el desarrollo de nuestra metodología de investigación para el presente proyecto.

¡Muchas Gracias!



TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | TÍTULO..... | 1 |
| 2 | ALTERNATIVA..... | 1 |
| 3 | LÍNEA DE INVESTIGACIÓN | 1 |
| 4 | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 5 | ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN. | 3 |
| 6 | PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 9 |
| 7 | ESTADO DEL ARTE | 10 |
| 7.1 | Desarrollo histórico de los sistemas de drenaje urbano..... | 10 |
| 7.2 | Las fallas de los sistemas de drenaje y tratamiento..... | 10 |
| 7.3 | El sistema de alcantarillado de Bogotá..... | 11 |
| 7.4 | Beneficios Socio-Ambientales De Las Tecnologías Sin Zanja En Colombia | 12 |
| 7.5 | Las características físicas de las tuberías como indicadores de la condición estructural y su utilización para tomar decisiones en la gestión de activos del sistema de alcantarillado. | 14 |
| 8 | MARCO DE REFERENCIA | 15 |
| 8.1 | MARCO TEÓRICO..... | 15 |
| 8.1.1 | Sistemas Convencionales De Alcantarillado | 16 |
| 8.1.2 | Métodos Constructivos Sin Zanja..... | 17 |
| 8.2 | MARCO CONCEPTUAL | 20 |
| 8.2.1 | Aguas Domésticas..... | 20 |
| 8.2.2 | Aguas Industriales | 21 |
| 8.2.3 | Aguas Lluvias | 21 |



| | | |
|--------|---|----|
| 8.2.4 | Alcantarillado..... | 21 |
| 8.2.5 | Matriz De Decisión: | 22 |
| 8.2.6 | Tecnología Sin Zanja: | 22 |
| 9 | OBJETIVOS | 23 |
| 9.1 | GENERAL..... | 23 |
| 9.2 | ESPECÍFICOS. | 23 |
| 10 | ALCANCE Y LIMITACIONES | 24 |
| 11 | METODOLOGÍA..... | 25 |
| 11.1 | Fase 1: Decidir el método de construcción del proyecto..... | 27 |
| 11.2 | Fase 2: Estudio de necesidades hidráulicas y/o diseños de la red. | 27 |
| 11.3 | Fase 3: Generar las opciones técnicamente viables..... | 27 |
| 11.4 | Fase 4: Establecer los criterios de comparación..... | 28 |
| 11.5 | Fase 5: Desarrollo del método AHP (Analitic Hierarchy Process). | 29 |
| 12 | ANÁLISIS Y RESULTADOS | 35 |
| 12.1 | Fase 6: Análisis de encuestas realizadas a empresas de la capital. | 35 |
| 12.2 | Fase 7: Resultados de encuesta | 36 |
| 12.2.1 | ANÁLISIS DE RESULTADO DE LA ENCUESTA | 43 |
| 12.3 | Fase 8: Análisis de la metodología propuesta en la escogencia de la opción de construcción de alcantarillados en Bogotá por el método AHP (Analitic Hierarchy Process). 46 | |
| 12.4 | Fase 9: Resultados del estudio de caso: “Grado de importancia de las características del proyecto y los costos asociados con cada criterio para la comparación de las opciones convencional y sin Zanja.” | 50 |
| 13 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 55 |
| 14 | BIBLIOGRAFÍA..... | 57 |



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR
CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR
MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.

ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039
OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388

DIRECTOR:

FELIPE SANTAMARIA
Director trabajo de Grado

| | |
|-----------------|----|
| 15 ANEXOS | 59 |
|-----------------|----|



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR
CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR
MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.

ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039
OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388

DIRECTOR:

FELIPE SANTAMARIA
Director trabajo de Grado

TABLA DE IMÁGENES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Diagrama de flujo. Metodología de elección adecuada para construcción de alcantarillado..... | 26 |
| Ilustración 2. Relación de los niveles participantes en la estructuración del proyecto por proceso de AHP. | 30 |
| Ilustración 3. Grafica de promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas. | 37 |
| Ilustración 4. Grafica de promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas. | 38 |
| Ilustración 5. Grafica de promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas. | 39 |
| Ilustración 6. Grafica de promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas. | 41 |
| Ilustración 7. Grafica de promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas. | 42 |
| Ilustración 8. Grafica de promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas. | 45 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Escala fundamental de Saaty utilizada en AHP (Saaty, 1994). | 31 |
| Tabla 2. Configuración de la matriz de comparación por parejas en un proceso de AHP (Botero, 2005). | 32 |
| Tabla 3. Índice de aleatoriedad promedio de consistencia para matrices de distintos tamaños (Saaty, 1994). | 34 |
| Tabla 4. Promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas. | 36 |
| Tabla 5. Promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas. | 38 |
| Tabla 6. Promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas. | 39 |
| Tabla 7. Promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas. | 40 |
| Tabla 8. Promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas. | 42 |
| Tabla 9. Promedio general de respuestas por criterios de empresas encuestadas. | 45 |
| Tabla 10. Criterios empleados en la comparativo de opciones de construcción de alcantarillados. | 46 |
| Tabla 11. Identificadores correspondientes a cada criterio de comparación de opciones en proyectos de construcción de alcantarillados. | 48 |
| Tabla 12. Matriz de comparativo de criterios de escogencia de opciones de construcción de alcantarillados. | 48 |
| Tabla 13. Resultados obtenidos de los parámetros en la matriz en el comparativo de criterios. | 49 |
| Tabla 14. Máximo eigenvector y vector prioridad de los criterios asignados en el comparativo de opciones. | 50 |
| Tabla 15. Importancia relativa de las magnitudes de los indicadores de comparación de criterios en el estudio de opciones, valores máximos según (Apeldoorn, 2010). | 51 |
| Tabla 16. Matriz de comparación para Costos directos de la obra entre las opciones. | 52 |
| Tabla 17. Eigenvector y vector prioridad para los Costos directos de la obra entre las opciones. | 52 |
| Tabla 18. Matriz formada por todos los vectores prioridad de la comparación de las opciones. | 53 |
| Tabla 19. Vector final de escogencia de opciones estudio de costos directos. | 53 |



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR
CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR
MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.

ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039
OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388

DIRECTOR:

FELIPE SANTAMARIA
Director trabajo de Grado

ÍNDICE DE ANEXOS

**VISTAS DE LA REALIZACIÓN DEL EXCEL (DETERMINACIÓN DE CRITERIOS PARA
CONSTRUIR ALCANTARILLADOS POR EL METODO DE
SAATY.XLSX).....**

55



PERIODO SEMESTRE 2021-1

PROGRAMA ACADÉMICO INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIANTE. OSCAR AUGUSTO MORENO RINCÓN CÓDIGO 506388

ESTUDIANTE. YENNY PAOLA LÓPEZ MENESES CÓDIGO 504039

DIRECTOR SUGERIDO FELIPE SANTAMARIA

OPCIÓN TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: SANEAMIENTO SUSTENTABLE DE
COMUNIDADES**

TEMA: REDES DE SANEAMIENTO

1 TÍTULO

Matriz de toma de decisiones para adaptar construcciones de alcantarillados por la opción convencional y/o sin zanja.

2 ALTERNATIVA

Trabajo de Investigación

3 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Saneamiento sustentable de comunidades

4 INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se enmarca en la construcción de una matriz de decisiones de acuerdo al análisis del tipo de obras de alcantarillado que se vaya a construir. El documento describe de manera general la organización fuente del problema enunciando objetivos, políticas, marco teórico, conceptos, y composición del análisis; de igual manera explica el marco metodológico definiendo el tipo y método de investigación utilizado, las herramientas empleadas para la recolección de la información, fuentes, supuestos y restricciones del proyecto. Otros puntos



importantes del proyecto, tienen relación con el estudio técnico, estudio económico – financiero, en los cuales se definen aspectos de relevancia establecidos para la propuesta. En la evaluación y formulación se hace planteamiento del problema, se definen las opciones de solución, propuesta a desarrollar, complementariamente con el análisis y alcance.

Respecto a la investigación a desarrollar se encontró que se han hecho muy pocas investigaciones importantes sobre el tema. El proyecto se desarrolla dentro del contexto de la construcción de una matriz de decisiones realizando comparativos de acuerdo la metodología AHP que tiene como objetivo encontrar el mejor método de construcción llevando un lineamiento de las fases y etapas para el estudio del proyecto. La construcción de una matriz de decisiones para la construcción de un alcantarillado implica el desarrollo de los dos tipos de metodología más utilizados en la ciudad, para lo cual nuestra investigación se centrará en los métodos convencional y sin Zanja, dado que son los que abarcan este tipo de construcciones, de las cuales salen los diferentes tipos de metodologías secundarias. La matriz incluirá un análisis comparativo de las metodologías anteriormente nombradas, un aproximado de sus costos directos y los impactos involucrados para ambos casos.



5 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.

El último proyecto de investigación que se desarrolló con características similares al presente proyecto fue el de la Universidad de los Andes, que se titula “CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN DE ALCANTARILLADOS EN COLOMBIA”, con autoría del Ing. Julio Carlos De Oro Vergara.

En la cual se afirmó que se concentra principalmente en la fase de desarrollo de la solución ya que en esta etapa es donde se escoge el procedimiento final que se aplicará en las siguientes etapas de los proyectos de este tipo, tal procedimiento ha sido escogido entre las alternativas técnicamente viables teniendo en cuenta los criterios de comparación utilizados habitualmente por las empresas prestadoras del servicio de alcantarillado en algunas ciudades de Colombia. (Vergara, 2008, pág. 8)

Con el objetivo de generar mejoras en el proceso de planeación en los proyectos de rehabilitación de alcantarillados en Colombia, se ha analizado la comparación de alternativas que realizan actualmente las empresas colombianas encargadas de prestar el servicio y los criterios de comparación que utilizan; recomendando un proceso de comparación ordenado para elegir la mejor alternativa final dentro las opciones técnicas disponibles. (Vergara, 2008, pág. 8)

La diferencia con el presente proyecto se trata en el enfoque, ya que este tratara el tema de Construcción de Alcantarillados y la anterior investigación mencionada anteriormente trataba sobre la rehabilitación de Alcantarillados.



Otra investigación que se realizó en cuanto al tema fue la de Jorge Andrés Pinzón Abaunza en 2011; estudiante de la Pontificia Universidad Javeriana, la cual se titulaba “EVALUACIÓN Y PERSPECTIVAS DE LA UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS SIN ZANJA EN REDES DE ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ”, en la que se llevaron a cabo una serie de fases y actividades como, por ejemplo: La recopilación de información histórica a través de archivos de entidades como la empresa de agua y alcantarillado de Bogotá, el Instituto Colombiano de Infraestructura subterránea, libros y demás fuentes bibliográficas , en donde se establecerá el contexto mundial y nacional que ha tenido la evolución y el desarrollo de los métodos sin zanja. Lo anterior estará acompañado de registros de obras y proyectos desarrollados a nivel mundial y local contemplando tanto las implicaciones que existieron cuando se realizaron este tipo de proyectos, como también las principales razones que condujeron al surgimiento y desarrollo de estas tecnologías; con lo anterior se pretenderá abordar uno de los objetivos específicos de este trabajo de grado el cual contempla, evaluar la evolución desde los últimos 10 años de la aplicación de las tecnologías sin zanja para redes de alcantarillado en Colombia y particularmente para la ciudad de Bogotá.

Una segunda fase examinará el amplio universo de procedimientos sin zanja que están siendo aplicados a nivel mundial y nacional. De esta gran gama de tecnologías, se hará un inventario de los principales métodos a partir de la consulta realizada en libros, artículos, bases de datos de la universidad Javeriana y también tras el contacto directo con el Instituto Colombiano de Infraestructura Subterránea, el cual nos brindará información al respecto y nos relacionará con los principales contratistas y empresarios que hoy en día trabajan en este campo de la ingeniería. Dentro de este mismo inventario se realizarán unas fichas técnicas de cada método que fue caso de estudio, con el fin ubicar al lector rápidamente sobre el tipo de tecnología, su principio de funcionamiento, su aplicación, sus ventajas, sus



desventajas y demás condiciones técnicas. Así mismo se contemplarán reuniones con la empresa de agua y alcantarillado de Bogotá en donde a través de información suministrada por ellos, en lo que tiene que ver con el estado actual de las redes y también con base en los principales problemas que se han registrado en el colapso de sus activos, se establecerá la posible aplicación que podrían llegar a tener las tecnologías estudiadas para ser utilizadas como solución a los daños estructurales y operacionales que vienen presentándose en la ciudad. Cabe resaltar que lo anterior también estará acompañado de visitas a varios frentes de obra, que estén en ejecución y en los cuales se esté aplicando la tecnología sin zanja en las redes de alcantarillado de la ciudad. En estas visitas se consignará información como localización del proyecto, tipo de tecnología, diámetros, longitudes, materiales, equipos y demás características puntuales que lleven a establecer los requerimientos necesarios para la aplicación de cada tecnología específica en las redes de alcantarillado de Bogotá. Con lo anterior se pretenderá abordar otro de los objetivos específicos de este trabajo de grado en donde se contemplará identificar las principales tecnologías sin zanja actualmente aplicadas en el mundo según la ISTT (The International Society For Trenchless Technology) y determinar su posible aplicación para redes de alcantarillado de Bogotá.

La fase final de este trabajo de grado contemplará un análisis general del potencial y perspectivas de utilización de las tecnologías sin zanja en las redes de alcantarillado de la ciudad. Lo anterior se realizará con base en el procesamiento tanto de las bases de datos de los activos de alcantarillado de Bogotá que han sido inspeccionadas por medio de circuito cerrado de televisión a través de la empresa de agua y alcantarillado como también de un análisis de precios sobre este tipo de métodos según como lo tienen establecido sus proveedores y contratistas. Con ello se pretenderá estimar que tan competitivas están siendo estas tecnologías sin zanja



entre si y que brecha existe hoy en día entre estos métodos y los convencionales; así mismo obtendremos resultados de las redes de alcantarillado inspeccionadas en Bogotá en función de su estado estructural que ayuden a establecer el potencial de aplicación de este tipo de alternativas según los grados de deterioro que se hayan obtenido en los resultados. Con lo anterior se pretenderá abordar el último objetivo específico asociado al potencial de utilización y a las perspectivas de utilización de estas tecnologías sin zanja en las redes de alcantarillados de la ciudad durante los próximos 10 años. Desarrolladas cada una de estas fases abarcaremos el propósito de esta monografía cuyo objetivo principal estaba entorno a evaluar la evolución y perspectivas de utilización de las tecnologías sin zanja en las redes de alcantarillado de Bogotá. (Abaunza, 2011, págs. 22-23)

Debido a que los alcantarillados convencionales usualmente son sistemas de saneamiento costosos, especialmente para localidades con baja capacidad económica, este proyecto busca proponer una matriz que mejore el análisis en la toma de decisiones a la hora de construir un alcantarillado apropiado para obtener un detalle de los costos incluyendo las consideraciones de diseño adicionales; con esto se busca dar una idea para los proyectos a realizar con el fin de mostrar a los contratistas e interventores la mejor opción e idea a la hora de construir un sistema convencional o un sistema no convencional (sin zanja), que se ajuste a las necesidades reales de los proyectos aportando los requerimientos adecuados a la obra, teniendo la plena confianza de ver la viabilidad de las construcción en la zona que se demande y a su vez aportar a la población que lo requieran construcciones en obras de alcantarillado sostenibles.




Para la presente investigación se aporta información útil tanto de sectores públicos como privados para tomar la mejor decisión en la aplicación de una metodología en obras de acueducto y alcantarillado.

Habitualmente en nuestro país se interfieren elementos relacionados con las deberes y responsabilidades pactados entre un contratante (empresa prestadora del servicio o municipalidad) y un contratista. Esto implica que los aspectos más relevantes son los relacionados con costos directos de construcción para comparar opciones, los están directamente involucrados en la construcción del proyecto.

Las empresas que fueron encuestadas trabajan en proveen servicios como la construcción de alcantarillados a la población especialmente de Bogotá, en el desarrollo de la presente investigación se realizó un análisis de estudios llegando a la conclusión de ocho criterios principales a la hora de escoger la mejor opción en la construcción, estos fueron evaluados de la siguiente manera; como primer criterio se encontró los costos directos de la obra, nuestro segundo criterio fue estado de las vías, un tercero la duración de los trabajos, como cuarto vida útil de la tubería, un quinto que hace referencia a la afectación del tráfico, el sexto y séptimos que nos habla de los impacto tanto de la polución como del ruido y por último el octavo criterio que hace referencia a las pérdidas económicas en los negocios.

Actualmente los criterios utilizados por las empresas se enmarcan principalmente en la viabilidad económica de los proyectos, los tiempos de ejecución de las obras, la estabilidad de la inversión (vida útil de la tubería) y los impactos en la sociedad donde se involucra el comercio, los usuarios y la población en general.

En el análisis de sensibilidad actualmente se observa que los criterios ligados con costos sociales desde un punto de vista económico influyen en la selección de

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|--|---|---|

opciones de construcción de alcantarillados, especialmente cuando son de gran envergadura e importancia hacia la sociedad y hay grado de comparación de tecnologías u opciones de excavación y excelentes resultados.



6 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Cuando se realizan nuevos proyectos hoy en día en la construcción encontramos una variedad de opciones para construir alcantarillados, ya que los factores de proyectos de infraestructura implican no solo relacionar los aspectos constructivos propios de las instalaciones o construcción de acueductos, y tomando en cuenta la vulnerabilidad y que tipo de afectaciones de forma indirecta involucra la comunidad.

Entre los posibles problemas encontramos la desviación del tráfico, por interrupción del comercio, por generación de ruido, entre otras, las cuales pueden ser incluidas como elementos o criterios de comparación de opciones evaluadas con sus indicadores de la afectación generada o midiendo los costos “sociales” adicionales a los costos directos de construcción del proyecto.

Con base a los criterios de mayor prioridad que se obtuvieron por las empresas encuestadas para el actual trabajo de investigación en la construcción de alcantarillados se escoge las opciones finales y se realiza la comparación de las metodologías a realizar para llegar a un resultado integral de la mejor opción que se tiene a la hora de realizar este tipo de construcciones de alcantarillado por metodología convencional o sin zanja.

¿Cómo aplicar una matriz de toma de decisiones para seleccionar la mejor opción a la hora de construir una instalación de tubería por métodos convencionales de alcantarillado o método sin zanja para encontrar el un óptimo resultado en futuros proyectos a realizar?



7 ESTADO DEL ARTE

Hace algo más de un siglo los ingenieros en el mundo entero discutían técnicamente en la dirección debería tomar el manejo del drenaje urbano de las ciudades europeas y del nuevo mundo. En el centro de la discusión se tenía el nuevo sistema de alcantarillado para la evacuación de las aguas ofensivas que se generaban en los domicilios y la industria, y si dichas aguas debiesen manejarse con dos sistemas de tuberías y canales independientes un sistema que llevara las aguas lluvias que escurren por la ciudad y otro que llevara las aguas residuales domésticas e industriales, el alcantarillado separado, o si se debían manejar esos dos tipos de aguas en un solo sistema de tuberías en donde los dos tipos de aguas van mezclados, el alcantarillado combinado.


Los dos sistemas tenían fervientes defensores que argumentaban sus virtudes y problemas que vale la pena recordar en el momento actual en la ciudad de Bogotá.

7.1 Desarrollo histórico de los sistemas de drenaje urbano

Existen evidencias históricas sobre la presencia de alcantarillados en las ciudades antiguas de las culturas persas, griegas y romanas, aunque su uso era más para la evacuación de aguas de escorrentía y las usadas de aseo personal que para el transporte de excrementos humanos. (Giraldo, 2000, págs. 21,22)

7.2 Las fallas de los sistemas de drenaje y tratamiento

Los sistemas de saneamiento urbano que se desarrollaron estuvieron basados, en los principios de la evacuación y transporte de las materias fecales humanas fuera de las ciudades y del control de inundaciones y molestias para los ciudadanos asociadas éstas últimas a las aguas de escorrentía que fluían rápida y abundantemente en las ciudades por sus características impermeables. Poco se había hablado hasta el momento sobre consideraciones ecológicas, es decir, sobre

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|--|---|---|

la salud de los animales y plantas que habitan en los cuerpos de agua que reciben los drenajes de la ciudad. (Giraldo, 2000, pág. 25)

La mayoría de las ciudades grandes del mundo desarrollado que construyeron sus sistemas de alcantarillado en el siglo pasado y principios de éste han tenido y tienen graves problemas con los reboses de los alcantarillados combinados, Chicago, Boston, Nashville, París, Londres, Hamburgo, Bruselas, Rotterdam, Copenhague son algunas de las ciudades que en estos momentos tienen extensos programas de control de los reboses de los alcantarillados combinados. Grandes cantidades de dinero se invierten en la separación de los alcantarillados en todo el mundo, en la instalación de estructuras de almacenamiento y tratamiento, y en el control automático de los sistemas de alcantarillado combinado. (Giraldo, 2000, págs. 26,27)

7.3 El sistema de alcantarillado de Bogotá

De acuerdo a Rodríguez, en los años 50 el tema del alcantarillado de la ciudad estaba manejado no por la empresa de acueducto municipal sino directamente por una dependencia de la alcaldía de la ciudad; solamente una tercera parte de la ciudad contaba con alcantarillado y un cuarenta por ciento del centro de la ciudad tenía el alcantarillado en condiciones casi inservibles. Las aguas negras corrían por zanjones inmundos dentro del mismo perímetro urbano convirtiéndose en foco de enfermedades para la población. No existía un plan maestro de alcantarillado de la ciudad y por lo tanto había un gran desorden sobre la solución de los problemas de evacuación de aguas servidas en los nuevos desarrollos urbanísticos. Los alcantarillados existentes eran de tipo combinado. (Giraldo, 2000, págs. 27,28)



En 1955 se incorporó el manejo del alcantarillado al del acueducto y se fundó para tal objeto la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. En 1960 se contrató a la firma Camp, Dresser y McKee junto con la firma Compañía de Ingeniería Sanitaria de Bogotá para la elaboración del Plan Maestro de Alcantarillado de la ciudad.

Más recientemente la ciudad ha recibido un estudio sobre la Rehabilitación del Sistema del Alcantarillado que ha evaluado el sistema de alcantarillado de la ciudad desde un punto de vista hidráulico, estructural y ambiental. (Giraldo, 2000, pág. 28)

Actualmente hay propuestas para aceptar el hecho de que los alcantarillados de la ciudad son alcantarillados combinados y que se deben por lo tanto tratar como tal y que los desarrollos futuros de la ciudad en materia de alcantarillado en amplias zonas de la ciudad deberían descartar el esquema de alcantarillados separados. (Giraldo, 2000, pág. 30)

7.4 Beneficios Socio-Ambientales De Las Tecnologías Sin Zanja En Colombia


El desarrollo del ejercicio de investigación permitió comprender que las Tecnologías Sin Zanja constituyen un conjunto de herramientas para realizar trabajos de infraestructura subterránea, reduciendo las intervenciones en superficie, y que por lo tanto, aunque existan algunas más versátiles que otras, ninguna debe descalificarse porque el objetivo de las tecnologías es brindar una amplia gama de opciones para dar soluciones a los problemas de los proyectos. De esta manera, las tecnologías de rehabilitación de redes permiten renovarlas desde su interior y ofrecen rendimientos extraordinarios, del orden de horas por tramo, además de requerir mínimas intervenciones en superficie. Las tecnologías de reposición



permiten incrementar el diámetro de la red, ofrecen altos rendimientos, del orden de uno o dos días por tramo, y solo requieren una serie de intervenciones menores en superficie. Las tecnologías livianas de instalación de tuberías también ofrecen altos rendimientos, del orden de dos o tres días por tramo, pero a diferencia de las anteriores permite construir redes nuevas, aunque tiene ciertas restricciones en el control de la pendiente y los tipos de suelo. (Duque, 2018, pág. 76)


También se pudieron identificar los beneficios socio-ambientales que ofrecen estas tecnologías, ya que tienen un gran potencial para mitigar los grandes impactos de los trabajos a zanja abierta, como el tráfico vehicular, la afectación al comercio, la contaminación y el deterioro de la salud social y ecológica, en periodos de tiempo considerable, del orden de uno o dos meses por cuadra. Se encontraron además lineamientos para impulsar la implementación de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia, ya que los expertos concuerdan en la necesidad de educar en distintos niveles a las autoridades, a los alcaldes, a las empresas prestadoras de servicios públicos y a los diseñadores, en las bondades de estas tecnologías. (Duque, 2018, pág. 77)

También concuerdan en la necesidad de establecer estándares propios para la aplicación de Tecnologías Sin Zanja, ya que, en primer lugar, la reputación de dichas tecnologías se está viendo amenazada por las malas aplicaciones de contratistas irresponsables que finalmente constituyen una mala imagen para la tecnología. (Callejas, 2018)

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|--|---|---|

7.5 Las características físicas de las tuberías como indicadores de la condición estructural y su utilización para tomar decisiones en la gestión de activos del sistema de alcantarillado.

El deterioro de los sistemas de alcantarillado es un problema que afecta a las ciudades, no solo en su estado estructural sino también en su capacidad hidráulica y nivel de servicio. En consecuencia, los encargados del sistema de alcantarillado están trabajando en el desarrollo de una gestión proactiva para tomar decisiones a tiempo y evitar emergencias públicas. Es por esto que el objetivo de este trabajo fue predecir la condición de las tuberías en la ciudad de Bogotá utilizando algoritmos tipo cluster (k –means), para discriminar las tuberías que tienen buena condición estructural de las que no. Entre los resultados más sobresalientes se encontró una relación entre las características estructurales de las tuberías y su estado (prueba Chi – cuadrado) siendo la pendiente y la profundidad las variables más relacionadas con el estado de las tuberías. Adicionalmente, estas relaciones encontradas resultaron lineales al agrupar las tuberías en un plano de componentes principales. (López-Kleine, 2016)

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|--|---|---|

8 MARCO DE REFERENCIA

8.1 MARCO TEÓRICO

Para la construcción de alcantarillados es necesario realizar estudios preliminares para conocer las características y condiciones del terreno que se va a intervenir, recolectando datos y antecedentes que son esenciales para la toma de decisiones a la hora de diseñar, así como la metodología para construir que más convenga en los proyectos teniendo en cuenta la efectividad de la metodología, costos, tiempos de ejecución y la que ayude a reducir impactos ambientales.

Según la Resolución 0330 del 2017 los “métodos constructivos deberán garantizar que no afectan la condición funcional de la obra” y “cumplir con los estándares de calidad y demás requisitos de la construcción definidos en el diseño” (Ministerio de Vivienda, 2017) al igual que el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS Título D que nos dan las “condiciones requeridas para la concepción y el desarrollo de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias, considerados como convencionales”. (MINVIVIENDA, 2016)

Los alcantarillados son sistemas de tuberías conectadas donde transportan la recolección de aguas residuales y aguas pluviales generadas por la población, garantizando una disposición adecuada de estas aguas para evitar riesgos en la salud de las personas por epidemias al no tratarlas de manera adecuada, a medida que pasa el tiempo se han creado diferentes metodologías para la construcción de acueductos y alcantarillados que han facilitado la manera de realizar las construcciones hoy en día y tenemos la posibilidad de escoger la mejor opción o la que más convenga a los proyectos, a continuación se hablara de las metodologías de construcción más utilizadas en Colombia por métodos convencionales y métodos sin zanja:



8.1.1 Sistemas Convencionales De Alcantarillado


Hoy en día en la ingeniería se presentan diferentes metodologías cuando vamos a realizar construcciones, en alcantarillados encontramos sistemas tradicionales como los convencionales utilizados para la recolección y el transporte de aguas residuales o pluviales hasta los sitios de disposición final, en estos sistemas convencionales los podemos dividir en dos los más comunes alcantarillados separados y alcantarillados combinados. (López, 1995)

8.1.1.1 Alcantarillados Separados

Los alcantarillados separados son la principal opción a la hora de diseñar y construir un sistema de recolección de aguas residuales y aguas pluviales hoy en día en el país. Estas redes de alcantarillado son por lo general las más utilizadas para el transporte y recolección de aguas tanto residuales como aguas lluvias desde el punto inicial de generación del líquido hasta posteriormente si se va a manejar con una planta de tratamiento o es vertida directamente al río. Estas aguas tanto residuales como aguas lluvia son recogidas y después evacuadas por sistemas de tubería totalmente independientes lo que la diferencia de los demás sistemas de alcantarillado.

8.1.1.2 Alcantarillados Combinados

Estos alcantarillados son aquellos en los cuales tanto las aguas residuales como las aguas lluvias son recolectadas y transportadas por el mismo sistema de tuberías. Dentro del diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas combinadas, es necesario considerar el aliviadero de los caudales, cuyos criterios deben estar basados en el grado de dilución, las características hidrológicas de la zona, los volúmenes esperados de aliviadero, la capacidad de depuración del cuerpo de agua

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|--|---|---|

receptor de estos volúmenes, la funcionalidad hidráulica requerida y el efecto ambiental de las aguas de aliviadero. (MINVIVIENDA, 2016).

Una de las desventajas de este sistema de alcantarillado combinado es que como captar y transportan simultáneamente tanto aguas residuales como pluviales dificulta su tratamiento posterior y genera problemas importantes de contaminación al ser vertidas a fuentes naturales imposibilitando su infiltración.

8.1.2 Métodos Constructivos Sin Zanja

Los métodos constructivos sin zanja son un conjunto de técnicas empleadas hoy en día en la construcción de infraestructuras que poco a poco han ido restituyendo las metodologías tradicionales como se pueden ver en los diferentes proyectos de construcción, cuando se van a realizar proyectos en zanjas abiertas encontramos una variedad de métodos constructivos, de estos métodos se tomaron algunos los cuales aportaron en la investigación de las variables comparativas descritas en el presente proyecto, estas metodologías fueron las siguientes:

8.1.2.1 Microtúnel E Hincado De Tubería

La metodología de microtúnel se basa principalmente en la instalación de tuberías que son guiadas y dirigidas desde la distancia donde le proporciona soporte continuo a la superficie de excavación mediante la aplicación de presión mecánica o de fluido para equilibrar las presiones del agua subterránea y la tierra, una de las características de esta metodología de microtúnel es el soporte en la cara de excavación, esta metodología necesita de pozos tanto de lanzado como de recepción y a su vez de maquinaria que perfora el microtúnel empujando la tierra por gatos hidráulicos que son montados y alineados en el eje del mismo. (Subterránea, 2020)



8.1.2.2 Perforación E Hinca De Tubería Por Golpeo O Apisonamiento (Pipe Ramming)


Un sistema orientable para insertar una tubería de acero mediante un martillo de percusión. El suelo puede ser retirado de la tubería de acero por barrenado, chorro de agua, o aire comprimido. Se utiliza para el cruce de autopistas o longitudes cortas. (Empresas Públicas de Medellín, 2013)

Otras de las técnicas de instalación sin zanja (trenchless) es la perforación e hinca de tubería por golpeo o apisonamiento conocida como pipe ramming esta es una técnica que se basa en la instalación de tuberías sin zanja que se utiliza para hincar de manera horizontal la tubería de acero con diámetros de 10" a 64", se realiza haciendo un empuje por medio de un martillo neumático o hidráulico donde da golpes al tubo de acero el cual penetra el suelo sin causar alteraciones del mismo.

La tecnología sin zanja pipe ramming se puede utilizar en instalaciones de ductos subterráneos como en los acueductos, alcantarillados, gasoductos, redes eléctricas, comunicaciones entre otras, una de las ventajas que nos da este servicio es que la tubería se puede instalar en una sola pieza por esta razón puede ser instalada en cualquier tipo de suelo, también este sistema nos ahorra hasta un 40% de tiempo y costes totales de instalación en condiciones favorables a diferencia de otras metodología sin zanja.

8.1.2.3 Hinca De Tubería (Pipe Jacking)

El Hincado de Tuberías es un método para instalar tuberías subterráneas con una mínima ruptura de la superficie. Con este proceso se utilizan cilindros hidráulicos para empujar tuberías especialmente diseñadas para hincado a través del terreno. En este tipo de perforación, se utiliza el tubo como elemento definitivo del túnel y al mismo tiempo como elemento de empuje sobre la tuneladora (Hidroescudo, Escudo

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|--|---|---|

abierto o EPB), La hinca de tubería es un procedimiento cíclico que usa la potencia de empuje de los gatos hidráulicos para hacer avanzar la tubería del terreno y al mismo tiempo se excava el frente. El detritus se transporta a través del interior de cada tubería hasta el pozo de entrada, donde es evacuado. Después de que se ha instalado cada segmento de tubería, los cilindros de los gatos se retraen de modo que se pueda colocar otro segmento en posición para que comience otra vez el ciclo de empuje.

Las opciones de hincar tuberías incluyen conductoras (paso único), como tubería de hormigón armado y tubería de fibra de vidrio reforzado a o de cubierta de acero (paso doble). Se utiliza en el montaje de acometidas, colectores, oleoductos, gasoductos, etc. (Santiago, 2015)

8.1.2.4 Perforación Horizontal Dirigida (HDD - PHD)

La perforación horizontal dirigida es una tecnología sin zanja (trenchless) que consiste en realizar una perforación piloto donde la broca previamente se le es instalada un emisor de onda, las cuales son emitidas por un emisor desde la superficie estableciendo la inclinación, profundidad y dirección, a su vez permite realizar cambios de inclinación y profundidad mediante los diseños determinados previamente. Hay muchos tipos de brocas diseñadas para navegar a través de diferentes tipos de suelo, desde arcillas y arenas hasta rocas. (Subterránea, 2020) Posteriormente de hacer la perforación piloto se procede a hacer ampliaciones con escariadores así de obtiene el diámetro adecuado para la instalación de las tubería, luego de esto se prepara la elaboración de uniones o pegas hasta tener la longitud total del tramo, después se procede a realizar la instalación mediante el halado con la máquina de perforación, finalmente de haber instalado la tubería se hace la



verificación de las pendientes y se realiza una prueba de continuidad para garantizar que sea apta para el uso.


Las ventajas que tiene este tipo de sistema con los métodos convencionales es que requiere espacios pequeños para instalar la máquina y comenzar la perforación desde un pozo de inicio y terminar en un pozo de llegada, los tiempos de ejecución son más cortos, genera menos polución y ruido en el ambiente, al evitar abrir zanja reduce la cantidad de escombros y a su vez los riesgos sociales que se puedan presentar.

8.2 MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se presenta el glosario que nos ayuda a entender de manera más clara algunos conceptos que son claves para la presente investigación, donde el lector pueda entender los conceptos de palabras para una mejor comprensión.

8.2.1 Aguas Domésticas

Las aguas domesticas que se generan de las actividades derivados del hogar producen grandes cantidades de agua donde sus niveles de contaminación suelen requerir tratamientos debido a sus residuos, de aquí estas aguas son trasportadas por las redes de alcantarillado donde su destino final depende de las condiciones de cada ciudad, algunas de estas son pasadas primero por una planta de tratamiento donde se retira gran parte de los sólidos suspendidos y se trata para descontaminarla y así devolverla a su fuente natural preservando la vida de los seres vivos que la habitan y otras simplemente son vertidas a los ríos.

| | | |
|---|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

8.2.2 Aguas Industriales


Estas aguas son todos los desechos de procesos industriales o manufactureros, adicional a los elementos que contienen las aguas residuales domésticas estas contienen elementos tóxicos generalmente como: Mercurio, plomo, cobre, níquel (los cuales estos deben ser removidos antes de su vertimiento). (Santo Nogales, 2019) . Estas aguas son generadas por empresas del sector textil, agroindustrial, farmacéutico, pieles y curtición, ente otras lo que genera dependiendo su proceso productivo diferencias unas de otras, estas aguas deben ser tratadas antes de ser vertidas independientemente si se van a devolver a su fuente natural o de vierte a una red de saneamiento.

8.2.3 Aguas Lluvias

Son aguas pluviales, principalmente las encontramos cuando llueve en el tejados de las edificaciones y en el suelo donde contienen gran cantidad de sólidos suspendidos, las podemos localizar en las zonas residenciales al llover y estas fluyen a la red de alcantarillado que tenga la ciudad, puede tener una red separada donde se recogen las aguas residuales y las de lluvia por sistemas diferentes para conducir las luego a la planta de tratamiento y realizar la descontaminación del líquido, o pueden ir por una red combinado donde se capta tanto las aguas residuales como las de lluvia por un solo sistema hasta su destino final.

8.2.4 Alcantarillado

Es la derivación que parte de la caja de inspección domiciliaria y llega hasta la red secundaria de alcantarillado o al colector. (ACUEDUCTO, 02 de Junio 2015). El alcantarillado es un sistema de estructuras y tuberías donde su principal uso es evacuar las aguas residuales y pluviales generadas en una población de ahí son

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|--|---|---|


transportada y llevada a su posterior tratamiento para luego ser vertida a su fuente natural.

8.2.5 Matriz De Decisión:

Es una herramienta estratégica para tal fin, que nos permite seleccionar de manera ponderada la opción que obtiene un mayor valor entre las opciones comparadas. Generalmente, su resultado se visualiza a través de gráficas y tablas. (OVIT, 2018). Con este tipo de matrices permiten que un grupo o individuo analicen e identifiquen relaciones entre un conjunto de información con ayuda de datos que se han investigado previamente y así clasificar diferentes opciones en base de diversos criterios de análisis, en la cual se aplica a diversas situaciones dentro de la gestión de proyectos.

8.2.6 Tecnología Sin Zanja:

Son un conjunto de métodos, materiales y equipos, que con técnicos especializados se pueden utilizar para la instalación, renovación o rehabilitación de las redes subterráneas con un mínimo de perturbación e impacto en el tráfico, el comercio y otras actividades. (Contratos, 2019). En Colombia se han utilizado diferentes tecnologías avanzando dentro de las metodologías sin zanja, uno de los aportes de nos beneficia a la hora de realizar cualquier tipo de construcción son los tiempos de ejecución ya que los reduce a su vez genera menor impacto a la hora de realizar nuevos proyectos constructivos generando menos escombros, menos polución en el ambiente y menor ruido.

| | | |
|---|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

9 OBJETIVOS

9.1 GENERAL

Proponer una matriz de toma de decisiones que permita la elección de construcción de sistemas de alcantarillado por métodos convencionales o métodos sin zanja, involucrando variables de calidad, tiempo, costo y su aspecto socioambiental.

9.2 ESPECÍFICOS.

- Definir la metodología de toma de decisiones mediante la calibración de parámetros según encuestas a empresas y/o profesionales conocedores del tema constructivo.
- Hacer un estudio comparativo de las distintas metodologías de construcción de alcantarillados y sus posibles limitaciones y alcances.
- Desarrollar la matriz de decisiones con los parámetros y alcances en procesos de construcción de alcantarillados.
- Aportar en el desarrollo de investigaciones realizadas por la universidad en el campo de construcción de alcantarillados y sus diferentes metodologías en Colombia.




10 ALCANCE Y LIMITACIONES

El alcance de este trabajo de investigación será la propuesta y diseño de una matriz de toma de decisiones para la búsqueda del método más adecuado en la realización de un alcantarillado por métodos convencionales o por método sin zanja, con el propósito de ofrecer diferentes opciones para la instalación o construcción de alcantarillados y así mismo encontrar el procedimiento que más convenga para futuros proyectos.

Determinando las ventajas y desventajas que aportan los diferentes métodos con la información recolectada, se comparará los tiempos de ejecución, costos, rendimientos e impactos sociales como ambientales en futuros proyectos que se piensan realizar.

Debido a la situación que presenta el país por cuenta del covid-19 ha sido difícil la comunicación con empresas que manejan este tipo de metodologías de construcción, por lo cual no es posible la reunión de manera presencial y la obtención de los datos ha sido de manera remota, lo cual la contestación de correos ha sido demorada.

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|--|---|---|

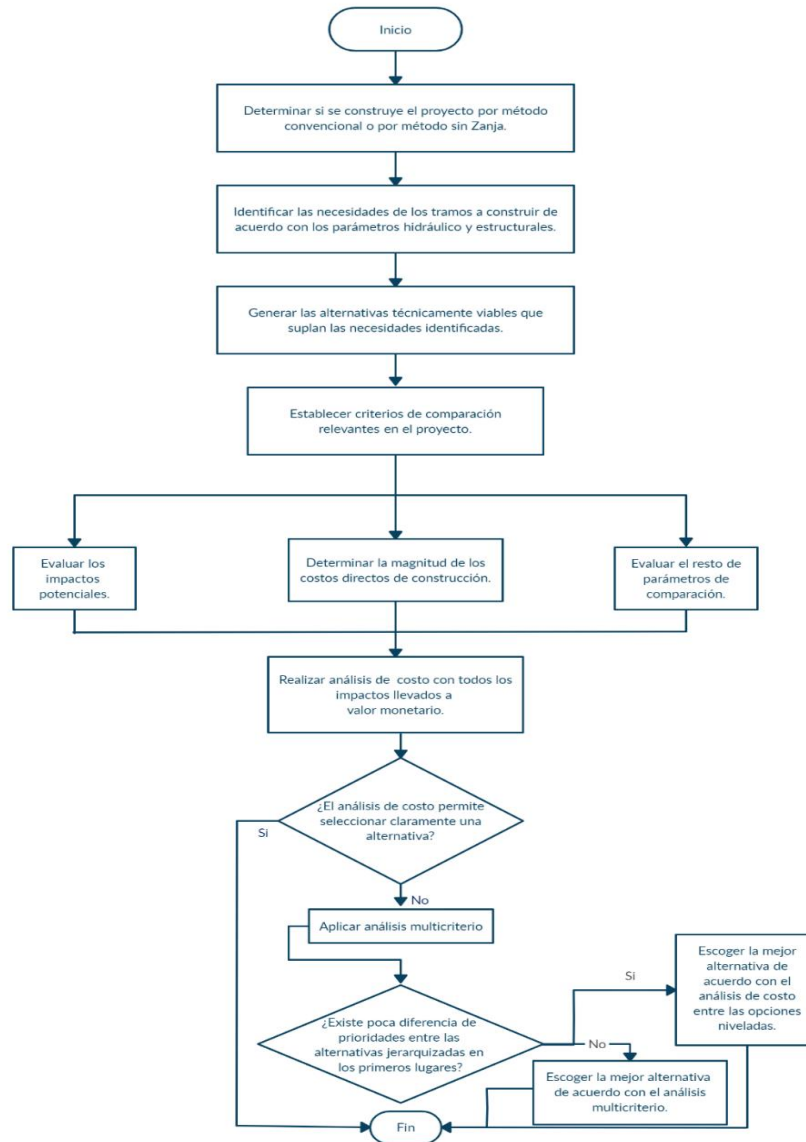
11 METODOLOGÍA

Con base a los objetivos expuestos en el presente trabajo de investigación se realiza la metodología con el fin de realizar el análisis comparativo de compilación de datos como son los precios, características de las diferentes metodologías de construcción de alcantarillados, las afectaciones de los proyectos y a su vez con ayuda de la recopilación de información obtenida de las respuestas dadas por las empresas encuestadas, se establecieron los principales criterios para comparar opciones de construcción que satisfagan las necesidades de los proyectos.


A continuación, se muestra cada una de las etapas y se determina el análisis para la ejecución de la siguiente metodología:



Ilustración 1. Diagrama de flujo. Metodología de elección adecuada para construcción de alcantarillado.



Fuente. Esta tabla ha sido adaptada de “Criterios de selección de alternativas de rehabilitación de alcantarillados en Colombia”, por J. Vergara, 2008, Universidad de los Andes, p. 63.

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|--|---|---|

La ilustración 2 expone cada una de las etapas a considerar de acuerdo a los procesos constructivos de alcantarillado siguiendo el diafragma hasta considerar la solución adecuada para el proyecto. (Engineers, s.f.)

11.1 Fase 1: Decidir el método de construcción del proyecto.


La Resolución 0330 del 2017 es una norma completa que establece cuales deben ser los pasos y normas a seguir en el proceso constructivo de acueducto y alcantarillado en un determinado lugar. Tiene como objetivo orientar e intervenir en los procesos constructivos dando una idea más clara y concisa al lector o a quienes lo usen como guía y complemento en la construcción. El reglamento como tal da pautas básicas y mínimas al Ingeniero, arquitecto, Residente, Maestro de obra, obrero o a quienes tengan conocimiento de cómo construir o cuáles deben ser las normas básicas del sistema de alcantarillado.

11.2 Fase 2: Estudio de necesidades hidráulicas y/o diseños de la red.

Al realizar un estudio para proyectos de construcción de alcantarillados se deben satisfacer todos los requerimientos y procedimientos expuestos en la Resolución 0330 de 2017, con esto se suple las necesidades que se puedan presentar en los proyectos como los de tipo hidráulico por ejemplo los diámetros de las tuberías, la rugosidad de las mismas, y los parámetros de diseño en las estructural de red.

11.3 Fase 3: Generar las opciones técnicamente viables

Para este proyecto se ha designado la opción de construcción a cada estrategia de construcción que permita llegar a el objetivo de un buen funcionamiento estructural de las tuberías de alcantarillado indistintamente de que estén disponibles diferentes tecnologías en la empresa de servicio o del municipio. Es posible proponer diferentes opciones de construcción con una misma tecnología, pero cambiando,

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|--|---|---|

por ejemplo, materiales y tiempos de trabajo.


Al analizar los diferentes tramos que se requieren en los proyectos es importante satisfacer las necesidades tanto hidráulicas como estructurales de forma técnica garantizando el éxito de los proyectos, para esto tenemos diferentes opciones de a la hora de construir alcantarillados como se muestra en el presente proyecto de investigación por Métodos convencionales y por el Método sin Zanja.

11.4 Fase 4: Establecer los criterios de comparación

Los criterios de comparabilidad que manejan en las empresas de servicio de alcantarillado en Bogotá han sido indagados con anterioridad para este proyecto. Dichos criterios planteados por orden de importancia determinados por las encuestas de las empresas son:

- Costos directos de obra
- Estado de la vía
- Duración de los trabajos
- Vida útil de la tubería
- Afectación del tráfico
- Impacto Polución (polvo)
- Pérdidas económicas a los negocios
- Impacto del ruido.

Para el análisis de los criterios obtenidos por las empresas colaborantes en el presente proyecto se realizan las comparaciones necesarias en el planteamiento de

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|--|---|---|

los objetivos expuestos anteriormente de manera practica para el cumplimiento del presente proyecto de investigación.

11.5 Fase 5: Desarrollo del método AHP (Analitic Hierarchy Process).

El Proceso Analítico de Jerarquización o Analitic Hierarchy Process (AHP) está diseñado para resolver problemas de criterios en la toma de decisiones, manejando tanto la razón como la intuición para la elección del mejor grupo de opciones evaluadas con respecto a varios criterios. Se realiza un análisis comparativo para luego establecer una prelación de opciones. Por el método AHP se analiza los valores de incompatibilidad en el juicio para optimizar tal elemento si el análisis lo requiere (Saaty, 1994).

El estudio multicriterio tiene presente cada una de las variables usadas por el evaluador al elegir entre una opción u otra. Con este estudio es visible involucrar aspectos que no entran en el análisis económico.

En seguida, se observa la composición conceptual utilizada para el estudio multicriterio en el presente proyecto. En el primer nivel de la composición se encuentra el objetivo, seleccionar la mejor opción de construcción, en el segundo nivel de la composición se encuentran los 8 criterios desarrollados por las empresas de construcción y en el tercer nivel se tienen las dos alternativas a evaluar para el desarrollo del proyecto como se observa en la Ilustración 3:


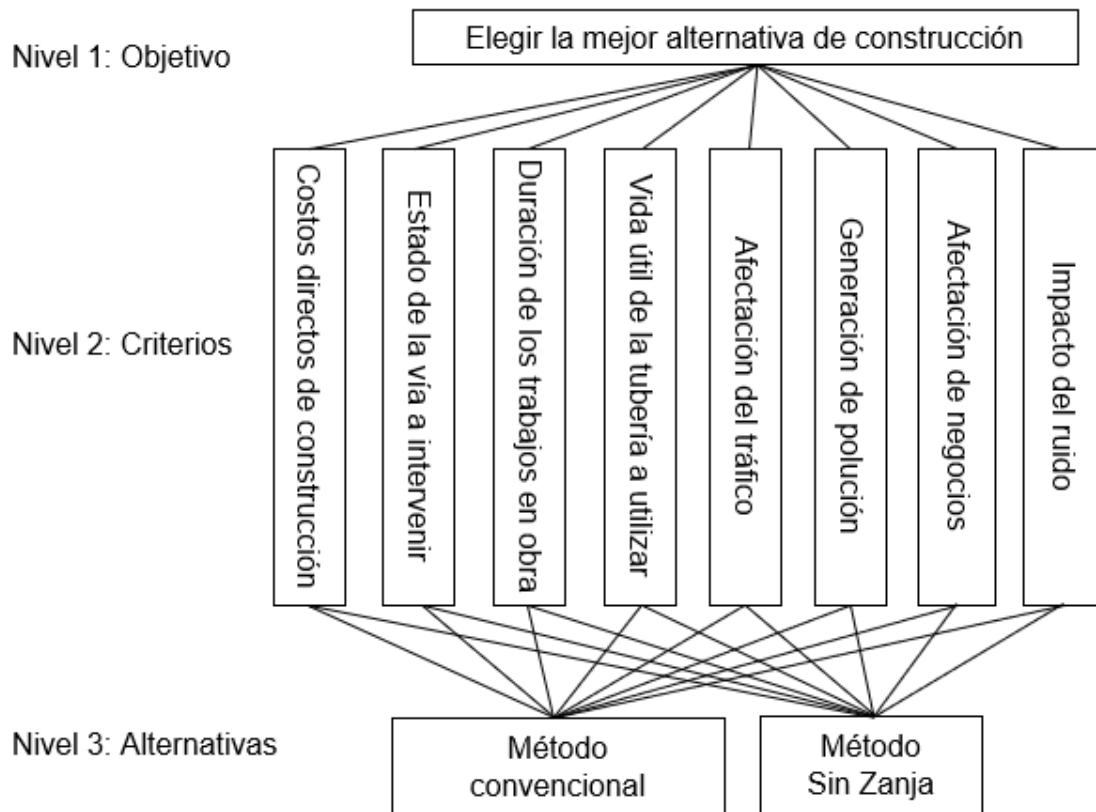

| | | |
|--|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

Ilustración 2. Relación de los niveles participantes en la estructuración del proyecto por proceso de AHP.



Fuente. Esta tabla ha sido adaptada de “Criterios de selección de alternativas de rehabilitación de alcantarillados en Colombia”, por J. Vergara, 2008, Universidad de los Andes, p. 86.

En la modelación de un análisis en AHP se necesita implantar parejas de comparación en la composición. El inicio de comparación en parejas consistió en ofrecer un grado de trascendencia relativa para los criterios usados en el presente plan y a las posibilidades en sí. Cada comparación personal es realizada en una

| | | |
|--|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

escala del 1 al 9. En Saaty se ofrece una escala de importancia que se muestra en la Tabla 1. La escala representa tanto trascendencia, como relevancia o preferencia.

Tabla 1. Escala fundamental de Saaty utilizada en AHP (Saaty, 1994).

| Intensidad de importancia | Superioridad comparativa | Explicación |
|---------------------------|--------------------------|--|
| 1 | Igual | Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo. |
| 2 | Débil | |
| 3 | Moderada | La experiencia y el juicio del evaluador favorecen ligeramente a una alternativa sobre otra. |
| 4 | Más que moderada | |
| 5 | Fuerte | La experiencia y el juicio del evaluador favorecen fuertemente a una alternativa sobre otra. |
| 6 | Más que fuerte | |
| 7 | Muy fuerte o demostrada | Una actividad es favorecida muy fuertemente sobre la otra; su dominio está demostrado en la práctica. |
| 8 | Muy , muy fuerte | |
| 9 | Extrema | La evidencia a favor de una actividad sobre otra es de los más altos órdenes de importancia de afirmación. |

Fuente. Tomada de “Criterios de selección de alternativas de rehabilitación de alcantarillados en Colombia”, por J. Vergara, 2008, Universidad de los Andes, p. 48.

El estudio de comparabilidad se hace sobre parejas identificadas con recursos homogéneos. La escala de importancia de Saaty representa la magnitud de supremacía de cada factor sobre otro. Sea n el número de criterios y m el número de opciones, existen n matrices de m filas por m columnas que se requieren para hacer el comparativo en ese nivel.



En la comparación de parejas cada factor de cada nivel es comparado con cada miembro de acuerdo a la escala de Saaty; en esta comparativo el evaluador se guía del tamaño de los índices (e.g parámetros o pesos relativos) que intervienen en cada criterio o cada opción entre sí, en función del nivel que se realice dicha comparación.

Todas las matrices del comparativo tienen dos características fundamentales:

- La diagonal primaria está continuamente comprendida por valores que son equivalentes a la unidad, ya que cada criterio i está siendo comparado con el mismo.
- La matriz constantemente es reciproca; si se le asigna un grado de 1 a 9 a el comparativo entre el factor i y el factor j , se le debería destinar el grado recíproco a el comparativo del factor j con el factor i .

Tabla 2. Configuración de la matriz de comparación por parejas en un proceso de AHP (Botero, 2005).

| n | 1 | 2 | 3 | ... | m |
|-----|---|--------------------|---|-----|-----|
| 1 | 1 | Valores recíprocos | | | |
| 2 | | 1 | | | |
| 3 | | | 1 | | |
| ... | | | | 1 | |
| m | | | | | 1 |

Fuente. Tomada de “Criterios de selección de alternativas de rehabilitación de alcantarillados en Colombia”, por J. Vergara, 2008, Universidad de los Andes, p. 49.



El comparativo en parejas, que se observa en la Tabla 2, manifiesta el valor de importancia relativa de cada criterio u opción con respecto los otros. Una vez se ha formado la matriz de parejas se continua a establecer la jerarquización (ranking) de todos sus factores. El profesor Thomas Saaty argumento matemáticamente que la solución del vector propio o eigenvector es la más aproximada.

Según lo anterior al establecer las matrices del comparativo se debe obtener el vector de prioridad que es el eigenvector estándar de cada matriz. Definiendo para una matriz A se encuentra que:

$$A_W = \lambda_{max} W$$

Ecuación 1.

A_W = Eigenvector principal de la matriz A

λ_{max} = Máximo valor propio de la matriz A

W = Vector normalizado de prioridades

Al ser definida la jerarquización de los criterios empleando del eigenvector se continúa determinando la consistencia de la asignación, donde la podemos determinar por una medida llamada relación de consistencia, determinada de la siguiente manera:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Ecuación 2.

CI = Índice de consistencia

RI = Índice de aleatoriedad



El índice de consistencia es establecido como:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Ecuación 3.

n = Tamaño de la matriz


Nuestro índice de consistencia es RI donde una matriz recíproca generada al azar o aleatoriamente de la escala de 9 puntos antes mencionada, que para nuestro proyecto sería de 1,40 ya que se manejaron 8 criterios como lo indica en la tabla de Índice de aleatoriedad (Tabla 3):

Tabla 3. Índice de aleatoriedad promedio de consistencia para matrices de distintos tamaños (Saaty, 1994).

| N° de Elementos que se comparan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------------------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Índice Aleatorio de Consistencia (RI) | 0 | 0 | 0,58 | 0,89 | 1,11 | 1,24 | 1,32 | 1,40 | 1,45 | 1,49 |

Fuente: Propia (Ver anexos).

Si el índice de consistencia de la matriz generada en la comparativo de parejas es grande significa que los valores obtenidos en la matriz no son suficientemente consistentes. Si se prefiriera la opción 1 sobre la opción 2 y a su vez se prefiriera la opción 2 sobre la opción 3; se provocará un índice de consistencia alto si se prefiriera a la opción 3 sobre la opción 1. Generar un índice de consistencia menor al 10% es satisfactorio para el análisis.

| | | |
|---|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|---|---|---|

12 ANALISIS Y RESULTADOS


12.1 Fase 6: Análisis de encuestas realizadas a empresas de la capital.

Durante el proceso de creación del presente proyecto de investigación se llevó a cabo una encuesta a empresas de la capital que prestan el servicio de alcantarillado con el fin de establecer los criterios que se tomaron en el presente documento para realizar la comparación de opciones de proyectos de construcción de alcantarillados por métodos convencionales y métodos sin zanja en Bogotá. Las empresas que participaron en el desarrollo de la misma fueron:

- HINCATUBO LATAM
- ASOCIACION ICTIS
- EAAB-ESP
- PLINCO SA
- APINDICO

De acuerdo con las respuestas que nos dieron y la coincidencia de las mismas se tomaron 8 criterios principales los cuales son tomados como referencia para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

En las encuestas realizadas a empresas se consultó sobre experiencias que han tenido a la hora de realizar construcciones de alcantarillados por métodos convencionales y aplicando las nuevas tecnologías como es el caso de los métodos sin zanja, a su vez se realizó preguntas sobre las limitaciones que se les han presentado y en que favorece este tipo de metodologías, los tiempos promedios de ejecución en obra, la importancia tanto de los PMT (planes de manejo de transito) como de los PMA (planes de manejo ambiental) que tienes estos en los proyectos que se ejecutan, que opinión tienen sobre las tuberías considerando costos, calidad y vida útil, y por último se realizaron preguntas sobre las consideraciones que se pueden tener en cuenta con los negocios aledaños a los proyectos y redes de otros servicios que interfieren con la obra.

| | | |
|--|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

12.2 Fase 7: Resultados de encuesta

La empresa **HINCATUBO LATAM** es una empresa que presta servicios de tecnología sin zanja desde Colombia para toda Latinoamérica sus principales actividades: Perforación horizontal y dirigida, pipe jacking, Georradar, también presta servicio integral de asesoramiento y según las respuestas obtenidas de la encuesta realizada nos dice que al realizar construcciones por tecnología sin zanja permite la instalación de tuberías sin molestias para los ciudadanos y algunas de las limitaciones al realizar una construcción por los métodos convencionales y métodos sin zanja (alcantarillados separados y/o combinados) que se les haya presentado son las dificultades con la geografía y nos ofrecen garantías totales en las técnicas usadas al finalizar la construcción del proyecto.

Con base a los criterios principales que se tomaron en la presente encuesta se llegó a los siguientes resultados por la empresa HINCATUBO LATAM que se representa en la siguiente tabla:

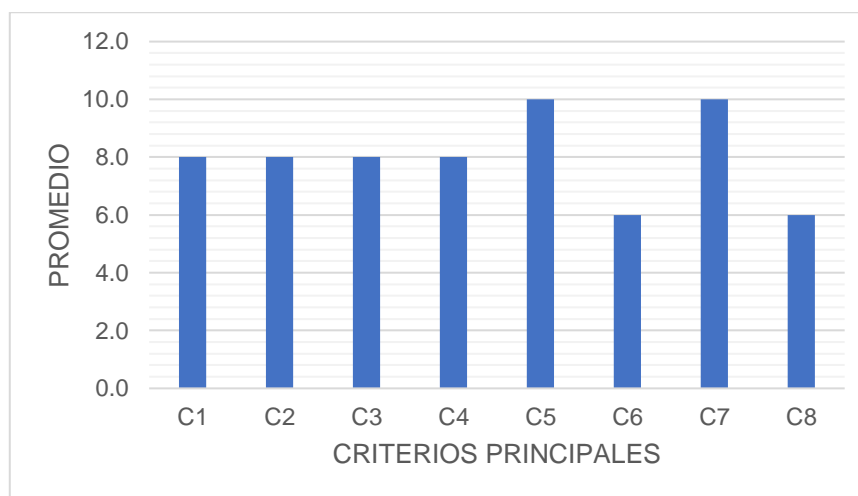
Tabla 4. Promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas.

| HINCATUBO LATAM | | |
|---|------------|----------|
| Criterios utilizados | Simbología | Promedio |
| Costos directos de la obra(\$) | C1 | 8.0 |
| Estado de las vías | C2 | 8.0 |
| Duración de los trabajos (días, meses) | C3 | 8.0 |
| vida útil de la tubería (años) | C4 | 8.0 |
| Afectación del tráfico (hora, días) | C5 | 10.0 |
| Impacto de la polución (polvo) | C6 | 6.0 |
| Pérdidas económicas a los negocios (\$) | C7 | 10.0 |
| Impacto del ruido | C8 | 6.0 |

Fuente: propia.



Ilustración 3. Grafica de promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas.



Fuente: propia

ASOCIACION ICTIS es un Instituto multidisciplinario de individuos y organizaciones que trabajan con intereses profesionales en aspectos ambientales y de servicios en temas de las tecnologías Trenchless y de la Infraestructura Subterránea, según las respuestas obtenidas de la encuesta realizada nos dice que al realizar construcciones por método sin zanja se encuentran varias razones que la hacen mejor; como son los tiempos de ejecución, en la parte ambientales (menos contaminación), mayor movilidad y menor tráfico, menor afectación a negocios y comunidad, no hay que romper vías, hay mayor seguridad de los trabajadores, entre otras, aunque se pueden presentar algunas limitaciones como las longitudes de obra y en construcciones con zanja algunas limitaciones que se pueden presentar son el asentamiento del material alrededor del tubo. Al finalizar la construcción del proyecto las garantías que ofrecen las técnicas empleadas en construcciones sin zanja, son la duración del tubo entre 80 y 100 años para nuevas instalaciones y para rehabilitación en 50 años más de vida útil.

Con base a los criterios principales que se tomaron en la presente encuesta se llegó a los siguientes resultados por la empresa **ASOCIACION ICTIS** que se representa en la siguiente tabla:


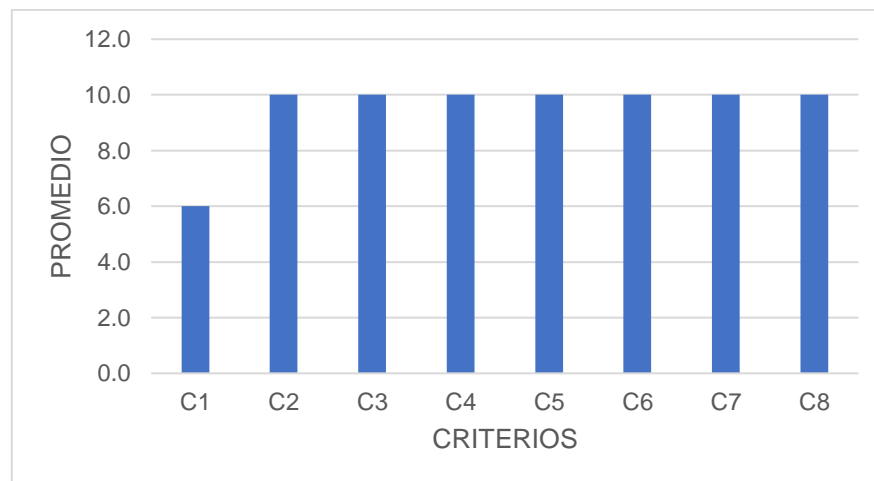
| | | |
|--|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

Tabla 5. Promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas.

| ASOCIACION ICTIS | | |
|---|------------|----------|
| Criterios utilizados | Simbología | Promedio |
| Costos directos de la obra(\$) | C1 | 6.0 |
| Estado de las vías | C2 | 10.0 |
| Duración de los trabajos (días, meses) | C3 | 10.0 |
| vida útil de la tubería (años) | C4 | 10.0 |
| Afectación del tráfico (hora, días) | C5 | 10.0 |
| Impacto de la polución (polvo) | C6 | 10.0 |
| Pérdidas económicas a los negocios (\$) | C7 | 10.0 |
| Impacto del ruido | C8 | 10.0 |

Fuente: propia

Ilustración 4. Grafica de promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas.



Fuente: propia.

La empresa **APINDICO AP** Ingenio Diseño y Construcción S.A.S. es una empresa 100% colombiana, constituida legalmente en mayo de 2011, cuenta con la experiencia de sus fundadores de más de 13 años en obras civiles de acueductos y alcantarillados, según la encuesta realizada APINDICO nos dicen que al realizar construcciones por métodos convencionales una de las ventajas que se tiene es la



accesibilidad y los costos, por otro lado con la metodología sin zanja las ventajas que encuentran ellos al realizar este tipo de proyectos son la practicidad y rapidez constructiva, las limitaciones que presentan este tipo de construcciones por ambas metodologías son los cruces de redes eléctricas telemáticos, los límites de intervención por tramo o civ, zonas en garantía.

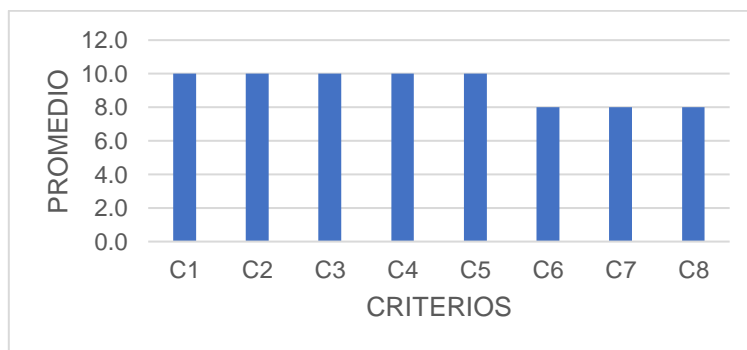
Con base a los criterios principales que se tomaron en la presente encuesta se llegó a los siguientes resultados por la empresa **APINDICO** que se representa en la siguiente tabla:

Tabla 6. Promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas.


| APINDICO | | |
|---|------------|----------|
| Criterios utilizados | Simbología | Promedio |
| Costos directos de la obra(\$) | C1 | 10.0 |
| Estado de las vías | C2 | 10.0 |
| Duración de los trabajos (días, meses) | C3 | 10.0 |
| vida útil de la tubería (años) | C4 | 10.0 |
| Afectación del tráfico (hora, días) | C5 | 10.0 |
| Impacto de la polución (polvo) | C6 | 8.0 |
| Pérdidas económicas a los negocios (\$) | C7 | 8.0 |
| Impacto del ruido | C8 | 8.0 |

Fuente: propia.

Ilustración 5. Grafica de promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas.



Fuente: propia.

| | | |
|--|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

La empresa **EAAB – ESP** el Acueducto de Bogotá realiza la gestión integral del recurso hídrico gracias al Sistema de Acueducto, que está formado por varios componentes que cumplen cada uno una función en la captación, transporte, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua, según la encuesta realizada sus repuestas fueron mediante la experiencia que han tenido a la hora de realizar construcciones tanto por métodos convencionales como por métodos sin zanja todas son relativas y deben analizarse para cada punto de forma independiente, no se puede generalizar o pensar que corresponde a un proceso similar en todos los puntos; en terreno y con análisis geotécnicos e hidráulicos se debe definir cuál es la mejor, las limitaciones que ellos encuentran según su experiencia tanto métodos convencionales y sin zanja es la normatividades (ambiental, movilidad, sociales, arqueológicos) y se tiene el mismo compromiso en cuanto a garantías que ofrecen las técnicas empleadas se les debe efectuar las mismas pruebas para comprobar su funcionalidad.

Con base a los criterios principales que se tomaron en la presente encuesta se llegó a los siguientes resultados por la empresa **EAAB - ESP** que se representa en la siguiente tabla:

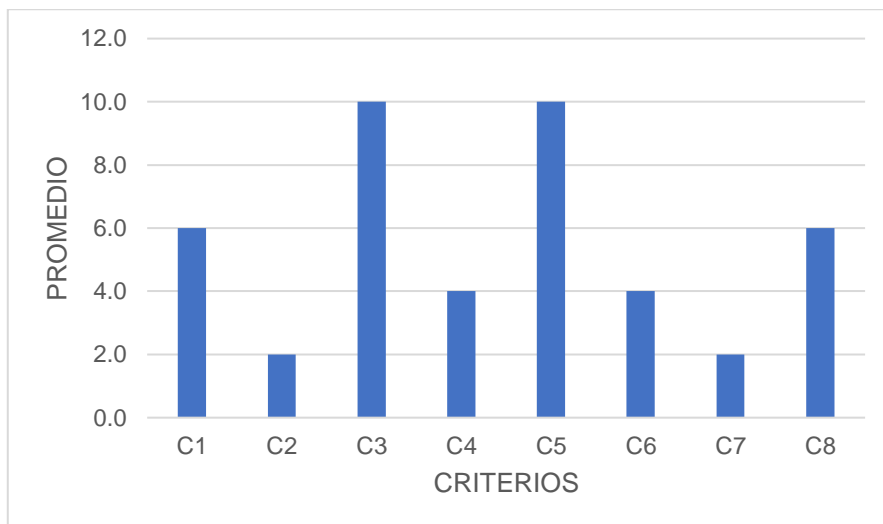
Tabla 7. Promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas.

| EAAB - ESP | | |
|---|------------|----------|
| Criterios utilizados | Simbología | Promedio |
| Costos directos de la obra(\$) | C1 | 6.0 |
| Estado de las vías | C2 | 2.0 |
| Duración de los trabajos (días, meses) | C3 | 10.0 |
| vida útil de la tubería (años) | C4 | 4.0 |
| Afectación del tráfico (hora, días) | C5 | 10.0 |
| Impacto de la polución (polvo) | C6 | 4.0 |
| Pérdidas económicas a los negocios (\$) | C7 | 2.0 |
| Impacto del ruido | C8 | 6.0 |

Fuente: propia.



Ilustración 6. Grafica de promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas.



Fuente: propia.

La empresa **PLINCO SA** es una empresa con conocimiento desde 1974, lo que la posiciona en el sector como una empresa líder, sólida y con un amplio reconocimiento por parte de los clientes y aliados. Son expertos en distribución de agua potable y recolección de aguas servidas, para suplir las necesidades de higiene y salubridad, según la encuesta realizada PLINCO SA nos dice que en la construcción por los métodos sin zanja encontramos menos tiempo de ejecución, menor impacto para manejo de tráfico, menor impacto para vecinos. No es muy favorable si es una vía existente en mal estado en la cual es necesario la adecuación de base, sub-base y cambio de pavimento, por otro lado, por metodología convencional; es favorable para obras nuevas, desfavorable para vías existentes deterioradas en pavimentos, las limitaciones por métodos convencionales son los cierres de vías que hay que realizar para ejecutar obras que pueden ser prolongados y molestos para los usuarios que viven frente a los sitios de trabajo, cuando son urbanismos nuevos este inconveniente no tiene efecto. Con los métodos sin zanja es importante una muy buena coordinación para investigar que redes subterráneas existen en el punto a intervenir y que no causen inconvenientes con la nueva red y con respecto a las garantías nos dicen que el método sin zanja ofrecería la mejor garantía.



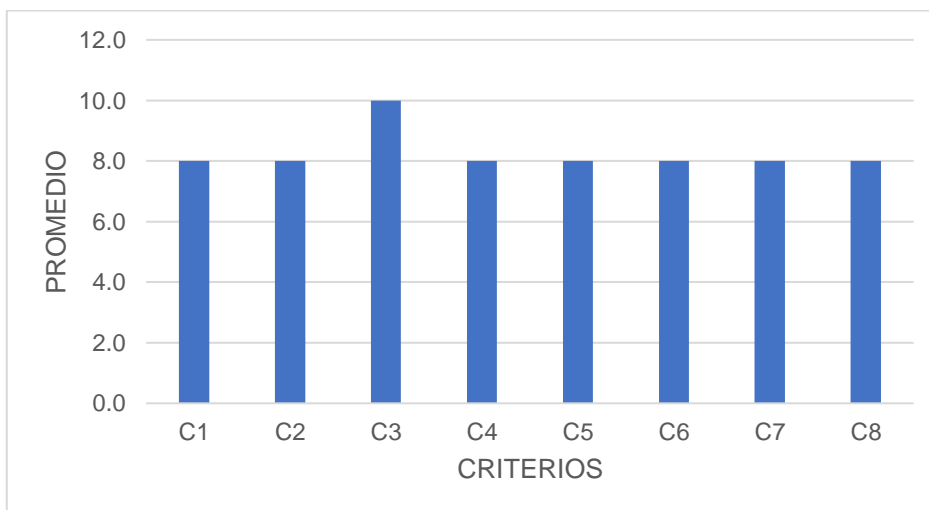
Con base a los criterios principales que se tomaron en la presente encuesta se llegó a los siguientes resultados por la empresa **PLINCO S. A** que se representa en la siguiente grafica.

Tabla 8. Promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas.


| PLINCO S. A | | |
|---|------------|----------|
| Criterios utilizados | Simbología | Promedio |
| Costos directos de la obra(\$) | C1 | 8.0 |
| Estado de las vías | C2 | 8.0 |
| Duración de los trabajos (días, meses) | C3 | 10.0 |
| vida útil de la tubería (años) | C4 | 8.0 |
| Afectación del tráfico (hora, días) | C5 | 8.0 |
| Impacto de la polución (polvo) | C6 | 8.0 |
| Pérdidas económicas a los negocios (\$) | C7 | 8.0 |
| Impacto del ruido | C8 | 8.0 |

Fuente: propia.

Ilustración 7. Grafica de promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas.



Fuente: propia.


| | | |
|---|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|---|---|---|

12.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADO DE LA ENCUESTA

La percepción que tienen las empresas encuestadas en cuando a los Costos directos de la obra para un sistema de alcantarillado por cualquiera de los dos métodos que se trabajan en la presente investigación son variados, esto se debe a que las empresas encuestadas en cuando a rango de costo de construcción están de acuerdo en que darlo sería inexacto porque este rango dependen de factores como el suelo, diámetros de los tubos, materiales y los costos, a su vez también dependen en la construcción de alcantarillados varia bastante según el servicio ya sea residual o pluvial. Aunque estuvieron de acuerdo en que se los Costos directos de las obras son importantes a la hora de realizar la toma de decisiones para la construcción de alcantarillados tanto por el método convencional como por la metodología sin zanja al determinar el grado de ponderación dos de nuestras empresas están neutras en dar un nivel de importancias y tres de estas si lo consideran importante.

Conforme a las encuestas realizadas a las empresas se llegó a concluir que los tiempos de ejecución varían según la metodología que se valla utilizar depende de factores como; la geología del terreno, la maquinaria que se va a utilizar y finalmente al construir nuevos alcantarillados la tecnología sin zanja es más rápida, con los PMT se llega a la misma conclusión donde los métodos sin zanja disminuyen considerablemente los tiempos de aceptación de los PMT reduciendo el impactos a la movilidad y el tráfico. Las empresas concluyen que la duración de los trabajos y la afectación del tráfico son un criterio muy importante en los proyectos dejando como un valor muy alto en la toma de decisiones referente al tiempo que se va llevar en cada proyecto nuevo de construcción de alcantarillados y la afectación de tráfico, teniendo un grado de coincidencia del 80% en grado de ponderación al decir que muy importante y un 20% dice que es importante, es uno de los criterios donde las empresas más coinciden con las respuestas.

En cuestión del impacto ambiental que se genera a la hora de construir alcantarillados por métodos sin zanja y con métodos convencionales, cuatro de las cinco empresas encuestadas están de acuerdo que la tecnología sin zanja genera menor impacto ambiental ya que no hay excavación en la rehabilitación y en las nuevas instalaciones, también la excavación se reduce al 30% comparado con el método con zanja. Esta reducción hace que se generen menos escombros, menos

| | | |
|---|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|---|---|---|

polvo en el ambiente, menos agua para reducir el impacto del polvo y menos ruido, con esto se establecen dos criterios principales que son el impacto de la polución y el impacto del ruido. Con respecto al impacto del ruido que se tiene al realizar construcciones de alcantarillados este tiene menor puntuación al encontrarse dos de nuestras empresas encuestadas neutras con el tema, dos consideran que es importante y una de estas nos dice que es muy importante el ruido que se genera en las obras, de igual manera la polución que se genera al considerar poco importante este tema en una de las empresas encuestada y dos se encuentran neutras con el tema.

Las empresas encuestadas están de acuerdo en que la tecnología sin zanja no afectan la actividad de los negocios, mientras que los métodos convencionales con zanja se presentan cierres de las vías y andenes haciendo excavaciones que impiden el acceso a los negocios y viviendas generando impacto económico muy grande y riesgos de accidentes a los transeúntes, El 80% de las empresas consideran la importancia que tienen los negocios aledaños a las obras mientras que el 20% dicen no estar de acuerdo y le parece no importante los negocios aledaños que se encuentran en estas zonas ya que consideran que un alcantarillado es un tipo de proyecto que beneficia a varios habitantes, no debe ser un limitante los negocios aledaños.

Las empresas encuetadas consideran que un proyecto se ejecuta para satisfacer una necesidad; la calidad, tipo de la Tubería y vida útil, son condiciones normalizadas (Resolución 0330 del 2017), deben ajustarse a la necesidad del proyecto y los costos no se deben considerar al momento de establecer la necesidad técnica ya que suele pasar que se diseña la obra más barata pero la más ineficiente.

Con base a los criterios principales que se tomaron en la presente encuesta se llegó a los siguientes resultados generales presentados por las empresas que a continuación presentamos:


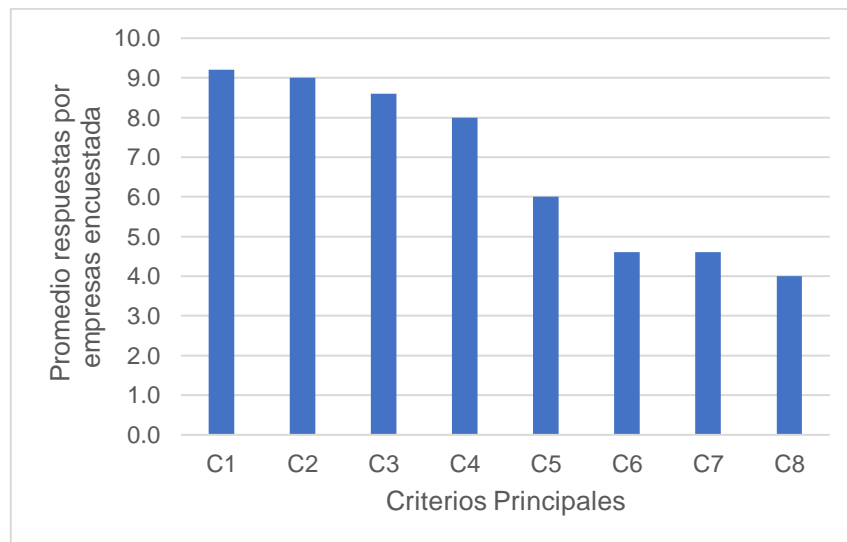
| | | |
|--|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

Tabla 9. Promedio general de respuestas por criterios de empresas encuestadas.


| Criterios utilizados | Simbología | Promedio |
|---|------------|----------|
| Costos directos de la obra(\$) | C1 | 9.2 |
| Estado de las vías | C2 | 9.0 |
| Duración de los trabajos (días, meses) | C3 | 8.6 |
| vida útil de la tubería (años) | C4 | 8.0 |
| Afectación del tráfico (hora, días) | C5 | 6.0 |
| Impacto de la polución (polvo) | C6 | 4.6 |
| Pérdidas económicas a los negocios (\$) | C7 | 4.6 |
| Impacto del ruido | C8 | 4.0 |

Fuente: propia.

Ilustración 8. Grafica de promedio de respuestas por criterios de empresas encuestadas.



Fuente: propia.

| | | |
|--|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |


12.3 Fase 8: Análisis de la metodología propuesta en la escogencia de la opción de construcción de alcantarillados en Bogotá por el método AHP (Analitic Hierarchy Process).

De acuerdo a los resultados de las encuestas mencionadas en la anterior fase, para iniciar el proceso del análisis multicriterio primero se debe dar prioridades a los criterios que se van a utilizar dándole una jerarquización a estos, esta jerarquización se realizó de acuerdo a los resultados que se obtuvieron de las empresas colaborantes de las encuestas. La lista de criterios fue incorporada dentro de una escala de 1 a 9 como observa en la Tabla 10. En esta se muestra precisamente los valores promedio de cada uno de los criterios que serán utilizados en el presente trabajo de investigación.

Tabla 10. Criterios empleados en la comparativo de opciones de construcción de alcantarillados.

| Criterio utilizado | Promedio |
|--|----------|
| Costos directos (\$) | 9.2 |
| Estado de las vías | 9.0 |
| Duración de los trabajos (días, meses) | 8.6 |
| Extensión de la vida útil de la tubería (años) | 8.0 |
| Afectación del tráfico (horas, días) | 6.0 |
| Impacto de la polución (polvo) | 4.6 |
| Pérdidas económicas a los negocios (\$) | 4.6 |
| Impacto del ruido | 4.0 |

Fuente: propia.

| | | |
|---|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|---|---|---|

Continuando con el proceso se construye la matriz de comparativo de criterios, para escala de comparativo de Saaty en el que se determinan con una escala de 1 a 9 para determinar la importancia o inferencia en el aporte que se obtiene de cada criterio de acuerdo al objetivo.

Para remover percepción en la selección de la escala mostrada anterior, se usará el valor vinculado a cada criterio (mostrado en la Tabla 1). Cuando se observan diferencias entre los valores correspondientes al 10% o menos en relación a el valor mayor de las dos, entonces la escala de importancia que se determina para el criterio será de 1, si difieren en un 20% o menos se determina una escala de 2 para el criterio de mayor importancia, y así sucesivamente hasta llegar a una escala de 9.

Se ha determinado un identificador para cada uno de los criterios establecidos representando su lugar específico en las matrices de comparación como se observa a continuación en la tabla número 11. Posteriormente en la tabla 12 se muestra la matriz obtenida para la comparación de los criterios establecidos por las empresas encuestadas. Es importante resaltar que las matrices utilizadas en las comparaciones de AHP van hacer reciprocas y por lo cual la diagonal siempre estará conformada por unidades que indican que se está comparando cada elemento consigo mismo.


| | | |
|--|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

Tabla 11. Identificadores correspondientes a cada criterio de comparación de opciones en proyectos de construcción de alcantarillados.

| Identificador | Nombre |
|---------------|--|
| C1 | Costos directos (\$) |
| C2 | Estado de las vías |
| C3 | Duración de los trabajos (días, meses) |
| C4 | Extensión de la vida útil de la tubería (años) |
| C5 | Afectación del tráfico (horas, días) |
| C6 | Impacto de la polución (polvo) |
| C7 | Pérdidas económicas a los negocios (\$) |
| C8 | Impacto del ruido |


Fuente. Esta tabla ha sido adaptada de “Criterios de selección de alternativas de rehabilitación de alcantarillados en Colombia”, por J. Vergara, 2008, Universidad de los Andes, p. 88.

Tabla 12. Matriz de comparativo de criterios de escogencia de opciones de construcción de alcantarillados.

| CRITERIO | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|
| C1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| C2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| C3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| C4 | 1/2 | 1/2 | 1 | 1 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| C5 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1/3 | 1 | 3 | 3 | 4 |
| C6 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1 | 2 |
| C7 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1 | 2 |
| C8 | 1/6 | 1/6 | 1/6 | 1/5 | 1/4 | 1 | 1/2 | 1 |

Fuente: propia. (Ver anexos).

Con la matriz anterior se calcula los parámetros de consistencia de la comparación. Estos parámetros son los siguientes: el máximo valor propio (λ_{max}), el índice de

| | | |
|--|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

consistencia (CI), el índice aleatorio de consistencia (RI), y finalmente la relación de consistencia (CR) que debe ser menor al 10% (0.10). A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 13. Resultados obtenidos de los parámetros en la matriz en el comparativo de criterios.

| Maximo valor propio (λ_{max}) | Indice de consistencia (CI) | Indice aleatorio de consistencia (RI) | Relación de consistencia (CR) |
|---|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| 8,22 | 0,03 | 1,40 | 0,02 |

Fuente. Esta tabla ha sido adaptada de “Criterios de selección de alternativas de rehabilitación de alcantarillados en Colombia”, por J. Vergara, 2008, Universidad de los Andes, p. 89. (Ver anexos).

Se observa que el valor obtenido en la relación de consistencia es del 2.2% (dos puntos dos por ciento) por esta razón no se ve ningún impedimento para continuar con la comparación multicriterio. Se puede hallar el máximo vector propio con los datos obtenidos en la tabla anteriormente en la tabla en la celda del máximo valor propio (λ_{max}) y por último al hallar el vector normalizado se establece el vector prioridad de los criterios.


| | | |
|--|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

Tabla 14. Máximo eigenvector y vector prioridad de los criterios asignados en el comparativo de opciones.


| Criterio | Máximo eigenvector | Vector prioridad |
|----------|--------------------|------------------|
| C1 | 0,529 | 0,225 |
| C2 | 0,529 | 0,225 |
| C3 | 0,482 | 0,206 |
| C4 | 0,388 | 0,163 |
| C5 | 0,184 | 0,075 |
| C6 | 0,092 | 0,039 |
| C7 | 0,092 | 0,039 |
| C8 | 0,070 | 0,027 |

Fuente. Esta tabla ha sido adaptada de “Criterios de selección de alternativas de rehabilitación de alcantarillados en Colombia”, por J. Vergara, 2008, Universidad de los Andes, p. 89. (Ver anexos).

En la tabla obtenida anteriormente se observa que el vector prioridad, pondera de mayor a menor las fracciones en una unidad completa, a si dándole la importancia a cada uno de los criterios seleccionados por las empresas colaboradoras cuando se realiza la comparación de los análisis de cada uno de los ocho criterios descritos anteriormente.

12.4 Fase 9: Resultados del estudio de caso: “Grado de importancia de las características del proyecto y los costos asociados con cada criterio para la comparación de las opciones convencional y sin Zanja.”

El último paso para la metodología es el estudio de caso donde se compara del grado de importancia y se analizan tanto las características obtenidas en el proyecto como los costos asociados en cada criterio, por lo tanto, en esta comparación se

| | | |
|--|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

asigna unas escalas de importancia de igual manera como se hizo en los criterios como se observa a continuación:

Tabla 15. Importancia relativa de las magnitudes de los indicadores de comparación de criterios en el estudio de opciones, valores máximos según (Apeldoorn, 2010).

| Identificador | Nombre | Opción Tradicional | Opción sin Zanja | Importancia relativa en la escala de Saaty para la Opción superior |
|---------------|-----------------------------------|--------------------|------------------|--|
| C1 | Costos directos (%) | 100% | 121% | 3 |
| C2 | Estado de las vías (ICP) | 71 | 71 | 1 |
| C3 | Duración de los trabajos (ml/día) | 18,00 | 900,00 | 7 |
| C4 | Vida útil de la tubería (años) | 100 | 50 | 6 |
| C5 | Trafico (\$/día) | \$ 6.435,0 | \$ 128,7 | 9 |
| C6 | Polución (\$/día) | \$ 217,0 | \$ 4,3 | 9 |
| C7 | Negocios (\$/día) | \$ 2.630.000,0 | \$ 2.500.000,0 | 3 |
| C8 | Ruido (db generado) | 86 | 87 | 3 |

Fuente. Esta tabla ha sido adaptada de “Criterios de selección de alternativas de rehabilitación de alcantarillados en Colombia”, por J. Vergara, 2008, Universidad de los Andes, p. 90. (Ver anexos).

Se observa en la tabla anterior la importancia relativa que es utilizada para construir las matrices de comparación que se obtuvieron de las dos opciones de cada uno de los criterios establecidos. En el caso de los costos directos de obra se obtuvo una importancia relativa de 3 en beneficio de la opción de metodología convencional o tradicional “con zanja” por esta razón se colocó el valor de 3 en la celda que pertenece a la comparación de opción metodologías tradicionales y el valor de 0.33 al realizar la comparación inversa como se muestra a continuación:


| | | |
|--|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

Tabla 16. Matriz de comparación para Costos directos de la obra entre las opciones.

| Costos directos | Opción Convencional | Opción sin Zanja |
|---------------------|---------------------|------------------|
| Opción Convencional | 1 | 3 |
| Opción sin Zanja | 0,333333333 | 1 |

Fuente. Esta tabla ha sido adaptada de “Criterios de selección de alternativas de rehabilitación de alcantarillados en Colombia”, por J. Vergara, 2008, Universidad de los Andes, p. 90. (Ver anexos).

Con la matriz que se obtuvo anteriormente se halla tanto el máximo eigenvector como el vector prioridad compara las opciones con relación al criterio de costos directos de obra en la siguiente tabla que se presenta a continuación:

Tabla 17. Eigenvector y vector prioridad para los Costos directos de la obra entré las opciones.

| MáximoEigenvector | Vector Prioridad |
|-------------------|------------------|
| 0,948 | 0,57 |
| 0,316 | 0,43 |

Fuente. Esta tabla ha sido adaptada de “Criterios de selección de alternativas de rehabilitación de alcantarillados en Colombia”, por J. Vergara, 2008, Universidad de los Andes, p. 91. (Ver anexos).

De igual forma para los costos directos de la obra se comparan las opciones con relación a cada uno de los criterios obtenidos hallando los vectores prioridad de cada comparación, por último, se realiza la matriz conjunta donde sus columnas son todos los vectores prioridad de cada comparación elaborada.


| | | |
|--|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

Tabla 18. Matriz formada por todos los vectores prioridad de la comparación de las opciones.

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------|---------|----------|----------|-------|
| | Costos directos | Estado de la vía | Duración de los | Vida Util | Trafico | Polución | Negocios | Ruido |
| Opción Convencional | 0,57 | 0,50 | 0,62 | 0,61 | 0,63 | 0,63 | 0,57 | 0,57 |
| Opción sin Zanja | 0,43 | 0,50 | 0,38 | 0,39 | 0,37 | 0,37 | 0,43 | 0,43 |

Fuente. Esta tabla ha sido adaptada de “Criterios de selección de alternativas de rehabilitación de alcantarillados en Colombia”, por J. Vergara, 2008, Universidad de los Andes, p. 91. (Ver anexos).


Con la matriz que se halló anteriormente se multiplico por el vector prioridad del grupo de criterios que se habían establecido, con esto se obtiene el resultado el vector prioridad global que nos muestra cual es la mejor opción comparada como se muestra a continuación:

Tabla 19. Vector final de escogencia de opciones estudio de costos directos.


| | |
|---------------------|-------|
| Opción Convencional | 0,551 |
| Opción sin Zanja | 0,449 |

Fuente. Esta tabla ha sido adaptada de “Criterios de selección de alternativas de rehabilitación de alcantarillados en Colombia”, por J. Vergara, 2008, Universidad de los Andes, p. 91. (Ver anexos).

Como conclusión se establece que el análisis multicriterio se pasó por las fases del diagrama de flujo, además se realizó la comparación del análisis de costo para el estudio de caso. Cuando se evaluaron los ocho criterios de selección mostrados en el actual proyecto para comparar las opciones de construcción de alcantarillado por una metodología convencional (con zanja) y por la metodología sin Zanja para el


| | | |
|---|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|---|---|---|

presente estudio; la mejor opción es construir por medio de la opción con Zanja ya que hay un menor impacto en los costos directos en un caso hipotético.

| | | |
|---|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|---|---|---|


13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las empresas prestan una variedad de metodologías a la hora de realizar construcciones de alcantarillados en la ciudad de Bogotá, por medio de los resultados obtenidos mediante las encuestas realizadas se tuvieron los parámetros y alcances necesarios para la construcción de alcantarillados por medio de una matriz de toma de decisiones donde se obtuvieron los siguientes criterios: costos directos, duración de los trabajos de obra, vida útil de la tubería, afectación del tráfico, impacto del ruido, impacto de polución, pérdidas económicas a los negocios y el estado de la vía a intervenir.
- De acuerdo con el desarrollo de la presente matriz por medio de la herramienta Excel y tomando los resultados obtenidos por medio de las empresas y/o profesionales concedores del tema constructivo, se determinó que se requiere del análisis multicriterio y el análisis económico puesto que no es exacto concluir con total seguridad una de las dos opciones ya que en ocasiones se obtienen resultados nivelados en un análisis u otro al comparar las opciones.
- Los criterios que las empresas utilizaron nos muestran que tienen como prioridad los tiempos de ejecución en obras, la inversión que se tienen de la tubería a emplear, la afectación del tráfico y en un nivel de ponderación bajo el impacto que genera el ruido y la polución en la población afectada por el proyecto.
- Las empresas encuestadas están de acuerdo que la falta de inversión en capacitación de profesionales no genera competitividad con las nuevas tecnologías que nos trae el mercado y el bajo interés en la renovación de redes de alcantarillado por parte de entidades gubernamentales afecta el

| | | |
|---|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|---|---|---|


desarrollo del país en cuanto a las nuevas tecnologías que hoy en día maneja el mercado a nivel mundial.

- Es importante destacar que en Colombia cuando se van a realizar proyectos de construcción en alcantarillados, los métodos convencionales son la mejor opción ya que si se utilizara a mayor nivel la tecnología sin zanja, acabaría con la ingeniería colombiana puesto que ninguna empresa local ha desarrollado tecnología sin zanja, absolutamente todas son importadas incluso para algunas de ellas se debe importar la tubería, esto afectaría la economía.
- Para proyectos futuros se recomienda la investigación sobre los avances que ha tenido el país frente a las nuevas tecnologías a nivel mundial en este tipo de construcciones, para introducirlas en nuestro país y así poder generar un mayor desarrollo del mismo.
- Es importante investigar sobre futuros proyectos que se están realizando en cuanto a la renovación de las redes y sus métodos constructivos, esto con el fin de realizar un análisis comparativo entre construcción y rehabilitación de las mismas para poder establecer unas mejores alternativas y desarrollo de nuestro país.
- Si no se tienen en cuenta los criterios adecuados bajo las condiciones del proyecto es posible llegar a tomar decisiones erróneas en el análisis de la matriz multicriterio y selección de la mejor alternativa.
- Se podría dar un mayor impulso a las tecnologías alternativas (Trenchless Technologies) de construcción de alcantarillados, para superar la etapa de aprendizaje por parte de las empresas, y así poder desarrollar la metodología del presente documento, justificando las seleccionadas dentro de una gran variedad de opciones u alternativas.

| | | |
|--|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL | MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA. | ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388 |
| | | DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado |

14 BIBLIOGRAFÍA

- Abaunza, J. A. (2011). EVALUACIÓN Y PERSPECTIVAS DE LA UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS SIN ZANJA EN REDES DE ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7549/tesis607.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ACUEDUCTO, A. A. (02 de Junio 2015). Resolución N. 0001. Obtenido de https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/01_CSP_Bogota_Actualizacion_Resolucion_681_2018.pdf
- Apeldoorn, S. (2010). Comparing the costs-Trenchless vs traditional methods. New Zealand: The Australasian society for trenchless technology.
- Botero, M. P. (2005). The use of the Analitic Hierarchy Process for the comparison between microtunnelling and trench excavation. Torino, Italia. Obtenido de Disponible en línea en <http://www.sciencedirect.com>
- Callejas, J. E. (2018). Beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia. Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/13211>
- Contratos, I. I. (2019). Obtenido de <https://www.ingenieriacontratos.com/tecnologia-sin-zanja>
- Duque, J. (2018). Beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia. EAFIT. Obtenido de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/13211/JuanEsteban_DuqueCallejas_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Empresas Públicas de Medellín, E. (2013). Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín. E. S. P. Medellin, Colombia. Obtenido de https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/normatividad_y_legislacion/agua/Norma_Disenio_Alcantarillado_2013.pdf
- Engineers, A. S. (s.f.). Projects. Obtenido de <http://www.ascelibrary.org>.

| | | |
|---|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</p> | <p>MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.</p> | <p>ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039 OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388</p> <hr/> <p>DIRECTOR: FELIPE SANTAMARIA Director trabajo de Grado</p> |
|---|---|---|

Giraldo, E. (2000). ¿Combinar o separar? Una discusión con un siglo de antigüedad y de gran actualidad para los bogotanos. Universidad de los Andes. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/6735>

López, R. A. (1995). Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

López-Kleine, L. H. (2016). Physical characteristics of pipes as indicators of structural state for decision-making considerations in sewer asset management. *Ingeniería e Investigación*, 36(3), 15–21.

Ministerio de Vivienda, C. y.-R. (2017). Resolución 0330 del 2017.

MINVIVIENDA. (2016). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable Y Saneamiento Básico - RAS (Título D). Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D.pdf

OVIT. (2018). OBSERVATORIO VIRTUAL DE TRANSFERENCIAS DE TECNOLOGÍA. Obtenido de <https://www.ovtt.org/node/41171>

Saaty, U. o. (1994). Fundamentals of decision making and priority vector with analytic hierarchy process. RWS Publications, Vol VII, First Edition.

Santiago, F. M. (2015). METODO DE EXCAVACIÓN SIN ZANJAS. Madrid, España.

Santo Nogales, D. Q. (Abril de 2019). DISEÑO Y MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. Cochabamba, Bolivia. Obtenido de <https://es.slideshare.net/luisgustavore/libro-de-ingeniera-sanitaria-ii>

Subterránea, I. C. (6 de Mayo de 2020). Guía de tecnologías trenchless. (ASOCIACIÓN ICTIS - CISTT ASOCIATION) Recuperado el Octubre de 2020, de <https://ictis.org/images/docs/trenchless-sin-zanja/2020-04-28-ictis-folleto-guia-de-las-tecnologias-sin-zanja.pdf>

Vergara, J. C. (2008). Criterios de Selección de Alternativas de Rehabilitación de Alcantarillados en Colombia. Investigación requisito para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Bogotá. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/9925/u336265.pdf?sequence=1>



15 ANEXOS

VISTAS DE LA REALIZACIÓN DEL EXCEL (DETERMINACIÓN DE CRITERIOS PARA CONSTRUIR ALCANTARILLADOS POR EL METODO DE SAATY.XLSX)

DETERMINACIÓN DE ALTERNATIVAS POR EL MÉTODO DE SAATY (EMC)

| CRITERIO | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|----------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| C1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| C2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| C3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| C4 | 1/2 | 1/2 | 1 | 1 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| C5 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1/3 | 1 | 3 | 3 | 4 |
| C6 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1 | 2 |
| C7 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1 | 2 |
| C8 | 1/6 | 1/6 | 1/6 | 1/5 | 1/4 | 1 | 1/2 | 1 |
| Pi | 4,32 | 4,32 | 4,82 | 6,93 | 16,92 | 25,50 | 25,50 | 32,00 |

| Wi | Ci o Vector de prioridad | λ_i |
|-------|--------------------------|-------------|
| 2,43 | 0,22 | 0,97 |
| 2,43 | 0,22 | 0,97 |
| 2,22 | 0,21 | 0,99 |
| 1,76 | 0,16 | 1,13 |
| 0,81 | 0,08 | 1,27 |
| 0,43 | 0,04 | 1,00 |
| 0,43 | 0,04 | 1,00 |
| 0,30 | 0,03 | 0,88 |
| 10,80 | 1,00 | 8,22 |

| | |
|-----|-----------------------------------|
| 9 | Mas importante |
| 8 | absolutamente importante |
| 7 | demostrablemente más importante |
| 6 | notablemente más importante |
| 5 | ligeramente más importante |
| 4 | |
| 3 | ligeramente más importante |
| 2 | |
| 1 | Igual importancia |
| 1/2 | |
| 1/3 | ligeramente menos importante |
| 1/4 | |
| 1/5 | notablemente menos importante |
| 1/6 | |
| 1/7 | demostrablemente menos importante |
| 1/8 | |
| 1/9 | absolutamente menos importante |
| | Menos importante |



| Maximo valor propio (λ_{max}) | Indice de consistencia (CI) | Indice aleatorio de consistencia (RI) | Relación de consistencia (CR) |
|---|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| 8,22 | 0,03 | 1,40 | 0,02 |

| Criterio | Máximo eigenvector | Vector prioridad |
|----------|--------------------|------------------|
| C1 | 0,529 | 0,225 |
| C2 | 0,529 | 0,225 |
| C3 | 0,482 | 0,206 |
| C4 | 0,388 | 0,163 |
| C5 | 0,184 | 0,075 |
| C6 | 0,092 | 0,039 |
| C7 | 0,092 | 0,039 |
| C8 | 0,070 | 0,027 |

| IDENTIFICADOR | NOMBRE | PROMEDIO |
|---------------|---|----------|
| C1 | Costos directos | 9,2 |
| C2 | Estado de las vías | 9,0 |
| C3 | Duración de los trabajos | 8,6 |
| C4 | Extensión de la vida util de la tubería | 8,0 |
| C5 | Afectación del tráfico | 6,0 |
| C6 | Impacto de la polución | 4,6 |
| C7 | Pérdidas económicas a los negocios | 4,6 |
| C8 | Impacto del ruido | 4,0 |

| N° de Elementos que se comparan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------------------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Indice Aleatorio de Consistencia (RI) | 0 | 0 | 0,58 | 0,89 | 1,11 | 1,24 | 1,32 | 1,40 | 1,45 | 1,49 |



| Identificador | Nombre | Alternativa Tradicional | Alternativa sin Zanja | Importancia relativa en la escala de Saaty para la alternativa superior |
|---------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------|---|
| C1 | Costos directos (%) | 100% | 121% | 3 |
| C2 | Estado de las vías (ICP) | 71 | 71 | 1 |
| C3 | Duración de los trabajos (ml/día) | 18,00 | 900,00 | 7 |
| C4 | Vida útil de la tubería (años) | 100 | 50 | 6 |
| C5 | Trafico (\$/día) | \$ 6.435,0 | \$ 128,7 | 9 |
| C6 | Polución (\$/día) | \$ 217,0 | \$ 4,3 | 9 |
| C7 | Negocios (\$/día) | \$ 2.630.000,0 | \$ 2.500.000,0 | 3 |
| C8 | Ruido (db generado) | 86 | 87 | 3 |

| | |
|-----|-----------------------------------|
| 9 | Mas importante |
| 8 | absolutamente importante |
| 7 | |
| 6 | demostrablemente más importante |
| 5 | |
| 4 | notablemente más importante |
| 3 | |
| 2 | ligeramente más importante |
| 1 | |
| 1/2 | Igual importancia |
| 1/3 | ligeramente menos importante |
| 1/4 | |
| 1/5 | notablemente menos importante |
| 1/6 | |
| 1/7 | demostrablemente menos importante |
| 1/8 | |
| 1/9 | absolutamente menos importante |
| | Menos importante |

| Costos directos | Opción Convencional | Opción sin Zanja |
|---------------------|---------------------|------------------|
| Opción Convencional | 1 | 3 |
| Opción sin Zanja | 0,33 | 1 |
| P_i | 1,33 | 4,00 |

| MáximoEigenvector | Vector Prioridad |
|-------------------|------------------|
| 0,948 | 0,57 |
| 0,316 | 0,43 |

| | |
|---------------------|-------|
| Opción Convencional | 0,551 |
| Opción sin Zanja | 0,449 |



| Estados de las vías | Alternativa Convencional | Alternativa sin Zanja | Wi | Ci o Vector de prioridad | λ_i |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| Alternativa Convencional | 1 | 1 | 1,00 | 0,50 | 1,00 |
| Alternativa sin Zanja | 1 | 1 | 1,00 | 0,50 | 1,00 |
| PI | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 2,00 |
| Vector Prioridad | | | | | |
| | 0,50 | 0,50 | | | |

| Duración de los trabajos | Alternativa Convencional | Alternativa sin Zanja | Wi | Ci o Vector de prioridad | λ_i |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| Alternativa Convencional | 1 | 7 | 1,28 | 0,62 | 0,71 |
| Alternativa sin Zanja | 0,142857143 | 1 | 0,78 | 0,38 | 3,05 |
| PI | 1,14 | 8,00 | 2,06 | 1,00 | 3,75 |
| Vector Prioridad | | | | | |
| | 0,62 | 0,38 | | | |

| Vida útil de la tubería | Alternativa Convencional | Alternativa sin Zanja | Wi | Ci o Vector de prioridad | λ_i |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| Alternativa Convencional | 1 | 6 | 1,25 | 0,61 | 0,71 |
| Alternativa sin Zanja | 0,166666667 | 1 | 0,80 | 0,39 | 2,73 |
| PI | 1,17 | 7,00 | 2,05 | 1,00 | 3,44 |
| Vector Prioridad | | | | | |
| | 0,61 | 0,39 | | | |

| Trafico | Alternativa Convencional | Alternativa sin Zanja | Wi | Ci o Vector de prioridad | λ_i |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| Alternativa Convencional | 1 | 9 | 1,32 | 0,63 | 0,70 |
| Alternativa sin Zanja | 0,111111111 | 1 | 0,76 | 0,37 | 3,66 |
| PI | 1,11 | 10,00 | 2,08 | 1,00 | 4,36 |
| Vector Prioridad | | | | | |
| | 0,63 | 0,37 | | | |



| Polución | | Alternativa Convencional | Alternativa sin Zanja | Wi | Ci o Vector de prioridad | λi |
|--------------------------|--|--------------------------|-----------------------|------|--------------------------|------|
| Alternativa Convencional | | 1 | 9 | 1,32 | 0,63 | 0,70 |
| Alternativa sin Zanja | | 0,111111111 | 1 | 0,76 | 0,37 | 3,66 |
| PI | | 1,11 | 10,00 | 2,08 | 1,00 | 4,36 |
| Vector Prioridad | | | | | | |
| | | 0,63 | | | | |
| | | 0,37 | | | | |

| Negocios | | Alternativa Convencional | Alternativa sin Zanja | Wi | Ci o Vector de prioridad | λi |
|--------------------------|--|--------------------------|-----------------------|------|--------------------------|------|
| Alternativa Convencional | | 1 | 3 | 1,15 | 0,57 | 0,76 |
| Alternativa sin Zanja | | 0,333333333 | 1 | 0,87 | 0,43 | 1,73 |
| PI | | 1,33 | 4,00 | 2,02 | 1,00 | 2,48 |
| Vector Prioridad | | | | | | |
| | | 0,57 | | | | |
| | | 0,43 | | | | |

| Ruido | | Alternativa Convencional | Alternativa sin Zanja | Wi | Ci o Vector de prioridad | λi |
|--------------------------|--|--------------------------|-----------------------|------|--------------------------|------|
| Alternativa Convencional | | 1 | 3 | 1,15 | 0,57 | 0,76 |
| Alternativa sin Zanja | | 0,333333333 | 1 | 0,87 | 0,43 | 1,73 |
| PI | | 1,33 | 4,00 | 2,02 | 1,00 | 2,48 |
| Vector Prioridad | | | | | | |
| | | 0,57 | | | | |
| | | 0,43 | | | | |

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------|---------|----------|----------|-------|
| | Costos directos | Estado de la vía | Duración de los | Vida Util | Trafico | Polución | Negocios | Ruido |
| Opción Convencional | 0,57 | 0,50 | 0,62 | 0,61 | 0,63 | 0,63 | 0,57 | 0,57 |
| Opción sin Zanja | 0,43 | 0,50 | 0,38 | 0,39 | 0,37 | 0,37 | 0,43 | 0,43 |



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES PARA ADAPTAR
CONSTRUCCIONES DE ALCANTARILLADOS POR
MÉTODOS CONVENCIONALES Y MÉTODO SIN ZANJA.

ELABORÓ: YENNY LOPEZ CÓDIGO: 504039
OSCAR MORENO CÓDIGO: 506388

DIRECTOR:
FELIPE SANTAMARIA
Director trabajo de Grado

Firma Estudiante

Oscar Augusto Moreno Rincón

Código 506388

Firma Estudiante

Yenny Paola López Meneses

Código 504039

Firma Asesor del Trabajo de Grado

Nombre Ing. Felipe Santamaria

FECHA (25/06/2021)