



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

TRABAJO DE GRADO

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO CONSTRUCTIVO DE EXCAVACIÓN
POR ZANJA ABIERTA Y TÚNEL LINER, APLICANDO LA GUÍA PMBOK® EN
FUNCIÓN DE LA GESTIÓN DEL CRONOGRAMA A UN SISTEMA DE
ALCANTARILLADO SANITARIO EN UN PROYECTO DE LA LOCALIDAD DE SUBA
EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ - COLOMBIA

SANDRA MARINA CUESTAS FAJARDO
VIVIANA ANDREA RAMÍREZ PINZÓN

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE OBRAS
BOGOTÁ D.C
2021

TRABAJO DE GRADO

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO CONSTRUCTIVO DE EXCAVACIÓN
POR ZANJA ABIERTA Y TÚNEL LINER, APLICANDO LA GUÍA PMBOK® EN
FUNCIÓN DE LA GESTIÓN DEL CRONOGRAMA A UN SISTEMA DE
ALCANTARILLADO SANITARIO EN UN PROYECTO DE LA LOCALIDAD DE SUBA
EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ - COLOMBIA

SANDRA MARINA CUESTAS FAJARDO
VIVIANA ANDREA RAMÍREZ PINZÓN

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Gerencia de Obras

Docente
CARLOS JULIO CARTAGENA
Msc.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE OBRAS
BOGOTÁ D.C
2021



Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 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

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.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

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 del jurado

Firma del jurado

Ciudad y fecha:

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. Generalidades	14
1.1 Línea de Investigación	14
1.1.1 Tipo de investigación	14
1.2 Planteamiento del Problema	14
1.2.1 Antecedentes del problema.	15
1.2.2 Pregunta de investigación	20
1.2.3 Variables del problema	20
1.3 Justificación	21
1.4 Hipótesis	22
2. Objetivos	23
2.1 Objetivo general	23
2.2 Objetivos específicos	23
3. Marco de referencia	24
3.1 Marco conceptual	24
3.2 Marco teórico	25
3.2.1 Historia moderna de las tecnologías sin zanja	25
3.2.2 Túnel Linner	31
3.2.3 Gestión del cronograma	35
3.3 Marco jurídico	36
3.4 Marco geográfico	39
3.5 Marco demográfico	44
3.6 Estado del arte	44
4. Metodología	49
4.1 Fases del trabajo de grado	49
4.1.1 Fase I. Recopilación de información	49
4.1.2 Fase II. Análisis de la gestión del cronograma	50
4.1.3 Fase III. Análisis comparativo	51
4.2 Instrumentos o herramientas utilizadas	51
4.3 Población y muestra	52
4.4 Alcances y limitaciones	52

4.4.1 Descripción del alcance del producto	52
4.4.2 Limitaciones.	52
5. Productos a entregar	53
6. Identificación de las ventajas y desventajas de los métodos constructivos tradicional de alcantarillado de zanja y sin zanja por sistema Túnel Linner	54
6.1 ANÁLISIS	57
7. Establecimiento de la gestión del cronograma bajo los criterios de la guía PMBOK 6ta edición, teniendo en cuenta los recursos (materiales, equipos, mano de obra y tiempo) de los dos métodos constructivos	59
7.1 PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DEL CRONOGRAMA	59
7.1.1 Plan para la dirección del proyecto	59
7.1.2 Activos de los procesos de la organización	60
7.2 EDT / WBS	61
7.2.1 Diccionario de la EDT métodos constructivos Túnel Linner y Zanja	63
7.3 PLANIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES	63
7.3.1 Estimación de la duración de las actividades (Túnel Linner) (Ver Tabla 9)	63
7.3.2 Estimación de la duración de las actividades	64
7.3.3 Diagrama de Gantt Túnel Linner.	69
7.3.4 Diagrama de Gantt Zanja.	69
7.4 PRESUPUESTO DE LAS ACTIVIDADES	69
7.4.1 Presupuesto de las actividades en el método constructivo Túnel Linner	69
7.4.2 Presupuesto de las actividades en el método constructivo de Zanja	70
8. Comparación del método constructivo tradicional de alcantarillado de zanja y sin zanja por sistema Túnel Linner, para la identificación del más favorable en la construcción de redes de alcantarillado sanitario	71
9. resultados esperados e impactos	74
9.1 Cómo responder a la pregunta de investigación	74
10. NUEVAS ÁREAS DE ESTUDIO	76
11. CONCLUSIONES	77
12. BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	85

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Antecedentes internacionales de la investigación	45
Tabla 2. Antecedentes nacionales de la investigación	46
Tabla 3. Antecedentes regionales de la investigación	47
Tabla 4. Recopilación de la información de fuentes confiables de internet.....	54
Tabla 5. Ventajas de los métodos constructivos de zanja y por Túnel Linner.....	55
Tabla 6. Desventajas de los métodos constructivos de zanja y por Túnel Linner	56
Tabla 7. Plan para la dirección del proyecto	59
Tabla 8. Activos de los procesos de la organización	60
Tabla 9. Estimación de la duración de las actividades (Túnel Linner)	63
Tabla 10. Estimación de la duración de las actividades (Zanja)	64
Tabla 11. Desarrollo del cronograma (Túnel Linner)	66
Tabla 12. Desarrollo del cronograma (Zanja)	67
Tabla 13. Matriz de comparación de los dos métodos constructivos	73

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización del proyecto.....	16
Figura 2. Trabajos en zanja abierta Interceptor Córdoba Derecho - Suba.....	17
Figura 3. <i>Recuperación de espacio público interceptor córdoba derecho - Suba</i>	18
Figura 4. Afectaciones por lluvias en interceptor córdoba derecho - Suba.....	19
Figura 5. Metodología Túnel Linner caso localidad de Suba ciudad de Bogotá.....	20
Figura 6. Método Pipe Bursting.....	27
Figura 7. Método Re entubado (Relining)	27
Figura 8. Método Revestimiento deslizante continuo- Slip-Lining.....	28
Figura 9. Métodos de tecnologías sin zanja	29
Figura 10. Esquema sección transversal proceso constructivo Túnel Linner	30
Figura 11. Medidas de láminas	31
Figura 12. Pozo de acceso Túnel Linner.....	32
Figura 13. Láminas para uso de Túnel Linner	32
Figura 14. Pozo de acceso Túnel Linner.....	33
Figura 15. Excavación para Túnel Linner.....	33
Figura 16. Construcción Túnel Linner	34
Figura 17. Llenado con mortero	34
Figura 18. Instalación tubería dentro de Túnel Linner	35
Figura 19. Localización de Suba en la ciudad de Bogotá	40
Figura 20. Crecimiento poblacional de Bogotá.....	40
Figura 21. Ficha Local	41
Figura 22. UPZ de la Localidad Suba	41
Figura 23. Obras Renovación del Interceptor Córdoba	42
Figura 24. Red Troncal del interceptor Córdoba	42
Figura 25. Sismicidad para Bogotá	43
Figura 26. Microzonificación Sísmica - Decreto 523 de diciembre de 2010 para Bogotá	43

Figura 27. Áreas en procesos de construcción en Bogotá y municipios aledaños.....	44
Figura 28. EDT método constructivo Túnel Linner	61
Figura 29. EDT método constructivo por zanja abierta.....	62
Figura 30. Comparativo de tiempo Túnel Linner y Zanja	68
Figura 31. Comparativo de porcentaje de avance de obra	69

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Carta de autorización empresarial	85
Anexo B. Matriz de recopilación de información en fuentes confiables de internet.....	86
Anexo C. Infografías	87
Anexo D. Ventajas y desventajas de los métodos constructivos	87
Anexo E. Plan para la dirección del proyecto	89
Anexo F. Activos de los procesos de la organización.....	89
Anexo G. Esquema de la EDT	90
Anexo H. Diccionario de la EDT TÚNEL LINNER Y ZANJA.....	92
Anexo I. Estimación de la duración de las actividades	92
Anexo J. Desarrollar el cronograma	94
Anexo K. Matriz de comparación de los dos métodos constructivos	95
Anexo L. Infografía de los métodos Túnel Linner y Zanja	96
Anexo M. Diccionario de EDT Túnel Linner y Zanja.....	107
Anexo N. Diagrama de Gantt método constructivo Túnel Linner	121
Anexo O. Diagrama de Gantt método constructivo Zanja	124
Anexo P. Presupuesto método constructivo Túnel Linner	129
Anexo Q. Presupuesto método constructivo Zanja.....	129

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de alcantarillado es una serie de tuberías y obras complementarias que sirven para recoger las aguas residuales de una localidad o ciudad, las cuales son de gran relevancia ya que al evacuarlas están evitando graves problemas de salud y enfermedades epidemiológicas en la población. En la actualidad se observó las domesticas que corresponden a aquellas que provienen de las estructuras residenciales y se encuentran destinadas al consumo humano y las industriales que son el resultado contaminado de actividades productivas [1].

A estos sistemas se les debe rehabilitar, aunque en dicho proceso se pueden presentar diversos problemas no solo ambientales sino de congestión vehicular y obstáculos al tráfico de una ciudad. Esta situación genera la necesidad de buscar un método diferente al tradicional, como el de sin zanja, que permite mejorar el sistema, sin el peligro de afectar las redes de electricidad y gas. En el caso de la técnica, se emplea generalmente para instalar, sustituir, reparar o construir tramos del sistema de tuberías. Normalmente los tubos empelados no superan los 3 metros y, de hecho, muy pocos se acercan a esta longitud.

A pesar que este método permite evitar la apertura de una zanja, resulta necesario abrir un foso por donde se pueda ingresar la tubería y los equipos pertinentes para la realización del trabajo. La tecnología sin zanja resulta conveniente tanto para la sociedad como para el medio ambiente, ya que al evitar la apertura de zanjas se evita la destrucción de ecosistemas o la perturbación de la vida diaria de las personas; además, que disminuye significativamente el trabajo y por ende los costos de operación, por lo que es favorable para la comunidad y las empresas [2].

Al respecto, Bogotá cuenta con una red de alcantarillado que tiene más de 50 años, lo cual evidencia la pérdida de su vida útil. Este deterioro puede llevar a fallas estructurales, filtraciones, e insuficiencia en la capacidad hidráulica generando riesgos de inundaciones, contaminación de aguas, impacto en las plantas de tratamiento e incremento en los costos de mantenimiento [1]. Ante tal situación la empresa de Acueducto de Bogotá (EAAB-ESP) es la entidad autorizada para desarrollar dentro de su plan de gastos la reposición y/o construcción de nuevas redes de alcantarillado sanitario. Actualmente se pretende renovarlas, instalando tuberías que reemplacen las existentes en concreto o gres con diámetros desde 36" a 44" y a profundidades desde tres hasta cinco metros mediante sistemas tradicionales de excavación y en otros casos por métodos alternos de instalación de tubería sin zanja abierta.

Para el desarrollo de este trabajo se realizó un análisis comparativo para obtener las ventajas y desventajas que representa en función del recurso tiempo, el construir en la

ciudad de Bogotá los diferentes sistemas de alcantarillado sanitario reduciendo al máximo las afectaciones por factores externos tales como lluvia, permisos, licencias, tráfico, que causan atrasos en obra a los contratistas. Para tal efecto, se realiza la identificación de las ventajas y desventajas de los métodos constructivos tradicional de alcantarillado de zanja y sin zanja por sistema Túnel Linner; se establece la gestión del cronograma bajo los criterios de la guía PMBOK 6ta edición [3], teniendo en cuenta los recursos (materiales, equipos, mano de obra y tiempo) de los dos métodos constructivos y finalmente se comparan para la observación del más favorable.

Por lo tanto, el trabajo se desarrolló en diversos capítulos así: el primero corresponde a las generalidades en donde se realiza la descripción del problema, en donde se expone que el 35% de las redes de alcantarillado de Bogotá se encuentran en deterioro y por ende se requiere una rehabilitación inmediata, la cual se ejecutó a partir de dos métodos constructivos (Zanja y Túnel Linner); por lo tanto, lo que se pretendió con este trabajo es encontrar cuál de los dos métodos es el más adecuado y presenta mayores ventajas y beneficios para la población en general. Para tal efecto, en el capítulo dos, se exponen los objetivos que se desarrollaron correspondientes a identificar las ventajas y desventajas de los métodos constructivos tradicional de alcantarillado de zanja y sin zanja por sistema Túnel Linner; establecer la gestión del cronograma bajo los criterios de la guía PMBOK® 6ta edición, teniendo en cuenta los recursos (materiales, equipos, mano de obra y tiempo) de los dos métodos constructivos y comparar el método constructivo tradicional de alcantarillado de zanja y sin zanja por sistema Túnel Linner, para la identificación del más favorable en la construcción de redes de alcantarillado sanitario.

En el capítulo tres se encuentra el marco de referencia que está compuesto por los conceptos clave del trabajo, el marco teórico que expone la historia de las tecnologías sin zanja y zanja; además se presenta el tema de la gestión del cronograma que esboza su desarrollo a partir de los procesos de planificación de la gestión, definición de las actividades, ordenar las actividades, duración de actividades, producir el cronograma y hacer seguimiento al mismo; seguido del marco jurídico, geográfico y demográfico. En el estado del arte, se enumeran algunas investigaciones internacionales, nacionales y regionales que aportan valor teórico y metodológico a este trabajo.

En el capítulo cuatro se expone la metodología correspondiente a descriptiva con un enfoque cualitativo y la cual permitió desarrollar el trabajo en tres fases: la primera realiza la recopilación de la información de fuentes confiables de internet para realizar la identificación de las ventajas y desventajas de los mismos, desde el punto de vista teórico, junto con la obtenida directamente de la obra, la que presenta evidencias fotográficas articuladas en una infografía con la finalidad de mostrar la secuencia de las actividades, las cuales más adelante serán incluidas en la planificación del cronograma; también se realizó una matriz de ventajas y desventajas de los dos métodos (Zanja y Túnel Linner). En la fase dos se realizó el análisis de la gestión del cronograma teniendo

en cuenta las actividades para la obtención del segundo objetivo correspondiente a establecer la gestión del cronograma y en la fase tres se realizó el análisis comparativo final que corresponde a la observación de los resultados anteriores para determinar el método más favorable en la construcción de redes de alcantarillado.

En el capítulo 5 se presentan los productos a entregar, los cuales son los resultados de los objetivos propuestos que se desarrollan, a partir del capítulo 6 con la identificación de las ventajas y las desventajas de los dos métodos; en el capítulo 7 se establece la gestión del cronograma, para el capítulo 8 se hace la comparación generalizada teniendo en cuenta los dos objetivos anteriores. Finalmente se exponen en el capítulo 9 los resultados esperados e impactos dando respuesta a la pregunta de investigación; continuando en el capítulo 10 con las nuevas áreas de estudio; en el capítulo 11 las nuevas áreas de estudio; en el capítulo 12, la bibliografía y los anexos en donde se encuentran todos los formatos utilizados.

En cuanto a los resultados obtenidos a partir de los tres objetivos, se evidencia que el método de mayor favorabilidad para la construcción, rehabilitación o adecuaciones de alcantarillados, es el de Túnel Linner.

1. GENERALIDADES

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación que se utilizó en este trabajo es la gestión integral y dinámica de las organizaciones empresariales, porque se realizó una comparación en el estudio de dos métodos constructivos usados en un sistema de alcantarillado sanitario con características constructivas específicas en un caso de la ciudad de Bogotá.

1.1.1 Tipo de investigación. Descriptiva con enfoque cualitativo: caracterización del evento de estudio dentro de un contexto particular.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las actividades de la empresa Acueducto de Bogotá EAAB – ESP, es la rehabilitación de redes matrices y troncales, ya que el 35% de ellas se encuentran en deterioro y por lo tanto, requieren adecuaciones de forma inmediata, como por ejemplo, los alcantarillados instalados a partir de 1959 hasta el año 2000, ya que estos tienen una vida útil de 20 años; de hecho, algunas de las tuberías deben reemplazarse con otras de diámetros superiores debido al incremento demográfico que se ha observado desde tiempo atrás por la migración de las personas provenientes de diversas ciudades de Colombia, que buscan empleo, mejorar su calidad de vida o un refugio porque han sido desplazadas a causa del conflicto armado, permitiendo la gestación de barrios nuevos [4].

Además de dicho incremento demográfico, la industrialización y la generación de empresas producen un mayor caudal de aguas residuales, por lo que se han eliminado diversas redes obsoletas, requiriéndose los nuevos sistemas de alcantarillado en autopistas principales y secundarias con alto flujo vehicular o estructuras viales como puentes, parques, ciclo-rutas, patrimonio cultural, entre otras que al momento de su construcción se convierten en un problema técnico y legal, atrasando los proyectos por falta de planificaciones y estudios previos.

Estos sistemas de alcantarillado fueron construidos simultáneamente mediante el método tradicional con zanja abierta y el de sin zanja con Túnel Linner, siendo este último un proceso que minimiza el impacto en la superficie pues permite el armado de los tramos desde el interior empleando placas de acero corrugado negro y como se ha mencionado anteriormente no se observa un estudio previo que permita identificar cuál de los dos

métodos es el más favorable, eficaz y eficiente en cuanto a tiempos y recursos materiales y humanos se refiere; por lo tanto, a partir de esto surge la idea de realizar un análisis comparativo de los sistemas de alcantarillado sanitario de la localidad de Suba en Bogotá, Colombia, haciendo uso de la gestión del cronograma de la guía PMBOK®, de donde se expone la siguiente formulación del problema o pregunta de investigación:

¿Cuál de los métodos constructivos de alcantarillado de zanja y sin zanja por sistema Túnel Linner, en la obra del Interceptor Córdoba derecho de Suba, Bogotá – Colombia, es el que tiene más ventajas?

1.2.1 Antecedentes del problema. Actualmente Bogotá posee dos sistemas de alcantarillado que son: el combinado con 1862.38 Km representa entre el 18 y el 20 por ciento del área urbana de la ciudad y se ubica en las zonas más antiguas que a su vez son las que están a una mayor altura; este sistema se encarga de recoger y conducir tanto las aguas lluvias como las residuales y el separado con 8307.64 Km cuenta con redes sanitarias y pluviales independientes, permitiendo que las aguas lluvias sean descargadas en los cuerpos de agua cercanos y las aguas residuales pasen a su respectiva planta de tratamiento [5].

Entre tanto, uno de los principales desafíos que afronta la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB – ESP), son las filtraciones de agua subterránea, que se presentan debido a las características del terreno, pues la ciudad fue construida sobre tierras húmedas (humedales), que producen niveles freáticos altos en el suelo. Además, dicha empresa debe lidiar con descargas no autorizadas desde comunidades no legalizadas que se encuentran en la parte alta de las cuencas, actividades económicas no controladas que descargan directamente a los cuerpos de agua, descarga de sustancias contaminantes como la Bentonita, residuos de baños portátiles y disposición inadecuada de los sumideros [5].

De acuerdo con la EAAB – ESP, al menos el 35% del alcantarillado de la ciudad se encuentra en condiciones poco adecuadas y por ende requiere de una rehabilitación inmediata, aunque no se sabe su magnitud ni complejidad porque se carece de datos recientes sobre el estado de la infraestructura en cuestión. En los últimos dos años la empresa logró mejorar cerca de 10 kilómetros de redes de alcantarillado, que es una cifra muy baja teniendo en cuenta que existen 450 kilómetros de interceptores de aguas residuales que no se encuentran contemplados, así como 4000 kilómetros de redes de alcantarillado sanitario. El 62% de la red de alcantarillado data de entre la década de los 50, y el año 2000, por lo que algunas porciones del sistema son muchos más antiguos lo que puede provocar riesgos a la comunidad en general.

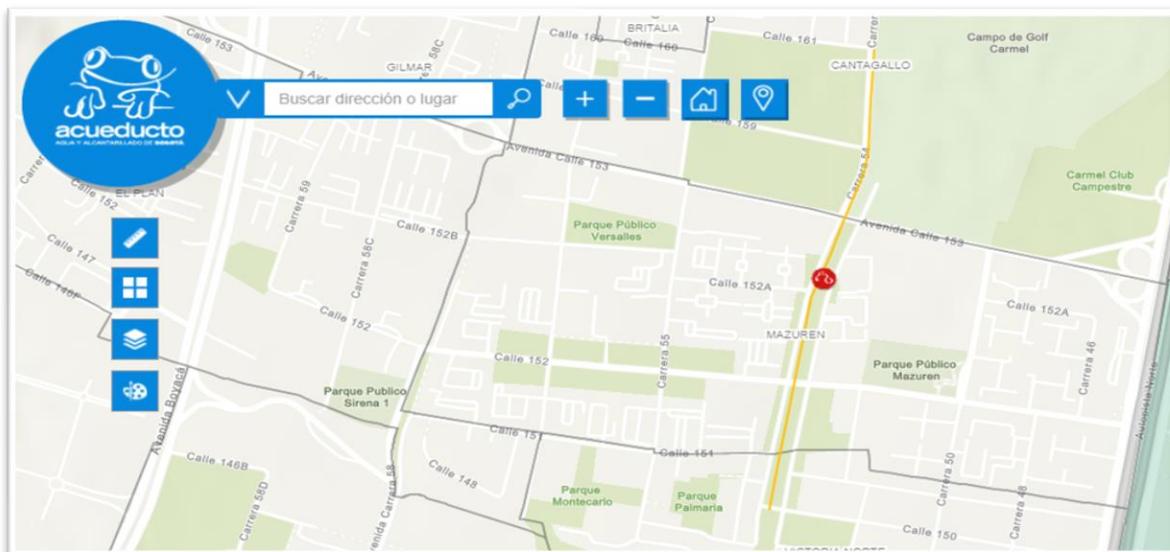
Desde el año 2018, la EAAB, ha estado ejecutando 193 proyectos orientados a mejorar

la prestación del servicio de acueducto y alcantarillado en Bogotá, por medio de la construcción de nuevos tramos, la renovación de otros y la rehabilitación de aquellos que se han podido diagnosticar como adecuados para dicho propósito. Estas obras buscan identificar y remover aquellas piezas que ya han logrado cumplir su vida útil y que no se encuentran adecuadas para tolerar la creciente demanda del servicio que supone el aumento de la población; además, han beneficiado a cerca de siete millones de habitantes de los distintos sectores de la ciudad [5].

Según expertos en infraestructura, el estado y la antigüedad de las partes del sistema de alcantarillado constituyen una amenaza potencial para Bogotá; especialmente cuando no existe un diagnóstico detallado de la tubería; además, que los edificios más recientes cuentan con una menor capacidad, lo que implica la contaminación del agua en el caso del acueducto y hundimientos del alcantarillado. Es por esta razón que se requiere de la realización de diagnósticos, ya que de otro modo no es posible identificar los tramos de mayor riesgo, para que estos puedan ser reemplazados o rehabilitados, teniendo en cuenta la relevancia del criterio de vida útil dada a las piezas del sistema. Otra afectación que afronta la ciudad es el incremento de las aguas residuales que produce el aumento de la población [6].

La empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá - EAAB contrató la construcción del interceptor Córdoba derecho sobre la calzada de la carrera 54, porque se evidenció bajo estudios previos que la red sobre el talud derecho del canal Córdoba, se encontraba colmatada, generando problemas ambientales y por lo tanto, se requería dejarla fuera de servicio desde la calle 149 hasta la 161 (Ver línea amarilla en la Figura 1) [7].

Figura 1. Localización del proyecto



Fuente: Geoportal EAAB, «Macroproyectos MP 0051: renovación, rehabilitación o reposición del sistema troncal, secundario y local de alcantarillado sanitario,» 2021.

El proceso constructivo para el sistema de alcantarillado sanitario en el proyecto de la localidad de Suba en Bogotá, dentro de sus actividades preliminares contractuales contempló la demolición del pavimento existente, su excavación mecánica y el retiro de escombros con disposición en centros de acopio autorizados, suministro e instalación de tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP) en diámetros desde 36” hasta 44”, rellenos con material granular y construcción de estructura de vía en asfalto para los tramos intervenidos. No se contempló la construcción del sistema de alcantarillado por un método alternativo al de excavación a cielo abierto por tratarse de sectores con alto flujo vehicular y debía cumplirse con el Plan de Manejo de Tránsito (PMT), por lo que fue necesario la ejecución del proyecto en una sección del tramo por el método de Túnel Linner. (Ver Figura 2)

Figura 2. Trabajos en zanja abierta Interceptor Córdoba Derecho - Suba



Fuente: Elaboración propia.

Los procesos de obra para redes de alcantarillado con recuperación del espacio público según la Norma de Construcción Para Instalación de Acueducto y Alcantarillado Sin

Zanja Por Sistemas Túnel Linner, explica que el sistema de zanja genera impactos negativos en el entorno con cierres viales incluso de la calzada completa, congestionando otras vías, sobrecargándolas y deteriorándolas con el mayor número de vehículos livianos y pesados que deben transitar durante el tiempo de ejecución de los proyectos o ponen en riesgo no solo a la población en general, sino también a las estructuras cercanas; pueden ocurrir interferencias de cruces en redes eléctricas, gas natural, agua potable, conexiones de aguas lluvias, además de las repercusiones por causas climatológicas, conlleva a otras consecuencias de tipo secundario como socavaciones, pérdida de material dispuesto, y la parálisis provisional de actividades [8]. (Ver Figura 3 y 4)

Figura 3. Recuperación de espacio público interceptor córdoba derecho - Suba



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Afectaciones por lluvias en interceptor córdoba derecho - Suba



Fuente: Elaboración propia.

En Colombia a partir del año 2009, se estableció una asociación sin ánimo de lucro de carácter técnico que se especializa en tecnologías sin zanja e infraestructura subterránea; la misma se encuentra vinculada a la sociedad internacional de Tecnología sin Zanja ICTIS, que fue fundada entre el 2009 y el 2010 y consiste en un instituto multidisciplinario que dispone tanto de individuos como de organizaciones miembros, que cuenta con intereses profesionales relacionados con el ambiente y los servicios que involucran tecnologías Trenchless e infraestructura subterránea [9]. Uno de esos casos es el método de Túnel Linner, rehabilita redes de agua potable y aguas servidas de forma subterránea, presentando pocos obstáculos al instalar la nueva tubería en comparación con los métodos tradicionales. (Ver Figura 5)

Figura 5. Metodología Túnel Linner caso localidad de Suba ciudad de Bogotá



Fuente: Elaboración propia.

1.2.2 Pregunta de investigación. ¿Cuál de los métodos constructivos de alcantarillado de zanja y sin zanja por sistema Túnel Linner, en la obra del Interceptor Córdoba derecho de Suba, Bogotá – Colombia, es el que tiene más ventajas?

1.2.3 Variables del problema. En este trabajo se trabajan las siguientes variables cuantitativas: volumen de materiales pétreos para relleno y de excavación para cuantificar los metros cúbicos dispuestos en centros de acopio por retiro de material; el tipo de suelo donde se está realizando la actividad; los rendimientos de personal y equipo; los diferentes factores que pueden ser parte del estudio al momento de medir el resultado por cada seis metros lineales de instalación de tubería.

1.3 JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial se ha impulsado el crecimiento de infraestructura, especialmente en lo que concierne a la rehabilitación de redes de alcantarillado y servicios públicos [10], la cual se ha realizado durante las últimas cuatro décadas, por medio de Tecnologías Sin Zanja (TSZ) que data desde los años 70, en países desarrollados como Japón, Estados Unidos y Alemania obteniéndose buenos resultados en mejoras de impactos sociales y rendimientos de ejecución de obras; sin embargo, en Latinoamérica estos métodos apenas empiezan a ganar terreno.

En España y Portugal se inició su implementación en el año 2014; sin embargo, en Colombia no tardó en llegar y a mediados de 1992 se realizaron las primeras sustituciones de alcantarillado en varios puntos de la ciudad con el acompañamiento de expertos en infraestructura subterránea y así se vieron beneficiados sectores de la autopista norte, iniciando en el Club Rincón Grande hasta la calle 129, tramo que se extendió la Av. Boyacá y finalizó en la calle 80. El proyecto que abarcó más de 32 kilómetros, y tuvo como objetivo remediar el tema de excavación con zanja minimizando los impactos sociales y ambientales causados por la intervención al espacio público, permitiendo apreciar que son altas las bondades de estos procesos constructivos y que se debería optar por estas metodologías para trabajos futuros.

Cabe destacarse que, Colombia cuenta con aproximadamente 48,2 millones de habitantes, de los cuales el 80% se encuentra asentados en las áreas urbanas [11]. Esta gran cantidad de ciudadanos, además del drástico aumento de la población debido a los diversos factores coyunturales, supone un incremento considerable en la demanda de los servicios públicos, lo cual se refleja en el reciente desarrollo de infraestructura. Un ejemplo de esto son las tres ciudades principales del país, Bogotá, Medellín y Cali, cuya área compartida suma 13000 Km de redes de acueducto y alrededor de 14000 Km en alcantarillado.

En cuanto a los sistemas hídricos urbanos suelen ser objeto de constantes modificaciones a causa principalmente del crecimiento demográfico, el cambio climático, la limitación de recursos, la contaminación ambiental y el desgaste de la infraestructura [12]. Así también ocurre con las redes de drenaje, siendo estas las más importantes que tiene una ciudad, debido a su gran impacto en la higiene y por ende en la salud pública de los ciudadanos [13]; no obstante, tienen un alto índice de deterioro en el tiempo por lo que, a pesar de su labor tan relevante, el riesgo de falla es muy elevado [14].

Los factores que tienen un impacto en el deterioro del sistema de tuberías son muchos; entre estos se puede mencionar las características de diseño, tales como el diámetro, la longitud, el material del que están hechas, el proceso de instalación, el tipo de tubería y

uniones utilizadas; además de otros aspectos relacionados con el uso del suelo, el ambiente, la forma de mantenimiento y el tiempo de vida útil que se planea para la obra [15]. En el caso de Bogotá, el 78% del sistema de alcantarillado sanitario y pluvial, no han sido reemplazados desde hace más de 50 años y sus condiciones demandan una rehabilitación inmediata [16].

Por otro lado, la ejecución de las obras de las redes de alcantarillado, han venido perdiendo favorabilidad en el público, debido al impacto que tienen sobre el entorno, razón por la cual se ha empezado a optar por técnicas no invasivas de construcción como las tecnologías sin Zanja [17], las cuales se han vuelto cada vez más frecuentes en Bogotá; sin embargo y a pesar de su creciente popularidad, no existen estudios previos o investigaciones que permitan conocer de forma detallada la empleabilidad de dichas redes en la ciudad, información que resulta de gran interés para las instituciones especializadas, entre ellas el Instituto Colombiano de Tecnologías de Infraestructura Subterránea (ICTIS) [6].

Ante esta carencia de información es muy difícil que las empresas prestadoras de los servicios públicos logren apreciar la utilidad y conveniencia de estos nuevos procedimientos en las obras de construcción de alcantarillado de Bogotá; es por ello que el presente proyecto se enfoca en la comparación del proceso de un sistema de alcantarillado realizado por el método sin zanja y con zanja, para así determinar, cuál es el que tiene más ventajas y el que permite una mejor gestión del tiempo bajo los criterios de la guía PMBOK 6ta edición. Esto con el propósito de satisfacer la necesidad que existe en la población de disponer de estudios precisas y confiables sobre la disponibilidad y efectividad de nuevas tecnologías y técnicas en la rehabilitación de sistemas de tubería, logrando disminuir el impacto en la vida de los ciudadanos [18].

Teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente, se logra identificar que la relevancia de hacer este tipo de investigación, es encontrar el método constructivo de redes de alcantarillado más favorable para que este, junto con otros trabajos similares, puedan servir de guía no solo a los estudiantes que están realizando su proyecto de grado, sino también a los futuros profesionales en obras civiles para que tengan en cuenta las opciones de zanja y Túnel Linner con sus características que les permite ahondar en el tema. El aporte al campo disciplinar y a la sociedad corresponde a la demostración teórica de cuál método constructivo es más favorable teniendo en cuenta los aspectos de recursos humanos, técnicos, costos y sobre todo en tiempos.

1.4 HIPÓTESIS

La metodología de Túnel Linner tiene más ventajas respecto a la tradicional de zanja, además de ejecutarse con una mejor gestión del tiempo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los métodos constructivos de alcantarillado de zanja y sin zanja por sistema Túnel Linner, en la obra del Interceptor Córdoba Derecho de Suba, Bogotá – Colombia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar las ventajas y desventajas de los métodos constructivos tradicional de alcantarillado de zanja y sin zanja por sistema Túnel Linner.

Establecer la gestión del cronograma bajo los criterios de la guía PMBOK 6ta edición, teniendo en cuenta los recursos (materiales, equipos, mano de obra y tiempo) de los dos métodos constructivos.

Comparar el método constructivo tradicional de alcantarillado de zanja y sin zanja por sistema Túnel Linner, para la identificación del más favorable en la construcción de redes de alcantarillado sanitario.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 MARCO CONCEPTUAL

Métodos constructivos de alcantarillado. Al trecho de alcantarillado de carácter público en el que se encuentran varios ramales de alcantarilla se le conoce con el nombre de colector. Este, se edifica bajo tierra regularmente en eje respecto de las calles más importantes de forma que todas las construcciones de esta vía se puedan conectar y así evacuar adecuadamente las aguas residuales [19].

Los procedimientos de construcción pueden diferenciarse según la clase de suelo en el que se ejecutará la excavación, la herramienta a usarse, y el tamaño de la sección del túnel, entre otros. El alcantarillado pluvial, consiste en una estructura que evacua y deposita oportunamente y de manera organizada las aguas que provienen de la lluvia, logrando evitar estancamiento o inundaciones que creen afectaciones en la zona urbana o rural donde sea llevado a cabo, teniendo consecuencias sobre viviendas y demás obras de carácter civil [20]. La evacuación de estas se realiza mediante el alcantarillado y sucede gracias a la gravedad, haciendo recolección del caudal en la parte superior y llevándola luego a lo largo de una tubería hacia la inferior y por último el flujo de agua se reúne en un canal natural, lago o río, que es considerado como “aguas limpias” [20].

Es relevante señalar que las excavaciones subterráneas o los túneles para redes de alcantarillado en suelos o terrenos blandos no se asocian con túneles en roca, ya que los inconvenientes que pueden arrojar son de índole distinta en ambos casos, y, además, las técnicas e instrumentos para darles solución son distintas [21]. Por lo tanto, los métodos de construcción que son implementados en estos procedimientos, son los que se describen a continuación:

Método de zanja. Los métodos de apertura con zanjas convencionales, se desarrollan cuando una cuadrilla de trabajadores demuele, excava en la tierra instalando entibados, luego se reemplaza o instala con una nueva tubería antes de llenar la brecha. Debido a lo anterior los tubos deben quedar completamente expuestos para construir los trabajos, lo que hace que los costos y la cantidad de tiempo para completarlos se vayan aumentando cada vez más [22].

Método sin zanja. Este, se trata de con repertorio de procesos, equipos y materiales, con los cuales los operarios especializados pueden instalar, renovar o rehabilitar las redes bajo tierra, minimizando el impacto sobre el tráfico, o el comercio [22]. En cuanto a la perforación, sus métodos están orientados por la disposición de conducciones sin zanja, que se conocen internacionalmente como HDD (Perforación Horizontal Dirigida, por sus

siglas en inglés), y que se encuentran entre las formas de construcción que tienen mayor grado de respeto medioambiental [23].

Sistema Túnel Linner. Este, es usado para la edificación de túneles en suelos blandos. Su ejecución radica en la excavación y ensamble interior, simultáneo y progresivo, de distintas placas negras de acero galvanizado, con recubrimiento epóxico, ya tengan formaleta perdida según las cualidades de la obra, o que estén revestidas interiormente de concreto [24].

Se trata de una práctica alternativa que funciona para sustituir la técnica de excavación con zanja a cielo abierto, la cual logra evitar perturbaciones con el tráfico peatonal y vehicular, y no impacta el funcionamiento del comercio y la industria. Sus túneles no necesitan relleno y precisan un volumen menor de perforación, aun cuando se requiere que sean profundas [24]. Para instalarlos, se excava manualmente o de forma mecánica, y posteriormente se refuerza la estructura con planchas de Túnel Linner, instaladas en el interior debido a sus alas plegadas. Resulta ideal para construcciones como alcantarillas, pasos peatonales y vehiculares, o redes de agua potable [25].

Interceptor. Consiste de acuerdo con Aguarmaket [26], en un canal o conducto cerrado en el que se acopian los flujos de los principales colectores, y usualmente se edifica de forma paralela a ríos o quebradas, con el propósito de impedir que se viertan allí las aguas residuales [27].

Redes de alcantarillado sanitario. Se trata de un sistema consistente en un conjunto de redes de tuberías con obras complementarias usadas para conducir, recibir y evacuar los escurrimientos superficiales provenientes de aguas lluvias y residuales [28]. La estructura de tuberías y conductos y la red que forman, desempeña un papel de primera importancia para el transporte agua cloacal o servida, proveniente de alcantarillado sanitario o pluvial, a partir de distintos puntos que las reciben y llevan hasta el lugar su tratamiento o descarga [29].

3.2 MARCO TEÓRICO

3.2.1 Historia moderna de las tecnologías sin zanja. Las innovaciones técnicas sin zanja, denominadas en inglés Trenchless Technologies (TT), son un grupo de procesos que persiguen edificar o reparar cualquier clase de tubería dentro de las cuales se destacan las redes de gas natural, eléctricas, de comunicaciones, acueductos y alcantarillados. Tienen el propósito de permitir ejecutar obras sin zanjas, aunque usualmente se requiere perforar un pozo de acceso y uno de salida para dar ruta a los equipos.

Estas tecnologías cuentan con aplicaciones y reconocimiento internacional desde la década de 1960, siendo pioneros Japón y Australia. Dos decenios después, un grupo de japoneses y alemanes creó el proyecto del micro túnel de Hamburgo, cuando no existía una cantidad de micro-tuneladoras superior a 15 en Europa. Simultáneamente se estaba implementado este procedimiento en Oriente Medio para modernizar tuberías de asbesto cemento [30].

En la década de 1990, el sector del petróleo en Europa y Norteamérica contaba con extensos trayectos de tuberías cruzadas e implementó las perforaciones dirigidas, que se llevaban a cabo con topes de diámetros reducidos, y posteriormente hicieron perforaciones polito bajo vías ferroviarias o asfálticas y cauces de ríos. Después, podían ser ensanchadas usando un rimador al ir escariando paulatinamente los túneles, minimizando el tiempo de ejecución y disminuyendo el impacto medioambiental [30].

En Londres, a mediados de los años 80', se llevó a cabo "Sin Excavar 85", una conferencia de Ingenieros en salud pública. Allí se inició el uso de términos como "Sin Excavar" o "Tecnología sin zanja". A pesar que era ampliamente aceptada la necesidad de desarrollar y practicas alternativas en la edificación de redes subterráneas de infraestructura, el desconocimiento de estas representaba un dilema, ya que se tenía en cuenta que se creaban a partir de conocimientos empíricos, sin contar que entre la población civil estimulaba emociones encontradas en la medida en que producía disminución de la mano de obra, generando miedo en el sector obrero, que mostraba resistencia a ser desplazado en un momento histórico de ebullición política gracias a la escasa estabilidad laboral y a las duras condiciones económicas, ya que gran parte de las fuentes de sus empleos se debían a la ejecución de obras de infraestructura urbana [30].

Más allá de las distintas posiciones antagónicas, el requerimiento de estimular de forma metódica la aplicación de alternativas que extendieran los servicios básicos al tiempo que minimizaran la afectación al espacio público y disminuyeran la intervención, produjo la creación de una asociación de constructores industriales, consultores y profesionales, con consciencia ambiental, que percibieron en esta tecnología factores de eficiencia y sostenibilidad técnica y medioambiental óptimas, de manera que fue fundada la Asociación Internacional de Tecnologías sin Zanja, (ISTT) en 1986 [30]. En seguida, se describen algunas formas de rehabilitación de tuberías:

Pipe Bursting: consiste en un método usado para reemplazar tuberías de alcantarillados y acueductos, sin realizar zanja. Se trata de una red de encuentro de barras, que las introduce dentro de una tubería gracias a una unidad de empuje hidráulico, de manera que fractura la antigua y la sustituye. El diseño patentado carece de roscas de barra, y se ha convertido en el sistema más eficiente, seguro, rápido y productivo de la industria.

[31]. (Ver Figura 6)

Figura 6. Método Pipe Bursting



Fuente: Grupo de Empresas Públicas de Medellín- EPM [31].

Re entubado o *Relining*: se trata de un método que se lleva a cabo introduciendo canales nuevos dentro de tuberías existentes. Se conoce además como entubado simple. Es aplicado cuando se persigue sustituir o rehabilitar obras deterioradas o viejas que no requieran de mantener su diámetro. Se usa en tramos ovoides y circulares, en tamaños que van desde los 100mm hasta 2000mm. Hace posibles realizaciones hasta de un kilómetro. Compensa la disminución del tamaño con el mejoramiento de la superficie la cual cuenta con menor rugosidad. Se requiere realizar la preparación de la tubería antigua para reducir la fricción a través de un procedimiento conocido como lechada química, que sella pequeñas grietas. Este, inyecta presión y es necesario hacerlo poco antes de su aplicación. Implementarlo implica desviar el flujo, ya que este método demanda curado y relleno alcalino y aislante cuando se ha deslizado la tubería moderna [32]. (Ver Figura 7)

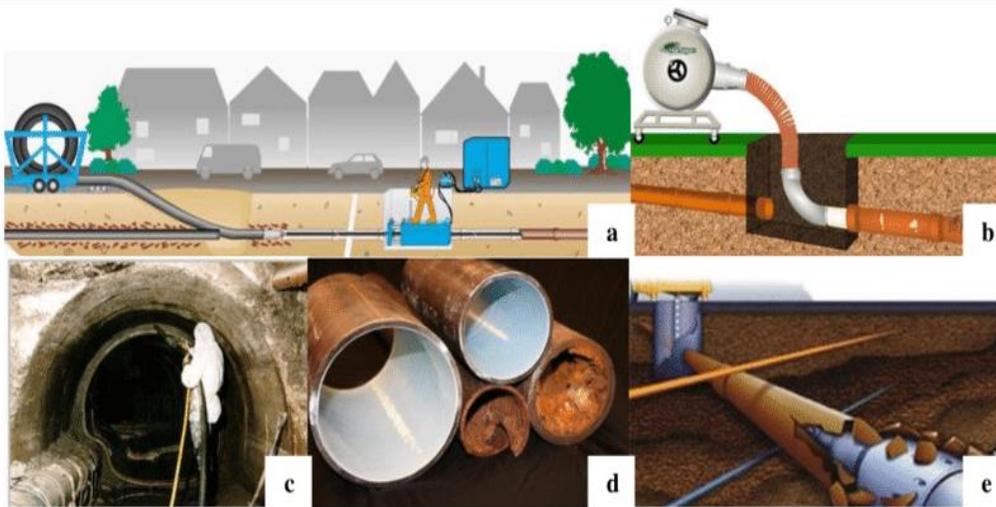
Figura 7. Método Re entubado (Relining)



Fuente: Yepes. ¿Cómo renovar tuberías con el método relining? [33]

Revestimiento deslizante continuo o Slip-Lining: se trata de una técnica consistente en la introducción de tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD). Es usado para rehabilitar tramos de 100 a 1.700mm de diámetro. Se deben practicar perforaciones tanto en puntos de origen como de destino, y quitar cada una de las uniones y válvulas, excavando igualmente en estas partes de forma que queden expuestas previo a la aplicación del revestimiento. Las partes de PEAD deben ser soldadas en el exterior, permitiendo así reparaciones hasta de 700m en una única instalación. Para ello, se instala un cabezal de tracción y se presiona el tubo PEAD desde la perforación de origen hasta la de destino, manteniendo estable el cabestrante en puntos fijos, como se evidencia en la Figura 8. [32].

Figura 8. Método Revestimiento deslizante continuo- Slip-Lining



Fuente: Yazdekhasi. Revestimiento deslizante [34].

Para poder realizar la renovación de una línea de tubería es necesario que se cumpla con dos condiciones, a saber: que la capacidad hidráulica del ducto instalado sea insuficiente con respecto a la demanda y que las estructurales u operativas se encuentren seriamente comprometidas al punto que no existen alternativas para la recuperación de la operatividad del tramo en cuestión [30]. Dentro de los métodos de tecnologías sin zanja se conocen [35] las siguientes clasificaciones: (Ver Figura 9)

Figura 9. Métodos de tecnologías sin zanja

Tecnologías para instalación de Tubería:

Empuje de tuberías (AVN)	Pipe Jacking.
Empuje de tuberías (EPB)	Pipe Jacking.
Instalación de dovelas	Segmental lining Installation.
Instalación por lanzado de concreto	Gripper Installation.
Perforación horizontal dirigida	Horizontal directional drilling.
Topos neumáticos	Impact moling.
Hizado de camisas de acero	Pipe ramming.
Microtuneleo	Microtunneling.
Tornillo sin fin	Auger Boring.
Instalación de tubería en un paso	Dicret pipe.

Tecnologías para rehabilitación de tubería:

Tubería curada en sitio	Cured in place pipe.
Tubería previamente doblada	Compact pipe.
Reparaciones puntuales	Quick lock.
Embobinado en espiral con maquina rotatoria móvil	Rotaloc.
Embobinado en espiral con maquina rotatoria fija	Expanda
Embobinado de tiras de acero y PVC	Ribline
Fragmentación de tubería	Pipe burting.

Fuente: J. Pinzón, «Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá,» Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2011.

La ejecución de un proyecto de construcción puede verse entorpecida por una gran variedad de circunstancias, empezando por retrasos en la aprobación del contrato y pasando por incumplimientos ya sea de una parte o de la otra, causando conflictos en el calendario previsto y por ende comprometiendo los intereses de los Stakeholders [36] [37].

Dentro de las principales desventajas del método convencional para la recuperación de las redes de alcantarillado con zanja abierta de acuerdo con Hernández y López se encuentran: aumento de los costos por la necesidad de abrir zanjas, especialmente cuando el nivel freático es alto y se debe romper el pavimento; se genera una alta cantidad de ruido y material particulado que contamina el ambiente y tiene efectos nocivos en la salud humana; requiere el cierre de vías y andenes, por lo que el impacto en la movilidad es significativo y también afecta el rendimiento comercial de la zona; existe el riesgo que se intervenga una línea de servicio de gas, teléfono o electricidad; la disposición de los materiales excavados eleva los costos de la operación; los acabados de la obra una vez finalizada no suelen ser estéticos; se realizan operaciones de relleno, por lo que aumenta el costo de las mismas [38].

Debido a estos inconvenientes es que los métodos sin zanja han venido cobrando especial importancia en los últimos años, para la realización de operaciones de rehabilitación de redes de alcantarillado y pluviales, especialmente gracias a que permite

evitar completamente la perturbación del orden público y la vida cotidiana de los ciudadanos [18]. Ahora bien, las normas bajo las cuales se trabajó en la construcción del alcantarillado sanitario de la localidad de Suba en la ciudad de Bogotá, para tramos de zanja a cielo abierto y tramos de alcantarillado con el método de Túnel Linner [39] son: (Ver Figura 10)

Figura 10. Esquema sección transversal proceso constructivo Túnel Linner

AASHTO División 1, sección 15, Décimo Séptima Edición 2002: Steel Tunnel Liner Plates (Standard Specification for Highway Bridges, Div 1, Desing).
ANSI 1011: Chapas Metálicas.
ASTM A307: Pernos, tuercas y roscas.
EAAB ESP EC-301: Pozos de Inspección.
EAAB ESP EG-101: Consideraciones generales para la ejecución de obras y actividades.
EAAB ESP EG-106: Rellenos.
EAAB ESP EG-107: Retiro y disposición de material sobrante.
EAAB ESP EG-108: Instalación de concretos y suministro e instalación de acero.
EAAB ESP EG-109: Instalación de tuberías.
EAAB ESP EG-112: Geotextiles, geocompuestos de drenaje, geomembranas y geomallas.
EAAB ESP EG-113: Túnel Linner.
EAAB ESP- ES-902: Suministro de Concreto.
EAAB ESP- ES-903: Suministro de tuberías de acueducto y alcantarillado.
EAAB ESP- ES-904: Suministro de accesorios y elementos de reposición de alcantarillado.
EAAB ESP NE-012: Prueba de estanqueidad en redes de alcantarillado.
EAAB ESP- NP-005: Concretos y Morteros
EAAB ESP- NP-027: Tuberías para alcantarillado.
EAAB ESP- NP-040: Rellenos.
EAAB ESP NP-106: Tapones para obstrucción, manejo de aguas y verificación de estanqueidad en redes de alcantarillado.
EAAB ESP NS-019: Excavaciones en zanja.
EAAB ESP NS-020: Desmonte, limpieza, demoliciones y traslado de estructuras.
EAAB ESP NS-029: Pozos de inspección.
EAAB ESP NS-030: Topografía para Diseño y Construcción de obras requeridas para los sistemas de Acueducto y/o alcantarillado.
EAAB ESP NS-035: Requerimientos para cimentación de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado.
EAAB ESP NS-038: Manual de manejo de Impacto ambiental urbano.
EAAB ESP NS-048: Programación y control de proyectos.
EAAB ESP NS-058: Aspectos técnicos para inspección de redes y estructuras de alcantarillado.
EAAB ESP NS-061: Aspectos técnicos para la rehabilitación de redes y estructuras de alcantarillado.
EAAB ESP NS-069: Desvío provisional de Cauces y Manejo de aguas.
EAAB ESP NS-072: Entibados y tablestacados.
EAAB ESP NS-073: Instalación y condiciones de recibo de redes de alcantarillado.
EAAB ESP NS-078: Requisito para diseño y construcción Túnel Linner.
EAAB ESP NS-079: Criterios para la instalación de tuberías sin zanja para acueducto.
EAAB ESP NS-090: Protección de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado.
EAAB ESP NS-103: Instalación de concreto.
EAAB ESP NS-108: Requisitos mínimo de Higiene y Seguridad Industrial para el manejo de herramientas manuales.
EAAB ESP NS-111: Requisitos mínimo de Higiene y Seguridad Industrial en Espacios confinados.
EAAB ESP NS-139: Requisitos para la determinación del ancho mínimo del derecho de vía en redes de acueducto y alcantarillado.
EAAB ESP NT-003: Terminología de Alcantarillado.
EAAB ESP NT-005: Terminología Sanitaria y ambiental.
EAAB ESP NT-006: Terminología de seguridad Industrial.
EAAB ESP NT-009: Terminología de construcción.
IDU 342 11: Geomalla con fibras continuas de multifilamentos de poliéster.
IDU GU CI 01: Guía anexo técnico para la recuperación del espacio público intervenido bajo licencias de excavación V-3.0: La actualización del Anexo Técnico de Licenciad de Excavación GU-GE Versión 2, 2009, se produce porque estas especificaciones están fundamentadas en las especificaciones Técnicas ET-2005 y se requiere ajustarlo a las Especificaciones Et-2011. El cual deroga al GU -Ge-002 versión 2.0.

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá- EAAB [39]

3.2.2 Túnel Linner. Se trata de un procedimiento de construcción que consiste en realizar perforaciones sin zanja, a través de la modalidad de Túnel Linner, el cual es un sistema de perforación alternativo que se lleva a cabo ensamblado progresivamente placas negras de acero galvanizado, las cuales cuentan con un diseño particular que posibilita el armado interior, y reduce los efectos en el exterior. Es usando generalmente en la elaboración de túneles [40]. Para su ejecución se necesitan láminas de acero corrugadas, que son estructuras usadas para crear una formaleta o anillo de apoyo en la perforación, cuya cantidad varía de acuerdo con el diámetro [40]. Sus dimensiones aproximadas de producción se muestran en la Figura 11.

Figura 11. Medidas de láminas



Fuente: Leguizamón. Metodología para realizar perforación dirigida en la modalidad de pipe ramming y Túnel Linner [40].

Se clasifican en lámina de cierre con un orificio doble y circular por donde ingresa exclusivamente el tornillo; lámina de sobrilla usada como capa principal, y tiene un orificio cuadrado para ajustar un tornillo pinado; lámina de armado con un orificio circular y cuadrado donde poder llevar a cabo el armado de punta a punta. Así, los Túnel Linner se producen de varias formas, de acuerdo con requerimientos de los proyectos. Se le considera la mejor solución en casos en que no es posible realizar perforaciones o perturbar el tránsito. Genera ahorros significativos de movimientos de tierra, tiempo y mano de obra. Además, reduce la contaminación del aire y acústica que suelen tener este tipo de obras. [40].

Se usa para: pozos de ingreso a minas; revestir túneles ferroviarios o carreteros, pozos y piquetes, obras de hormigón que necesitan rehabilitación; entubamientos de protección de tuberías interiores; conductores tubulares encontrados bajo ferrocarriles, calles y carreteras; túneles destinados a correas transportadoras; alcantarillas; colectores de aguas sanitarias; pasos inferiores para redes de servicios públicos y transporte de materiales, ganado y peatones. Las planchas de Túnel Linner deben ser armadas anillo

por anillo con el objetivo que soporten el suelo expuesto conforme progresa la perforación. El apernado de estas se lleva a cabo completamente en el interior del túnel. Para ello, los pernos de conexión longitudinal poseen cuello cuadrado que coincide con el orificio de la plancha de unión, lo cual hace posible ajustar la tuerca desde el interior sin ocasionar que se gire la cabeza del perno [41].

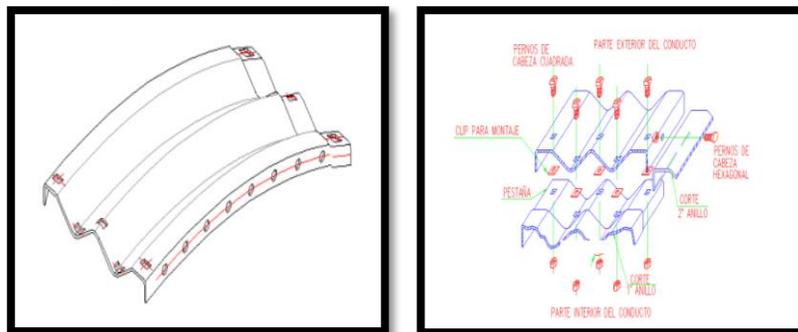
El método de Túnel Linner es un proceso constructivo que minimiza el impacto a la superficie pues permite el armado de los tramos desde el interior empleando placas de acero corrugado negro, iniciando con la construcción de los pozos de inicio o lanzamiento y su objetivo es permitir el ingreso a los trabajadores hacia la perforación y al culminar el proceso por su forma, crear acceso a la tubería que se instala finalmente [40]. (Ver Figura 12 y 13)

Figura 12. Pozo de acceso Túnel Linner



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Láminas para uso de Túnel Linner



Nota. Láminas de acero para conformación de Túnel Linner
Fuente: Elaboración propia

Para la extracción después de la agrupación de los anillos y por los espacios que posee

las láminas en su interior se instala una pluma con una base en concreto para que pueda soportar el peso del material que se va extrayendo tanto para la conformación del pozo, como para la perforación horizontal [40]. (Ver Figura14)

Figura 14. Pozo de acceso Túnel Linner



Nota. Polipasto con pluma para retiro de material.
Fuente: Elaboración propia.

Inicio de la Perforación Horizontal. En terreno se demarca sobre el pozo vertical el diámetro donde se replantea la dirección que debe tomar el túnel, el nivel en donde inicia la perforación y para ello se descubre el espacio de las láminas para permitir demarcar a los trabajadores los espacios necesarios para esta labor. Se requiere fijar el primer anillo con la ayuda de cemento para garantizar que este no se mueva después de realizada la fijada [40]. (Ver Figura 15)

Figura 15. Excavación para Túnel Linner



Nota. Perforación horizontal.
Fuente: Elaboración propia.

En la fase final se realiza la remoción de los rieles instalado en el tramo la limpieza

general de las láminas, y para poder desplazar la tubería que se desea instalar se recubre la parte inferior de los anillos ya que por su superficie corrugada hace incomodo el deslizamiento, para tal fin se calcula el espesor de la placa cuidando que la tubería quede en la cota solicitada. Se tiene en cuenta que, en cualquier fase, bien sea la constructiva o la culminación se deben rellenar los espacios que quedan libres, con el fin que posteriormente no haya daños en la superficie por causa del vacío que pueda quedar [40]. (Ver Figuras 16, 17 y 18)

Figura 16. Construcción Túnel Linner



Nota. Retiro de material excavado
Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Llenado con mortero



Nota. Retiro de material excavado y llenos con mortero por bomba
Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Instalación tubería dentro de Túnel Linner



Nota. Instalación de tubería liviana dentro de Túnel Linner [40].
Fuente: Elaboración propia

Ventajas Túnel Linner: implica menos gastos de excavación y relleno; evita rupturas en la superficie haciendo que los peatones o el tráfico continúen transitando con total normalidad; no produce asentamientos en las calzadas en las vías; las láminas de pozo se pueden utilizar como entibado para excavaciones de gran profundidad; se manobra manualmente; se crean túneles desde el espesor de una sola lámina (0,455 metros) hasta la longitud que se requiera sin restricción alguna; su armado permite un transporte rápido dentro de la perforación horizontal. La tecnología sin zanja de Túnel Linner dispone de metodologías, equipos y materiales innovadores para la instalación de tuberías subterráneas, reparación, renovación o reemplazo de aquellos tramos que requieren atención debido a su bajo rendimiento o riesgo potencial [40].

3.2.3 Gestión del cronograma. La gestión del cronograma incluye los procedimientos necesarios para administrar el cumplimiento oportuno de un proyecto. Sus procesos son los siguientes:

Planificación de la gestión del cronograma: hace referencia al proceso de determinar la documentación, los procedimientos y las políticas que delimitan la planificación, gestión, ejecución, desarrollo y control de la misma.

Definición de las actividades: se refiere al procedimiento que se lleva a cabo para identificar y documentar las prácticas específicas que tienen que realizarse en la elaboración de los entregables de un proyecto.

Ordenar las actividades: se trata de reconocer las relaciones que hay entre las distintas

actividades que demanda el proyecto con el fin de encontrar la mejor secuenciación.

Crear aproximados de duración de actividades: consiste en llevar a cabo un cálculo estimado de la duración de los períodos de labor, indispensables para dar término a las actividades respetando los recursos disponibles.

Producir un cronograma: es el procedimiento que se centra en analizar el encadenamiento de las acciones, sus duraciones, necesidades de recursos, así como limitaciones, realizado con el propósito de diseñar el modelo del cronograma de un proyecto que guía la implementación, seguimiento y evaluación.

Seguimiento del cronograma: consiste en la acción de monitorear la evolución del proyecto, el cual requiere de una continua actualización, así como de la gestión de cambios necesarios.

3.3 MARCO JURÍDICO

En el presente apartado se identifican aquellas regulaciones gubernamentales que se relacionan con el uso de materiales de construcción, la ejecución de obras y la normatividad ambiental que concierne a la construcción de alcantarillado.

Art. 366 de la Constitución Política de Colombia: el Estado se compromete a velar por el bienestar y el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos en términos de necesidades básicas, saneamiento y suministro de agua potable.

Acuerdo 417 del 17 de diciembre de 2009: establece el comparendo ambiental para el Distrito Capital.

Acuerdo 515 de 2015: se expidió por el Consejo de Bogotá para modificar el Acuerdo 417 de 2009.

Ley 99 de diciembre 22 de 1993: por medio de la cual se reorganiza el sector público que se encarga de la administración de los recursos naturales y renovables de la nación; además se reorganiza el Sistema Nacional (SINA) y se conforma el Ministerio del Medio Ambiente.

Ley 142 del 11 de julio de 1994: establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios.

Ley 1259 del 19 de diciembre de 2008: establece sanciones económicas a aquellos infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros.

Decreto Ley 2811 del 18 de diciembre de 1974: en sus artículos 34 y 35 se establece que el manejo de residuos sólidos, basura, desechos y desperdicios deben tener en cuenta las reglas que minimizan el impacto ambiental y permite aprovechar los recursos de una forma más efectiva por medio de la implementación de nuevas tecnologías.

Decreto Nacional 948 del 5 de junio de 1995: establece regulaciones para el control y prevención de la contaminación atmosférica, a la vez que vela por la calidad del aire.

Decreto Distrital 357 del 21 de mayo de 1997: regula el transporte y disposición final de los escombros y materiales de construcción.

Decreto 314 del 17 de marzo 2006: establece el Plan Maestro del Sistema de Acueducto y Alcantarillado para la ciudad de Bogotá, Distrito Capital.

Decreto 620 del 28 de diciembre del 2007: expedido como complemento del Plan Maestro de Residuos Sólidos correspondiente al Decreto 312 de 2006, adicionando normas urbanísticas y arquitectónicas sobre la regulación y la construcción de infraestructuras y equipamientos del Sistema General de Residuos Sólidos en Bogotá, Distrito Capital.

Decreto 2981 del 20 de diciembre 2013: se reglamenta el servicio público de aseo. Artículo 45: sobre residuos de construcción y demolición; la responsabilidad del manejo y disposición final corresponde a quien o quienes hayan realizado la obra a partir de la cual se obtuvo dicho material. Es responsabilidad del municipio o distrito coordinarse con contratantes públicos o privados para la realización de las actividades de recolección de residuos; además la entidad territorial se hará responsable de la eliminación de conductas en contra de la ley, como la disposición arbitraria de los materiales producto de una construcción o demolición. La recolección y disposición de los residuos producto de las actividades de construcción o demolición se realizarán de forma separada a los demás residuos producidos en el Distrito.

Decreto 586 del 25 de mayo de 2015: establece el modelo eficiente y sostenible de gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) para el distrito de Bogotá.

Resolución 541 del 14 de diciembre 1994: por medio de la cual el Ministerio de Ambiente

regula el cargue, descargue, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, resultado de construcciones, demoliciones, extracción de capas orgánicas, suelo y subsuelo en excavaciones.

Resolución 556 del 7 de abril de 2003: es emitida por el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente para regular las fuentes de emisiones móviles.

Resolución 1166 del 20 de junio de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MinAmbiente): se expide el Reglamento Técnico en el que se indican los requisitos técnicos que deben cumplir los tubos empleados para acueducto, alcantarillado, uso sanitario, aguas lluvias, etc.

Resolución 1115 del 26 de septiembre 2012: regula desde el enfoque técnico el tratamiento y aprovechamiento de los escombros en el Distrito Capital.

Resolución 1138 del 31 de marzo de 2013: establece la guía de manejo ambiental para el sector de la construcción.

Resolución 715 del 26 de septiembre de 2013: expedida por la Secretaría Distrital de ambiente para modificar la Resolución 1115 de 2012 sobre la regulación y/o aprovechamiento de los escombros en el Distrito Capital.

Resolución 0932 del 9 de agosto de 2015: modifica la Resolución 1115 de 2012.

Resolución 0330 de 2017 Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MinVivienda): regula la adopción del Reglamento Técnico que norma el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, y estipula la derogación de las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.

Resolución 501 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio: a través de esta se promulgan los parámetros técnicos asociados con la composición química y la información, que necesitan cumplir los accesorios, ductos y tubos de un acueducto y alcantarillado, así como aquellos de uso sanitario y los de aguas lluvias, que asumen las personas que prestan servicios de acueducto y alcantarillado, así como las instalaciones hidrosanitarias dentro de las viviendas. Por medio de esta también se derogan las Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007.

Gracias a la aplicación de estas metodologías, han sido adaptados estándares de calidad y seguridad industrial de acuerdo con los métodos constructivos utilizados, todo bajo la normatividad del Ministerio de Trabajo, particularmente en relación con la ley 9 de 1979, donde se refieren las condiciones de seguridad laboral, y se enfatiza en la implementación de normas determinadas con la labor que se lleve a cabo [40].

De acuerdo con el proceso de AASHTO LRFD, en el capítulo 4 y 12, norma AREMA (*American Railway Engineering and Maintenance of way Association*, por sus siglas en inglés), se determinó que las capacidades de soporte del método Túnel Linner se demarcan según la resistencia funcional del acero, así como del confinamiento del suelo cercano, que evita la pérdida de la forma en una estructura, donde actúan especialmente los esfuerzos de compresión en láminas del túnel.

NC-AS-IL02-25 norma que regula la construcción para la instalación de un acueducto y alcantarillado en método sin zanja por sistemas Túnel Linner
NDA EPM 2013 Norma que regula el diseño de una red de alcantarillado de EPM.
NSF/ANSI 61. Drinking Water System Components - Health Effects
NC-MN-OC03-01. Excavaciones.
NC-MN-OC04-01. Llenos.
NC-AS-IL01-33. Empalmes de conducciones.

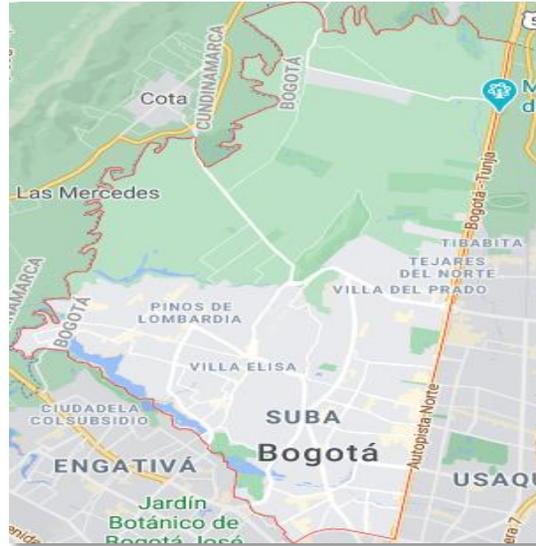
Seguidamente, se mencionan los materiales para la edificación que son necesarios en la implementación de Túnel Linner:
Concreto (NC-MN-OC07-01).
Acero de refuerzo (NC-MN-OC07-07).
Equipo de perforación (incluyendo todos sus elementos).
Anillos de recubrimiento del túnel.

3.4 MARCO GEOGRÁFICO

Bogotá es distrito especial y no depende política, administrativa ni económicamente de Cundinamarca y es administrada como Distrito Capital de la República de Colombia, gozando así de autonomía dentro de los límites de la constitución y la Ley. Se trata de una entidad de primer orden conformada por veinte localidades y que funge como el epicentro político del país, además de por su puesto contar con la participación en aspectos de producción industrial, el entretenimiento, la cultura, el turismo. Esta ciudad está posicionada a 2630 metros sobre el nivel del mar, lo que hace que su temperatura sea especialmente baja para los estándares del país, con un promedio de 14.55 grados Celsius. Allí se encuentra la localidad de Suba, que limita al norte con el río Bogotá y la calle 220; al sur se puede encontrar el río Juan Amarillo y la calle 100 que colinda con las localidades de Engativá y Barrios Unidos, al este con la autopista Norte y Usaquén y

finalmente al oeste con el río Bogotá. (Ver Figura 19)

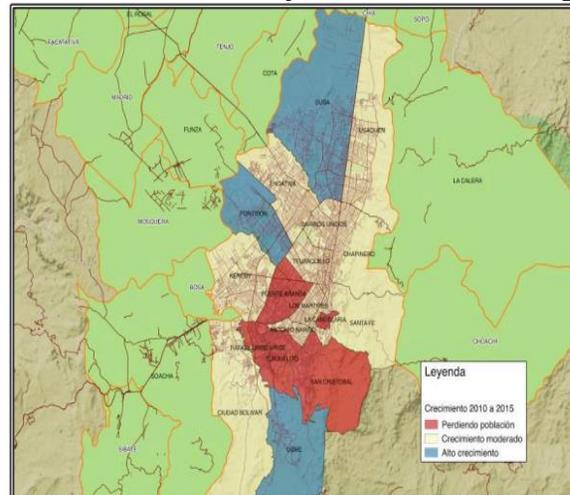
Figura 19. Localización de Suba en la ciudad de Bogotá



Fuente: Google Maps.

La localidad de Suba representa el mayor número de habitantes de todas las localidades que conforman la capital y su densidad poblacional es una de las más altas respecto al resto de la ciudad, porque cuenta con 221 Hab/ha; es decir, 1.315.509 habitantes. Posee además 10.056 hectáreas, lo que corresponde al 6% de la extensión total de Bogotá [42]. (Ver Figura 20 y 21)

Figura 20. Crecimiento poblacional de Bogotá

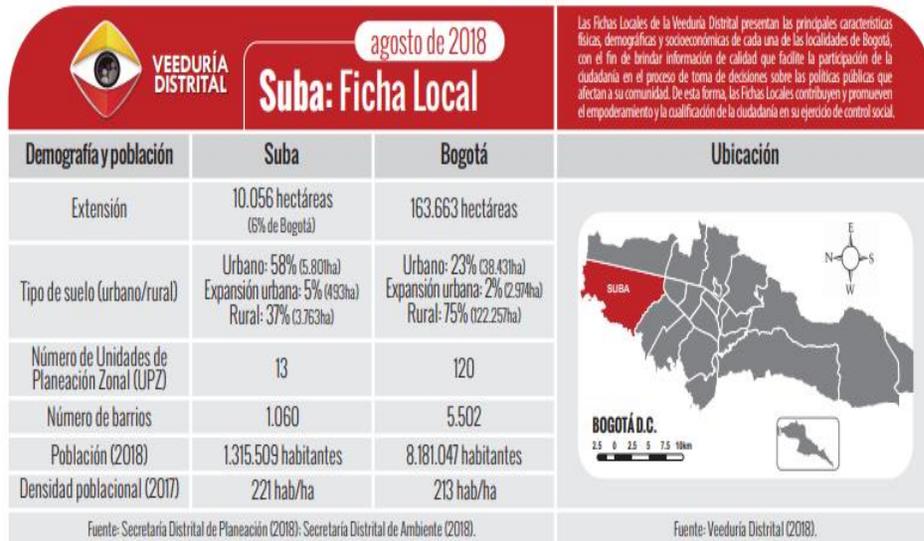


Fuente: DANE, Metodología y Proyecciones de Población y Estudios Demográficos, 2009

Mapa 16. Crecimiento poblacional de Bogotá según localidades 2010 – 2015

Fuente: DANE Demográfica.

Figura 21. Ficha Local



Fuente: Ficha local Veeduría Distrital agosto de 2018.

El análisis comparativo de este proyecto se realiza en Suba de la Ciudad de Bogotá D.C., dentro del espacio específico comprendido entre la calle 149 hasta la calle 161 sobre la carrera 54, bajo el contrato de obra **No. 1-01-25500-01201 2017**, cuyo objeto para el caso que se está trabajando es la Renovación del Tramo Crítico del Interceptor Córdoba Derecho- Localidad de Suba, con intervención de la UPZ Britalia de estrato predominante seis. Suba cuenta con una densidad poblacional de las más altas entre todas las localidades de la ciudad [42]. (Ver Figura 21 y 22)

Figura 22. UPZ de la Localidad Suba

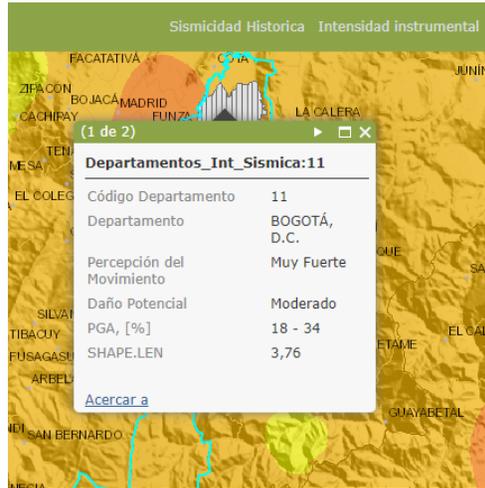


Fuente: Cámara de Comercio de Bogotá.

El tramo en evaluación se encuentra contenido en el Geoportal de la Empresa de Acueducto de Bogotá (EAAB-ESP), donde se muestra la existencia de la red sanitaria en

la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C. [44] permite fijar zonas geotécnicas, porque se encuentra en una zona de amenaza intermedia con probabilidades que ocurra un sismo de entre 6 y 7 grados en la escala de Richter. (Ver Figura 25)

Figura 25. Sismicidad para Bogotá



Fuente: Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático- IDIGER [45]

La localidad de Suba al tratarse de una zona lacustre, está compuesta por arcillas limosas blandas con comportamiento geotécnico de mediana a baja capacidad portante y muy compresibles, lo cual es un factor de gran importancia para el análisis de excavaciones a cielo abierto [46]. (Ver Figura 26)

Figura 26. Microzonificación Sísmica - Decreto 523 de diciembre de 2010 para Bogotá


DECRETO N°. 523 DE _____ **Página 6 de 21**

“Continuación del Decreto ‘Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C.’”

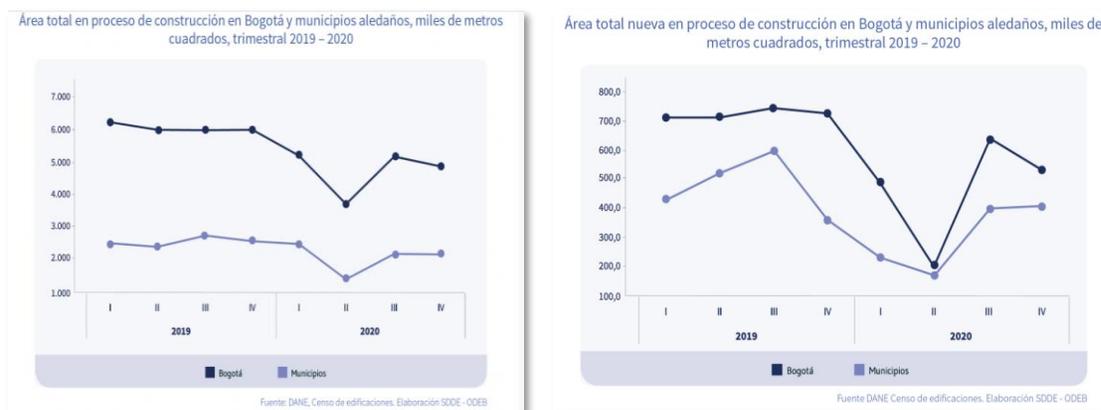
Lacustre A	Suelo lacustre muy blando	Terraza Alta - Lacustre	Planicie	Arcillas limosas muy blandas	Suelos de muy baja a media capacidad portante y muy compresibles
Lacustre B	Suelo lacustre blando			Arcillas limosas blandas	
Lacustre C	Suelo lacustre - aluvial			Arcillas arenosas firmes	

Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá [46].

3.5 MARCO DEMOGRÁFICO

El estimado de habitantes de Bogotá es de 8.281.030, siendo la localidad de Suba la más poblada con 1.252.675 habitantes en 2018 y 1.348.372 en 2019; es decir, 232 hab/ha. Hay 39,8 adultos mayores de 65 años por cada 100 jóvenes menores de 15 años. El número de personas afiliadas a salud es de 1.242.408 de los cuales un 91% está en el régimen contributivo; un 7% al subsidiado y un 2% al régimen excepción. Existe una mortalidad por enfermedades crónicas al 2018 del 3,7 por diabetes mellitus, tasa dada por cada 100.000 habitantes. La demanda de cupos por nivel de escolaridad media es de 13.348, para secundaria de 30.447; para primaria de 32.972 y para preescolar de 10.152 habitantes. Existe una inversión directa del Fondo de Desarrollo Local (2016-2018) del 93% (\$79.203 millones). Para el 2018 había 54.315 establecimientos matriculados de los cuales 10,1% corresponde a industrias; 14,8% servicio de comida y alojamiento; 39,2% de comercio; 36% en otros [42]. En la localidad de Suba hubo un aumento de construcciones y de forma general en Bogotá se observa un incremento en el desarrollo económico [47]. (Ver Figura 27)

Figura 27. Áreas en procesos de construcción en Bogotá y municipios aledaños



Fuente: A. I. Nocua. Observatorio de Desarrollo Económico de Bogotá (ODEB) [47].

3.6 ESTADO DEL ARTE

A nivel internacional, nacional y regional se encuentran estudios relacionados con el tema de alcantarillado mediante zanja abierta y método sin zanja por sistema Túnel Linner, adicionalmente la gestión del tiempo y costos con lineamientos PMBOK®. En las siguientes Tablas 1, 2 y 3, se presentan los antecedentes tomados como referentes para la presente investigación, que sirvieron de guía teórica y metodológica para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 1. Antecedentes internacionales de la investigación

ANTECEDENTES INTERNACIONALES
<p>Identification. Yu, X.; Cheng, Cao, Li y Feng [48] Probabilistic Analysis of Tunnel Linner Performance Using Random Field Theory. Advances in Civil Engineering. China.</p>
<p>General objective. The motivation of this study is to provide some general knowledge in the area of reliability analysis and tunnel lining design with the consideration of conditional random field theory combined with finite difference modeling using 3D FLAC in the simulation framework from Monte Carlo.</p>
<p>Categories / Variables. The present work is carried out with the assumptions of (1) stationary random field with constant mean and variance throughout the domain; (2) exponential autocorrelation structure with horizontal and vertical correlation lengths of 20 m and 5 m, respectively; (3) -0.5 cross correlation coefficient between cohesion and friction angle; and (4) two-dimensional model of finite differences at the cross-sectional level.</p>
<p>Methodology. The probabilistic evaluation procedure can relate the probability of design failure to the more conventional factor of safety, which facilitates the reliability-based design of the tunnel lining in practice by directly applying the factor of safety corresponding to the target reliability level. In addition, it is also able to associate the resistance capacity of the coating with the thickness of the coating for a given objective level of reliability, which implies that the probabilistic evaluation procedure allows flexibility in the application.</p>
<p>Results. According to the results of the parametric studies and the reliability-based design, we found that the conditioning and characterization parameters of the site, including the coefficient of variation, the horizontal (vertical) correlation length, and the cross-correlation coefficient have effects significant on the performance of the tunnel lining [48].</p>
<p>Identificación. García y Vásquez [49] muestran la investigación titulada Modelamiento en elementos finitos de un Túnel Linner para cruce de sistema de agua potable y alcantarillado - Trébol de Javier Prado. Universidad Ricardo Palma. Perú.</p>
<p>Objetivo general. El propósito del estudio se orientó al ajuste del diseño estructural de Túnel Linner al óptimo método numérico que hiciera posible el modelado y la predicción de su comportamiento previo a su ejecución, produciendo así la mejor funcionalidad estructural.</p>
<p>Categorías / Variables. Modelamiento en Elementos Finitos. Construcción de Túnel Linner para Cruce de Sistema de Agua Potable y Alcantarillado.</p>
<p>Instrumentos recolección de la información. La información geotécnica fue usada para analizar los componentes finitos en el software formulado para el diseño específico del Túnel Linner, resultando así una respuesta numérica que se aproximó en cada nodo, y formó una conexión de malla que se desempeña sobre ella según los cálculos, los cuales fueron útiles para crear la base de discretización de conjunto y tendencia de elementos finitos.</p>
<p>Resultados. Cuando son verificados los parámetros de diseño se logró establecer la técnica de análisis a implementar para la modelación de Túnel Linner en software GTS NX, que tenía mayor adopción al método de Mohr Coulomb por los criterios de diseño que fueron proporcionales tales como fricción y cohesión, tomados del expediente técnico del Túnel Linner – Trébol De Javier Prado. De igual modo al interactuar la perforación del túnel en el suelo se valoró la conducta de los estratos y de la estructura, los cuales presentaron una simulación edificativa del túnel en el programa GTS NX. Así, se pudo obtener desplazamientos permisibles ajustados al comportamiento del material en escenario de trabajo [49].</p>
<p>Identificación. Bajo este tenor, Chilón y Huaman [50] elaboran la investigación Determinación del Revestimiento del Túnel Linner Mediante el Modelamiento Geotécnico Aplicando el Método de Elementos Finitos, en el Distrito de La Perla Callao. Universidad Peruana Unión. Perú.</p>
<p>Objetivo general. Determinar el espesor de revestimiento del Túnel Linner en suelos urbanos, controlando los efectos de la interacción suelo-estructura, mediante el modelamiento geotécnico que aplica el método de elementos finitos.</p>
<p>Categorías/ Variables. Diámetro del túnel. Revestimiento del Túnel Linner. Modelamiento Geotécnico Aplicando el Método de Elementos Finitos.</p>
<p>Metodología y/o instrumentos de recolección de la información. Los resultados obtenidos mediante el modelamiento geotécnico con el software Plaxis 2D y el análisis por la metodología AASHTO.</p>
<p>Resultados. La acción de llevar a cabo la analítica de la interacción estructura-suelo mediante método</p>

AASHTO, es muy general porque el suelo que se encuentra encima de la estructura de los túneles es considerado con propiedades desconocidas. Así mismo, usando el método de Elementos Finos se logran obtener los mejores espesores de recubrimientos, que garantizan una conducta ideal en la interacción estructura-suelo. En este punto, los efectos que producen fallas en la estructura del túnel sobre la superficie del territorio son escasos o nulos [50].
Identificación. Del mismo modo, Morales [51] desarrolla el trabajo con el título de Láminas de acero galvanizado en caliente y su influencia en la construcción de túneles por el método Túnel Linner. Distrito, Huacho, Huaura-2018. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Perú.
Objetivo general. Explicar cómo las láminas de acero galvanizado influyen en la construcción de Túneles por el método Túnel Linner, Distrito Huacho, Huaura -2018.
Categorías/ Variables. Construcción de Túneles. Láminas de Acero galvanizado en caliente
Metodología y/o instrumentos de recolección de la información. Se empleó la técnica de investigación en campo (in situ). Se utilizó hoja de recopilación de información científica relacionada con el tema
Resultados. Se observó que desde 1933 Wilkoff llevó a cabo una cualificación relacionada con proporcionarle meno peso y modificar su forma rectangular a otra redonda, mientras que para el 2012 Tecnovial dispone un elemento novedoso de fácil montaje por su menor peso, el cual no requiere mano de obra especializada para ser montado, y debido a esto se ha establecido que las láminas de acero galvanizado en caliente en efecto impactan la simplicidad de la ejecución de los túneles por método Túnel Linner [51].

Fuente: Elaboración propia con base en la recopilación de información de estudios previos.

Tabla 2. Antecedentes nacionales de la investigación

ANTECEDENTES NACIONALES
Identification. Tovar, Valero y Cepeda [52] Methodology for selecting trenchless sewer rehabilitation technologies in Bogotá, Colombia
General objective. This article focuses on the methodology developed and implemented in the SELECTOR program, the purpose of which is to provide public service companies responsible for sewerage service, as well as related professionals, with a decision-tool that responds, from a technical perspective, which of the analyzed trenchless rehabilitation technologies (pipe break, cured-in-place pipe, slip liner, and spiral wound) is the most suitable for rehabilitation.
Categories / Variables. There are eight differential variables when deciding on the rehabilitation of the sewer system. Verbalization diagrams allow to compress the decision model and facilitate its programming, and automated decision models increase the effectiveness and transparency in construction processes.
Methodology. To this end, it is necessary to consider all the influence parameters at the time of sewer rehabilitation, define the ranges of application of these technologies without trenching, extract the differential variables, use fuzzy logic verbalization, determine the priority and the relationship between variables using the data mining technique known as decision trees, and Develop the SELECTOR program using the Visual Studio 2017® platform.
Results. Differential variables for decisions regarding the application of trenchless rehabilitation technologies in Underground sewer infrastructure projects were identified. A graphic summary of the decision model was made using the verbalization diagrams and the SELECTOR program, which allows processing the information of the sewerage networks individually and for an entire sewer rehabilitation project, detailing the intervention [52].
Identificación. Osorio [53] presenta el estudio titulado Comportamiento de Revestimientos de Concreto Reforzado de Sección Cuadrada en Túneles a Presión Interna. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
Objetivo general. Evaluar el comportamiento hidráulico y estructural de revestimientos de concreto reforzado de túneles de sección cuadrada sometidos a presión interna
Categorías/ Variables. Comparación estructural. Clasificación o sectorización de los tipos de sección a implementar en un túnel a presión.

<p>Metodología y/o instrumentos de recolección de la información. Revisión documental, se observa que los métodos o procedimientos existentes relacionados con el análisis de revestimientos de concreto para túneles sometidos a presión interna, consideran una serie de simplificaciones como materiales elásticos (para el medio y el revestimiento), permeabilidad del medio y del revestimiento constante e isotrópico, esfuerzos planos e invariablemente una sección de excavación y de revestimiento circular.</p>
<p>Resultados. Las limitaciones principales reconocidas en las metodologías de análisis con que se cuenta para comprender la conducta estructural e hidráulica de revestimientos de concreto reforzado y sometido a presión interna son los siguientes: el cálculo de permeabilidad a partir del cálculo de espaciamiento de grietas y de ancho, así como la geometría implementada en el análisis. Las técnicas de análisis estuvieron soportadas en la relación hidráulica del revestimiento a partir de los cambios en el ancho de la grieta, lo que producía que fuera más relativa la validez de las representaciones. Aunque los cambios en el ancho de espaciamiento y grieta se produzcan, no existen bases sólidas para dar garantías acerca de la congruencia entre lo que se analiza y lo que se genera [53].</p>
<p>Identificación. Martínez [54] realizó el estudio titulado Análisis técnico y factibilidad económica, sistema pipe bursting comparado con sistema a zanja abierta, para modernización de redes de acueducto y alcantarillado. Universidad Católica de Colombia. Bogotá.</p>
<p>Objetivo general. El objetivo consistió en reconocer mediante el sistema sin zanja denominado Pipe Bursting, comparándolo con el método tradicional de excavación a cielo abierto, según costo-beneficio y analizar la utilidad y posibilidades del proyecto.</p>
<p>Categorías/ Variables. Sistema de excavación sin zanja, Pipe Bursting</p>
<p>Metodología y/o instrumentos de recolección de la información. El método usado fue documental, y a través de este se realizó una revisión bibliográfica acerca de Pipe Bursting y procedimiento de perforación de zanja abierta. El objetivo consistía en determinar el escenario mundial y nacional en el que ha evolucionado y se han desarrollado distintas técnicas relacionadas con procedimientos sin zanja [54].</p>
<p>Resultados. Los métodos sin zanja poseen más de 6 décadas de existencia desde que fueron creados. No obstante, en Colombia sigue dándosele prioridad, por parte de sectores oficiales y privados, a la implementación de contratos que persisten en el uso de métodos a zanja abierta, lo cual evita los beneficios que ofrecen los métodos opuestos. Fue evidenciado que el Pipe Bursting es más eficiente en términos de su ejecución y que necesita disponer de menores recursos, al compararlo con técnicas tradicionales de rehabilitación [54].</p>

Fuente: Elaboración propia con base en la recopilación de información de estudios previos.

Tabla 3. Antecedentes regionales de la investigación

ANTECEDENTES REGIONALES
<p>Identificación. Abellán et al [55] Ultra-high-performance concrete with local high unburned carbon fly ash. Magazine Dyna. Bogotá.</p>
<p>General objective. This study aimed to design and produce UHPC using local fly ash available in Colombia.</p>
<p>Categories / Variables. Ultra-high-performance concrete (UHPC) and tunnel liner</p>
<p>Methodology. A numerical optimization, based on Design of Experiments (DoE) and multi-objective criteria, was performed to obtain a mixture with the proper flow and highest compressive strength, while simultaneously having the minimum content of cement.</p>
<p>Results. The results showed that, despite the low quality of local fly ashes in Colombia, compressive strength values of 150 MPa without any heat treatment can be achieved.</p>
<p>Identificación. Mientras que, Estrada y Forero [18] desarrollan la investigación con el título de Evaluación de la gestión del tiempo bajo la guía PMBOK® 5ta edición para método SPR de rehabilitación de tubería sin zanja vs método convencional de rehabilitación de tubería. Universidad Católica de Colombia. Bogotá.</p>
<p>Objetivo general. Desarrollar el estudio comparativo de la Gestión del Tiempo mediante la guía PMBOK® (5ta edición) entre la rehabilitación de los tramos de tubería para el colector de La Quebrada La Vieja en</p>

Bogotá Colombia, implementando la tecnología SPR y el método tradicional de rehabilitación de tuberías a zanja abierta.
Categorías/ Variables. Gestión del Tiempo.
Metodología y/o instrumentos de recolección de la información. Guía PMBOK® 5ta Edición. • Planos Planta y Perfil (1 al 3) Alcantarillado Pluvial Rehabilitación Colector La Vieja, Zona 2, Localidad de Barrios Unidos, Dirección de Gerencia Corporativa del Servicio al Cliente, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.
Resultados. Se implementó una metodología de Gestión del tiempo de la Guía PMBOK®, 5ta edición, en la reparación de tuberías, para la técnica SPR sin zanja y la técnica convencional de zanja abierta, en un caso específico de investigación correspondiente a los 18 segmentos del Colector La Vieja, que van desde la calle 71 con carrera 2 y la carrera quinta con calle 68, en el barrio Los Rosales, de Bogotá. A partir de la perspectiva de la Gestión del Tiempo, fue evidente la técnica SPR sin zanja representa una organización del trabajo más fácil y con bastante menos grados de incertidumbre en relación las técnicas tradicionales [18].
Identificación. Por su parte, Leguizamón [40] presenta el estudio titulado Método para llevar a cabo excavaciones orientadas en la técnica Túnel Linner y Pipe Ramming. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá.
Objetivo. Generar un diseño metodológico que señale la forma como se lleva a cabo un proyecto de excavación dirigida en la técnica de Pipe Ramming y Túnel Linner
Categorías/ Variables. Modalidad de Pipe Ramming y Túnel Linner.
Metodología y/o instrumentos de recolección de la información. Se evidenció la metodología de edificación sobre las redes subterráneas que se denominan a nivel mundial como perforación dirigida sin zanja, que tiene un número grande variaciones de construcción de acuerdo con las necesidades de las obras.
Resultados. En términos topográficos, la técnica Pipe Ramming y Túnel Linner, ofrecen una presión confiable sobre redes instaladas porque ambos cuentan con monitoreo topográfico antes, durante y después de la implementación del procedimiento, producto de la aplicación de la camisa de acero o Pipe Ramming, así como de los anillos del Túnel Linner, que producen estabilidad en una tubería luego de instalada. Estos, reducen los daños, y garantizan que sea el estable el terreno sin alterar el suelo. Así mismo, como parte de sus ventajas se tiene que en su aplicación no se necesitan realizar daños en superficie, minimizando el impacto visual, auditivo, de aire y salud, así como minimizando gastos [40].

Fuente: Elaboración propia con base en la recopilación de información de estudios previos.

4. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto está basado en una investigación descriptiva, donde se dan a conocer las situaciones más relevantes que describen las actividades realizadas por los dos métodos constructivos, recopilando información de las labores ejecutadas por el método de excavación a zanja abierta y la tecnología de Túnel Linner para la construcción del alcantarillado sanitario en la localidad de Suba de la Ciudad de Bogotá – Colombia. Del mismo modo, se aplicó el método de investigación mixto (deductivo e inductivo), en el ámbito de la optimización del procesamiento de evidencias, tomando los datos suficientes que se requieren basados en la hipótesis planteada que permitieron analizar y obtener los resultados [56].

Asimismo, el presente trabajo se desarrolla bajo un enfoque cualitativo [57] de tipo documental y reúnen, seleccionan y analizan datos que son expuestos por personas para estudiar un fenómeno determinado y que se encuentran en forma de “documentos”, con el fin de dar argumentos o sentar las bases para la resolución de determinados interrogantes, los cuales son los soportes materiales de los hechos y manifestaciones de la realidad social. Al estudiar e interpretar la información recopilada, se procedió a desarrollar cada uno de los ítems del capítulo 6 del proyecto, teniendo en cuenta el esquema del PMBOK® 6ta edición.

Con el propósito de realizar el análisis comparativo entre el método constructivo de excavación por zanja abierta y el de Túnel Linner, aplicado a un tramo de 100 metros de longitud, construidos de manera paralela en el sistema de alcantarillado sanitario en un proyecto de la localidad de Suba de la Ciudad de Bogotá- Colombia, bajo condiciones de profundidades de trabajo, características de suelo y diámetro de tubería iguales, se realizó en tres fases, así:

4.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO

4.1.1 Fase I. Recopilación de información. En esta fase se presentan las actividades desarrolladas para la obtención del primer objetivo correspondiente a identificar las ventajas y desventajas del método constructivo tradicional de alcantarillado de zanja y del Túnel Linner. Esta fase se inicia a partir de la autorización por parte de la empresa constructora para el desarrollo de este proyecto en la obra en mención. ([Ver Anexo A](#))

Actividad 1A. Búsqueda de información en fuentes confiables de internet sobre temas relacionados a la construcción de redes de alcantarillado sanitario con el método tradicional de excavación con zanja abierta y el método sin zanja por Túnel Linner, para realizar la identificación de las ventajas y desventajas de los mismos, desde el punto de

vista teórico. ([Ver Anexo B](#))

Actividad 1B. Realización de una infografía de los dos métodos constructivos con el propósito de capturar en imágenes la secuencia de las actividades que se ejecutan en el proceso de Túnel Linner y Zanja. ([Ver Anexo C](#))

Actividad 1C. Realización de la matriz de ventajas y desventajas de los dos métodos constructivos. ([Ver Anexo D](#))

4.1.2 Fase II. Análisis de la gestión del cronograma. En esta fase se presentan las actividades desarrolladas para la obtención del segundo objetivo correspondiente a establecer la gestión del cronograma, teniendo en cuenta los recursos (materiales, equipos, mano de obra y tiempo) de los dos métodos constructivos. Se realizó la gestión del cronograma para el método tradicional de excavación a zanja abierta y la tecnología sin zanja por Túnel Linner, aplicado a un tramo de 100 metros de longitud, construidos de manera paralela en el sistema de alcantarillado sanitario en un proyecto de la localidad de Suba de la Ciudad de Bogotá- Colombia, bajo condiciones de profundidades de trabajo, características de suelo y diámetro de tubería iguales de manera independiente, bajo los lineamientos de la guía PMBOK® 6ta edición [58].

Actividad 2A. Plan para la dirección del proyecto: consiste en el establecimiento de políticas, procedimientos y el diligenciamiento de la documentación necesaria para planificar, desarrollar, gestionar, ejecutar y controlar el cronograma. ([Ver Anexo E](#))

Actividad 2B. Activos de los procesos de la organización: **consiste en recopilar la información sobre los recursos utilizados en ambos métodos (Materiales, equipos, mano de obra, tecnológicos).** ([Ver Anexo F](#))

Actividad 2C. Estructura de desglose de trabajo (EDT): **consiste en elaborar la EDT acorde a la secuencia de las actividades.** ([Ver Anexo G](#))

Actividad 2D. Diccionario de la EDT Túnel Linner y Zanja: designación y documentación de las acciones concretas que deben realizarse para cumplir con los objetivos del proyecto. ([Ver Anexo H](#))

Actividad 2E. Estimación de la duración de las actividades: estimación del tiempo necesario para completar las actividades, teniendo en cuenta el tiempo disponible en el cronograma. ([Ver Anexo I](#))

Actividad 2F. Desarrollar el cronograma: compilación de toda la información reunida en los pasos anteriores para la selección del método más adecuado. ([Ver Anexo J](#))

4.1.3 Fase III. Análisis comparativo. En esta fase se presentan las actividades desarrolladas para la obtención del tercer objetivo correspondiente a comparar el método constructivo tradicional de alcantarillado de zanja y del Túnel Linner, para la identificación del más favorable en la construcción de redes de alcantarillado sanitario, para un tramo de 100 metros de longitud construido de forma paralela al sistema de alcantarillado sanitario en la localidad de Suba, Bogotá Colombia, se realiza la comparación de las ventajas y desventajas que suponen los métodos de zanja abierta y de Túnel Linner, teniendo en cuenta los criterios de gestión del cronograma establecidos por la guía PMBOK 6ª. edición [58].

Actividad 3A. Realizar la matriz de comparación de los dos métodos constructivos. ([Ver Anexo K](#))

Actividad 3B. Realizar un análisis cualitativo de la comparación de los dos métodos constructivos con la finalidad de identificar el más favorable.

4.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Para el desarrollo del presente proyecto, se utilizaron herramientas como el software Microsoft Office y Project. Se entrega un archivo digital en español con la documentación recopilada, comparada y analizada, relacionada con el objeto del proyecto de grado bajo la Guía PMBOK® 6ta Edición capítulo 6 [58].

Los instrumentos que se utilizaron para la recolección de la información son las matrices expuestas en los Anexos 1 al 10, teniendo en cuenta los recursos disponibles generados desde el proceso licitatorio del contrato celebrado entre la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) hasta los documentos de cierre contractual, incluyendo los presupuestos, actas de obra, planos, información financiera de la propuesta, análisis en los 100 metros de longitud construidos de manera paralela en el sistema de alcantarillado sanitario en un proyecto de la localidad de Suba de la Ciudad de Bogotá-Colombia, bajo condiciones de profundidades de trabajo, características de suelo y diámetro de tubería iguales [59].

4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La muestra es el caso estudio de la localidad de Suba en Bogotá, en donde se construye el sistema de alcantarillado sanitario bajo características de diámetros de tubería desde 36” hasta 44”, en profundidades desde tres hasta cinco metros en tubería GRP, para un tramo de 100 metros de longitud de forma paralela.

4.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

4.4.1 Descripción del alcance del producto. El alcance del presente documento, comprende únicamente el análisis comparativo a dos métodos constructivos de excavación sin zanja por Túnel Linner y con zanja abierta, ejecutados simultáneamente en un tramo de 100 metros de longitud, contruidos de manera paralela en el sistema de alcantarillado sanitario en un proyecto de la localidad de Suba de la Ciudad de Bogotá, Colombia, bajo condiciones de profundidades de trabajo, características de suelo y diámetro de tubería iguales para la Gestión del Cronograma según la Guía del PMBOK® 6ta Edición, capítulo 6, numeral 6.1 [58]. Cabe mencionar que no se realizó un análisis detallado del presupuesto, sino generalizado en donde se muestra el valor por actividades junto con una reserva de gestión y de contingencia.

El presente trabajo no desarrolló tema o aspecto gerencial relacionado con costos o algún otro tema de la Guía PMBOK® 6ta Edición, excepto el numeral 6.1 del capítulo 6.

4.4.2 Limitaciones.

El presente proyecto tuvo como limitaciones el escaso tiempo por parte de las personas que apoyaron con la recolección de la información y sobre todo porque en muchas ocasiones no se lograba el encuentro con el personal de la obra por motivos de aislamiento en época de la pandemia.

5. PRODUCTOS A ENTREGAR

Se relacionan los productos a entregar de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis comparativo:

- En noviembre de 2021:
 - Generalidades del método sin zanja Túnel Linner, implementado en sistemas de alcantarillado sanitario en Colombia.
 - Generalidades del método con zanja abierta, implementado en sistemas de alcantarillado sanitario en Colombia.
 - Análisis de la gestión del cronograma para el tramo de 100 metros de longitud construido por el método tradicional de zanja abierta en la construcción del alcantarillado sanitario para el caso de estudio específico en la localidad de Suba en la Ciudad de Bogotá- Colombia.
 - Análisis de la gestión del cronograma para el tramo de 100 metros de longitud construido con la metodología de Túnel Linner, en la construcción del alcantarillado sanitario para el caso de estudio específico en la localidad de Suba en la Ciudad de Bogotá- Colombia.
 - Análisis comparativo de la gestión del cronograma en la construcción de 100 metros de longitud de dos tramos de alcantarillado sanitario construidos de manera simultánea bajo las mismas condiciones para los métodos de Túnel Linner y zanja abierta.
 - Documento final.

6. IDENTIFICACIÓN DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS CONSTRUCTIVOS TRADICIONAL DE ALCANTARILLADO DE ZANJA Y SIN ZANJA POR SISTEMA TÚNEL LINNER

La identificación de las ventajas y desventajas se obtuvo a partir de la recopilación de documentos encontrados en fuentes confiables, las cuales se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Recopilación de la información de fuentes confiables de internet

año	autor	título	objetivo	link
1	2018 Nelson Ferney Estrada González, Cristian Leonardo Forero Fajardo	Evaluación de la gestión del tiempo bajo la guía PMBOK® 5ta edición para método SPR de rehabilitación de tubería sin zanja vs método convencional de rehabilitación de tubería	Desarrollar el estudio comparativo de la gestión del tiempo mediante la guía PMBOK® (5ta edición) entre la rehabilitación de los tramos de tubería para el colector de la quebrada la vieja en Bogotá Colombia, implementando la tecnología SPR y el método tradicional de rehabilitación de tuberías a zanja abierta.	https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22438/1/proyecto%20clfnfeg%20%2820181115%29.pdf
2	2017 EPM	Norma de construcción para instalación de tubería de acueducto sin zanja por el método de perforación horizontal dirigida. nc-as-i101-36	Establecer los requisitos constructivos que se deben cumplir para la instalación de tubería sin zanja por el método de instalación horizontal dirigida, en las redes de EPM.	https://cu.epm.com.co/portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/nc_as_i101_36_instalacion_de_tuberia_de_acueducto_sin_zanja_por_el_metodo_de_perforacion_horizontal_dirigida.pdf
3	2015 Yorly Brigitte Leguizamón Galicia	Metodología para realizar perforación dirigida en la modalidad de pipe Ramming y túnel Linner.	generar un modelo metodológico donde se indique como se realiza un proyecto de perforación dirigida en la modalidad túnel Linner y pipe Ramming.	https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4879/leguizamongaliciayorlybrigitte2015.pdf?sequence=8
4	2011 Jorge Andrés Pinzón Abaunza	Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá.	Establecer la utilización de las tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá y su potencial de aplicación en los próximos 10 años.	https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7549/tesis607.pdf;sequence=1
5	2015 Felicidad Mínguez Santiago	Métodos de excavación sin zanja.		http://oa.upm.es/37225/1/tesis_master_felicidad_minguez_santiago.pdf
	2014 Quilo Grandez, Diego Armando	Análisis comparativo del método tradicional con zanja y método de tecnología sin zanja en la obra de rehabilitación de redes secundarias de agua potable y alcantarillado del distrito de comas.		http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/17895
6	2019 Oscar Javier Martínez	Análisis técnico y factibilidad económica, sistema pipe Bursting vs sistema a zanja abierta para renovación de redes de alcantarillado y acueducto.	Establecer la utilización de las tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá y su potencial de aplicación en los próximos 10 años.	https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24111/1/proyecto%20de%20grado%20-%20sistemas%20pipe%20bursting%20vs%20zanja%20abierta.pdf
7	2012 Manuel Giancarlo Schenone Samayoa	Reducción de costos en alcantarillados utilizando tecnología de tubería sin zanja.	Demostrar cómo esta tecnología de tubería sin zanja, es la más adecuada, eficaz y eficiente.	http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3384_c.pdf
8	2011 Luis Guillermo Sánchez	Tecnologías más promisorias dentro y fuera del país para la renovación y la rehabilitación de tuberías en sistema de alcantarillado.	Determinar las tecnologías más promisorias dentro y fuera del país para la renovación y la rehabilitación de tuberías en sistema de alcantarillado	https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/11494/u471818.pdf?sequence=1
9	2016 Arce Obregón, Jessica	Aplicación de la tecnología sin zanja para mejorar la productividad en la rehabilitación de redes de alcantarillado, comas 2016.	Analizar en qué forma la aplicación de la tecnología sin zanja mejorará la eficiencia en la rehabilitación de redes de alcantarillado, comas 2017.	https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/12597/arce_oj.pdf?sequence=1&isallowed=y
10	2016 Luis Jimmy Bajaría Laurido	Ventajas y desventajas entre el método tradicional (con zanja) y el método moderno (sin zanja) en la rehabilitación del alcantarillado guayaquil.	Evaluar las metodologías de rehabilitación de las redes de alcantarillado entre el método tradicional con zanja y el método moderno sin zanja.	http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/19678/1/baja%20c3%91a_luis_trabajo_titulacion_sanitaria_enero_2017%281%29.pdf
11	2019 Álvaro José Mattos Olivella Et Al	Congreso internacional en innovación, desarrollo y aplicaciones en ingeniería civil.		https://www.ustavillavicencio.edu.co/images/ing-civil/publicaciones/memorias-ingeniera-cuarta-versin--dic.20.2019.pdf
12	2009 Sergio Eduardo Hernández Niño Y Johanna Lisdney López Cárdenas	Nuevos procedimientos en la recuperación de redes de alcantarillado.	Identificar y caracterizar los nuevos procedimientos no convencionales para la recuperación de redes de alcantarillado.	https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1175&context=ing_civil
13	2021 Empresa De Acueducto Y Alcantarillado De Bogotá ESP	Catálogo de normas y especificaciones técnicas sistema de información de normalización técnica (SISTEC).		https://www.acueducto.com.co/wps/wcm/connect/eab2/7c2a586c-1650-4963-aa6b-cbddd3c2b2f10/catalogo+de+normas+y+especificaciones+%c3%a9ncinas.pdf?mod=ajperes&cacheid=rotworkspace.z18_k862hg82nft70qekdbllf3000-7c2a586c-1650-4963-aa6b-cbddd3c2b2f10-n6ttwd0
14	2021 Ojeda Garayar, Julio César	Análisis comparativo entre el método pipe Bursting y el método tradicional en la renovación de tuberías de desagüe.	Definir que son las tuberías de polietileno e identificar los tipos que existen, así como la situación actual de estas en el Perú.	https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/556449/tesis%20ojeda%20garayar.pdf?sequence=1&isallowed=y
15	2018 Triple A S.A. E.S.P.	Normas y especificaciones técnicas para la construcción de obras de acueducto y alcantarillado.		http://www.aaa.com.co/lp-content/uploads/normas-y-especificaciones-tecnicas-aaa.pdf
16	2019 EPM	Norma de construcción instalación en zanja de tuberías de PVC, HD, GRP, CCP y acero en redes de acueducto nc-as-i101-34.	Establecer los requisitos técnicos que se deben cumplir para la instalación de tuberías en zanja en las redes de EPM.	https://cu.epm.com.co/portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/nc_as_i101_34_instalacion_e_n_zanja_de_tuberia_de_pvc_hd_grp_ccp_y_acero_en_redes_de_acueducto.pdf
17	2018 John Edison Sánchez Avellaneda	Instructivo del proceso constructivo de una red de alcantarillado pluvial.		https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14215/sanchezavellanedaohnedisonanexo-1.pdf?sequence=2

Fuente: Elaboración propia.

En el [Anexo L](#), se observan las infografías de los métodos constructivos Túnel Linner y Zanja, que hace una secuencia de actividades de la obra. Acto seguido a la obtención de la información se realizó la lectura de la misma para la extracción de las ventajas y desventajas en un cuadro comparativo de ambos métodos constructivos, teniendo en cuenta las consideraciones de los diversos autores. (Ver Tabla 5 y 6)

Tabla 5. Ventajas de los métodos constructivos de zanja y por Túnel Linner

ZANJA (MÉTODO TRADICIONAL)
<ul style="list-style-type: none"> • Tradicionalmente ha sido el método de más uso y cuenta con la mayor cantidad de bibliografía, según la cual se puede tener referencia de casos específicos y así solucionar distintos problemas en cuanto a la forma como debe ser implementado [18]. • Ofrece la posibilidad de no generar afectaciones o daños en instalaciones y áreas subterráneas, así como en vegetación o redes de servicios públicos a través del uso de información previa recabada sobre la red de tuberías y suelos [60]. • En el método con zanja un trabajo de tamaño medio se ejecuta en 15 días, y como son 8 horas laborables, se tienen 120 de tiempo de ejecución, con lo cual se fomenta el empleo de mano de obra no especializada [1]. • Al ser la tecnología con zanja la más antigua, existe conocimiento académico y empírico, por ello no es necesario contar con capacitaciones [18] [38].
SIN ZANJA (TÚNEL LINNER)
<ul style="list-style-type: none"> • Es un método que permite avances rápidos y buenos resultados, pues ha ido acoplándose al desarrollo tecnológico [40]. • Posee múltiples variaciones constructivas dependiendo de la necesidad que se tenga a la hora de ser ejecutada en obra civil [40], entre las cuales se destacan la fractura de tubería (Pipe Bursting), reentubado (Relining), revestimiento deslizante continuo (SlipLining) y el enrollado helicoidal (SPR1) [18]. • Es uno de los métodos pioneros de perforación usados desde la década de los noventa, que ha ido evolucionando y centrando su aplicación en el desarrollo urbano ya que es versátil, su manejo se lleva a cabo con facilidad y ofrece escasas complicaciones espaciales [40]. • Es un método que permite tener rapidez para la entrega terminada de trabajos [40]. • Constituye una acción estratégica y focalizada a partir de la cual las compañías pueden maximizar los recursos utilizados y optimizar esfuerzos y tiempos de trabajo [18]. • Su uso es cada vez más implementado en Latinoamérica, consolidando así una amplia experiencia en su utilización que provee a los investigadores y ejecutores de una variada existencia de casos [18]. • Suple la necesidad de minimizar el impacto negativo de paralizar el tráfico urbano tanto peatonal como vehicular [18]. • Se genera una sección sin irregularidades ni deformidades con paredes de gran calidad que garantizan un rendimiento hidráulico máximo [35] [61]. • Sus materiales, así como los resultados de la obra presentan mayor vida útil [60]. • No afecta a la calzada [1] y es mínimo el impacto ambiental [1]. • Seguridad al no afectar líneas de fibras ópticas [1]. • Seguridad al no tocar ductos de energía eléctrica [1]. • El método sin zanja es el más recomendable ya que presenta seguridad para los trabajadores [1]. • Menor tiempo de intervención [1]. • Rehabilitación limpia [1].

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Desventajas de los métodos constructivos de zanja y por Túnel Linner

ZANJA (MÉTODO TRADICIONAL)
<p>Implica necesariamente la ruptura de capas de pavimento o andenes, así como la afectación de la cobertura vegetal [18]. Interrumpe la prestación de servicios públicos básicos como acueducto y alcantarillado. Las excavaciones que deben realizarse para implementar este método representan un riesgo para transeúntes al tiempo que obstaculizan el tráfico [18]. Este método genera la emisión de material particulado que produce problemas de salud [38]. Según las características y condiciones de los suelos que vayan a intervenir, así como de su profundidad, se requieren distintas medidas de seguridad del tipo entibiados o tenido de taludes [18]. Cuando la perforación a ejecutar es en zonas críticas que impiden el ingreso a las máquinas o maniobrar debido a las características propias del sitio o existen otras redes subterráneas de alto grado de vulnerabilidad, se deben realizar a mano los trabajos de excavación, y tomar muchas precauciones para evitar daños colaterales que perjudiquen el desarrollo normal de la obra, además de las medidas de seguridad necesarias, como entibados, donde las condiciones del suelo o empujes laterales así lo ameriten, de manera que produce un sobre esfuerzo, gasto de material y de recursos [18]. Siempre va a existir peligro para los trabajadores [1]. El impacto económico a los negocios es alto [1]. Reduce hasta un 30% la vida útil de la calzada [1]. Alto índice de impacto ambiental [1]. Afectación al tráfico vehicular [1]. Peligro de tocar líneas de fibras ópticas [1]. Peligro de tocar líneas de energía eléctrica [1]. Molestias a los transeúntes [1]. Rehabilitación sucia [1]. Se debe comprobar con planos del lugar las conexiones existentes de instituciones cercanas y de esta manera evitar daños a redes de servicios de la comunidad, los mismos que pueden resultar mortales como el con energía eléctrica y en otros muy costosas por ejemplo el caso de las líneas de fibra óptica de la empresa de telecomunicación [1]. Elevado porcentaje de muertes de trabajadores por año en implementación con zanja [1]. Los negocios cercanos a áreas congestionadas por la construcción son más propensos a perder sus clientes debido a las interrupciones en el tráfico generado por los métodos de excavación a zanja abierta. Esto puede resultar también en una disminución en los ingresos por concepto de impuestos para el gobierno local [1] [61]. Se aumenta el consumo de combustible debido al aumento de las distancias recorridas y las paradas intermitentes, acarreamo una elevación de costes operativos de los vehículos [1]. Finas partículas de suelo pueden llegar al aire en forma de polvo debido a las corrientes que soplan desde los acopios creados durante el proceso de apertura de la zanja [1]. Al existir modificaciones a nivel Gubernamental por elecciones, se producen a su vez cambios en la administración de las Instituciones Estatales que generan traumatismos en los enlaces de los procesos en ejecución, afectando directamente los procedimientos contractuales [18].</p>
SIN ZANJA (TÚNEL LINNER)
<p>Para llevar a cabo este método es necesario implementar una minuciosa investigación del sitio de interés, en especial para determinar la tuneladora o Tunneling Boring Machine (TBM) más apta a utilizar [35]. Las piedras y obstáculos pueden paralizar la instalación si no se escoge inicialmente la TBM indicada [35]. Este método implica una alta demanda de recursos para una compañía ya que el equipo para realizarlo es costoso, así como el pago de operarios especializados para llevarlo a cabo [18] [60]. Es requerida una alta habilidad y experiencia de los operarios lo cual implica la precisión de estos a la hora de ejecutar la labor, así como el alto gasto en mano de obra especializada [35]. Es necesarios construir pozos de lanzamiento y recepción durante la instalación [35]. Se necesita un punto de entrada para la inserción de la tubería el cual debe ser estudiado y analizado previo a realizar el trabajo [54]. Puede haber colapso en las paredes del túnel, si el suelo es de tipo granular o rocoso [54]. Es necesario realizar una plataforma para el pozo de salida [54]. El sistema no maneja pendientes constantes en tramos cortos [54]. Las distintas técnicas desde las que se puede ejecutar este método, tales como el revestimiento arrugado industrial, o ajustado en sitio o el sistema de tubo deformado, entre otros, presentan dificultades en torno a que las extensiones plegadas de forro no podrían ser unidas después del proceso de plegamiento, por lo tanto, las longitudes que pueden ser instaladas son restringidas [60] [61].</p>

Fuente: Elaboración propia.

6.1 ANÁLISIS

De acuerdo con las fuentes consultadas que recogen experiencias variadas con el uso de métodos constructivos con y sin zanja, pueden realizarse las siguientes consideraciones. En primer lugar, se puede afirmar que los de zanja son los más antiguos y por ello es usual encontrar mayor experiencia en el manejo de estos dentro de las habilidades del personal profesional y mano de obra en general que ha trabajado en el sector. Así mismo, se destaca que la situación se fortalece en la medida en que los conocimientos de los trabajadores en este caso no requieren de capacitaciones dadas, la amplia experiencia con la técnica. No obstante, y a pesar que la experiencia sea mayor en el método de zanja y se encuentren distintos casos de aplicación en las fuentes, no puede concluirse que sea el mejor método para llevar a cabo las obras en la actualidad, ya si bien no requieren de capacitación, los recursos que aquí se evitan no significan realmente un ahorro en la medida en que para ser ejecutadas las técnicas con zanja requiere de un equipo que es costoso.

Del mismo modo, este implica un fuerte efecto sobre el entorno próximo al área de intervención ya que, como hay que abrir zanja se genera emisión de material particulado, se afecta el tránsito peatonal y vehicular al tiempo que son poco estéticos sus acabados y obstaculiza el cotidiano desarrollo del mercado en el sector aledaño, e inhibe la prestación de servicios básicos públicos. En este sentido, dichas falencias de la técnica de construcción las solucionan con solvencia los métodos sin zanja, en específico el Túnel Linner. Esto es así en la medida en que, si bien produce igualmente la necesidad de perforar, solo se hace en un punto de entrada y salida, de manera que ni se obstaculiza el tráfico, ni afecta el mercado ni la prestación de servicios y reduce a cuotas mínimas la producción de contaminación.

Además de ello, plantean la ventaja de focalizar las intervenciones a fin de reducir la ocupación del espacio en superficie y suman rapidez a los tiempos de entrega. Las compañías encargadas pueden tener una minimización de recursos ya que este método implica menos trabajadores y tiempo. Sin embargo, el trabajo sin zanja requiere del uso de equipos costosos y mano de obra especializada que la mayoría de veces debe ser capacitada en el exterior, situación con la cual habría que lidiar a fin de encontrar la mejor solución. Desde la observación realizada entonces con las múltiples fuentes consultadas, la apreciación que aquí se genera un mayor rendimiento y posibilidades rentables y de trabajo consciente del entorno, por lo cual se muestran los métodos sin zanja como los que cuentan con más ventajas. Ahora bien, su implementación en Colombia no se ha masificado y está regulada por la normatividad nacional, al igual que los métodos con zanja, y su aplicación se ajusta igualmente a la legislación laboral, pero esto no ha sido suficiente para estimular su uso generalizado.

La principal resistencia que se encuentra para implementar los métodos sin zanja, es la

dificultad del sector constructivo de llevar a cabo nuevas metodologías. Se comprende que esto es producto de varias décadas de trabajo tradicional, y que el cambio pueda producir temores. Sin embargo, desde que en 1990 fueran diseñadas e implementadas las aplicaciones sin zanja, su uso ha crecido considerablemente en Latinoamérica, de manera que paulatinamente se ha edificado unas referencias bibliográficas al respeto, y han tomado creciente popularidad.

Por esto, se espera que a mediano y largo plazo en el país se promueva una tendencia a reemplazar gradualmente los métodos hacia el trabajo sin zanja. Será relevante que desde la institucionalidad el Gobierno fomente criterios para las licitaciones que estimulen la actividad con estas técnicas, ya que le reportan beneficios económicos y la población civil de áreas urbanas no sufre los impactos de las obras, ni se afecta el continuo desarrollo de las ciudades. Se observa que en el escenario educativo son necesarias principalmente dos cosas para que esto se estimule. En primer lugar, se debe fomentar la gestión del conocimiento en ese sentido; es decir, producir investigación al tiempo que se generan patentes, se publican resultados y transfiere saberes en eventos educativos dentro de la comunidad científica, de la cual, a su vez, saldrán los futuros trabajadores que implementarán estas metodologías. En segundo lugar, las instituciones, los distintos programas académicos y los planes de estudio, tendrían que llevar a cabo ajustes que hagan posible el camino en este rumbo, movidos no solo por desplazarse hacia los avances tecnológicos, sino porque las compañías prestadoras del servicio de educación y empresas del sector encontrarán que esto enriquece su posicionamiento, generando mayor captación de clientes.

Los métodos sin zanja impactan de forma positiva no solo al sector de la construcción, sino que potencian el desarrollo de la competitividad de la economía nacional, pues este no es un mundo independiente, ya que está conectado con el educativo, el científico, el comercial, el político, entre otros, de manera que, jalonados por la industria constructiva, los demás sectores se pueden verse también beneficiados. Por último, se puede considerar que el papel de la investigación es de gran relevancia para el sector constructivo, ya que hace posible la existencia de estudios que den cuenta, por ejemplo, de los beneficios de trabajar con uno u otro método, ya sea mediante experiencias directas o revisiones y síntesis bibliográficas.

Sin embargo, se reconoce que el sector de la construcción invierte poco en investigación, ya que las obras consultadas son producto del trabajo individual de académicos, o de otros que laboran dentro de grupos, semilleros, de trabajos encargados, por lo cual, se enfatiza en que el papel que desempeña la universidad en el desarrollo de la industria constructiva es altamente importante. Por lo mismo, es preciso que los lazos entre ambos se estrechen, ya sea mediante la realización de prácticas, pasantías o encargos a las instituciones educativas para dinamizar su actividad investigativa y gozar de los beneficios de una alianza de este aporte.

7. ESTABLECIMIENTO DE LA GESTIÓN DEL CRONOGRAMA BAJO LOS CRITERIOS DE LA GUÍA PMBOK 6TA EDICIÓN, TENIENDO EN CUENTA LOS RECURSOS (MATERIALES, EQUIPOS, MANO DE OBRA Y TIEMPO) DE LOS DOS MÉTODOS CONSTRUCTIVOS

7.1 PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DEL CRONOGRAMA

7.1.1 Plan para la dirección del proyecto. El plan de dirección del proyecto contiene la información acerca de las etapas ejecutadas para la construcción de la obra, junto con sus respectivas acciones de los procesos para llevar a feliz término su desarrollo. (Ver Tabla 7)

Tabla 7. Plan para la dirección del proyecto

Nombre del proyecto: obras de renovación en sectores críticos del canal Córdoba y renovación tramo crítico del interceptor Córdoba derecho - localidad de Suba
Ciclo de vida del proyecto: la obra se ejecutó en varias etapas así Etapa I: MADURACIÓN Se dio inicio al proyecto con el acta de constitución de la obra y se trabajó la investigación, recopilación y análisis de la información. El equipo de trabajo definió la viabilidad para la ejecución del interceptor en Suba. Se realizó la recopilación de la información de la empresa de acueducto, la normatividad vigente, los informes sísmicos entre otros. Se analizó la información teniendo en cuenta las visitas de campo, los ensayos de laboratorio, los estudios de suelos para realizar el respectivo informe Etapa II: ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN Se plantearon las soluciones, se seleccionó la alternativa más favorable y se generó el respectivo informe. Etapa III: PLANIFICACIÓN DE LA OBRA Al determinarse la alternativa se continuó con el proceso del diseño al detalle del proyecto, entregando Diseños, Planos, Presupuesto, Cronograma y especificaciones técnicas, con el fin de iniciar la ejecución de la obra. Adicionalmente se realizó el plan de manejo ambiental. Se expusieron las especificaciones técnicas con sus cantidades de obra, presupuesto, cronograma. Etapa IV: EJECUCIÓN DEL PROYECTO Se ejecutó el plan de gestión para dar cumplimiento al alcance, presupuesto y cronograma del proyecto. Se expuso los recursos humanos e insumos requeridos para ejecutar la obra, se realizaron inspecciones y revisión de desempeño, se controlaron los cambios y se tuvieron en cuenta las acciones preventivas para mitigar riesgos, Etapa V: CIERRE DE LA OBRA Se realizó el cierre de la obra con la verificación del cumplimiento de las etapas anteriores.
Procesos: los procesos que direccionaron la obra para la efectiva toma de decisiones. Se elaboró el acta de constitución en donde se definieron los procesos que se debían desarrollar para el efectivo cumplimiento de la obra; además se asignaron los recursos y se establecieron las pautas para identificar el alcance a partir de su planificación, la recolección de la información de la obra y así lograr elaborar la EDT del proyecto.
Tiempo: en cuanto al tiempo se planificó la gestión del cronograma, se secuenciaron las actividades teniendo en cuenta los recursos utilizados y su duración. La programación se presentó con el Diagrama de GANTT
Costos: se estiman los costos del proyecto.
Riesgos: se realizó el control, planificación, identificación de los riesgos para obtener las respectivas respuestas a dichos riesgos. (No aplica para este trabajo, por lo tanto, no se incluye la información)
Calidad: se realizó la planificación de la gestión de calidad. (No aplica para este trabajo, por lo tanto, no se incluye la información)
Recursos humanos: se planificó la gestión de los recursos humanos. (No aplica para este trabajo, por lo tanto, no se incluye la información)
Comunicaciones: se planificó la gestión de las comunicaciones, (No aplica para este trabajo, por lo que no se incluye la información)
Adquisiciones: se planificó la gestión de las adquisiciones. ((No aplica para este trabajo, por lo tanto, no se incluye la información)
Interesados: se identificaron a los interesados. (No aplica para este trabajo, por lo tanto, no se incluye la información)

Fuente: Elaboración propia.

7.1.2 Activos de los procesos de la organización. La información de los activos utilizados en ambos métodos se obtuvo de la empresa constructora. (Ver Tabla 8)

Tabla 8. Activos de los procesos de la organización

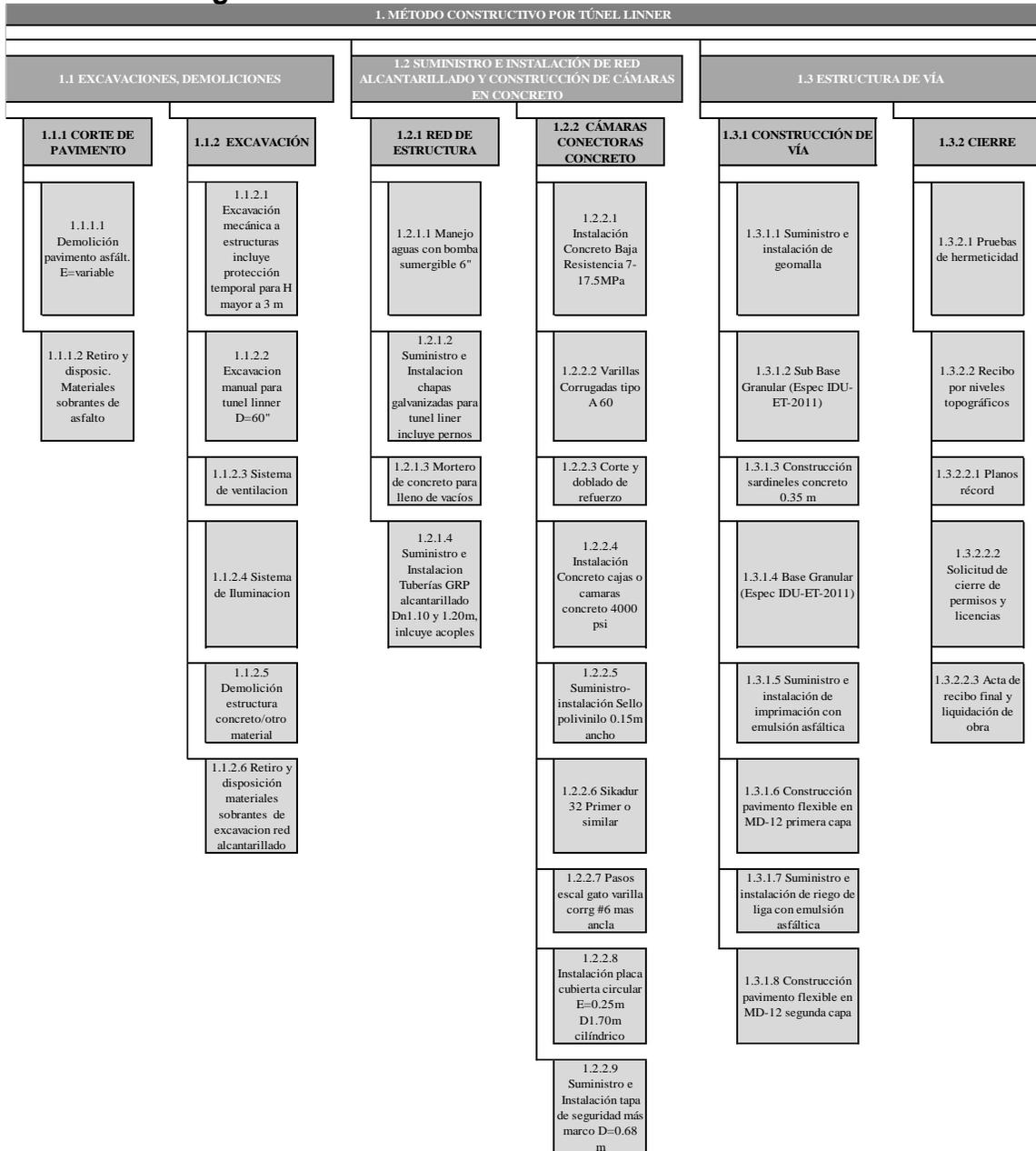
Activo	Descripción		
EDT	Se realizó la EDT para el desarrollo del cronograma en Project.		
Listado de recursos	Se realizó el listado de los recursos utilizados (humanos, materiales)		
Zanja		Sin zanja Túnel Linner	
Materiales			
Rajón, piedra partida, subbase, granular, base granular, mezcla densa caliente md-15, geomalla biaxial, imprimante, riego de liga, sardinell, cemento, ladrillo recocido, agua, recebo b-200, grava 3/4", lamina metálica estabilizada (6 x 2.5m) 1/2"		Laminas + pernos Cemento Arena Agua	
Equipos			
Volqueta	6	Volqueta	1
Minicargador	1	Minicargador	1
Retroexcavadora	1	Medidor de gases	1
Kit laboratorio de suelos	1	Kit luminarias	1
Cilindro vibrocompactador	1	Sistema de ventilación	1
Saltarines	2	Polipasto	1
Finisher /pavimentadora	1		
Cilindro de llanta para sello	1		
Total, equipo zanja	14	Total, equipo Túnel Linner	6
Mano de obra			
Director de obra	1	Director de obra	1
Residente de obra	1	Residente de obra	1
Inspector de obra	1	Capataz	1
Profesional HSEQ	1	HESQ	1
Ingeniero Ambiental	1	Especialista Geotecnia	1
Ingeniero Forestal	1	Especialista Transito	1
Especialista Estructural	1	Especialista Estructural	1
Especialista Geotecnia	1	Topógrafo	1
Especialista Transito	1	Cadenero	1
Topógrafo	1	Excavadores	2
Cadenero 1	1	Vigías	1
Cadenero 2	1	Controladores de transito	2
Maestro de obra	2	Ayudantes	4
Oficiales	2	Conductor volqueta	1
Controladores de transito	4	Operador minicargador	1
Ayudantes	8	Operador retroexcavadora	1
Laboratorista de suelos	1		
Conductor volqueta	6		
Operador minicargador	1		
Operador retroexcavadora	1		
Total, mano de obra zanja	37	Total, mano de obra Túnel Linner	21
Tecnológicos			
Nivel	1	Nivel	1

Fuente: Elaboración propia.

7.2 EDT / WBS

La Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), es la herramienta utilizada para la planificación de proyectos, realizada a partir de la definición del trabajo a desarrollar, descomponiendo jerárquicamente dicho trabajo. A continuación, se presenta la EDT generada para los dos métodos constructivos. (Ver Figura 28 y 29)

Figura 28. EDT método constructivo Túnel Liner



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. EDT método constructivo por zanja abierta

1. MÉTODO CONSTRUCTIVO DE EXCAVACIÓN POR ZANJA ABIERTA								
1.1 EXCAVACIONES, DEMOLICIONES, TALAS Y OTRAS			1.2 SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE RED ALCANTARILLADO Y SUMIDEROS		1.3 SUMINISTROS E INSTALACIÓN CÁMARAS Y POZOS CONECTORES		1.4 ESTRUCTURA DE VÍA	
1.1.1 CORTE DE PAVIMENTO	1.1.2 EXCAVACIÓN PARA RED	1.1.3 TRATAMIENTO INTEGRAL DE ÁRBOLES	1.2.1 CONSTRUCCIÓN DE SUMIDEROS	1.2.2 RED	1.3.1 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	1.3.2 CAMARAS CONECTORAS GRP	1.4.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA	1.4.2 CIERRE
1.1.1.1 Demolición pavimento asfált. E=variable	1.1.2.1 Excavación a estructuras incluye protección temporal para H mayor a 3 m	1.1.3.1 Tratamiento integral de árboles de 5 a 10 m	1.2.1.1 Suministro e Instalación Tubería GRP para alcantarillado pluvial PSI8psi,D12" (300 m) a sumideros	1.2.2.1 Arena para cimentación tubería	1.3.1.1 Instalación Concreto Baja Resistencia 7-17.5MPa	1.3.2.1 Cámara GRP para Alcantarillado, DNI=1000 X DN2=1000, Chimenea DN=1200. Incluye Acople GRP DN=1200 PN1, 2 Acople GRP DN=1000 PN1, Tubería GRP DN=1200 y Escalera.	1.4.1.1 Suministro e instalación de geomalla	1.4.2.1 Pruebas de hermeticidad
1.1.1.2 Rotura sardineles concreto	1.1.2.2 Excavación mecánica para tuberías incluye protección H>3m	1.1.3.2 Tratamiento integral de árboles de 10 a 15 m	1.2.1.2 Construcción de Sumideros alcantarillado Pluvial	1.2.2.2 Suministro e Instalación Tuberías alcantarillado 8" a 24" PVC, incluye acoples	1.3.1.2 Varillas Corrugadas tipo A 60	1.3.2.2 Suministro e instalación de viga perimetral 30x30 cm cámara GRP L=2.3 m0	1.4.1.2 Sub Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	1.4.2.2 Recibo por niveles topográficos
1.1.1.3 Retiro y dispotic. Materiales sobrantes de asfalto	1.1.2.3 Demolición estructura concreto/otro material	1.1.3.3 Tala de árboles menores a 5 m de altura	1.2.1.3 Suministro e instalación de rejilla reciclada 0.80 X 0.45 m para sumidero y tráfico vehicular pesado	1.2.2.3 Suministro e Instalación Tuberías GRP alcantarillado Dn1.10 y 1.20m, incluye acoples	1.3.1.3 Corte y doblado de refuerzo	1.3.2.3 Placa circular cubierta pozo e=0.25m	1.4.1.3 Construcción sardineles concreto 0.35 m	1.4.2.2.1 Planos récord
	1.1.2.4 Demolición estructura concreto disco diamantado	1.1.3.4 Bloqueo y trasplante de árboles de 10 a 15 m de altura		1.2.2.4 Laminado de unión cámara GRP de 1200 mm con tubería de 8 a 20", según norma OTEK-TEE Dn 1200 x 600 PN 1 SN 2500	1.3.1.4 Instalación Concreto cajas o cámaras concreto 4000 psi	1.3.2.4 Suministro e instalación tapa D=0.68m	1.4.1.4 Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	1.4.2.2.2 Solicitud de cierre de permisos y licencias
	1.1.2.5 Retiro y disposición materiales sobrantes de excavación red alcantarillado			1.2.2.5 Manejo aguas con bomba sumergible 6"	1.3.1.5 Suministro- instalación Sello polivinilo 0.15m ancho		1.4.1.5 Suministro e instalación de imprimación con emulsión asfáltica	1.4.2.2.3 Acta de recibo final y liquidación de obra
	1.1.2.6 Rotura anden concreto/granito hasta e=0.12m			1.2.2.6 Relleno en Recebo	1.3.1.6 Sikadur 32 Primer o similar		1.4.1.6 Construcción pavimento flexible en MD-12 primera capa	
					1.3.1.7 Pasos escal gato varilla corr #6 mas ancla		1.4.1.7 Suministro e instalación de riego de liga con emulsión asfáltica	
					1.3.1.8 Suministro e Instalación tapa de seguridad más marco D=0.68 m		1.4.1.8 Construcción pavimento flexible en MD-12 segunda capa	

Fuente: Elaboración propia.

7.2.1 Diccionario de la EDT métodos constructivos Túnel Linner y Zanja. En el [Anexo M](#), se exponen las cuentas de control con sus actividades y respectivas definiciones en su descripción, los entregables que hacen referencia a los documentos finales, la duración en días de su ejecución, los responsables de dicha actividad y los recursos utilizados.

7.3 PLANIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES

7.3.1 Estimación de la duración de las actividades (Túnel Linner) (Ver Tabla 9)

Tabla 9. Estimación de la duración de las actividades (Túnel Linner)

Id.	EDT	Descripción	Predecesor	Duración optimista	Duración esperada	Duración pesimista	Duración (días)	
	1	1. MÉTODO CONSTRUCTIVO POR TUNEL LINNER						
	1.1	EXCAVACIONES, DEMOLICIONES					55,3	
	1.1.1	CORTE DE PAVIMENTO		2,0	6,0	16,0	7,0	
1	1.1.1.1	Demolición pavimento asfáltica. E=variable		1,0	3,0	8,0	3,5	
2	1.1.1.2	Retiro y disposición de materiales sobrantes de asfalto	1	1,0	3,0	8,0	3,5	
	1.1.2	EXCAVACIÓN		90,0	109,0	154,0	48,3	
3	1.1.2.1	Excavación mecánica a estructuras incluye protección temporal para H mayor a 3 m	2	6,0	4,0	12,0	5,7	
4	1.1.2.2	Excavación manual para Túnel Linner D=60"	3	38,0	48,0	60,0	48,3	
5	1.1.2.3	Sistema de ventilación	4	4,0	3,0	8,0	4,0	
6	1.1.2.4	Sistema de Iluminación	5	1,0	2,0	6,0	2,5	
7	1.1.2.5	Demolición estructura concreto/otro material	6	3,0	4,0	8,0	4,5	
8	1.1.2.6	Retiro y disposición materiales sobrantes de excavación red alcantarillado	7	38,0	48,0	60,0	48,3	
	1.2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE RED ALCANTARILLADO Y CONSTRUCCIÓN DE CÁMARAS EN CONCRETO					36,8	
	1.2.1	RED DE ESTRUCTURA		37,0	47,0	66,0	25,0	
9	1.2.1.1	Manejo aguas con bomba sumergible 6"	8	1,0	1,0	3,0	1,3	
10	1.2.1.2	Suministro e Instalación chapas galvanizadas para Túnel Linner incluye pernos	9	20,0	25,0	30,0	25,0	
11	1.2.1.3	Mortero de concreto para lleno de vacíos	10	10,0	14,0	25,0	15,2	
12	1.2.1.4	Suministro e Instalación Tuberías GRP alcantarillado Dn1.10 y 1.20m, incluye acoples	11	6,0	7,0	8,0	7,0	
	1.2.2	CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO		20,0	26,5	39,0	11,8	
13	1.2.2.1	Instalación Concreto Baja Resistencia 7-17.5MPa	12	1,0	0,5	2,0	0,8	
14	1.2.2.2	Varillas Corrugadas tipo A 60	13	8,0	12,0	15,0	11,8	
15	1.2.2.3	Corte y doblado de refuerzo	14	3,0	4,0	5,0	4,0	
16	1.2.2.4	Instalación Concreto cajas o cámaras concreto 4000 psi	15	2,0	2,0	4,0	2,3	
17	1.2.2.5	Suministro-instalación Sello polivinilo 0.15m ancho	16	0,5	1,0	2,0	1,1	
18	1.2.2.6	Sikadur 32 Primer o similar	17	0,5	1,0	2,0	1,1	
19	1.2.2.7	Pasos escalera tipo gato varilla corrugada #6 más anclaje	18	3,0	4,0	5,0	4,0	
20	1.2.2.8	Instalación placa cubierta circular E=0.25m D1.70m cilíndrico	19	1,0	1,0	2,0	1,2	
21	1.2.2.9	Suministro e Instalación tapa de seguridad más marco D=0.68 m	20	1,0	1,0	2,0	1,2	
	1.3	ESTRUCTURA DE VÍA						
	1.3.1	CONSTRUCCIÓN DE VÍA		7,0	12,0	22,0	3,2	
22	1.3.1.1	Suministro e instalación de geomalla	21	0,5	1,0	2,0	1,1	
23	1.3.1.2	Sub-Base Granular (Especificación IDU-ET-2011)	22	2,0	3,0	5,0	3,2	
24	1.3.1.3	Construcción sardineles concreto 0.35 m	23	0,5	1,0	2,0	1,1	
25	1.3.1.4	Base Granular (Especificación IDU-ET-2011)	24	2,0	3,0	5,0	3,2	
26	1.3.1.5	Suministro e instalación de imprimación con emulsión asfáltica	25	0,5	1,0	2,0	1,1	
27	1.3.1.6	Construcción pavimento flexible en MDC-19 primera capa	26	0,5	1,0	2,0	1,1	
28	1.3.1.7	Suministro e instalación de riego de liga con emulsión asfáltica	27	0,5	1,0	2,0	1,1	
29	1.3.1.8	Construcción pavimento flexible en MDC-19 segunda capa	28	0,5	1,0	2,0	1,1	

Id.	EDT	Descripción	Predecesor	Duración optimista	Duración esperada	Duración pesimista	Duración (días)
	1.3.2	CIERRE		4,5	9,0	22,0	3,9
30	1.3.2.1	Pruebas de hermeticidad	29	1,0	2,0	8,0	2,8
31	1.3.2.2	Recibo por niveles topográficos	30	0,5	1,0	2,0	1,1
32	1.3.2.2.1	Planos récord	31	1,0	2,0	4,0	2,2
33	1.3.2.2.2	Solicitud de cierre de permisos y licencias	32	1,0	2,0	4,0	2,2
34	1.3.2.2.3	Acta de recibo final y liquidación de obra	33	1,0	2,0	4,0	2,2
		TOTALES EN DÍAS		160,5	209,5	319,0	99,3
		TOTALES EN MESES		5,4	7,0	10,6	3,3

Fuente: Elaboración propia.

Nota: en los paquetes de trabajo se han dejado los días de las actividades más críticas en cuestión de tiempos, porque las demás que pertenecen a dichos paquetes se ejecutan de forma paralela.

7.3.2 Estimación de la duración de las actividades

En la tabla 10 Y 11, se presenta la duración en días de cada una de las actividades desarrolladas en la obra con el método constructivo por el método zanja y en la Tabla 11 se presenta por el método de Túnel Linner.

Tabla 10. Estimación de la duración de las actividades (Zanja)

Id.	EDT	Descripción	Predeceso	Duración optimista	Duración esperada	Duración pesimista	Duración (días)
	1	MÉTODO CONSTRUCTIVO DE EXCAVACIÓN POR ZANJA ABIERTA					
	1.1	EXCAVACIONES, DEMOLICIONES, TALAS Y OTRAS					30
	1.1.1	CORTE DE PAVIMENTO		1,5	3,0	6,0	3,3
1	1.1.1.1	Demolición pavimento asfáltico. E=variable		0,5	1,0	2,0	1,1
2	1.1.1.2	Rotura sardineles concreto	1	0,5	1,0	2,0	1,1
3	1.1.1.3	Retiro y disposición de materiales sobrantes de asfalto	2	0,5	1,0	2,0	1,1
	1.1.2	EXCAVACIÓN PARA RED		15,5	12,0	28,0	15,3
4	1.1.2.1	Excavación a estructuras incluye protección temporal para H mayor a 3 m	3	4,0	2,0	6,0	3,0
5	1.1.2.2	Excavación mecánica para tuberías incluye protección H>3m	4	6,0	4,0	11,0	5,5
6	1.1.2.3	Demolición estructura concreto/otro material	5	0,5	1,0	2,0	1,1
7	1.1.2.4	Demolición estructura concreto disco diamantado	6	0,5	1,0	2,0	1,1
8	1.1.2.5	Retiro y disposición materiales sobrantes de excavación red alcantarillado	7	4,0	3,0	5,0	3,5
9	1.1.2.6	Rotura anden concreto/granito hasta e=0.12m	8	0,5	1,0	2,0	1,1
	1.1.3	TRATAMIENTO INTEGRAL DE ÁRBOLES		8,5	10,5	18,0	11,4
10	1.1.3.1	Tratamiento integral de árboles de 5 a 10 m	9	2,0	3,5	6,0	3,7
11	1.1.3.2	Tratamiento integral de árboles de 10 a 15 m	10	2,0	3,0	5,0	3,2
12	1.1.3.3	Tala de árboles menores a 5 m de altura	11	0,5	1,0	2,0	1,1
13	1.1.3.4	Bloqueo y trasplante de árboles de 10 a 15 m de altura	12	4,0	3,0	5,0	3,5
	1.2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE RED ALCANTARILLADO Y SUMIDEROS					33,3
	1.2.1	CONSTRUCCIÓN DE SUMIDEROS		11,0	13,8	18,0	14,0
14	1.2.1.1	Suministro e Instalación Tubería GRP para alcantarillado pluvial PS18psi, D12" (300 m) a sumideros	13	0,5	1,0	2,0	1,1
15	1.2.1.2	Construcción de Sumideros alcantarillado Pluvial	14	10,0	12,0	15,0	12,2

Id.	EDT	Descripción	Predeceso	Duración optimista	Duración esperada	Duración pesimista	Duración (días)
16	1.2.1.3	Suministro e instalación de rejilla reciclada 0.80 X 0.45 m para sumidero y tráfico vehicular pesado	15	0,5	0,8	1,0	0,8
	1.2.2	RED		18,5	15,8	34,0	19,3
17	1.2.2.1	Arena Peña para cimentación tubería	16	0,5	0,8	1,0	0,8
18	1.2.2.2	Suministro e Instalación Tuberías alcantarillado 8" a 24" PVC, incluye acoples	17	3,0	2,0	6,0	2,8
19	1.2.2.3	Suministro e Instalación Tuberías GRP alcantarillado Dn1.10 y 1.20m, incluye acoples	18	5,0	6,0	12,0	6,8
20	1.2.2.4	Laminado de unión cámara GRP de 1200 mm con tubería de 8 a 20", según norma OTEK-TEE Dn 1200 x 600 PN 1 SN 2500	19	4,0	3,0	6,0	3,7
21	1.2.2.5	Manejo aguas con bomba sumergible 6"	20	2,0	1,0	3,0	1,5
22	1.2.2.6	Relleno en Recebo	21	4,0	3,0	6,0	3,7
	1.3	SUMINISTROS E INSTALACIÓN CÁMARAS Y POZOS CONECTORES					11,8
	1.3.1	CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO		8,9	5,7	14,3	7,7
23	1.3.1.1	Instalación Concreto Baja Resistencia 7-17.5MPa	22	1,0	0,8	1,3	0,9
24	1.3.1.2	Varillas Corrugadas tipo A 60	23	2,0	1,0	3,0	1,5
25	1.3.1.3	Corte y doblado de refuerzo	24	1,0	0,5	2,0	0,8
26	1.3.1.4	Instalación Concreto cajas o cámaras concreto 4000 psi	25	2,0	1,0	3,0	1,5
27	1.3.1.5	Suministro-instalación Sello polivinilo 0.15m ancho	26	0,5	0,8	1,0	0,8
28	1.3.1.6	Sikadur 32 Primer o similar	27	0,2	0,3	0,5	0,3
29	1.3.1.7	Pasos escaera tipo gato varilla corrugada #6 más anclaje	28	2,0	1,0	3,0	1,5
30	1.3.1.8	Suministro e Instalación tapa de seguridad más marco D=0.68 m	29	0,2	0,3	0,5	0,3
	1.3.2	CAMARAS CONECTORAS GRP		4,7	3,1	7,5	4,1
31	1.3.2.1	Cámara GRP para Alcantarillado, DN1=1000 X DN2=1000, Chimenea DN=1200. Incluye Acople GRP DN=1200 PN1, 2 Acople GRP DN=1000 PN1, Tubería GRP DN=1200 y Escalera.	30	2,0	1,0	3,0	1,5
32	1.3.2.2	Suministro e instalación de viga perimetral 30x30 cm cámara GRP L=2.3 m0	31	2,0	1,0	3,0	1,5
33	1.3.2.3	Placa circular cubierta pozo e=0.25m	32	0,2	0,3	0,5	0,3
34	1.3.2.4	Suministro e instalación tapa D=0,68m	33	0,5	0,8	1,0	0,8
	1.4	ESTRUCTURA DE VÍA					41,9
	1.4.1	CONSTRUCCIÓN DE VÍA		21,5	26,9	35,0	27,4
35	1.4.1.1	Suministro e instalación de geomalla	34	0,5	0,3	1,0	0,5
36	1.4.1.2	Sub Base Granular (Especificación IDU-ET-2011)	35	8,0	10,0	12,0	10,0
37	1.4.1.3	Construcción sardineles concreto 0.35 m	36	3,0	4,0	5,0	4,0
38	1.4.1.4	Base Granular (Especificación IDU-ET-2011)	37	8,0	10,0	12,0	10,0
39	1.4.1.5	Suministro e instalación de imprimación con emulsión asfáltica	38	0,2	0,3	0,5	0,3
40	1.4.1.6	Construcción pavimento flexible en MDC-19 primera capa	39	0,8	1,0	2,0	1,1
41	1.4.1.7	Suministro e instalación de riego de liga con emulsión asfáltica	40	0,2	0,3	0,5	0,3
42	1.4.1.8	Construcción pavimento flexible en MDC-19 segunda capa	41	0,8	1,0	2,0	1,1
	1.4.2	CIERRE		7,0	13,0	28,0	14,5
43	1.4.2.1	Pruebas de hermeticidad	42	1,0	2,0	8,0	2,8
44	1.4.2.2	Recibo por niveles topográficos	43	1,0	2,0	2,0	1,8
45	1.4.2.2.1	Planos récord	44	1,0	2,0	4,0	2,2
46	1.4.2.2.2	Solicitud de cierre de permisos y licencias	45	1,0	2,0	4,0	2,2
47	1.4.2.2.3	Acta de recibo final y liquidación de obra	46	3,0	5,0	10,0	5,5
		TOTALES EN DÍAS		97,1	103,8	188,8	116,9
		TOTALES EN MESES		3,2	3,5	6,3	3,9

Fuente: Elaboración propia.

Nota: en los paquetes de trabajo se han dejado los días de las actividades más críticas en cuestión de tiempos, porque las demás que pertenecen a dichos paquetes se ejecutan de forma paralela. (Ver Tabla 11 y 12)

Tabla 11. Desarrollo del cronograma (Túnel Linner)

EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	MÉTODO CONSTRUCTIVO POR TÚNEL LINNER	99,3 días	jue 1/10/20 9:00 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.	
1.1	EXCAVACIONES, DEMOLICIONES	55,3 días	jue 1/10/20 9:00 a. m.	jue 17/12/20 11:24 a. m.	
1.1.1	CORTE DE PAVIMENTO	7 días	jue 1/10/20 9:00 a. m.	vie 9/10/20 7:00 p. m.	
1.1.1.1	Demolición pavimento asfáltico.E=variable	3,5 días	jue 1/10/20 9:00 a. m.	mar 6/10/20 1:00 p. m.	
1.1.1.2	Retiro y disposic. Materiales sobrantes de asfalto	3,5 días	mar 6/10/20 3:00 p. m.	vie 9/10/20 7:00 p. m.	4
1.1.1.3	Fin Corte Pavimento	0 días	vie 9/10/20 7:00 p. m.	vie 9/10/20 7:00 p. m.	5
1.1.2	EXCAVACIÓN	48,3 días	lun 12/10/20 9:00 a. m.	jue 17/12/20 11:24 a. m.	5
1.1.2.1	Excavación mecánica a estructuras incluye protección temporal para H mayor a 3 m	5,7 días	lun 12/10/20 9:00 a. m.	lun 19/10/20 4:36 p. m.	5
1.1.2.2	Excavacion manual para tunel linner D=60"	48,3 días	lun 12/10/20 9:00 a. m.	jue 17/12/20 11:24 a. m.	8CC
1.1.2.3	Sistema de ventilacion	4 días	lun 12/10/20 9:00 a. m.	jue 15/10/20 7:00 p. m.	9CC
1.1.2.4	Sistema de Iluminacion	2,5 días	lun 12/10/20 9:00 a. m.	mié 14/10/20 1:00 p. m.	10CC
1.1.2.5	Demolición estructura concreto/otro material	4,5 días	lun 12/10/20 9:00 a. m.	vie 16/10/20 1:00 p. m.	11CC
1.1.2.6	Retiro y disposición materiales sobrantes de excavacion red alcantarillado	48,3 días	lun 12/10/20 9:00 a. m.	jue 17/12/20 11:24 a. m.	12CC
1.1.2.7	Fin Excavación	0 días	jue 17/12/20 11:24 a. m.	jue 17/12/20 11:24 a. m.	13
1.2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE RED ALCANTARILLADO Y CONSTRUCCIÓN DE CÁMARAS EN CONCRETO	36,8 días	jue 17/12/20 11:24 a. m.	lun 8/02/21 9:48 a. m.	13
1.2.1	RED DE ESTRUCTURA	25 días	jue 17/12/20 11:24 a. m.	jue 21/01/21 11:24 a. m.	13
1.2.1.1	Manejo aguas con bomba sumergible 6"	1,3 días	jue 17/12/20 11:24 a. m.	vie 18/12/20 3:48 p. m.	13
1.2.1.2	Suministro e Instalacion chapas galvanizadas para tunel liner incluye pernos	25 días	jue 17/12/20 11:24 a. m.	jue 21/01/21 11:24 a. m.	13
1.2.1.3	Mortero de concreto para lleno de vacios	15,2 días	mar 22/12/20 9:48 a. m.	mar 12/01/21 11:24 a. m.	18FC-22,2 días
1.2.1.4	Suministro e Instalacion Tuberías GRP alcantarillado Dn1.10 y 1.20m, incluye acoples	7 días	mar 12/01/21 11:24 a. m.	jue 21/01/21 11:24 a. m.	19
1.2.1.5	Fin Red de Estructura	0 días	jue 21/01/21 11:24 a. m.	jue 21/01/21 11:24 a. m.	20
1.2.2	CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	11,8 días	jue 21/01/21 11:24 a. m.	lun 8/02/21 9:48 a. m.	20
1.2.2.1	Instalación Concreto Baja Resistencia 7-17.5MPa	0,8 días	jue 21/01/21 11:24 a. m.	vie 22/01/21 9:48 a. m.	20FC-1,8 días
1.2.2.2	Varillas Corrugadas tipo A 60	11,8 días	jue 21/01/21 11:24 a. m.	lun 8/02/21 9:48 a. m.	23FC-8 días
1.2.2.3	Corte y doblado de refuerzo	4 días	jue 21/01/21 11:24 a. m.	mié 27/01/21 11:24 a. m.	23FC-8 días
1.2.2.4	Instalación Concreto cajas o camaras concreto 4000 psi	2,3 días	lun 1/02/21 9:48 a. m.	mié 3/02/21 12:12 p. m.	24FC-5 días
1.2.2.5	Suministro-instalación Sello polivinilo 0.15m ancho	1,1 días	lun 1/02/21 12:12 p. m.	mar 2/02/21 1:00 p. m.	26FC-2 días
1.2.2.6	Sikadur 32 Primer o similar	1,1 días	lun 1/02/21 12:12 p. m.	mar 2/02/21 1:00 p. m.	26FC-2 días
1.2.2.7	Pasos escal gato varilla corr#6 mas ancla	4 días	lun 1/02/21 3:48 p. m.	vie 5/02/21 3:48 p. m.	26FC-1,8 días
1.2.2.8	Instalación placa cubierta circular E=0.25m D1.70m cilíndrico	1,2 días	mié 3/02/21 12:12 p. m.	jue 4/02/21 3:48 p. m.	26
1.2.2.9	Suministro e Instalación tapa de seguridad más marco D=0.68 m	1,2 días	jue 4/02/21 3:48 p. m.	vie 5/02/21 5:24 p. m.	30
1.2.2.10	Fin Camaras conectoras de Concreto	0 días	jue 4/02/21 3:48 p. m.	jue 4/02/21 3:48 p. m.	30
1.3	ESTRUCTURA DE VÍA	7,5 días	vie 5/02/21 5:24 p. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.	31
1.3.1	CONSTRUCCIÓN DE VÍA	5,3 días	vie 5/02/21 5:24 p. m.	lun 15/02/21 9:48 a. m.	31
1.3.1.1	Suministro e instalación de geomalla	1,1 días	vie 5/02/21 5:24 p. m.	lun 8/02/21 6:12 p. m.	26
1.3.1.2	Sub Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	3,2 días	vie 5/02/21 5:24 p. m.	mié 10/02/21 7:00 p. m.	35FC-3 días
1.3.1.3	Construcción sardineles concreto 0.35 m	1,1 días	lun 8/02/21 5:24 p. m.	mar 9/02/21 6:12 p. m.	36CC+1 día
1.3.1.4	Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	3,2 días	mar 9/02/21 6:12 p. m.	lun 15/02/21 9:48 a. m.	37
1.3.1.5	Suministro e instalación de imprimación con emulsión asfáltica	1,1 días	lun 8/02/21 9:48 a. m.	mar 9/02/21 10:36 a. m.	38CC-1,8 días
1.3.1.6	Construcción pavimento flexible en MD-12 primera capa	1,1 días	mar 9/02/21 10:36 a. m.	mié 10/02/21 11:24 a. m.	39
1.3.1.7	Suministro e instalación de riego de liga con emulsión asfáltica	1,1 días	mar 9/02/21 10:36 a. m.	mié 10/02/21 11:24 a. m.	40CC
1.3.1.8	Construcción pavimento flexible en MD-12 segunda capa	1,1 días	mar 9/02/21 10:36 a. m.	mié 10/02/21 11:24 a. m.	41CC
1.3.1.9	Fin Construcción de Vía	0 días	mié 10/02/21 11:24 a. m.	mié 10/02/21 11:24 a. m.	42

EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1.3.2	CIERRE	5 días	mié 10/02/21 11:24 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.	42
1.3.2.1	Pruebas de hermeticidad	2,8 días	mié 10/02/21 11:24 a. m.	lun 15/02/21 9:48 a. m.	31
1.3.2.2	Recibo por niveles topográficos	2,2 días	lun 15/02/21 9:48 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.	45
1.3.2.2.1	Planos récord	2,2 días	lun 15/02/21 9:48 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.	47
1.3.2.2.2	Solicitud de permisos y licencias	2,2 días	lun 15/02/21 9:48 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.	47
1.3.2.2.3	Acta de recibo final y liquidación de obra	2,2 días	lun 15/02/21 9:48 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.	47
1.3.2.2.4	Fin Cierre	0 días	mié 17/02/21 11:24 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.	49
1.3.3	Fin método constructivo Túnel Liner	0 días	mié 17/02/21 11:24 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.	49

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Desarrollo del cronograma (Zanja)

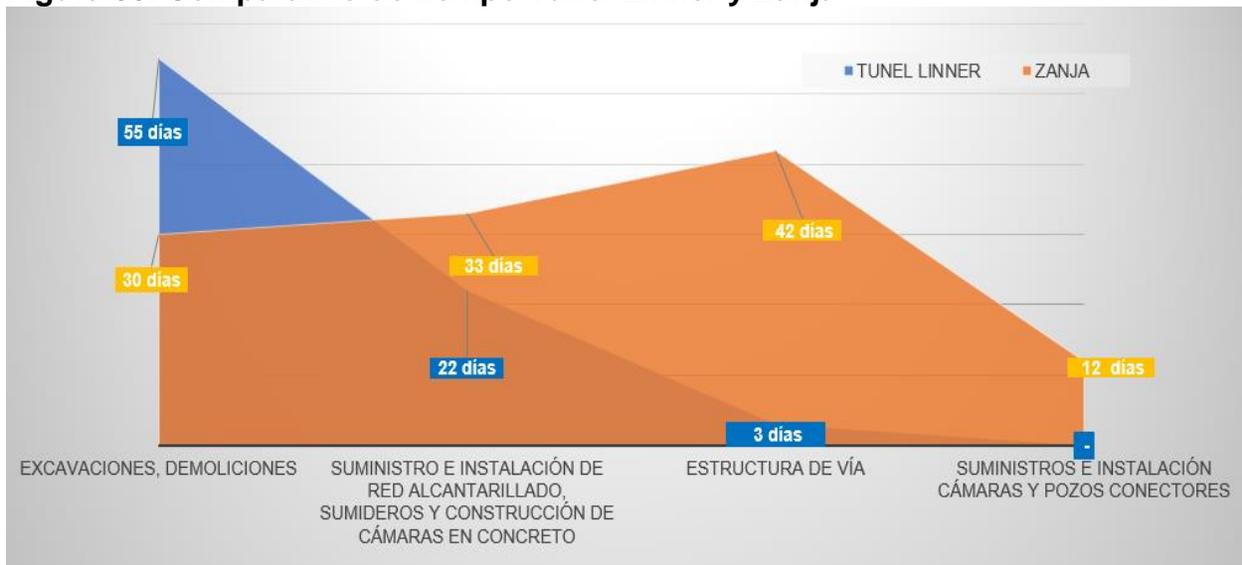
EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	MÉTODO CONSTRUCTIVO DE EXCAVACIÓN POR ZANJA ABIERTA	116,9 días	jue 1/10/20 9:00 a. m.	vie 12/03/21 6:12 p. m.	
1.1	EXCAVACIONES, DEMOLICIONES, TALAS Y OTRAS	30,1 días	jue 1/10/20 9:00 a. m.	jue 12/1/20 9:48 a. m.	
1.1.1	CORTE DE PAVIMENTO	3,3 días	jue 1/10/20 9:00 a. m.	mar 6/10/20 11:24 a. m.	
1.1.1.1	Demolición pavimento asfált. E=variable	1,1 días	jue 1/10/20 9:00 a. m.	vie 2/10/20 9:48 a. m.	
1.1.1.2	Rotura sardineles concreto	1,1 días	vie 2/10/20 9:48 a. m.	lun 5/10/20 10:36 a. m.	4
1.1.1.3	Retiro y disposic. Materiales sobrantes de asfalto	1,1 días	lun 5/10/20 10:36 a. m.	mar 6/10/20 11:24 a. m.	5
1.1.1.4	Fin Corte de pavimento	0 días	mar 6/10/20 11:24 a. m.	mar 6/10/20 11:24 a. m.	6
1.1.2	EXCAVACIÓN PARA RED	15,3 días	mar 6/10/20 11:24 a. m.	mar 27/10/20 3:48 p. m.	
1.1.2.1	Excavación a estructuras incluye protección temporal para H mayor 3m	3 días	mar 6/10/20 11:24 a. m.	vie 9/10/20 11:24 a. m.	4,7
1.1.2.2	Excavación mecánica para tuberías incluye protección H mayor 3m	5,5 días	vie 9/10/20 11:24 a. m.	vie 16/10/20 5:24 p. m.	9
1.1.2.3	Demolición estructura concreto/otro material	1,1 días	vie 16/10/20 5:24 p. m.	lun 19/10/20 6:12 p. m.	10
1.1.2.4	Demolición estructura concreto disco diamantado	1,1 días	lun 19/10/20 6:12 p. m.	mar 20/10/20 7:00 p. m.	11
1.1.2.5	Retiro y disposición de material sobrante	3,5 días	mié 21/10/20 9:00 a. m.	lun 26/10/20 1:00 p. m.	12
1.1.2.6	Rotura andén concreto/granito hasta e=0.12m	1,1 días	lun 26/10/20 3:00 p. m.	mar 27/10/20 3:48 p. m.	13
1.1.2.7	Fin Excavación para red	0 días	mar 27/10/20 3:48 p. m.	mar 27/10/20 3:48 p. m.	14
1.1.3	TRATAMIENTO INTEGRAL DE ÁRBOLES	11,5 días	mar 27/10/20 3:48 p. m.	jue 12/1/20 9:48 a. m.	
1.1.3.1	Tratamiento integral de árboles de 5 a 10 m	3,7 días	mar 27/10/20 3:48 p. m.	lun 2/11/20 11:24 a. m.	15
1.1.3.2	Tratamiento integral de árboles de 10 a 15 m	3,2 días	lun 2/11/20 11:24 a. m.	jue 5/11/20 1:00 p. m.	17
1.1.3.3	Tala de árboles menores a 5 m de altura	1,1 días	jue 5/11/20 3:00 p. m.	vie 6/11/20 3:48 p. m.	18
1.1.3.4	Bloqueo y trasplante de árboles de 10 a 15 m de altura	3,5 días	vie 6/11/20 3:48 p. m.	jue 12/11/20 9:48 a. m.	19
1.1.3.5	Fin Tratamiento integral de árboles	0 días	jue 12/11/20 9:48 a. m.	jue 12/11/20 9:48 a. m.	20
1.2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE RED ALCANTARILLADO Y SUMIDEROS	33,3 días	jue 12/11/20 9:48 a. m.	mar 29/12/20 12:12 p. m.	
1.2.1	CONSTRUCCIÓN DE SUMIDEROS	14,1 días	jue 12/11/20 9:48 a. m.	mié 2/12/20 10:36 a. m.	
1.2.1.1	Suministro e Instalación tubería GRP para alcantarillado pluvial PSI 18, D12" (300 mm) a sumideros	1,1 días	jue 12/11/20 9:48 a. m.	vie 13/11/20 10:36 a. m.	21
1.2.1.2	Construcción de sumideros alcantarillado pluvial	12,2 días	vie 13/11/20 10:36 a. m.	mar 1/12/20 12:12 p. m.	24
1.2.1.3	Suministro e instalación de rejilla reciclada 0.80 X 0.45 m para sumidero y tráfico vehicular pesado	0,8 días	mar 1/12/20 12:12 p. m.	mié 2/12/20 10:36 a. m.	25
1.2.1.4	Fin Construcción sumideros	0 días	mié 2/12/20 10:36 a. m.	mié 2/12/20 10:36 a. m.	26
1.2.2	RED ALCANTARILLADO	19,2 días	mié 2/12/20 10:36 a. m.	mar 29/12/20 12:12 p. m.	
1.2.2.1	Arena Peña para cimentación tubería	0,8 días	mié 2/12/20 10:36 a. m.	mié 2/12/20 7:00 p. m.	26
1.2.2.2	Suministro e Instalación Tuberías alcantarillado 8" a 24" PVC, incluye acoples	2,8 días	jue 3/12/20 9:00 a. m.	lun 7/12/20 5:24 p. m.	29
1.2.2.3	Suministro e Instalación Tuberías GRP alcantarillado Dn1.10 y 1.20m, incluye acoples	6,8 días	jue 3/12/20 9:00 a. m.	vie 11/12/20 5:24 p. m.	29
1.2.2.4	Laminado de unión cámara GRP de 1200 mm con tubería de 8 a 20", según norma OTEK-TEE Dn 1200 x 600 PN 1 SN 2500	3,7 días	mié 23/12/20 4:36 p. m.	mar 29/12/20 12:12 p. m.	31FC+7,9 días
1.2.2.5	Manejo aguas con bomba sumergible 6"	1,5 días	jue 3/12/20 9:00 a. m.	vie 4/12/20 1:00 p. m.	29
1.2.2.6	Relleno en Recebo	3,7 días	lun 7/12/20 5:24 p. m.	vie 11/12/20 1:00 p. m.	30
1.2.2.7	Fin Red Alcantarillado	0 días	vie 11/12/20 1:00 p. m.	vie 11/12/20 1:00 p. m.	34
1.3	SUMINISTROS E INSTALACIÓN CÁMARAS Y POZOS CONECTORES	11,7 días	mar 29/12/20 12:12 p. m.	jue 14/01/21 9:48 a. m.	
1.3.1	CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	7,6 días	mar 29/12/20 12:12 p. m.	jue 7/01/21 7:00 p. m.	
1.3.1.1	Instalación Concreto Baja Resistencia 7-17,5MPa	0,9 días	mar 29/12/20 12:12 p. m.	mié 30/12/20 11:24 a. m.	32
1.3.1.2	Varillas Corrugadas tipo A 60	1,5 días	mié 30/12/20 11:24 a. m.	jue 31/12/20 5:24 p. m.	38
1.3.1.3	Corte y doblado de refuerzo	0,8 días	jue 31/12/20 5:24 p. m.	vie 1/01/21 3:48 p. m.	39
1.3.1.4	Instalación Concreto cajas o camaras concreto 4000 psi	1,5 días	vie 1/01/21 3:48 p. m.	mar 5/01/21 9:48 a. m.	40
1.3.1.5	Suministro-Instalación Sello polivinilo 0.15m ancho	0,8 días	mar 5/01/21 9:48 a. m.	mar 5/01/21 6:12 p. m.	41
1.3.1.6	Sikadur 32 Primer o similar	0,3 días	mar 5/01/21 6:12 p. m.	mié 6/01/21 10:36 a. m.	42
1.3.1.7	Pasos escal gato varilla corr #6 mas ancla	1,5 días	mié 6/01/21 10:36 a. m.	jue 7/01/21 4:36 p. m.	43
1.3.1.8	Suministro e Instalación tapa de seguridad más marco D=0.68 m	0,3 días	jue 7/01/21 4:36 p. m.	jue 7/01/21 7:00 p. m.	44
1.3.1.9	Fin Cámaras conectoras concreto	0 días	jue 7/01/21 7:00 p. m.	jue 7/01/21 7:00 p. m.	45
1.3.2	CÁMARAS CONECTORAS GRP	4,1 días	vie 8/01/21 9:00 a. m.	jue 14/01/21 9:48 a. m.	
1.3.2.1	Cámara GRP para Alcantarillado, DN1=1000 X DN2=1000, Chimenea DN=1200. Incluye Acople GRP DN=1200 PN1, 2 Acople GRP DN=1000 PN1, Tubería GRP DN=1200 y Escalera.	1,5 días	vie 8/01/21 9:00 a. m.	lun 11/01/21 1:00 p. m.	46

EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1.3.2.2	Suministro e instalación de viga perimetral 30x30 cm a cámara GRP L=2,3 m	1,5 días	lun 11/01/21 3:00 p. m.	mar 12/01/21 7:00 p. m.	48
1.3.2.3	Placa circular cubierta pozo e=0.25m	0,3 días	mié 13/01/21 9:00 a. m.	mié 13/01/21 11:24 a. m.	49
1.3.2.4	Suministro e instalación tapa D=0,68m	0,8 días	mié 13/01/21 11:24 a. m.	jue 14/01/21 9:48 a. m.	50
1.3.2.5	Fin Cámaras Conectoras GRP	0 días	jue 14/01/21 9:48 a. m.	jue 14/01/21 9:48 a. m.	51
1.4	ESTRUCTURA DE VÍA	41,8 días	jue 14/01/21 9:48 a. m.	vie 12/03/21 6:12 p. m.	
1.4.1	CONSTRUCCIÓN DE VÍA	27,3 días	jue 14/01/21 9:48 a. m.	lun 22/02/21 12:12 p. m.	
1.4.1.1	Suministro e instalación de geomalla	0,5 días	jue 14/01/21 9:48 a. m.	jue 14/01/21 3:48 p. m.	52
1.4.1.2	Sub Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	10 días	jue 14/01/21 3:48 p. m.	jue 28/01/21 3:48 p. m.	55
1.4.1.3	Construcción sardineles concreto 0.35 m	4 días	jue 28/01/21 3:48 p. m.	mié 3/02/21 3:48 p. m.	56
1.4.1.4	Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	10 días	mié 3/02/21 3:48 p. m.	mié 17/02/21 3:48 p. m.	57
1.4.1.5	Suministro e instalación de imprimación con emulsión asfáltica	0,3 días	mié 17/02/21 3:48 p. m.	mié 17/02/21 6:12 p. m.	58
1.4.1.6	Construcción pavimento flexible en MD-12 primera capa	1,1 días	mié 17/02/21 6:12 p. m.	jue 18/02/21 7:00 p. m.	59
1.4.1.7	Suministro e instalación de riego de liga con emulsión asfáltica	0,3 días	vie 19/02/21 9:00 a. m.	vie 19/02/21 11:24 a. m.	60
1.4.1.8	Construcción pavimento flexible en MD-12 segunda capa	1,1 días	vie 19/02/21 11:24 a. m.	lun 22/02/21 12:12 p. m.	61
1.4.1.9	Fin Construcción de Vía	0 días	lun 22/02/21 12:12 p. m.	lun 22/02/21 12:12 p. m.	62
1.4.2	CIERRE	14,5 días	lun 22/02/21 12:12 p. m.	vie 12/03/21 6:12 p. m.	
1.4.2.1	Pruebas de hermeticidad	2,8 días	lun 22/02/21 12:12 p. m.	jue 25/02/21 10:36 a. m.	63
1.4.2.2	Recibo por niveles topográficos	1,8 días	jue 25/02/21 10:36 a. m.	vie 26/02/21 7:00 p. m.	65
1.4.2.3	Planos récord	2,2 días	lun 1/03/21 9:00 a. m.	mié 3/03/21 10:36 a. m.	66
1.4.2.4	Solicitud de permisos y licencias	2,2 días	mié 3/03/21 10:36 a. m.	vie 5/03/21 12:12 p. m.	67
1.4.2.5	Acta de recibo final y liquidación de obra	5,5 días	vie 5/03/21 12:12 p. m.	vie 12/03/21 6:12 p. m.	68
1.4.2.6	Fin de Cierre	0 días	vie 12/03/21 6:12 p. m.	vie 12/03/21 6:12 p. m.	69
1.4.2.7	Fin método constructivo por Zanja Abierta	0 días	vie 12/03/21 6:12 p. m.	vie 12/03/21 6:12 p. m.	70

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las tablas 11 y 12, se generaron las Figuras 30 y 31. En la primera (fig. 30) se realiza un comparativo entre los métodos Túnel Linner y Zanja, en donde se evidencia más claramente el tiempo invertido en las actividades generales. En el caso de excavaciones y demoliciones para el método por Zanja se utilizaron 30 días, mientras que por Túnel Linner 55 días; en el suministro e instalación de red alcantarillado y demás, por Zanja se destinaron 33 días y por Túnel Linner 22 días para la ejecución; en la estructura de la vía, por Zanja se invirtieron 42 días, mientras que por Linner tan solo 3 días; en el caso del suministro e instalación de cámaras y pozos conectores por Zanja se utilizaron 12 días y por Linner cero días.

Figura 30. Comparativo de tiempo Túnel Linner y Zanja

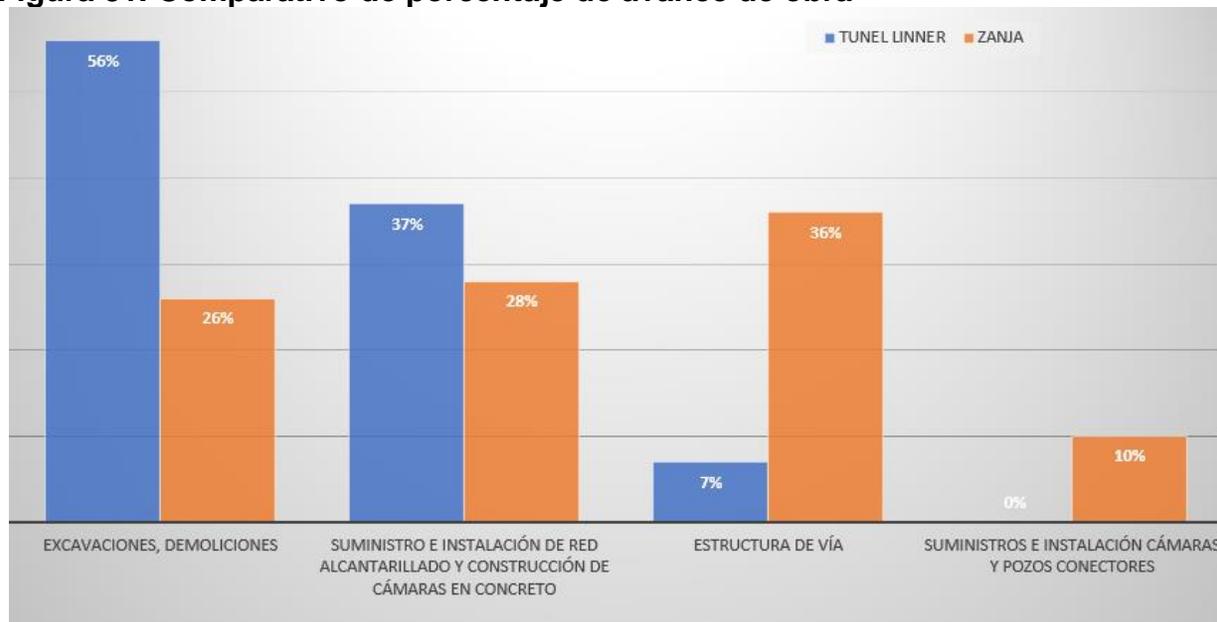


Fuente: Elaboración propia.

Como se ve en la Figura 31, el avance de obra de las excavaciones y demoliciones en

Túnel Linner es del 56%, mientras que el de Zanja es del 26%; el suministro e instalación de red el método Linner es del 37% y el de Zanja del 28%; en cuanto a la estructura de vía el Linner es del 7% y el de Zanja 36% y el suministro e instalación de cámaras y pozos en Zanja es del 10% y de Linner del 0% porque esta actividad no se requiere para este caso en estudio de construcción de pozos.

Figura 31. Comparativo de porcentaje de avance de obra



Fuente: Elaboración propia.

7.3.3 Diagrama de Gantt Túnel Linner. En el [Anexo N](#), se observan las actividades con sus respectivas fechas de inicio y finalización, el total de días de duración y sus predecesoras.

7.3.4 Diagrama de Gantt Zanja. En el [Anexo O](#), se observan las actividades con sus respectivas fechas de inicio y finalización, el total de días de duración y sus predecesoras.

7.4 PRESUPUESTO DE LAS ACTIVIDADES

7.4.1 Presupuesto de las actividades en el método constructivo Túnel Linner. En el [Anexo P](#) se observa el presupuesto por actividades con su respectiva reserva de contingencia por cuentas de control y reserva de gestión general.

7.4.2 Presupuesto de las actividades en el método constructivo de Zanja. En el [Anexo Q](#) se observa el presupuesto por actividades con su respectiva reserva de contingencia por cuentas de control y reserva de gestión general.

La planificación de la gestión del cronograma, se realizó a partir del plan para la dirección del proyecto, en donde se presenta el nombre del proyecto, las etapas del ciclo de vida (Maduración, alternativas de solución, planificación de la obra, ejecución del proyecto, cierre de la obra), los procesos, el tiempo para la ejecución de las actividades, entre otros; además se elaboró la matriz de los activos de los procesos en donde se puede observar que los materiales utilizados para el método zanja son más que los usados en el método de Túnel Linner. Mientras que por el método de zanja se utilizan 14 equipos para el tramo sujeto en investigación, por el método de Túnel Linner tan solo se requiere 6 equipos.

En cuanto a la mano de obra, el método de zanja ocupa adicional a su personal, un Ingeniero Ambiental, un Ingeniero Forestal, entre otros; es decir, 16 personas más que por el método Túnel Linner. El número de actividades es también inferior por el método de Túnel Linner y se evidencia en la EDT /WBS. La rotura de sardineles aparece en el método zanja, así como el tratamiento integral de los árboles en la zona; las cámaras conectoras desarrollan más actividades. Cabe destacar que toda la información contenida en la estructura por cada método, cuenta con un diccionario en el que se presenta la cuenta control y su respectiva actividad, así como su descripción, los entregables, la duración, los responsables y los recursos utilizados.

Luego se procedió a hacer la estimación de la duración de las actividades en días, en donde el método Túnel Linner tomó 99,3 y el método zanja tomó 116,9 en la ejecución total para los 100 metros en estudio. Con la plantilla de las estimaciones, se obtuvo la información secuencial de las actividades para generar el presupuesto en ambos casos. Para el Túnel Linner el presupuesto total fue de \$623.733.779, mientras que para el de zanja fue de \$680.919.853; es decir, 57 millones más en este último. Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente se observa que el método más favorable es el de Túnel Linner en todos los sentidos y la única desventaja observable que tiene más peso, es que requiere un nivel de especialización más elevado por parte del personal que en el método de zanja.

8. COMPARACIÓN DEL MÉTODO CONSTRUCTIVO TRADICIONAL DE ALCANTARILLADO DE ZANJA Y SIN ZANJA POR SISTEMA TÚNEL LINNER, PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL MÁS FAVORABLE EN LA CONSTRUCCIÓN DE REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO

Como puede apreciarse en la tabla 4, existe un creciente interés de los autores por alternativas innovadoras de construcción, que permitan optimizar aspectos de la operación como el tiempo, la inversión y la calidad del trabajo realizado; razón por la cual ahora existen diversos trabajos que presentan comparaciones entre el usual método de construcción de alcantarillado con zanja, con métodos alternativos tales como es el caso del método de Túnel Linner, cuya principal innovación es que no requiere la apertura de una zanja para poder llevar a cabo los trabajos necesarios en las áreas urbanas.

Antes de la existencia de esta alternativa, todo el mundo empleaba el método de zanja abierta, el cual requiere de la demolición de segmentos del pavimento, para poder acceder al objetivo de la obra, haciendo compleja la prevención de daños a la infraestructura de servicios e incluso requiriendo la suspensión de algunos de estos; de hecho, cuando se conoce de la existencia de algunos de ellos en el área de trabajo, es necesario que los trabajadores realicen la excavación a mano y cuando es posible emplear maquinaria, las condiciones del entorno suelen restringir el acceso de la misma; así también este método resulta altamente peligroso, no solo para los trabajadores, sino también para los transeúntes, ya que se levanta material particulado y por supuesto afecta el normal desarrollo de la vida en las ciudades que suele ser especialmente demandante con respecto a la infraestructura vial y peatonal.

Cabe mencionar que las obras con zanja abierta deterioran la infraestructura vial en un 30% [1] cada vez que se realiza una intervención y para poder realizar dicha ejecución es necesario consultar la documentación para identificar en donde se encuentran las líneas redes de servicios, para evitar comprometerlas; no obstante, este trabajo puede llegar a ser improductivo dada la obsolescencia de algunos documentos o su incapacidad de ofrecer información precisa, por lo que incluso tras estos estudios, las líneas llegan a ser afectadas, representando aumentos en el presupuesto de reparaciones, además que se pone la vida de los trabajadores en riesgo dadas las circunstancias ya mencionadas.

El único beneficio que podría mencionarse de este tipo de método tradicional de zanja, es que no requiere de personal especializado ni rigurosamente entrenado, por lo que se puede ahorrar en gastos de nómina, incluso si los períodos de entrega se dilatan, pero esta optimización de los recursos financieros resulta inconsecuente frente a los sobrecostos que representa cualquiera de los riesgos mencionados. Mientras tanto, con el método de Túnel Linner se cuenta con un enfoque de construcción muy flexible, que puede adaptarse tanto a las necesidades del contexto como a los continuos avances de la tecnología. Este método surgió en la década de los noventa, como una alternativa a

las complicaciones de movilidad que implicaba el método de intervención de las vías en la ciudad por medio de la apertura de una zanja, ya que en ciudades grandes y altamente pobladas, como es el caso de las capitales, la ciudadanía se encuentra en constante uso de la infraestructura vial y peatonal, por lo que crear obstáculos en la dinámica usual de los habitantes de una zona determinada tiene un impacto significativo en la calidad de vida y productividad de estas personas, haciendo que la obra sea compleja, fomentando el conflicto y la insatisfacción social.

De este modo, el método de Túnel Linner responde a la necesidad de mitigar al máximo el impacto que las obras de construcción puedan llegar a tener sobre el desarrollo normal de las actividades que realizan los habitantes de las ciudades en su vida cotidiana; además, disminuyen la probabilidad de ocurrencia de accidentes, ya que no solo se mitiga el impacto de la obra en la movilidad, sino también se optimiza la gestión de los recursos, el personal y el tiempo, los cuales se coordinan para finalizar el trabajo de manera ágil, responsable y con calidad, obteniendo un trabajo sin irregularidades ni deformidades que cuenta con un alto rendimiento hidráulico, además que los materiales utilizados llegan a tener una mayor vida útil y más importante, reduce significativamente los riesgos de afectación a la infraestructura de servicios y al entorno en general.

Tras la descripción de todas las ventajas del método de Túnel Linner en comparación con las numerosas desventajas del método de zanja, podría considerarse evidente la opción en las empresas de construcción decidir utilizar el método; la difícil transición de las empresas por efectuar el cambio del método tradicional de zanja al de Túnel Linner corresponde a la inversión, pues en el método de zanja es menor, los riesgos son potenciales pero no inminentes, así que muchas empresas optan por creer en las bajas probabilidades de la ocurrencia de un riesgo y así evitarse la necesidad de realizar las considerables inversiones que depende de las implementaciones de operaciones por medio del método de Túnel Linner.

Así mismo, para la implementación del Túnel Linner, resulta indispensable cumplir con una condición y esta es la correcta identificación del TBM más apto para la realización del trabajo, por lo que adicional a la inversión en equipo y herramientas, también se debe invertir en personal especializado que se encuentre en la capacidad de realizar la investigación correspondiente del terreno, porque un TBM mal elegido puede llevar a problemas en las operaciones, como retrasos, daños en el TBM y por ende sobrecostos.

Así mismo el personal operacional debe ser experimentado y contar con entrenamiento para garantizar tanto su seguridad como la integridad de los costosos equipos empleados y finalmente es necesario hacer una preparación del terreno para la realización de la obra; es decir, tareas que pueden considerarse una obra adicional en sí misma, que consiste en la construcción de pozos de lanzamiento y recepción, además de crear un punto de entrada para la inserción de la tubería, entre otros requisitos. (Ver Tabla 13)

Tabla 13. Matriz de comparación de los dos métodos constructivos

ZANJA	SIN ZANJA
VENTAJAS Y DESVENTAJAS	
<p>Los métodos de construcción de tuberías sin zanja se diferencian de aquellos con zanja precisamente en que evitan la destrucción de la infraestructura vial y peatonal, aunado a que no ponen en riesgo la infraestructura de servicios, lo que significa que no hay interrupciones en los servicios domiciliarios de la zona donde se trabaja y tampoco interrupciones en la vida cotidiana de los ciudadanos, además que se controlan riesgos relacionados con la emisión de material particulado y la exposición de los trabajadores a lesiones o incluso accidentes fatales relacionados generalmente con la red eléctrica subterránea que puede ser afectada por las obras.</p>	
MATERIALES	
<p>El método de zanja abierta requiere de una amplia cantidad de insumos, ya que, para poder llevar a cabo las operaciones encomendadas, se debe destruir el tramo de infraestructura vial y peatonal que se encuentra sobre el área efectiva de la obra, por lo que posterior a la finalización de la misma, se requiere la reconstrucción de este tramo, el cual suele ser de menor calidad, además que la infraestructura circundante se ve afectada por los efectos del trabajo realizado perdiendo durabilidad. Por su parte el método de Túnel Linner, requiere apenas algunos insumos necesarios para cubrir los puntos de incisión.</p>	
EQUIPOS	
<p>El uso de equipos es relativamente diferente ya que los dos métodos requieren por ejemplo de volquetas para el transporte de material sobrante de excavación, no obstante, debido a la diferencia en el volumen generado, el método de zanja requiere mayor número de equipos.</p>	
MANO DE OBRA	
<p>El número de personas (trabajadores) entre los dos métodos, se diferencia por el procedimiento constructivo de cada uno; para el método de zanja se puede contar con más frentes de trabajo por tratarse de actividades a cielo abierto; mientras que el método de Túnel Linner, tiene una alta implementación de recursos tecnológicos y protocolos logísticos que exigen un personal altamente preparado para la operación de la maquinaria disponible y para la realización de las actividades en espacios confinados, con un aforo mínimo de personal.</p>	
TIEMPO	
<p>Con respecto al tiempo, el método de zanja abierta se ejecuta en un mayor periodo de tiempo, debido al mayor número de actividades secuenciales y procedimentales que se requieren a las normas vigentes para darse el recibo a satisfacción por parte del cliente, a diferencia que por el método de Túnel Linner.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

9. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTOS

Tras aplicar el método sugerido en el capítulo 6 sobre gestión del cronograma del PMBOK® 6ta edición, como medio para la evaluación de la tecnología de rehabilitación de tubería tanto con zanja abierta y sin ella, fue posible apreciar que las herramientas ofrecidas en el mismo permiten desarrollar una planificación del tiempo mucho más precisa, además que suministra otras utilidades pertinentes para la coordinación de las actividades y el seguimiento de las mismas y sus entregables a partir de la EDT. Todos estos recursos metodológicos ayudan a optimizar las operaciones y minimizar el riesgo, ofreciendo mejores resultados a los Stakeholders.

Aunado a lo anterior, el producto analizado alcanzó un resultado único en la definición, seguimiento y gestión del cronograma en las tareas más importantes dentro de la Gerencia de Obras, evidenciando que es una buena práctica ingenieril es el planificar el cronograma definiendo las tareas, las secuencias, estimando sus recursos y duraciones en cada tarea, permitiendo desarrollar una programación acorde a lo planeado controlando así los ítems más relevantes del proyecto.

9.1 CÓMO RESPONDER A LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál de los métodos constructivos de alcantarillado de zanja y sin zanja por sistema Túnel Linner, en la obra del Interceptor Córdoba derecho de Suba, Bogotá – Colombia, tiene más ventajas?

Teniendo en cuenta la Gestión del Cronograma expuesta en el PMBOK® en su sexta edición, se logró observar que el método constructivo de alcantarillado sin zanja por sistema Túnel Linner, en la obra del Interceptor Córdoba derecho de Suba, Bogotá – Colombia, es el que tiene más ventajas, desde los aspectos teóricos fundamentados en trabajos previos de otros autores, así como también se evidencia a partir de las comparaciones realizadas en la construcción por zanja y túnel porque la cantidad de recursos (materiales, equipos, mano de obra), es inferior en el método por Túnel Linner.

Una de las desventajas observadas en el método tradicional de zanja es que tiene un gran impacto sobre el entorno, porque no solo genera material particulado, sino también afecta el tránsito peatonal y vehicular, obstaculiza el desarrollo del mercado en el sector aledaño, mientras que la técnica sin zanja no presenta esos problemas, puesto que requiere hacer una perforación en el punto de entrada y la otra en la salida; el tiempo de entrega de la obra es inferior en Túnel Linner, aunque se utilizan equipos costosos y personal calificado, es la mejor alternativa de solución.

La implementación del Túnel Linner se ha visto afectada en Colombia porque las empresas constructoras han tenido dificultades para llevar a cabo nuevas metodologías, pero con el tiempo se ha incrementado su utilidad y se espera que el gobierno nacional apoye estas prácticas con la finalidad de minimizar los obstáculos y riesgos de las tecnologías tradicionales.

10. NUEVAS ÁREAS DE ESTUDIO

Este documento permite analizar y desarrollar a otros, donde se expongan los cálculos económicos y riesgos al respecto para obtener más información acerca de las ventajas y desventajas de los dos métodos, así como también realizar el cubrimiento total de la aplicación del PMBOK®.

En cuanto a los aspectos ambientales, pese a que ya existe gran cantidad de antecedentes que demuestran que el Túnel Linner genera un impacto inferior, este trabajo de grado aporta un mayor conocimiento y, de hecho, crear la necesidad en las instituciones educativas dar a conocer metodologías alternas de excavación sin zanja.

11. CONCLUSIONES

En cuanto al desarrollo del primer objetivo, los resultados obtenidos de las fuentes consultadas para la identificación de las ventajas y desventajas de los dos métodos puestos a consideración, permitieron apreciar una creciente tendencia hacia el uso de métodos innovadores como es el caso del Túnel Linner, ya que este representa una amplia cantidad de ventajas funcionales especialmente en los centros urbanos, donde el desarrollo de una obra puede llegar a impactar significativamente la vida de los ciudadanos, tanto en términos de salud, como de seguridad, movilidad y economía, ya que los trabajos realizados sobre las vías públicas por medio del método de apertura de zanja pueden entorpecer las actividades productivas de los negocios aledaños e interrumpir el flujo de la población en dichas zonas, dando como resultado pérdidas económicas para los habitantes beneficiarios de la obra.

Así mismo fue posible determinar que en este tipo de obras es muy complicado controlar el flujo de material particulado, que resulta especialmente nocivo para el aparato respiratorio del ser humano, además de que existen otros efectos nocivos tanto para el mismo como para la comunidad en general, como la contaminación auditiva o la disposición inadecuada de los residuos sólidos que son obtenidos del proceso de apertura de la zanja y efectos negativos sobre la infraestructura, ya que la apertura de la zanja implica una discontinuidad en la malla vial, lo que significa que a pesar de que esta sea reconstruida y demuestre ser funcional, su tiempo de vida útil se ve disminuido significativamente.

Finalmente es preciso mencionar el riesgo que existe de afectar la infraestructura de los servicios domiciliarios que se encuentra entre la superficie y las tuberías que se espera alcanzar, ya que generalmente las actividades de cavado de zanja son realizadas con la ayuda de maquinaria pesada, como es el caso de una retroexcavadora, para optimizar el tiempo de entrega del proyecto y solo en casos donde se cuenta con certeza de que existen líneas de servicio domiciliario se opta por realizar las excavaciones de forma manual, pero la identificación de las líneas no suele resultar tan precisa como se espera, por lo que siempre se presentan excepciones y con ellas, accidentes.

Mientras que el método de Túnel Linner, resulta mucho menos nocivo en todos los sentidos, pues los tramos pueden ser intervenidos sin mayor impacto a la infraestructura aledaña, sea esta vial o de servicios domiciliarios, llegando incluso a ser indetectable, pues solamente es posible apreciar la intervención en los puntos de entrada y salida dispuestos; además gracias a la realización de un trabajo cerrado y sin apertura de zanja, es posible limitar la cantidad de material particulado que se libera y los accidentes tanto peatonales como de trabajadores de la obra y por supuesto la cantidad de material extraído es significativamente menor, por lo que la disposición del mismo no llegar a ser

un problema. No obstante este método también cuenta con algunas desventajas, como que su práctica no es tan ampliamente conocida como la de la excavación de zanja, por lo que existe una cantidad limitada de personal con el que se puede contar para la realización de las labores y resulta imposible disponer del mismo personal que se emplearía en una obra común, ya que se requiere operar maquinaria sofisticada y conocer los protocolos necesarios para que la intervención de los tramos sea realizada de forma efectiva, esto conlleva a su vez el aumento de los costos, no solo en nómina sino también en la obtención de la maquinaria mencionada; así mismo resulta importante mencionar que el método de Túnel Linner suele tomar más tiempo que el de zanja, incluso el doble aunque es menos propenso a la interrupción de actividades por problemas de clima, ya que se trabaja bajo tierra.

En el desarrollo del segundo objetivo para establecer la gestión del cronograma bajo los criterios de la guía PMBOK® 6ta edición, teniendo en cuenta los recursos (materiales, equipos, mano de obra y tiempo) de los dos métodos constructivos, fue posible apreciar que existen diferencias notables entre los dos métodos en cuanto al uso de recursos, ya que mientras el método con zanja requiere de una mayor cantidad de mano de obra y equipos, el método de Túnel Linner disminuye significativamente la nómina, aunque el personal requerido debe ser mucho más calificado, por lo que los salarios también son más altos y dependiendo del tiempo que dure la obra, dicha inversión puede llegar a representar una inversión significativa. Además, a pesar de que no se requieren tantos equipos, aquellos que son requeridos son muchos más sofisticados y por ende más costosos, mientras que los equipos empleados en el método de zanja abierta son más accesibles e la región y menos costosos.

También es importante mencionar la comparación entre los tiempos, ya que la realización del proceso de excavación de zanja resulta mucho más ágil y por ende más atractivo, cuando se trata de entregar resultados relacionados con obras públicas, ya que por cada tramo este tipo de obra puede durar entre 3 y 5 días solamente, haciendo que las perturbaciones a la movilidad y a las actividades de la ciudadanía sean mínimas; por supuesto, dadas las características de la obra, esta se encuentra sujeta a las condiciones atmosféricas y a los contratiempos que pueda producir la interacción con los ciudadanos además de la posibilidad de accidentes, por lo que este tiempo puede verse dilatado, pero esta es solamente una posibilidad. Existen las implicaciones negativas que son poco evidentes pero significativas que a largo plazo y que pueden tener efectos importantes, pero que, al no ser conocidas por el público, pueden llegar a ser obviadas.

Por su parte el Método de Túnel Linner, llega a durar entre una semana y 15 días por tramo, lo que duplica e incluso triplica el tiempo de suspensión de los servicios que se espera renovar, además de la posible necesidad de suspender otros servicios domiciliarios adicionales, aunque en este caso la obra es menos propensa a la ocurrencia de accidentes o a la interacción con la ciudadanía, por lo que no llegan a existir contratiempos en este sentido; no obstante el tiempo que toma cada tramo es invariable

y siempre existe la posibilidad de que surjan complicaciones, las cuales son inherentes a cualquier proyecto, por lo que en términos de eficiencia en el tiempo sin tener en cuenta las implicaciones adicionales a la salud y al entorno, el método de zanja, resulta más conveniente y probablemente gracias a este factor, el más favorecido dentro de los contratos estatales para la administración de los bienes públicos, como es el caso de las tuberías.

Respecto al objetivo de comparar el método constructivo tradicional de alcantarillado de zanja y sin zanja por sistema Túnel Linner, para la identificación del más favorable en la construcción de redes de alcantarillado sanitario, la segunda opción es la que se recomienda, aunque debido a la mayor especialización que requiere en cuanto a las competencias por parte de las personas que ejecutan la obra, las empresas no tienden a utilizarla y de hecho en el Túnel Linner el impacto al ambiente y al continuo desarrollo de las actividades cotidianas son menores, así como la probabilidad de ocurrencia de accidentes; también se optimiza la gestión de los recursos, el personal y el tiempo, los cuales se coordinan para finalizar el trabajo de manera ágil, responsable y con calidad. Adicionalmente, cabe mencionar que en países en vías de desarrollo como Colombia, el método de Túnel Linner, es una alternativa con baja tasa de ejecución, pues el sector privado se ha mostrado reacio al cambio, lo cual se puede deber a múltiples razones tales como el riesgo que supone la adopción de una nueva tecnología, la baja especialización de la mano de obra disponible y el aumento de la inversión en las operaciones, en contraposición a los beneficios que no resultan ser una prioridad para las empresas en la mayoría de los casos, ya que no existe una cultura fuerte de responsabilidad social.

Por estas razones se considera que a pesar de que desde un punto de vista técnico el método de Túnel Linner resulta más efectivo para proteger no solo la integridad de los bienes públicos, sino también la salud de los ciudadanos, la seguridad de estos y de los trabajadores, los intereses de los empresarios ubicados en las zonas aledañas, la integridad de la infraestructura de servicios domiciliarios y la estabilidad del entorno; estos argumentos no resultan convincentes frente a la eficiencia que puede representar el tiempo de ejecución y costos de una obra por medio de la apertura de zanjas, especialmente tratándose de obras públicas asignadas por medio de licitación, en las que se busca la mayor eficiencia y calidad por el menor precio, sin tener en cuenta los factores ya mencionados; por esta razón se considera que no existen garantías de éxito en la asignación del proyecto si se propone la aplicación del Túnel Linner.

12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Bajaña, «Ventajas y desventajas entre el método tradicional (con zanja) y el método moderno (sin zanja) en la rehabilitación del alcantarillado en la ciudad de Guayaquil,» Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2016.
- [2] J.S. Cañas, L.A. Manrique, «Diseño de metodología del plan para la dirección en proyectos de rehabilitación sin zanja de redes de alcantarillado con tecnología CIPP (cured in place pipe) - bajo lineamientos del PMBOK,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2020.
- [3] K. V. Ordoñez, «Análisis costo beneficio de los sistemas sanitarios sostenibles frente a los sistemas sanitarios convencionales para consumos eficientes de agua en proyectos de construcción,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2019.
- [4] M.A. Cortés, «Análisis del crecimiento en Bogotá y su impacto a la calidad de vida en la población de la región,» Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia, 2017.
- [5] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá- EAAB, «Buen uso del sistema de alcantarillado,» 2021. [En línea]. Available: https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/buen-uso-del-sistema-de-alcantarillado!/ut/p/z1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8zizQKdDQwtDIz8LNxMLQ0CA40CjQMNQj3cTQ30w8EKDFCAo4FTkJGTsYGBu7-RfhTp-pFNIk4_HgVR-l0P149CtcLdzRdogpljoL-piZ-B. [Último acceso: 15 08 2021].
- [6] Y. Gómez, «La red de alcantarillado de Bogotá tiene más de medio siglo,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12107216>. [Último acceso: 15 08 2021].
- [7] Ingenieros Consultores- Ingetec, «Informe de diagnóstico y estudio subcuenca Córdoba fase 3,» Documento No. PMAA-DI_194, Bogotá, Colombia, 2015.
- [8] Grupo de Empresas Públicas de Medellín- EPM, «Norma de construcción para instalación de acueducto y alcantarillado sin zanja por sistemas Tunnel Liner,» 2017. [En línea]. Available: https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/NC_AS_IL02_25_Instalacion_de_redes_de_acueducto_y_alcantarillado_sin_zanja_por_el_metodo_de_tunnel_liner.pdf. [Último acceso: 08 09 2021].
- [9] Instituto Colombiano de Tecnologías de Infraestructura Subterránea ICTIS, «Quinta Tutoría: Curso Tecnologías Sin Zanja para Profesores 2021,» 2021. [En línea]. Available: <https://lamstt.org/es/>. [Último acceso: 14 08 2021].
- [10] S. Kramer, W. McDonald, J. Thomson, «An introduction to trenchless technology,» Springer Science +Business Media, LLC, New York, 1992.
- [11] Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, «Demografía y censo poblacional para Bogotá,» DANE, Bogotá, Colombia, 2020.
- [12] B.C. Ferguson, R. R. Brown, A. Deletic, «Identificación de factores de tipo

- categorico relacionados con la condición estructural de tuberías de alcantarillado de Bogotá a partir de conceptos de entropía de la información,» *Ecology and Society*, vol. 18, nº 4, pp. 264-280, 2013.
- [13] H. Osman, «Agent-based simulation of urban infrastructure asset management activities,» *Automation in Construction*, nº 28, pp. 45-57, 2012.
- [14] B. Savić, D. A. Ward, «A multi-objective optimisation model for sewer rehabilitation considering critical risk of failure,» *Water Sci Technol*, vol. 66, nº 11, pp. 2410-2417, 2012.
- [15] J. P. Davis, B. A. Clarke, J. T. Whiter, R. J Cunningham, «Factors influencing the structural deterioration and collage of rigid sewer pipes,» *Urban water*, vol. 3, nº 1, pp. 73-89, 2001.
- [16] S. Ortegón, J.U.López, «Propuesta de elementos normativos sobre aspectos de limpieza, inspección y seguridad industrial que influyen en los procesos de rehabilitación de alcantarillado para Bogotá,» Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2012.
- [17] H. Ávila, W. Clavijo, «Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá,» Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2002.
- [18] C. Forero, N. Estrada, «Evaluación de la Gestión del Tiempo bajo la Guía PMBOK® 5ta edición para método SPR de rehabilitación de tubería sin zanja vs método convencional de rehabilitación de tubería,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2018.
- [19] F. Cabezas, «Método constructivo de un sistema de alcantarillado en túnel aplicado al tramo 4-e para la descontaminación del río Machángara,» Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, 2011.
- [20] J. E. Sánchez, «Instructivo del proceso constructivo de una red de alcantarillado pluvial,» Bogotá, Colombia, 2018.
- [21] S. Krochin, Diseño Hidráulico, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 1978.
- [22] Ingeniería & Contratos S.A.S, «¿Que son las Tecnologías Sin Zanja ?,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriacontratos.com/tecnologia-sin-zanja>. [Último acceso: 03 09 2021].
- [23] M. Tealdo, «¿Con zanja o sin zanja?, métodos no destructivos,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=3414&ni=mtk-tecnologias-aplicadas-con-zanja-o-sin-zanja-metodos-no-destructivos>. [Último acceso: 02 09 2021].
- [24] Corpacero, «Tunnel Liner,» 2021. [En línea]. Available: <http://www.corpacero.com/infraestructura/tunnel-liner/>. [Último acceso: 04 09 2021].
- [25] Tecnovial, «Tunnel Liner,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.tecnovial.cl/tunnel-liner/>. [Último acceso: 02 09 2021].
- [26] Aguamarket, «Interceptor,» 217. [En línea]. Available: <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=3004>. [Último acceso: 03 09 2021].

- [27] Grupo de Empresas Públicas de Medellín- EPM, «Glosario- Interceptor,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.grupo-epm.com/site/aguasnacionales/nuestra-gestion/glosario>. [Último acceso: 04 09 2021].
- [28] Siapa, «Lineamientos Técnicos para Factibilidades. Alcantarillado sanitario,» 2014. [En línea]. Available: https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_3._alcantarillado_sanitario.pdf. [Último acceso: 04 09 2021].
- [29] Construmática, «Red de Alcantarillado,» 2017. [En línea]. Available: https://www.construmatica.com/construpedia/Red_de_Alcantarillado. [Último acceso: 04 09 2021].
- [30] G. Barbosa, «Estudio de la Aplicación de Tecnologías Trenchless en Bogotá,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2013.
- [31] Grupo de Empresas Públicas de Medellín-EPM, «Pensando en la comunidad, EPM modernizará el sistema de acueducto y alcantarillado del municipio de Bello,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.epm.com.co/site/home/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/epm-modernizara-el-sistema-de-acueducto-y-alcantarillado-en-bello>. [Último acceso: 03 09 2021].
- [32] F. Minguez, «Métodos de excavación sin zanjas,» Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, España, 2015.
- [33] V. Yepes, «¿Cómo renovar tuberías con el método relining?,» 2008. [En línea]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/11/23/como-renovar-tuberias-con-el-metodo-relining/>. [Último acceso: 08 09 2021].
- [34] S. Yazdekhashti, «Revestimiento deslizante,» 2014. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Renewal-methods-a-Slip-lining-b-CIPP-c-Cement-mortar-lining-d-Epoxy-lining-e_fig1_279932957. [Último acceso: 03 09 2021].
- [35] J. Pinzón, «Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá,» Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2011.
- [36] Y. M. Lozano, «Comparación de tiempos y costos planeados y liquidados, desde una perspectiva por proyectos de infraestructura,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2020.
- [37] R. Valenzuela, M. Y. Chávez, Y. Landázuri y B. R. Ochoa, «La planeación de tiempos y costos como estrategia en la administración de proyectos,» Instituto Tecnológico de Sonora, Sonora, México, 2015.
- [38] J. L. Hernández, S. E. López, «Nuevos procedimientos en la recuperación de redes de alcantarillado,» Universidad La Salle, Bogotá, Colombia, 2009.
- [39] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá- EAAB, «Gestión de Normas y Especificaciones Técnicas,» 2020. [En línea]. Available: https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/acueducto-y-alcantarillado/normalizacion-tecnica/gestion-de-normas-y-especificaciones-tecnicas/!ut/p/z1/vVRNc9owFPwr9MDRoydb_uBoE8cMSQ12oGBdGCGbxKmRAQva8Osjx5KZ2InpVQHafSx-7Q7bxZRNEdUsEP-yGReClaofUKtxZ1j6. [Último acceso: 15 08 2021].

- [40] Y. Leguizamón, «Metodología para realizar perforación dirigida en la modalidad de pipe ramming y túnel liner,» 2015. [En línea]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4879/LeguizamonGaliciaYorlyBrigette2015.pdf?sequence=8>. [Último acceso: 14 08 2021].
- [41] Cintac, «Tunnel Liner,» 2019. [En línea]. Available: https://www.cintac.cl/pdf/Cintac_Infraestructura_Vial_Ficha_Tunnel_Liner.pdf. [Último acceso: 07 09 2021].
- [42] Veeduría Distrital, «Ficha local,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.veeduriadistrital.gov.co/sites/default/files/files/Ficha%20Localidad%20Suba.pdf>. [Último acceso: 15 08 2021].
- [43] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá- EAAB, «Mapa interceptor Córdoba,» 2021. [En línea]. Available: https://www.acueducto.com.co/wassigue6/MapasGeoportal/MapaAlcantarillado_Sanitario_EAAB/. [Último acceso: 08 15 2021].
- [44] Secretaría Distrital del Habitat, «Decreto 523,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.habitatbogota.gov.co/decreto-523-2010>. [Último acceso: 08 09 2021].
- [45] Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático- IDIGER, «Caracterización General del Escenario de Riesgo Sísmico,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.idiger.gov.co/rsismico>. [Último acceso: 14 08 2021].
- [46] Alcaldía Mayor de Bogotá, «Decreto 523,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.scg.org.co/wp-content/uploads/DECRETO-523-DE-2010-MICROZONIFICACION-BOGOTA.pdf>. [Último acceso: 14 08 2021].
- [47] Á. Nocua, «Observatorio de Desarrollo Económico de Bogotá (ODEB),» 2021. [En línea]. Available: <http://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/construccion-regional/en-el-cuarto-trimestre-de-2020-aumento-el-area-en-proceso-de-construccion-en-7>. [Último acceso: 14 08 2021].
- [48] X. Yu, J. Cheng, Ch. Cao, E. Li y J. Feng, «Probabilistic Analysis of Tunnel Liner Performance Using Random Field Theory,» *Advances in Civil Engineering*, pp. 1-18, 2019.
- [49] J. García, Y. Vásquez, «Modelamiento en elementos finitos de un Tunnel Liner para cruce de sistema de agua potable y alcantarillado - Trébol de Javier Prado,» Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, 2020.
- [50] E. Chilón, M.M.Huaman, «Determinación del Revestimiento del Tunnel Liner Mediante el Modelamiento Geotécnico Aplicando el Método de Elementos Finitos, en el Distrito de La Perla Callao,» Universidad Peruana Unión, Lima, Perú, 2019.
- [51] E. Morales, «Láminas de acero galvanizado en caliente y su influencia en la construcción de túneles por el método Tunnel Liner. distrito, Huacho, Huaura-2018,» Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú, 2018.
- [52] E. Tovar, J. Valero y L. Cepeda, «Methodology for selecting trenchless sewer rehabilitation technologies in Bogotá, Colombia,» *Tecnura*, vol. 25, nº 68, pp. 105-124, 2020.
- [53] R. Osorio, «Comportamiento de revestimientos de concreto reforzado de sección cuadrada en túneles a presión interna,» Universidad Nacional de Colombia,

Medellín, Colombia, 2016.

- [54] O. Martínez, «Análisis técnico y factibilidad económica, sistema pipe bursting vs sistema a zanja abierta para renovación de redes de alcantarillado y acueducto,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2019.
- [55] J. Abellán, N. Torres, J. Fernández y A. Nuñez, «Ultra-high-performance concrete with local high unburned carbon fly ash,» *Dyna*, vol. 88, nº 216, pp. 38-47, 2021.
- [56] Y. Chitiva, H. Bolaños, «Beneficios al gestionar las buenas prácticas en las áreas de conocimiento de cronograma y costos basados en la guía PMBOK®,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2019.
- [57] J. Gómez, A. Grau, A. Giulia, «Técnicas cualitativas de investigación social,» Universidad de Valencia, Valencia, España, 2014.
- [58] Project Management Institute- PMI, «Guía de los Fundamentos para la dirección de Proyectos (Guía del PMBOK®) Sexta edición,» 2017. [En línea]. Available: [https://www.u-cursos.cl/usuario/9ab2176940ab9954ced859e56499d050/mi_blog/r/Project_Management_Institute-Guia_de_los_fundamentos_para_la_direccion_de_proyectos_\(Guia_del_PMBOK\)-Project_Management_Institute__Inc_\(2017\).pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/9ab2176940ab9954ced859e56499d050/mi_blog/r/Project_Management_Institute-Guia_de_los_fundamentos_para_la_direccion_de_proyectos_(Guia_del_PMBOK)-Project_Management_Institute__Inc_(2017).pdf). [Último acceso: 16 08 2021].
- [59] Y. P. Barbosa, C. A. Morales, «Metodología para la implementación de los procesos de gestión de proyectos de la compañía Quadrato Arquitectos S.A.S,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2020.
- [60] M. Schenone, «Reducción de costos en alcantarillados utilizando tubería sin zanja,» Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2012.
- [61] J. Arce, «Aplicación de la tecnología in zanja para mejorar la productividad en la rehabilitación de redes de alcantarillado, Comas 2016,» Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Lima, 2017.

ANEXOS

Anexo A. Carta de autorización empresarial



FORMATO DE AUTORIZACION EMPRESARIAL

Bogotá, 05 de Julio de 2021

Señores,
Comité de Trabajos de Grado
Universidad católica de Colombia
Especialización en Gerencia de Obras
Ciudad

Respectados señores,

Por medio de la presente nos permitimos autorizar a SANDRA MARINA CUESTAS FAJARDO, identificado con cédula de ciudadanía 52.118080, estudiante del programa ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE OBRAS de la Universidad Católica de Colombia, para que realice en nuestra organización CONSICAL SAS, su trabajo de grado titulado: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO CONSTRUCTIVO DE EXCAVACIÓN POR ZANJA ABIERTA Y TÚNEL LINER, APLICANDO LA GUÍA PMBOK® EN FUNCIÓN DE LA GESTIÓN DEL CRONOGRAMA A UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO EN UN PROYECTO DE LA LOCALIDAD DE SUBA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ – COLOMBIA.

Como empresa nos comprometemos a brindar la información requerida para adelantar el proyecto académico, así mismo, autorizamos que el documento resultado de este trabajo sea publicado en el repositorio documental de la Universidad católica de Colombia.

A continuación, relacionamos los datos de la persona que será el contacto designado por la empresa:

NOMBRE DE CONTACTO: DANIELA BERMUDEZ
CARGO QUE OCUPA: JEFE DE PERSONAL
TELEFONO: 1-3658047
CORREO ELECTRONICO: consicalensical.co

Cordialmente,

Jorge Eduardo García
C.C. 79.782.046 de Bogotá D.C.
Representante Legal
CONSICAL S.A.S.
NIT: 860.530.482-0

Anexo C. Infografías

The infographic is a vertical timeline with six stages, each represented by a photograph and a redacted text box. The stages are:

- Stage 1:** A photograph of a construction site with an excavator and a concrete mixer truck. A redacted text box is positioned below the photo.
- Stage 2:** A photograph of a steel structure under construction. A redacted text box is positioned below the photo.
- Stage 3:** A photograph of a circular concrete structure with yellow railings. A redacted text box is positioned below the photo.
- Stage 4:** A photograph of a circular concrete structure with yellow railings, similar to Stage 3. A redacted text box is positioned below the photo.
- Stage 5:** A photograph of a circular concrete structure with yellow railings, similar to Stage 3. A redacted text box is positioned below the photo.
- Stage 6:** A photograph of a circular concrete structure with yellow railings, similar to Stage 3. A redacted text box is positioned below the photo.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo D. Ventajas y desventajas de los métodos constructivos

Ventajas de los métodos constructivos de zanja y por Túnel Linner
ZANJA (MÉTODO TRADICIONAL)
SIN ZANJA (TÚNEL LINNER)

Desventajas de los métodos constructivos de zanja y por Túnel Linner
ZANJA (MÉTODO TRADICIONAL)
SIN ZANJA (TÚNEL LINNER)

Fuente: Elaboración propia.

Anexo E. Plan para la dirección del proyecto

Nombre del proyecto:
Ciclo de vida del proyecto: la obra se ejecutó en varias etapas así Etapa I: MADURACIÓN Etapa II: ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN Etapa III: PLANIFICACIÓN DE LA OBRA Etapa IV: EJECUCIÓN DEL PROYECTO Etapa V: CIERRE DE LA OBRA
Procesos:
Tiempo:
Costos:
Riesgos:
Calidad:
Recursos humanos:
Comunicaciones:
Adquisiciones:
Interesados:
Tiempo:

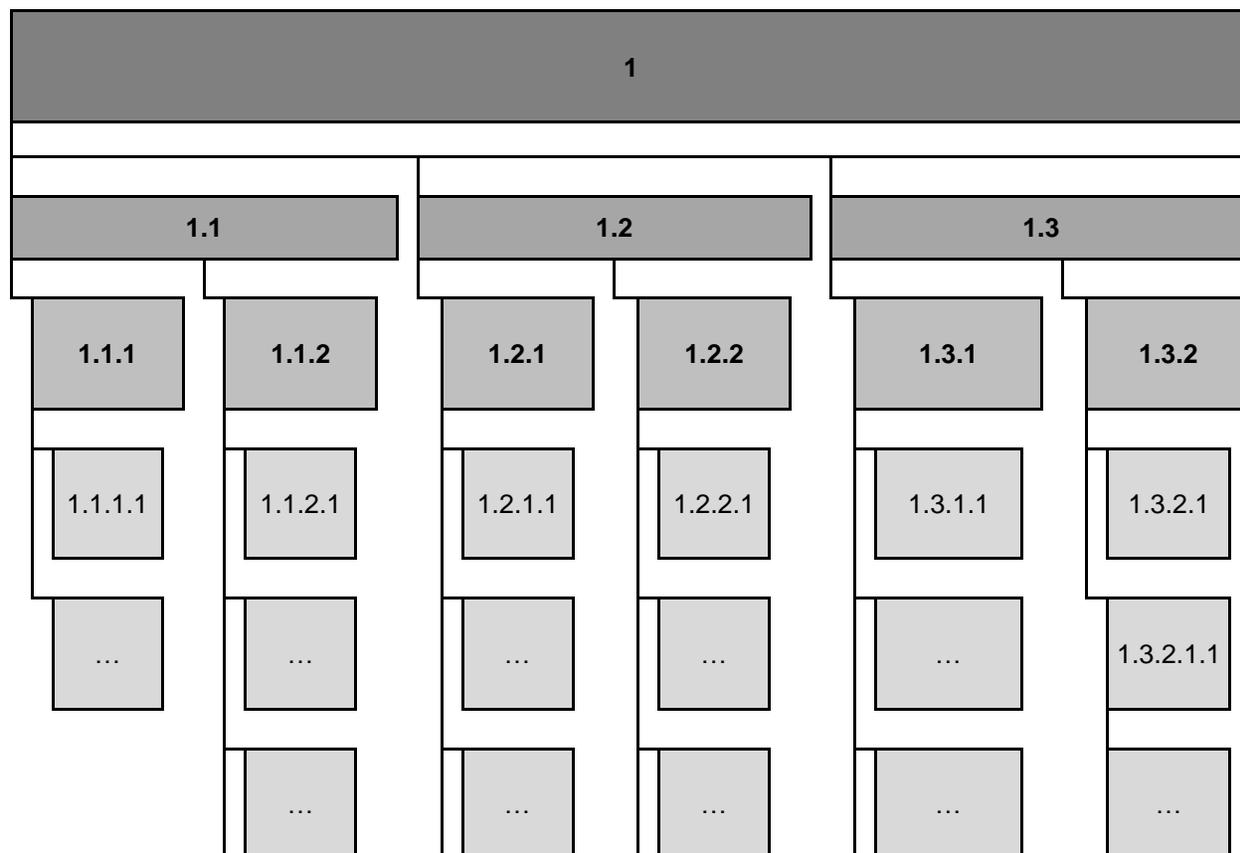
Fuente: Elaboración propia.

Anexo F. Activos de los procesos de la organización

Activo	Descripción
EDT	
Listado de recursos	
Zanja	Túnel liner
	Materiales
	Equipos
total	total
	Mano de obra
total	total
	Tecnológicos
total	total
	20

Fuente: Elaboración propia.

Anexo G. Esquema de la EDT



Fuente:Elaboración propia.

Anexo H. Diccionario de la EDT TÚNEL LINNER Y ZANJA

Cuenta control #	1.1.1
ID #	1.1.1.1
Descripción	
Entregable	
Duración	
Responsable	
Recursos	

Cuenta control #	1.1.1
ID #	1.1.1.1
Descripción	
Entregable	
Duración	
Responsable	
Recursos	

Cuenta control #	1.1.1
ID #	1.1.1.1
Descripción	
Entregable	
Duración	
Responsable	
Recursos	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. Estimación de la duración de las actividades

Estimación de la duración de las actividades			Predecesor	Duración optimista	Duración esperada	Duración pesimista	Duración (días)
No.	EDT 1	1.					
	1.1	1.1					
	1.1.1	1.1.1 INICIO					
	1.1.1.1	1.1.1.1					
1	1.1.1.1.1	1.1.1.1.1					
2	1.1.1.1.2	1.1.1.1.2					
3	1.1.1.1.3	1.1.1.1.3					
	1.1.1.2	1.1.1.2					
4	1.1.1.2.1	1.1.1.2.1					
5	1.1.1.2.2	1.1.1.2.2					
6	1.1.1.2.3	1.1.1.2.3					
7	1.1.1.2.4	1.1.1.2.4					
TOTALS EN DÍAS							
TOTALS EN MESES							

Fuente: Elaboración propia.

Anexo K. Matriz de comparación de los dos métodos constructivos

ZANJA	SIN ZANJA
VENTAJAS Y DESVENTAJAS	
MATERIALES	
EQUIPOS	
MANO DE OBRA	
TIEMPO	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo L. Infografía de los métodos Túnel Linner y Zanja

Túnel Linner

Es usado para la edificación de túneles en suelos blandos. Su ejecución radica en la excavación y ensamble interior, simultáneo y progresivo, de distintas placas negras de acero galvanizado, con recubrimiento epóxico, ya tengan formaleta perdida según las cualidades de la obra, o que estén revestidas interiormente de concreto [24]. Se trata de una práctica alternativa que funciona para sustituir la técnica de excavación con zanja a cielo abierto, la cual logra evitar perturbaciones con el tráfico peatonal y vehicular, y no impacta el funcionamiento del comercio y la industria. Sus túneles no necesitan relleno y precisan un volumen menor de perforación, aun cuando se requiere que sean profundas [24]. Para instalarlos, se excava manualmente o de forma mecánica, y posteriormente se refuerza la estructura con planchas de Túnel Linner, instaladas en el interior debido a sus alas plegadas. Resulta ideal para construcciones como alcantarillas, pasos peatonales y vehiculares, o redes de agua potable [25].



Cerramiento y excavación mecánica para construcción de pozo de lanzamiento.



Construcción de polipasto en pozo de lanzamiento.



Excavación manual en zona de pozo de lanzamiento de diámetro 3.5 metros. Instalación de anillos en lamina circular de diámetro 3.5 metros para ascenso y descenso de personal, equipo y materiales.



Excavación manual en zona de pozo de cierre de diámetro 3.0 metros.



Adecuación de punto de lanzamiento para inicio de labores en Túnel Linner $d=60''$, para instalación de láminas metálicas sentido horizontal para instalación de tubería GRP para diámetros entre $36''$ a $40''$.



Demolición de interferencias en concreto (obras existentes canceladas por la EAAB-ESP).

Túnel Linner



Inicio construcción de Túnel Linner d=60" con lamina metálica



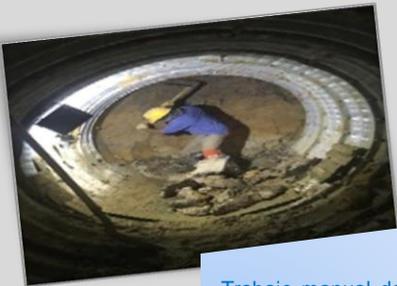
Extracción de material de excavación de pozos de lanzamiento y pozo de cierre con apoyo de equipo menor (malacates y trípodes) profundidades de trabajo entre 3.0 metros y 5.0 metros.



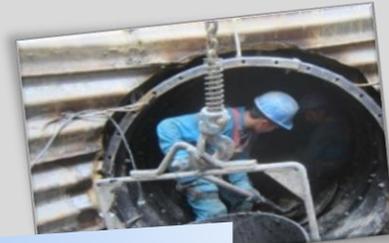
Cargue, retiro y disposición de material proveniente de la excavación (pozo de lanzamiento, Túnel Linner y pozo de cierre).



verificación de iluminación, niveles de oxigenación y emisión de gases por área SST.



Trabajo manual de profundización horizontal, instalación de láminas metálicas de longitud 0.5 metros (macho/hembra con pernos), extracción de material de excavación.



Trabajo manual de profundización horizontal. Cargue de material excavado.

Es uno de los métodos pioneros de perforación usados desde la década de los noventa, que ha ido evolucionando y centrandose su aplicación en el desarrollo urbano ya que es versátil, su manejo se lleva a cabo con facilidad y ofrece escasas complicaciones espaciales [40].

Túnel Linner



Retiro de material proveniente de la excavación de Túnel Linner.



Extracción de material de excavación.



Instalación de concreto baja resistencia 17.5 MPA, para sellar vacíos entre terreno natural y laminas metálicas



suministro e instalación de tubería GRP diámetro 40" en longitudes de 3.0 metros.



Verificación de empates o sellos de caucho para evidenciar hermeticidad.



Control topográfico para verificar alineamiento y porcentaje de pendiente.

Se genera una sección sin irregularidades ni deformidades con paredes de gran calidad que garantizan un rendimiento hidráulico máximo [35] [61].

Túnel Linner



Construcción de cámara en concreto estructural en zona de pozo de lanzamiento.



Construcción de cámara en concreto estructural en zona de pozo de cierre.



Orden y aseo a las áreas de trabajo Túnel Linner. Finalización de labores Túnel Linner.

Túnel Linner

No afecta a la calzada [1] y es mínimo el impacto ambiental [1].

Seguridad al no afectar líneas de fibras ópticas [1].

Seguridad al no tocar ductos de energía eléctrica [1].

El método sin zanja es el más recomendable ya que presenta seguridad para los trabajadores [1].

Menor tiempo de intervención [1].

Rehabilitación limpia [1].

Es un método que permite tener rapidez para la entrega terminada de trabajos [40].

Constituye una acción estratégica y focalizada a partir de la cual las compañías pueden maximizar los recursos utilizados y optimizar esfuerzos y tiempos de trabajo [18].

Su uso es cada vez más implementado en Latinoamérica, consolidando así una amplia experiencia en su utilización que provee a los investigadores y ejecutores de una variada existencia de casos [18].

Suple la necesidad de minimizar el impacto negativo de paralizar el tráfico urbano tanto peatonal como vehicular [18].

Fuente: Elaboración propia.

Zanja

Los métodos de apertura con zanjas convencionales, se desarrollan cuando una cuadrilla de trabajadores demuele, excava en la tierra instalando entibados, luego se reemplaza o instala con una nueva tubería antes de llenar la brecha. Debido a lo anterior los tubos deben quedar completamente expuestos para construir los trabajos, lo que hace que los costos y la cantidad de tiempo para completarlos se vayan aumentando cada vez más [22].



Cerramiento y señalización de la zona a intervenir



Cerramiento y señalización de la zona a intervenir. Cumplimiento a los permisos del PMT, por los cierres de la vía y los desvíos del mismo.



Cerramiento y señalización de la zona a intervenir



Corte del pavimento existente, después de haber realizado el levantamiento topográfico, costado



Corte del pavimento existente, después de haber realizado el levantamiento topográfico, costado occidental



Corte de pavimento existente, después de haber realizado el levantamiento topográfico.

Zanja



Poda y tratamiento radicular a especies arbóreas que se afectaran por paso de equipo pesado y excavaciones a tubería.



Tala de especie Arborea.



Demolición de la capa asfáltica existente con la retro excavadora.



Cargue y retiro de la demolición y de la excavación en volquetas diferentes para que se han llevados a los centros de disposición autorizados.



Excavación Mecánica con retroexcavadora hasta llegar a los niveles que indica los diseños.



Instalación del entibado en láminas de acero a medida que se realiza la excavación mecánica.

Tradicionalmente ha sido el método de más uso y cuenta con la mayor cantidad de bibliografía, según la cual se puede tener referencia de casos específicos y así solucionar distintos problemas en cuanto a la forma como debe ser implementado [18]. Cuando la perforación a ejecutar es en zonas críticas que impiden el ingreso a las máquinas o maniobrar debido a las características propias del sitio o existen otras redes subterráneas de alto grado de vulnerabilidad, se deben realizar a mano los trabajos de excavación, y tomar muchas precauciones para evitar daños colaterales que perjudiquen el desarrollo normal de la obra, además de las medidas de seguridad necesarias, como entibados, donde las condiciones del suelo o empujes laterales así lo ameriten, de manera que produce un sobre esfuerzo, gasto de material y de recursos [18].

Zanja



Suministro e Instalación de material granular para cimentación de tubería en espesor definido por diseño.



Suministro e instalación de la tubería GRP D=1.0m.



Suministro e Instalación de tubería de alcantarillado GRP incluye acoples en longitudes de 6.0 metros.



Relleno con material granular (Recebo) en capas según normas EAAB.



Compactación de material relleno en capas de 0.20m.



Compactación con equipo manual (tipo saltarín) en sectores de difícil acceso con vibrocompactador.

Ofrece la posibilidad de no generar afectaciones o daños en instalaciones y áreas subterráneas, así como en vegetación o redes de servicios públicos a través del uso de información previa recabada sobre la red de tuberías y suelos [60].

Zanja



Toma de densidades del material granular, nivelación con topografía.



Compactación de material pétreo recebo con vibrocompactador.



Compactación con equipo "Vibrocompactador" para darle la compactación adecuada a la subbase granular.



Recuperación de espacio público afectado por las excavaciones según norma IDU, para reconstrucción de caja de vía a tramos intervenidos.



Control topográfico para conformación de estructura de vía, según Norma IDU.



Adecuación con piedra partida en tramos con fallo geológico.

En el método con zanja un trabajo de tamaño medio se ejecuta en 15 días, y como son 8 horas laborables, se tienen 120 de tiempo de ejecución, con lo cual se fomenta el empleo de mano de obra no especializada [1]. Los negocios cercanos a áreas congestionadas por la construcción son más propensos a perder sus clientes debido a las interrupciones en el tráfico generado por los métodos de excavación a zanja abierta. Esto puede resultar también en una disminución en los ingresos por concepto de impuestos para el gobierno local [1] [61].

Zanja



Excavación manual, suministro e instalación de sardinel A-10 afectados en sección de vía intervenido.



Amarre de aceros y formateo para sumideros en vía según norma EAAB-ESP.



Construcción de sumideros en vía según norma EAAB-ESP.



Humectación del material de la sub base.



Compactación de la base con equipos de vibro compactadores y humectando el material pétreo.



Compactación de la base con equipos de vibro compactadores y humectando el material pétreo.

Al ser la tecnología con zanja la más antigua, existe conocimiento académico y empírico, por ello no es necesario contar con capacitaciones [18] [38]. El impacto económico a los negocios es alto [1]. Peligro de tocar líneas de energía eléctrica [1]. Molestias a los transeúntes [1]. Rehabilitación sucia [1]. Se debe comprobar con planos del lugar las conexiones existentes de instituciones cercanas y de esta manera evitar daños a redes de servicios de la comunidad, los mismos que pueden resultar mortales como el con energía eléctrica y en otros muy costosas por ejemplo el caso de las líneas de fibra óptica de la empresa de telecomunicación [1].

Zanja



Toma de laboratorios densidades de la base granular según norma IDU (mayor al 98%).



Construcción de viga perimetral a viga perimetral GRP para recibo de cargue superior D=1.70m



Suministro e Instalación de Imprimación asfáltica



Suministro e Instalación de Imprimación asfáltica



Suministro e instalación de mezcla asfáltica densa en caliente Md-19, utilizando pavimentadora.



Control de temperatura de material asfáltico previo a sello y compactación para verificación y control.

Implica necesariamente la ruptura de capas de pavimento o andenes, así como la afectación de la cobertura vegetal [18]. Interrumpe la prestación de servicios públicos básicos como acueducto y alcantarillado. Reduce hasta un 30% la vida útil de la calzada [1]. Alto índice de impacto ambiental [1]. Afectación al tráfico vehicular [1]. Peligro de tocar líneas de fibras ópticas [1].

Zanja



Suministro e Instalación de riego de liga para instalación de segunda capa de material asfáltico Md-19.



Conformación de material asfáltico para finalizar capa ultima de mezcla densa en caliente Md-19.



Se realiza sello y compactación de la mezcla asfáltica con equipos de llantas, dando terminados a la vía.



Se realiza toma de núcleos al pavimento instalado para verificación de espesores y demás resultados en laboratorio de suelos



Finalización de sección de vía reconstruido.



Empradización de zonas afectadas.

Las excavaciones que deben realizarse para implementar este método representan un riesgo para transeúntes al tiempo que obstaculizan el tráfico [18]. Este método genera la emisión de material particulado que produce problemas de salud [38]. Según las características y condiciones de los suelos que vayan a intervenir, así como de su profundidad, se requieren distintas medidas de seguridad del tipo entibiados o tenido de taludes [18].

Fuente: Elaboración propia.

Anexo M. Diccionario de EDT Túnel Linner y Zanja

Diccionario EDT Túnel Linner

Cuenta control #	1.1.1 CORTE DE PAVIMENTO
ID #	1.1.1.1 Demolición pavimento asfált. E=variable
Descripción	Demolición de pavimento de aglomerado asfáltico en calzada, con martillo neumático compresor, sin incluir la demolición de la base soporte. Incluso p/p de corte previo del contorno con cortadora de asfalto, limpieza, acopio, retirada y carga manual de escombros sobre camión o contenedor. http://www.colombia.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Demoliciones/DU_Urb_anizacion_interior_de_la_pa/Pavimentos_exteriores/DUX030_Demolicion_de_pavimento_exterior_de.html
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	3,5
Responsable	Profesional SST, Comision de topografía, Ingeniero Residente, Inspector de obra, Oficial de Obra, Ayudante de obra
Recursos	Cortadora de asfalto.
Cuenta control #	1.1.1 CORTE DE PAVIMENTO
ID #	1.1.1.2 Retiro y disposic. Materiales sobrantes de asfalto
Descripción	Se debe cumplir con los lineamientos de la resolución 0472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en cuanto a la gestión integral de los residuos de construcción y demolición (RCD), el Programa de Manejo Ambiental de (PMA de RCD), las obligaciones de los generadores de RCD y las prohibiciones dispuestas en dicha resolución. https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/NC_MN_OC01_04_Cargue_retiro_y_disposicion_del_material_sobrante_de_excavaciones_compressed.pdf?ver=SvJ-omb6KvFZ-ycTfUUILA%3D%3D
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	3,5
Responsable	Profesional SST, Ingeniero Residente, Inspector de obra, 2 Ayudantes de obra
Recursos	Retroexcavador, Minicargador, Volqueta dobletroque.
Cuenta control #	1.1.2 EXCAVACIÓN
ID #	1.1.2.1 Excavación mecánica a estructuras incluye protección temporal para H
Descripción	Son las excavaciones ejecutadas con equipo mecánico para la construcción de zanjas para redes de acueducto u otras redes, cámaras de inspección, cajas domiciliarias u otras excavaciones para obras que deban quedar bajo la superficie y que por lo tanto deban rellenarse con materiales provenientes de las mismas o de otras excavaciones https://www.fiduprevisora.com.co/wp-content/uploads/2019/12/Anexo-No-8.-Especificaciones-técnicas-para-construcción-ACUEDUCTO.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	5,7
Responsable	Comision de topografía, Ingeniero Residente, Inspector de obra, Oficial de Obra, 2 Ayudantes de obra
Recursos	Laminas de entibado, Polipasto, rejas de proteccion, Retroexcavadora de orugas, Minicargador, herramienta menor
Cuenta control #	1.1.2 EXCAVACIÓN
ID #	1.1.2.2 Excavacion manual para tunel linner D=60"
Descripción	Procedimientos con sistemas convencionales de excavación manual o mecánica, con paredes revestidas mediante anillos metálicos, se debe cumplir con la norma de construcción NC-MN-OC03-01 "excavaciones". Este método es ideal para zonas donde no debe generarse mucho ruido. https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Aguas/NC-AS-IL/NC_AS_IL02_25_Instalacion_de_redes_de_acueducto_y_alcantarillado_sin_zanja_por_el_método_de_tunnel_linner.pdf?ver=2020-11-21-071818-887
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	48,3
Responsable	Comision de topografía, Ingeniero Residente, Supervisor de obra, Oficial de Obra, 2 Ayudantes de obra, profesional SST
Recursos	Bombas sumergibles, Vagonetas y rieles, puntales.

Cuenta control #	1.1.2 EXCAVACIÓN
ID #	1.1.2.3 Sistema de ventilacion
Descripción	Un sistema de ventilación es el método y los elementos que se emplean para ventilar un recinto cerrado. https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/principales-componentes-sistema-ventilacion-importancia/
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	48,3
Responsable	Ingeniero electrico, supervisor de obra, 1 ayudante electrico, profesional SST, 1 vigia oficial de obra
Recursos	Turbinas, extractores para control de temperatura, equipo de control de gases.
Cuenta control #	1.1.2 EXCAVACIÓN
ID #	1.1.2.4 Sistema de Iluminacion
Descripción	Un sistema de iluminación es un conjunto de elementos, que se diseña para proporcionar una visibilidad clara y los aspectos estéticos requeridos en un espacio y actividades definidas. Esto se realiza seleccionando las mejores luminarias y lámparas que proporcionan el nivel de iluminación adecuado para cada tarea y se minimicen efectos de brillo directo y reflejado buscando en todos los casos optimizar el uso de energía y reducir el costo operativo. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/739/A4%2520%2520SISTEMAS%2520DE%2520ILUMINACI%25C3%2593N.pdf?sequence=4
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	48,3
Responsable	Ingeniero electrico, supervisor de obra, 1 ayudante electrico, profesional SST
Recursos	Red de iluminacion y red electrica, tablero electrico
Cuenta control #	1.1.2 EXCAVACIÓN
ID #	1.1.2.5 Demolición estructura concreto/otro material
Descripción	La demolición de estructuras es una técnica que directa o indirectamente acompaña a la ejecución de obras públicas. Si bien normalmente asociamos “demolición” al derribo de una estructura obsoleta o fallida por algún motivo, se suelen utilizar muchas técnicas de demolición en trabajos cotidianos en la obra. https://construblogspain.wordpress.com/2014/05/12/demolicion-de-estructuras/comment-page-1/
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	4,5
Responsable	Supervisor de obra, 1 oficial, 1 ayudante, profesional SST
Recursos	Martillo demoledor, Vagoneta, rieles
Cuenta control #	1.1.2 EXCAVACIÓN
ID #	1.1.2.6 Retiro y disposición materiales sobrantes de excavacion red
Descripción	Cuando el material sobrante proveniente de las excavaciones deba retirarse a un sitio fuera de las áreas de trabajo, el Contratista lo hará asumiendo la responsabilidad por la disposición final del material en los botaderos por él determinados y debidamente aprobados por la autoridad competente durante la ejecución las obras. La cantidad de material a retirar será determinada por la Interventoría. https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/proveedores/cap2.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	48,3
Responsable	Supervisor de obra, 2 ayudantes de obra, profesional SST
Recursos	Vagoneta y rieles, minicargador, volqueta dobletroque

Cuenta control #	1.2.1 RED DE ESTRUCTURA
ID #	1.2.1.1 Manejo aguas con bomba sumergible 6"
Descripción	Las bombas sumergibles para aguas residuales son ideales para el achique de aguas pluviales, cargadas, residuales, fecales, industriales, agrícolas, fosas sépticas, estaciones depuradoras, filtraciones, etc., gracias a sus diferentes diseños hidráulicos.
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,3
Responsable	Supervisor de obra, 2 ayudantes de obra, profesional SST
Recursos	Bomba sumergible
Cuenta control #	1.2.1 RED DE ESTRUCTURA
ID #	1.2.1.2 Suministro e Instalacion chapas galvanizadas para tunel liner incluye
Descripción	La técnica ejecutiva de instalación de Tunnel, emplea chapas de acero corrugado de fácil manejo y permite la excavación modular del suelo, con avances de 46cm. https://docplayer.es/28271468-Tunnel-liner-caracteristicas-tecnicas-generales-durabilidad-usos-ventajas.html
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	25,0
Responsable	Supervisor de obra, 2 oficiales de obra, profesional SST
Recursos	Chapas metalicas, pernos, tuercas y roscas
Cuenta control #	1.2.1 RED DE ESTRUCTURA
ID #	1.2.1.3 Mortero de concreto para lleno de vacíos
Descripción	Mortero fluido, sin contracción, de uso general. Apto para el llenado de vacíos en elementos estructurales tales como hormigueros en concreto, de espacios entre elementos prefabricados, nivelación de platinas base para apoyo de puentes y estructuras metálicas, anclaje de equipos mecánicos, anclaje de platinas y barras de acero, para reparación de elementos estructurales mediante relleno a presión. https://www.mapei.com/co/es-co/productos/lista-de-productos/detalles-del-producto/mapefill-gp
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	15,2
Responsable	Profesional SST, Supervisor de obra, 1 oficial de obra,, 1 ayudante de obra
Recursos	Mezcladora, Bomba de inyeccion de mortero con manguera, tanques, cemento, arena y agua
Cuenta control #	1.2.1 RED DE ESTRUCTURA
ID #	1.2.1.4 Suministro e Instalacion Tuberías GRP alcantarillado Dn1.10 y 1.20m,
Descripción	Los tubos GRP Pavco son la solución ideal para transportar cualquier tipo de fluido y la mayoría de los químicos, dado que combinan la ventaja de resistencia a la corrosión, lo cual es típico de los plásticos, y una alta fortaleza mecánica, típica del acero, representando una solución de bajo costo para muchos proyectos. Las tuberías de GRP PAVCO son ensambladas en su mayoría mediante uniones de GRP con doble sello de caucho elastomérico que asegura la completa hermeticidad de la tubería. https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/49973/Manual_tecnico_grp.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	7,0
Responsable	Profesional SST, Comision de topografia, Supervisor de obra, 1 oficial de obra
Recursos	Malacates, equipo menor, Tuberia GRP longitud 3.0 m, acople GRP, lubricante para tuberia

Cuenta control #	1.2.2 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	
ID #	1.2.2.1 Instalación Concreto Baja Resistencia 7-17.5MPa	
Descripción	Es un concreto cuya mezcla puede ser seleccionada según el porcentaje de contracción requerido: menor o igual a 0.06% a 56 días o 0.05% a 90 días. Medida con el método contenido en la norma ASTM C-157. Adecuado para estructuras donde se requiera gran estabilidad volumétrica. Ideal para recalce ampliación de secciones de elementos estructurales. Estructuras esbeltas de alta relación área / volumen. Recubrimiento de pisos prefabricados en losas de entresijos, pisos y tableros de puentes. https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45757466/concreto-baja-contraccion.pdf/c190e0f1-9a12-fb14-9475-4b36c636c962	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)		0,8
Responsable	Profesional SST, Supervisor de obra, 1 oficial de obra,, 1 ayudante de obra	
Recursos	Mezcladora, Bomba de inyeccion de mortero con manguera, tanques, cemento, arena y agua	
Cuenta control #	1.2.2 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	
ID #	1.2.2.2 Varillas Corrugadas tipo A 60	
Descripción	es un tipo de acero laminado que fue diseñado principalmente para fijar, unir y brindar una armadura a las estructuras de concreto. La forma de distinguir una varilla deformada es simple, se trata de una barra de acero larga que presenta en su superficie resaltes o corrugaciones, que aumentan la adherencia al concreto, además, hace posible que se puedan cortar y doblar más fácilmente. https://costarica.arcelormittal.com/blog/caracteristicas-que-debe-tener-una-varilla-de-construccion	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)		11,8
Responsable	Profesional SST, Ing residente de obra, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 1 ayudante de obra	
Recursos	Acero A-60, alambre negro y herramienta menor	
Cuenta control #	1.2.2 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	
ID #	1.2.2.3 Corte y doblado de refuerzo	
Descripción	Doblar y cortar una barra de acero de refuerzo es a menudo necesario durante el trabajo de construcción de un edificio de hormigón. Es un material maleable que se usa comúnmente en arquitectura, arte y otros proyectos donde se necesita doblar el metal. Requiere de equipo especial como tijeras y dobladores hidráulicos para lograrlo. https://blog-de-osky.webnode.com/news/manejo-corte-y-doblado-de-acero-de-construccion/	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)		4,0
Responsable	Profesional SST, Ing residente de obra, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 1 ayudante de obra	
Recursos	Acero A-60, alambre negro y herramienta menor	
Cuenta control #	1.2.2 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	
ID #	1.2.2.4 Instalación Concreto cajas o camaras concreto 4000 psi	
Descripción	deben cumplir previamente con estándares de calidad en la planta de producción, transporte, disposición final en obra, y funcionamiento. Las cámaras de inspección prefabricadas al igual que las vaciadas en sitio, reciben las redes de aguas residuales para encaminarlas a un colector del sistema de alcantarillado de EPM. https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/NC_AS_IL02_06_Camaras_de_inspeccion_prefabricadas_de_concreto.pdf	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)		2,3
Responsable	Profesional SST, Ing residente de obra, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 3 ayudantes de obra	
Recursos	Concreto impermeabilizado 4000 psi de planta, formaleta metalica, vibrador de concreto, hereamiento menor	

Cuenta control #	1.2.2 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	
ID #	1.2.2.5 Suministro-instalación Sello polivinilo 0.15m ancho	
Descripción	Sika Waterbar/Cinta PVC son especialmente formuladas y fabricadas a partir de PVC flexible (cloruro de polivinilo). Sika Waterbar/Cinta PVC deben ser embebidas en y a lo largo de la junta, para formar un diafragma hermético que previene el paso del líquido a través de la junta. https://sikaguia.com/co/producto/realizar-sellos-primarios-impermeables-en-juntas-de-construccion-sikawaterbar-cinta-pvc/	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)	1,1	
Responsable	Profesional SST, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 1 ayudante de obra	
Recursos	Cinta PCV-15 cm, hereamienta menor, plancha para juntas plasticas, planta electrica	
Cuenta control #	1.2.2 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	
ID #	1.2.2.6 Sikadur 32 Primer o similar	
Descripción	es un adhesivo epóxico de dos componentes, libre de solventes. Garantiza una pega perfecta entre concreto fresco y endurecido. https://col.sika.com/content/dam/dms/co01/m/sikadur_-32_primer.pdf	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)	1,1	
Responsable	Profesional SST, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 1 ayudante de obra	
Recursos	SikaDur32, herramienta menor	
Cuenta control #	1.2.2 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	
ID #	1.2.2.7 Pasos escal gato varilla corrq #6 mas ancla	
Descripción	Elementos metalicos elaborados en varilla de 6/8" corriugada, ancladas a las paredes de la camaras en concreto y su duncion es la descenso o oscenso del personal para la inspeccion interior de la menciona camara y tuberia.	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)	4,0	
Responsable	Profesional SST, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 1 ayudante de obra	
Recursos	Paso metalico en acero N.6, hereamienta menor, epoxico, planta electrica, taladro rotopercutor	
Cuenta control #	1.2.2 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	
ID #	1.2.2.8 Instalación placa cubierta circular E=0.25m D1.70m cilíndrico	
Descripción	Elemento profabricado en concreto, de forma circular que se instala sobre la chimenea de la camaras de inspeccion. Para este proyecto las dimensiones de este elemento es Diametro de 1,7m y espesor promedio de 0.25m.	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)	1,2	
Responsable	Profesional SST, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 1 ayudante de obra	
Recursos	Placa prefabricada D=1,70 m, herramienta menor, Retrocargador	
Cuenta control #	1.2.2 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	
ID #	1.2.2.9 Suministro e Instalación tapa de seguridad más marco D=0.68 m	
Descripción	Los requisitos técnicos de esta especificación aplican únicamente para las tapas metálicas de seguridad de diámetro libre igual a 600 mm y cuya instalación se realiza mediante anclaje a la estructura de concreto de las cajas y cámaras. https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/ET_AS_ME08_05_Tapa_metalica_de_seguridad_para_cajas_y_camaras_subterranas_de_acueducto_y_alcantarillado.pdf	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)	1,2	
Responsable	Profesional SST, Inspector de obra, 2 ayudantes de obra	
Recursos	Tapa de seguridad D=1,68 m, herramienta menor, Minicargador	

Cuenta control #	1.3.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA	
ID #	1.3.1.1 Suministro e instalación de geomalla	
Descripción	El equipo mecánico o manual de instalación de la Geomalla debe ser capaz de efectuar la instalación uniformemente y permitir la colocación adecuada con el cuidado de no producir arrugas u ondulaciones. Se deben suministrar los siguientes equipos misceláneos: Escobas de cerda rígida, compactadores de llantas para uniformizar la superficie de la Geomalla y lograr mejor adherencia entre la capa inferior y la Geomalla; cepillos para aplicar el sellador asfáltico a los traslapes de la Geomalla, grapas ó puntillas aceradas para adosar la Geomalla a la superficie inferior y cizalla o elemento que permita efectuar los cortes requeridos. https://www.idu.gov.co/web/content/7607/342-11.pdf	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)		1,1
Responsable	Profesional SST, Inspector de obra, 2 ayudantes de obra	
Recursos	Geomalla Biaxial, grapas, herramienta menor	
Cuenta control #	1.3.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA	
ID #	1.3.1.2 Sub Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	
Descripción	Es un material granular grueso compuesto por triturados, arena y material grueso. Es altamente resistente a la erosión y permite el libre drenaje con el fin de prevenir el bombeo. Se somete a menores presiones que la Base Granular. https://www.cemexcolombia.com/productos/agregados/sub-base-granular	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)		3,2
Responsable	Comision de topografia, laboratorista de suelos, Ingeniero Residente, Inspector	
Recursos	Minicargador, agua, subbase granular, herramienta menor, apisonador tipo canguro, cilindro vibrocompactador	
Cuenta control #	1.3.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA	
ID #	1.3.1.3 Construcción sardineles concreto 0.35 m	
Descripción	Los sardineles son esos pequeños muros que se ven al lado de las veredas o en medio de las pistas de la ciudad. Las empresas de construcción y demolición de sardineles sugieren que se use una mezcla homogénea de agregados, agua y cemento. El agregado deberá tener 25 mm de tamaño como máximo. Además, es recomendable hacer la combinación en una mezcladora, para garantizar su uniformidad. https://igc.com.pe/recomendaciones-tecnicas-construccion-de-sardineles/	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)		1,1
Responsable	Comision topografia, Supervisor de obra, profesional SST, 1 oficial, 1 ayudante	
Recursos	1 minicargador, herramienta menor, Sardionel A-10, arena, agua, cemento	
Cuenta control #	1.3.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA	
ID #	1.3.1.4 Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	
Descripción	Es un material granular grueso compuesto por triturados, arena y material fino. Posee alta resistencia a la deformación lo que hace que soporte presiones altas. https://www.cemexcolombia.com/productos/agregados/base-granular	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)		3,2
Responsable	Comision de topografia, laboratorista de suelos, Ingeniero Residente, Inspector	
Recursos	Minicargador, agua, base granular, herramienta menor, apisonador tipo canguro, cilindro vibrocompactador	
Cuenta control #	1.3.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA	
ID #	1.3.1.5 Suministro e instalación de imprimación con emulsión asfáltica	
Descripción	Este trabajo consiste en el suministro, transporte, calentamiento eventual y aplicación uniforme de un ligante bituminoso sobre una superficie granular, previamente a la colocación de una capa asfáltica o un tratamiento superficial. El riego también podrá aplicarse a bermas construidas en material granular y a sus taludes. El trabajo puede incluir el suministro y la aplicación de un agregado pétreo fino para la protección de la superficie imprimada.	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)		1,1
Responsable	Inspector de obra, Profesional SST, 1 oficial de obra, 2 ayudantes, Ing Ambiental	
Recursos	Herramienta menor, Emulsion asphaltica de rompimiento rapido, carro esparcidor de asfalto, soplador de aire electrico	

Cuenta control #	1.3.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA	
ID #	1.3.1.6 Construcción pavimento flexible en MD-12 primera capa	
Descripción	La construcción de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando las supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. https://blog.vise.com.mx/qué-es-un-pavimento-flexible-y-cuándo-conviene-usarlo#:~:text=La%20construcción%20de%20pavimentos%20flexibles,restante%20a%20la%20capa%20inferior	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)	1,1	
Responsable	Comision de topografía, laboratorista de suelos, Ingeniero Residente, Inspector	
Recursos	Terminadora de asfalto, Rodillo compactador, equipo sellador de llanta lisa,	
Cuenta control #	1.3.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA	
ID #	1.3.1.7 Suministro e instalación de riego de liga con emulsión asfáltica	
Descripción	El riego de imprimación se podrá realizar con una emulsión asfáltica de rotura lenta del tipo CRL-0, la cual deberá cumplir las condiciones indicadas en el numeral 210.2.2 de la Sección 210; también se podrá emplear una emulsión de rotura lenta tipo CRL-1, la cual para su aplicación deberá diluirse en agua hasta que tenga una concentración aproximada de cuarenta por ciento (40%), y deberá cumplir las condiciones indicadas en el numeral 210.2.2 de la Sección 220 de las presentes especificaciones; o también podrá ser un asfalto líquido del tipo MC 30 de las características descritas en el numeral 220.2.2 de la Sección 220 de las presentes Especificaciones.	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)	1,1	
Responsable	Inspector de obra, Profesional SST, 1 oficial de obra, 2 ayudantes	
Recursos	Herramienta menor, Riego de liga asfáltica de rompimiento rapido, soplador de aire, carro esparcidor de emulsion	
Cuenta control #	1.3.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA	
ID #	1.3.1.8 Construcción pavimento flexible en MD-12 segunda capa	
Descripción	La construcción de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando las supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. https://blog.vise.com.mx/qué-es-un-pavimento-flexible-y-cuándo-conviene-usarlo#:~:text=La%20construcción%20de%20pavimentos%20flexibles,restante%20a%20la%20capa%20inferior	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)	1,1	
Responsable	Comision de topografía, laboratorista de suelos, Ingeniero Residente, Inspector de obra, Profesional SST, 2 oficiales de obra, 4 ayudantes de obra	
Recursos	Terminadora de asfalto, Rodillo compactador, equipo sellador de llanta lisa, apisonaror tipo canguro, herramienta menor.	
Cuenta control #	1.3.2 CIERRE	
ID #	1.3.2.1 Pruebas de hermeticidad	
Descripción	Las pruebas de hermeticidad con aire estipuladas en esta norma son pruebas representativas para determinar la estanqueidad de una red. Tanto las pruebas de estanqueidad y hermeticidad así como los criterios de aceptación estipulados en esta norma, son pruebas representativas para la infiltración permitida en una red de alcantarillado. Las pruebas de hermeticidad se realizan con presión positiva.	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)	2,8	
Responsable	Inspector de Obra, Residente de obra, tecnico especialista hidraulico, 1 ayudante, 1 oficial, profesional SST	
Recursos	Balones D=1,0m, compresor de aire, manómetros y equipo menor	
Cuenta control #	1.3.2 CIERRE	
ID #	1.3.2.2 Recibo por niveles topográficos	
Descripción	Para cada uno de los informes realizados se deberá anexar una certificación expedida por el Representante Legal de la firma de topografía en la que conste que se realizó dicho trabajo y se relacione nombre completo del profesional de topografía, número de matricula profesional, fecha de realización del trabajo y nombre del proyecto para el cual se realiza esta labor. Esta certificación será requisito obligatorio para el recibo a satisfacción de cada informe. http://www.aaa.com.co/l/wp-content/uploads/IS-03-	
Entregable	Planos récord, Solicitud de permisos y licencias, Acta de recibo final y liquidación	
Duración (Días)	1,1	
Responsable	Comision de topografía	
Recursos	Equipo de topografía, herramienta menor	

Fuente: Elaboración propia.

Diccionario EDT Zanja

Cuenta control #	1.1.1 CORTE DE PAVIMENTO
ID #	1.1.1.1 Demolición pavimento asfált. E=variable
Descripción	Demolición de pavimento de aglomerado asfáltico en calzada, con martillo neumático compresor, sin incluir la demolición de la base soporte. Incluso p/p de corte previo del contorno con cortadora de asfalto, limpieza, acopio, retirada y carga manual de escombros sobre camión o contenedor. http://www.colombia.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Demoliciones/DU_Urbanizacion_interior_de_la_pa/Pavimentos_exteriores/DUX030_Demolicion_de_pavimento_exterior_de.html
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,1
Responsable	Profesional SST, Comision de topografía, Ingeniero Residente, Inspector de obra, Oficial de Obra, Ayudante de obra
Recursos	Cortadora de asfalto.
Cuenta control #	1.1.1 CORTE DE PAVIMENTO
ID #	1.1.1.2 Rotura sardineles concreto
Descripción	Antes de la rotura de pavimentos, la zona debe estar correctamente señalizada incluyendo las vías alternas de ser el caso. El desmonte y los cascotes provenientes de la rotura de los pavimentos, veredas y/o sardineles, deberán ser retirados de la zona de trabajo por seguridad y limpieza de la misma, debiendo efectuarlos antes de continuar con las reposiciones. https://docplayer.es/76582203-Especificacion-corte-rotura-y-reposicion-de-pavimentos-veredas-sardineles-y-jardines.html
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,1
Responsable	Profesional SST, Inspector de obra, Oficial de Obra, Ayudante de obra
Recursos	Herramienta menor, minicargador
Cuenta control #	1.1.1 CORTE DE PAVIMENTO
ID #	1.1.1.3 Retiro y disposic. Materiales sobrantes de asfalto
Descripción	Se debe cumplir con los lineamientos de la resolución 0472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en cuanto a la gestión integral de los residuos de construcción y demolición (RCD), el Programa de Manejo Ambiental de (PMA de RCD), las obligaciones de los generadores de RCD y las prohibiciones dispuestas en dicha resolución. https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/NC_MN_OC01_04_Cargue_retiro_y_disposicon_del_material_sobrante_de_excavaciones_compressed.pdf?ver=SvJ-omb6KvFZ-ycTfUUJLA%3D%3D
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,1
Responsable	Profesional SST, Ingeniero Residente, Inspector de obra, 2 Ayudantes de obra
Recursos	Retroexcavador, Minicargador, Volqueta dobletroque.
Cuenta control #	1.1.2 EXCAVACIÓN PARA RED
ID #	1.1.2.1 Excavación a estructuras incluye protección temporal para H mayor a 3 m
Descripción	La excavación estructural se utiliza para la colocación de estructuras, excepto las alcantarillas, para la eliminación de dicho material excavado y para el relleno alrededor de las estructuras terminadas hasta el nivel del suelo o grado original. https://www.arkiplus.com/excavacion-estructural/
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	3,0
Responsable	Comision de topografía, Ingeniero Residente, Inspector de obra, Oficial de Obra, 1 oficial de obra, 2 Ayudantes de obra, profesional SST.
Recursos	Laminas de entibado, puntales, Retroexcavadora de oruga, Minicargador, herramienta menor
Cuenta control #	1.1.2 EXCAVACIÓN PARA RED
ID #	1.1.2.2 Excavación mecanica para tuberias incluye protección H>3m
Descripción	Son las excavaciones ejecutadas con equipo mecánico para la construcción de zanjas para redes de acueducto u otras redes, cámaras de inspección, cajas domiciliarias u otras excavaciones para obras que deban quedar bajo la superficie y que por lo tanto deban rellenarse con materiales provenientes de las mismas o de otras excavaciones. https://www.fiduprevisora.com.co/wp-content/uploads/2019/12/Anexo-No-8.-Especificaciones-tecnicas-para-construcción-ACUEDUCTO.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	5,5
Responsable	Comision de topografía, Ingeniero Residente, Inspector de obra, Oficial de Obra, 1 oficial de obra, 2 Ayudantes de obra, Profesional SST
Recursos	Laminas de entibado, puntales, Retroexcavadora de oruga, Minicargador, herramienta menor

Cuenta control #	1.1.2 EXCAVACIÓN PARA RED
ID #	1.1.2.3 Demolición estructura concreto/otro material
Descripción	La demolición de estructuras es una técnica que directa o indirectamente acompaña a la ejecución de obras públicas. Si bien normalmente asociamos "demolición" al derribo de una estructura obsoleta o fallida por algún motivo, se suelen utilizar muchas técnicas de demolición en trabajos cotidianos en la obra. https://construblogspain.wordpress.com/2014/05/12/demolicion-de-estructuras/comment-page-1/
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,1
Responsable	Comision de topografía, Ingeniero Residente, Inspector de obra, Oficial de Obra, 2 Ayudantes de obra, 1 oficial de obra
Recursos	Martillo demoledor, compresor, Minicargador, herramienta menor
Cuenta control #	1.1.2 EXCAVACIÓN PARA RED
ID #	1.1.2.4 Demolición estructura concreto disco diamantado
Descripción	La actividad de corte y perforación con diamante, también llamada demolición técnica, comprende métodos de gran precisión, mediante los cuales es posible acometer desde pequeñas labores en edificación hasta proyectos a gran escala. https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/63296-Demolicion-tecnica-corte-y-perforacion-con-diamante.html
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,1
Responsable	Comision de topografía, Ingeniero Residente, Inspector de obra, Oficial de Obra, 2 Ayudantes de obra, profesional SST
Recursos	Pulidora de concreto, rotomartillo demoledor, compresor, Minicargador, herramienta menor
Cuenta control #	1.1.2 EXCAVACIÓN PARA RED
ID #	1.1.2.5 Retiro y disposición materiales sobrantes de excavacion red alcantarillado
Descripción	Cuando el material sobrante proveniente de las excavaciones deba retirarse a un sitio fuera de las áreas de trabajo, el Contratista lo hará asumiendo la responsabilidad por la disposición final del material en los botaderos por él determinados y debidamente aprobados por la autoridad competente durante la ejecución las obras. La cantidad de material a retirar será determinada por la Interventoría. https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/proveedores/cap2.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	3,5
Responsable	Supervisor de obra, 2 ayudantes de obra, profesional SST
Recursos	Volquetas dobletroque, minicargador, herramienta menor
Cuenta control #	1.1.2 EXCAVACIÓN PARA RED
ID #	1.1.2.6 Rotura anden concreto/granito hasta e=0.12m
Descripción	El trabajo de demolición se hará con herramientas que no dañen el concreto de las estructuras aledañas a las zonas demolidas. La rotura de calzadas y andenes deberá hacerse por medios mecánicos que no causen destrozos al resto de la vía. Será de exclusiva responsabilidad del Contratista y/o Urbanizador la reparación de estructuras adyacentes que resulten dañadas por una demolición poco cuidadosa o no practicada con el quipo adecuado. https://www.emcali.com.co/documents/107516/125022/NCO-SE-AA-045.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,1
Responsable	Comision de topografía, Inspector de obra, Oficial de Obra, 1 Ayudantes de obra, Profesional SST
Recursos	Equipo demoledor, Minicargador, herramienta menor
Cuenta control #	1.1.3 TRATAMIENTO INTEGRAL DE ÁRBOLES
ID #	1.1.3.1 Tratamiento integral de árboles de 5 a 10 m
Descripción	Que el Decreto Nacional 1791 de 1996 "Por medio del cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal" dispone en su artículo 58 que cuando se requiera talar, trasplantar o reubicar árboles aislados la autoridad ambiental podrá autorizarlo, consagrando la obligación de reponer las especies que se autoriza talar. http://ambientebogota.gov.co/documents/24732/3901444/DECRETO+531+DE+2010.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	3,7
Responsable	Ing Residente de obra, Inspector de obra, Ingeniero Forestal, Tecnico forestal, 3 ayudantes forestales, Profesional SST, Ing ambiental, Profesional Social, coordinador de alturas.
Recursos	Volqueta, Chipeadora, minicargador, herramienta menor

Cuenta control #	1.1.3 TRATAMIENTO INTEGRAL DE ÁRBOLES
ID #	1.1.3.2 Tratamiento integral de árboles de 10 a 15 m
Descripción	Que el Decreto Nacional 1791 de 1996 "Por medio del cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal" dispone en su artículo 58 que cuando se requiera talar, trasplantar o reubicar árboles aislados la autoridad ambiental podrá autorizarlo, consagrando la obligación de reponer las especies que se autoriza talar. http://ambientebogota.gov.co/documents/24732/3901444/DECRETO+531+DE+2010.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	3,2
Responsable	Ing Residente de obra, Inspector de obra, Ingeniero Forestal, Tecnico forestal, 3 ayudantes forestales, Profesional SST, Ing ambiental, Profesional Social, coordinador de alturas.
Recursos	Volqueta, Chipeadora, minicargador, herramienta menor
Cuenta control #	1.1.3 TRATAMIENTO INTEGRAL DE ÁRBOLES
ID #	1.1.3.3 Tala de árboles menores a 5 m de altura
Descripción	Cuando se requiera talar o podar árboles aislados localizados en centros urbanos que por razones de su ubicación, estado sanitario o daños mecánicos estén causando perjuicio a la estabilidad de los suelos, a canales de agua, andenes, calles, obras de infraestructura o edificaciones, se solicitará por escrito autorización, a la autoridad competente, la cual tramitará la solicitud de inmediato, previa visita realizada por un funcionario competente técnicamente la necesidad de talar árboles. https://www.defensoria.gov.co/public/Normograma%202013_html/Normas/Decreto_1791_1996.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,1
Responsable	Ing Residente de obra, Inspector de obra, Ingeniero Forestal, Tecnico forestal, 3 ayudantes forestales, Profesional SST, Ing ambiental, Profesional Social, coordinador de alturas.
Recursos	Volqueta, Chipeadora, minicargador, motosierra, herramienta menor
Cuenta control #	1.1.3 TRATAMIENTO INTEGRAL DE ÁRBOLES
ID #	1.1.3.4 Bloqueo y trasplante de árboles de 10 a 15 m de altura
Descripción	Trasplantar árboles es cambiarlos de emplazamiento y que sigan desarrollándose con normalidad. En general, los trasplantes se hacen como parte de un procedimiento jardinero o como un imperativo resultante de la ejecución de un proyecto de obras de construcción. http://www.redforesta.com/wp-content/uploads/2012/08/CT3-Trasplante-de-grandes-arboles.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	3,5
Responsable	Ing Residente de obra, Inspector de obra, Ingeniero Forestal, Tecnico forestal, 3 ayudantes forestales, Profesional SST, Ing ambiental, Profesional Social, coordinador de alturas.
Recursos	Volqueta, Chipeadora, Retrocargador, herramienta menor
Cuenta control #	1.2.1 CONSTRUCCIÓN DE SUMIDEROS
ID #	1.2.1.1 Suministro e Instalación Tubería GRP para alcantarillado pluvial PS18psi,D12" (300 m) a sumideros
Descripción	Los tubos GRP Pavco son la solución ideal para transportar cualquier tipo de fluido y la mayoría de los químicos, dado que combinan la ventaja de resistencia a la corrosión, lo cual es típico de los plásticos, y una alta fortaleza mecánica, típica del acero, representando una solución de bajo costo para muchos proyectos. Las tuberías de GRP PAVCO son ensambladas en su mayoría mediante uniones de GRP con doble sello de caucho elastomérico que asegura la completa hermeticidad de la tubería. https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/49973/Manual_tecnico_grp.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,1
Responsable	Profesional SST, Comision de topografía, Supervisor de obra, 1 oficial de obra, 2 ayudantes
Recursos	Malacates, equipo menor, Tubería GRP longitud 6.0 m, acople GRP, lubricante para tubería
Cuenta control #	1.2.1 CONSTRUCCIÓN DE SUMIDEROS
ID #	1.2.1.2 Construcción de Sumideros alcantarillado Pluvial
Descripción	Se deben tener en cuenta los siguientes criterios de localización de los sumideros: cruces de vías de tal manera que intercepten las aguas de escorrentía antes de que alcancen las zonas peatonales, rebajes de andén, parqueaderos en niveles inferiores al de la vía, reductores de velocidad, cunetas y bateas, puntos bajos y depresiones, disminución de la pendiente longitudinal de la vía, antes de puentes o terraplenes, deprimidos viales y sitios de captación de sedimentos. https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/NC_AS_IL02_17_Sumideros.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	12,2
Responsable	Profesional SST, Comision de topografía, Supervisor de obra, 1 residente de obra, 1 oficial de obra, 3 ayudantes de obra.
Recursos	Formaleta metalica, acero A-60, alambre negro, concreto 4000 psi impermeabilizado de planta.

Cuenta control #	1.2.1 CONSTRUCCIÓN DE SUMIDEROS
ID #	1.2.1.3 Suministro e instalación de rejilla reciclada 0.80 X 0.45 m para sumidero y tráfico vehicular pesado
Descripción	Aunque no son relevantes a este proyecto, hay una empresa de Colombia, Maderplast S.A que empieza a incluir en imbornales y tapas de alcantarillado el PVC reciclado, proponiendo una alternativa para reciclar plástico, que cada vez es más consumido. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/122436/Solaro%20-%20Diseño%20y%20fabricación%20de%20un%20retenedor%20de%20residuos%20para%20imbornales%20de%20rejilla%20C-250.pdf?sequence=1
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	0,8
Responsable	Supervisor de obra, , 1 oficial de obra, 1 ayudantes de obra, profesional SST
Recursos	Minicargador y herramienta menor
Cuenta control #	1.2.2 RED
ID #	1.2.2.1 Arena peña para cimentacion tuberia
Descripción	Se denomina relleno Tipo 1 el constituido por arena lavada de río o gravilla o una mezcla de estos dos materiales, convenientemente colocado y compactado. Este relleno se utilizará para la cimentación de tuberías o en los sitios de la obra indicados en los planos o en los ordenados por la Interventoría. La arena deberá ser limpia y tener un contenido de finos (porcentaje que pasa el tamiz #200) menor del cinco por ciento (5%) de su peso y su gravedad específica mayor de 2.4. La gravilla debe tener un tamaño no mayor de 3/4 de pulgada. http://emsercota.gov.co/contratacion/ANEXO%20No.%2013%20TECNICO%20ESPECIFICACIONES%20DE%20CONSTRUCCION.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	0,8
Responsable	Comision de topografía, Supervisor de obra, 1 oficial de obra, 1 ayudantes de obra, profesional SST, Ingeniero Ambiental
Recursos	Minicargador y herramienta menor, equipo apisonador
Cuenta control #	1.2.2 RED
ID #	1.2.2.2 Suministro e Instalacion Tuberías alcantarillado 8" a 24" PVC, incluye acoples
Descripción	Durante su instalación, la tubería A-2000 ahorra tiempo para una combinación de características que facilitan y agilizan la instalación. Un peso más liviano para una mejor manipulación y juntas de fácil conexión son sólo algunos de sus muchos beneficios. Los cortes en el campo, se hacen fácilmente y la espiga no requiere de biselado de campo. https://www.conteches.com/Portals/0/Documents/Brochures/A2000%20-%20Sanitario%20de%20PVC.pdf?ver=2018-05-16-090414-150
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	2,8
Responsable	Comision de topografía, Supervisor de obra, 1 oficial de obra, 2 ayudantes de obra, profesional SST, Ingeniero Ambiental
Recursos	Tuberia PVC diferentes diametros, lubricante para tuberia, malacates, herramienta menor
Cuenta control #	1.2.2 RED
ID #	1.2.2.3 Suministro e Instalacion Tuberías GRP alcantarillado Dn1.10 y 1.20m, incluye acoples
Descripción	Los tubos GRP Pavco son la solución ideal para transportar cualquier tipo de fluido y la mayoría de los químicos, dado que combinan la ventaja de resistencia a la corrosión, lo cual es típico de los plásticos, y una alta fortaleza mecánica, típica del acero, representando una solución de bajo costo para muchos proyectos. Las tuberías de GRP PAVCO son ensambladas en su mayoría mediante uniones de GRP con doble sello de caucho elastomérico que asegura la completa hermeticidad de la tubería. https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/49973/Manual_tecnico_grp.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	6,8
Responsable	Profesional SST, Comision de topografía, Supervisor de obra, 1 oficial de obra, 2 ayudantes de obra
Recursos	Malacates, equipo menor, Tuberia GRP longitud 6.0 m, acople GRP, lubricante para tuberia, Retroexcavadora de oruga
Cuenta control #	1.2.2 RED
ID #	1.2.2.4 Laminado de unión cámara GRP de 1200 mm con tubería de 8 a 20", según norma OTEK TEE Dn 1200 x 600 PN 1 SN 2500
Descripción	Las tuberías y accesorios GRP PAVCO pueden ser ensamblados mediante el laminado con refuerzos de fibra de vidrio y resina de poliéster Se usan cuando las tuberías se ven sometidas a esfuerzos axiales importantes, en reparaciones o en casos de que se requiera la conducción de líquidos corrosivos que pueden dañar los sellos elastoméricos de las uniones. https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/49973/Manual_tecnico_grp.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	3,7
Responsable	Profesional SST, Residente de obra, tecnico de laminados en fibra GRP, Supervisor de obra, 1 oficial de obra, 1 ayudante de obra
Recursos	Equipo menor, fibra GRP.

Cuenta control #	1.2.2 RED
ID #	1.2.2.5 Manejo aguas con bomba sumergible 6"
Descripción	Las bombas sumergibles para aguas residuales son ideales para el achique de aguas pluviales, cargadas, residuales, fecales, industriales, agrícolas, fosas sépticas, estaciones depuradoras, filtraciones, etc., gracias a sus diferentes diseños hidráulicos. https://www.bombashasa.com/es/bombas-sumergibles-aguas-residuales/
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,5
Responsable	Supervisor de obra, 2 ayudantes de obra, profesional SST
Recursos	Bomba sumergible
Cuenta control #	1.2.2 RED
ID #	1.2.2.6 Relleno en Recebo
Descripción	Este trabajo consiste en el suministro, transporte, colocación y compactación por capas del material de recebo compactado sobre el terreno natural apisonado, de acuerdo con la presente especificación. Las partículas componentes de estos Materiales granulares deben ser duras, resistentes, estables, durables, sin exceso de elementos planos, blandos o desintegrables y sin materia orgánica u otros elementos perjudiciales. http://www.gensa.com.co/archivos/archivos_convocatoria/fil_aco_archivo/201107122322Caracoli%20Especificaciones%20Tecnicas.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	3,7
Responsable	Comision de topografia, laboratorista de suelos, Ingeniero Residente, Inspector de obra, Profesional SST, 1 oficial de obra, 2 ayudantes, Ingeniero Ambiental
Recursos	Minicargador, agua, recebo granular, herramienta menor, apisonador tipo canguro, cilindro vibrocompactador
Cuenta control #	1.3.1 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO
ID #	1.3.1.1 Instalación Concreto Baja Resistencia 7-17.5MPa
Descripción	Es un concreto cuya mezcla puede ser seleccionada según el porcentaje de contracción requerido: menor o igual a 0.06% a 56 días o 0.05% a 90 días. Medida con el método contenido en la norma ASTM C-157. Adecuado para estructuras donde se requiera gran estabilidad volumétrica. Ideal para recalce o ampliación de secciones de elementos estructurales. Estructuras esbeltas de alta relación área / volumen. Recubrimiento de pisos prefabricados en losas de entresijos, pisos y tableros de puentes https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45757466/concreto-baja-contraccion.pdf/c190e0f1-9a12-fb14-9475-4b36c636c962
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	0,9
Responsable	Inspector de obra, Profesional SST, 1 oficial de obra, 2 ayudantes, Ingeniero Ambiental
Recursos	Triturado, Arena, cemento, Agua, equipo menor, herramienta menor
Cuenta control #	1.3.1 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO
ID #	1.3.1.2 Varillas Corrugadas tipo A 60
Descripción	es un tipo de acero laminado que fue diseñado principalmente para fijar, unir y brindar una armadura a las estructuras de concreto. La forma de distinguir una varilla deformada es simple, se trata de una barra de acero larga que presenta en su superficie resaltes o corrugaciones, que aumentan la adherencia al concreto, además, hace posible que se puedan cortar y doblar más fácilmente. https://costarica.arcelormittal.com/blog/caracteristicas-que-debe-tener-una-varilla-de-construccion
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,5
Responsable	Profesional SST, Ing residente de obra, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 1 ayudante de obra
Recursos	Acero A-60, alambre negro y herramienta menor
Cuenta control #	1.3.1 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO
ID #	1.3.1.3 Corte y doblado de refuerzo
Descripción	Doblar y cortar una barra de acero de refuerzo es a menudo necesario durante el trabajo de construcción de un edificio de hormigón. Es un material maleable que se usa comúnmente en arquitectura, arte y otros proyectos donde se necesita doblar el metal. Requiere de equipo especial como tijeras y dobladores hidráulicos para lograrlo. https://blog-de-osky.webnode.com/news/manejo-corte-y-doblado-de-acero-de-construccion/
Entregable	Ninguno
Duración	0,8
Responsable	Profesional SST, Ing residente de obra, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 1 ayudante de obra
Recursos	Acero A-60, alambre negro y herramienta menor

Cuenta control #	1.3.1 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO
ID #	1.3.1.4 Instalación Concreto cajas o camaras concreto 4000 psi
Descripción	Construcción de una cámara receptora de aguas residuales en concreto estructural, que tiene como función la inspección y mantenimiento de la red en distancia promedio de 80 a 100 metros lineales desde cámara a cámara.
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,5
Responsable	Profesional SST, Ing residente de obra, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 3 ayudantes de obra, Ingeniero Ambiental
Recursos	Concreto impermeabilizado 4000 psi de planta, formaleta metálica, vibrador de concreto, herramienta menor
Cuenta control #	1.3.1 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO
ID #	1.3.1.5 Suministro-instalación Sello polivinilo 0.15m ancho
Descripción	Sika Waterbar/Cinta PVC son especialmente formuladas y fabricadas a partir de PVC flexible (cloruro de polivinilo). Sika Waterbar/Cinta PVC deben ser embebidas en y a lo largo de la junta, para formar un diafragma hermético que previene el paso del líquido a través de la junta. https://sikaguia.com/co/producto/realizar-sellos-primarios-impermeables-en-juntas-de-construccion-sikawaterbar-cinta-pvc/
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	0,8
Responsable	Profesional SST, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 1 ayudante de obra
Recursos	Cinta PCV-15 cm, herramienta menor, plancha para juntas plásticas, planta eléctrica
Cuenta control #	1.3.1 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO
ID #	1.3.1.6 Sikadur 32 Primer o similar
Descripción	es un adhesivo epóxico de dos componentes, libre de solventes. Garantiza una pega perfecta entre concreto fresco y endurecido. Concreto, mortero, asbesto-cemento, piedra: La superficie debe estar sana y limpia, libre de partes sueltas, contaminación de aceites, polvo, residuos de curadores, lechada de cemento u otras sustancias extrañas. https://col.sika.com/content/dam/dms/co01/m/sikadur_-32_primer.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	0,3
Responsable	Profesional SST, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 1 ayudante de obra
Recursos	SikaDur32, herramienta menor
Cuenta control #	1.3.1 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO
ID #	1.3.1.7 Pasos escal gato varilla corr #6 mas ancla
Descripción	Elementos metálicos elaborados en varilla de 6/8" corrugada, ancladas a las paredes de las cámaras en concreto y su función es la descenso o ascenso del personal para la inspección interior de la mencionada cámara y tubería.
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,5
Responsable	Profesional SST, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 1 ayudante de obra
Recursos	Paso metálico en acero N.6, herramienta menor, epoxico, planta eléctrica, taladro rotoperforador
Cuenta control #	1.3.1 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO
ID #	1.3.1.8 Suministro e Instalación tapa de seguridad más marco D=0.68 m
Descripción	Los requisitos técnicos de esta especificación aplican únicamente para las tapas metálicas de seguridad de diámetro libre igual a 600 mm y cuya instalación se realiza mediante anclaje a la estructura de concreto de las cajas y cámaras. https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/ET_AS_ME08_05_Tapa_metálica_de_seguridad_para_cajas_y_camaras_subterranas_de_acueducto_y_alcantarillado.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	0,3
Responsable	Profesional SST, Inspector de obra, 2 ayudantes de obra
Recursos	Tapa de seguridad D=1,68 m, herramienta menor, Minicargador

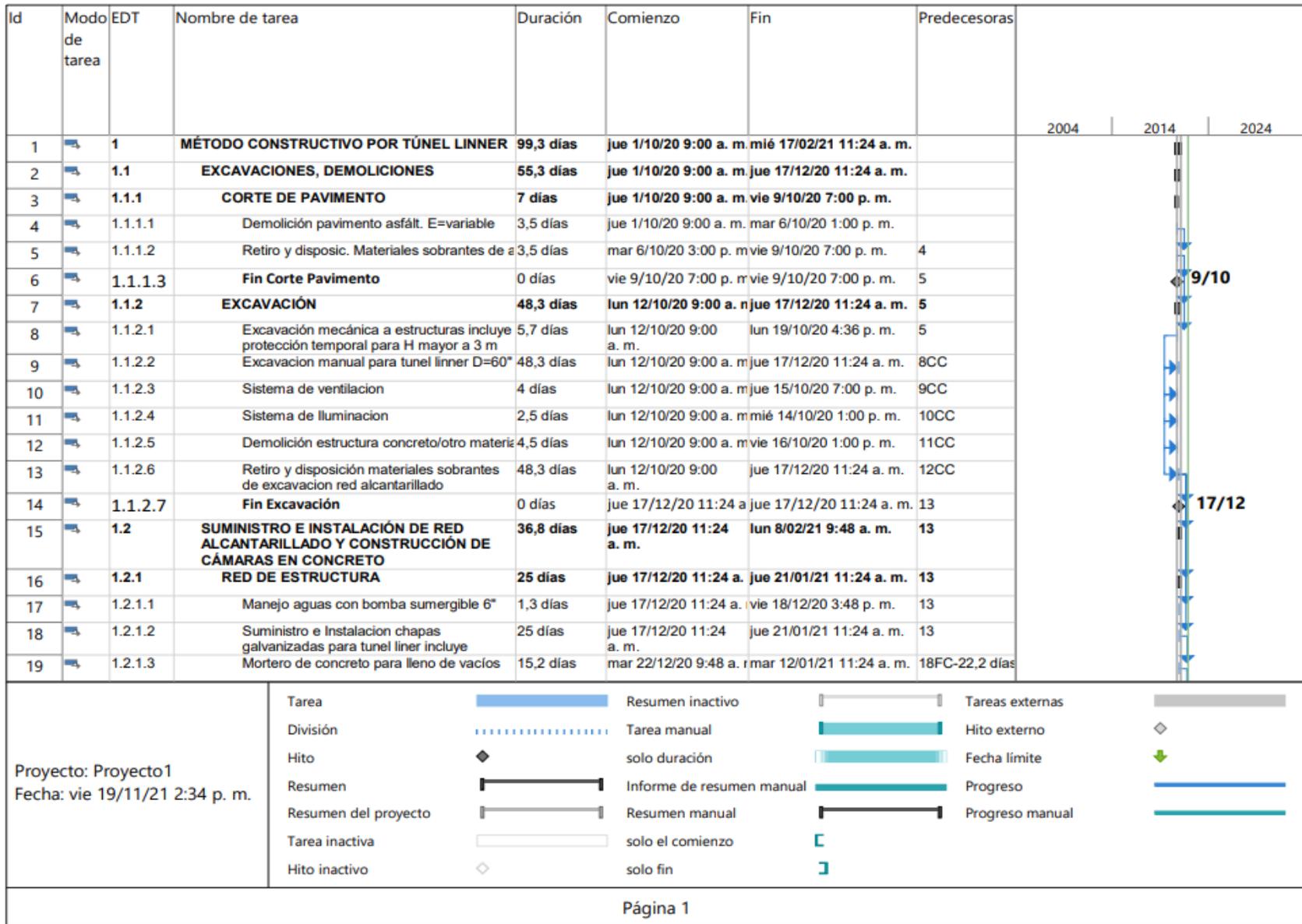
Cuenta control #	1.3.2 CAMARAS CONECTORAS GRP	
ID #	1.3.2.1 Cámara GRP para Alcantarillado, DN1=1000 X DN2=1000, Chimenea DN=1200. Incluye Acople GRP DN=1200 PN1, 2 Acople GRP DN=1000 PN1, Tubería GRP DN=1200 y Escalera.	
Descripción	Estas cámaras permiten el paso del flujo proveniente de una tubería de ingreso hacia la tubería de salida, representando una solución económica teniendo en cuenta su facilidad de instalación, garantizando una completa hermeticidad del sistema. https://www.coveco.com.co/producto/camaras-de-inspeccion/	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)	1,5	
Responsable	Comision de topografía, Profesional SST, Ing residente de obra, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 2 ayudantes de obra	
Recursos	Camara GRP incluye chimenea, escaleras y pasos, Retroexcavadora de orugas, herramienta menor	
Cuenta control #	1.3.2 CAMARAS CONECTORAS GRP	
ID #	1.3.2.2 Suministro e instalación de viga perimetral 30x30 cm cámara GRP L=2.3 m0	
Descripción	Una vez terminada la demarcación de los ejes se procede a realizar la zanja para la viga perimetral. Se recomienda que el fondo de la zanja quede nivelada y compactado. https://ficem.org/2020/02FEB/28/definitivo_Manual_Vivienda_Concreto_FINAL_2.pdf	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)	1,5	
Responsable	Comision de topografía, Profesional SST, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 2 ayudantes de obra	
Recursos	Ladrillo, mortero de pega, herramienta menor	
Cuenta control #	1.3.2 CAMARAS CONECTORAS GRP	
ID #	1.3.2.3 Placa circular cubierta pozo e=0.25m	
Descripción	Elemento profabricado en concreto, de forma circular que se instala sobre la chimenea de la camaras de inspeccion. Para este proyecto las dimensiones de este elemento es Diametro de 1,7m y espesor promedio de 0.25m.	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)	0,3	
Responsable	Profesional SST, Inspector de obra, 1 oficial de obra, 1 ayudante de obra	
Recursos	Placa prefabricada D=1,70 m, herramienta menor, Retrocargador	
Cuenta control #	1.3.2 CAMARAS CONECTORAS GRP	
ID #	1.3.2.4 Suministro e instalación tapa D=0,68m	
Descripción	Elemento prefabricado en concreto o polipropileno de diametro 0.68m de forma cilindrica, que se localiza en la seccion prefabricada de placa circular en concreto, su funcion es permitir el acceso para ingreso o salida del personal a la camara de concreto.	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)	0,8	
Responsable	Profesional SST, Inspector de obra, 2 ayudantes de obra	
Recursos	Tapa de seguridad D=1,68 m, herramienta menor, Minicargador	
Cuenta control #	1.4.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA	
ID #	1.4.1.1 Suministro e instalación de geomalla	
Descripción	Las láminas de geosintéticos deben empezar a ser extendidas desde la parte superior de los taludes. En ocasiones el largo de la lámina no es suficiente para llegar a la base. En esos casos la geomalla superior debe cubrir el inicio de la segunda a modo de solapa. Se recomienda que la solapa tenga un metro de ancho. También se debe seguir esa recomendación en caso que se necesiten varios rollos de geomallas para cubrir todo el ancho del talud. La diferencia es que las solapas verticales pueden variar de ancho entre los 10 y los 20 centímetros. Para fijar las láminas de geosintéticos en su lugar se pueden usar grapas. Cuando se instalan esos elementos en las solapas debe aumentarse su densidad a 2 grapas por cada metro cuadrado. https://igc.com.pe/procedimiento-instalar-geomallas-en-taludes/	
Entregable	Ninguno	
Duración (Días)	0,5	
Responsable	Profesional SST, Inspector de obra, 2 ayudantes de obra	
Recursos	Geomalla Biaxial, grapas, herramienta menor	

Cuenta control #	1.4.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA
ID #	1.4.1.2 Sub Base Granular (Espec IDU-ET-2011)
Descripción	Es un material granular grueso compuesto por triturados, arena y material grueso. es altamente resistente a la erosión y permite el libre drenaje con el fin de prevenir el bombeo. Se somete a menores presiones que la Base Granular https://www.cemexcolombia.com/productos/agregados/sub-base-granular
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	10,0
Responsable	Comision de topografía, laboratorista de suelos, Ingeniero Residente, Inspector de obra, Profesional SST, Ingeniero ambiental, 1 oficial de obra, 2 ayudantes
Recursos	Minicargador, agua, subbase granular, herramienta menor, apisonador tipo canguro, cilindro vibrocompactador
Cuenta control #	1.4.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA
ID #	1.4.1.3 Construcción sardineles concreto 0.35 m
Descripción	Los sardineles son esos pequeños muros que se ven al lado de las veredas o en medio de las pistas de la ciudad. Las empresas de construcción y demolición de sardineles sugieren que se use una mezcla homogénea de agregados, agua y cemento. El agregado deberá tener 25 mm de tamaño como máximo. Además, es recomendable hacer la combinación en una mezcladora, para garantizar su uniformidad. https://igc.com.pe/recomendaciones-tecnicas-construccion-de-sardineles/
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	4,0
Responsable	Comision topografía, Supervisor de obra, profesional SST, 1 oficial, 1 ayudante
Recursos	1 minicargador, herramienta menor, Sardionel A-10, arena, agua, cemento
Cuenta control #	1.4.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA
ID #	1.4.1.4 Base Granular (Espec IDU-ET-2011)
Descripción	Es un material granular grueso compuesto por triturados, arena y material fino. posee alta resistencia a la deformación lo que hace que soporte presiones altas. https://www.cemexcolombia.com/productos/agregados/base-granular
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	10,0
Responsable	Comision de topografía, laboratorista de suelos, Ingeniero Residente, Inspector de obra, Profesional SST, Ing. Ambiental, 1 oficial de obra, 2 ayudantes
Recursos	Minicargador, agua, base granular, herramienta menor, apisonador tipo canguro, cilindro vibrocompactador
Cuenta control #	1.4.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA
ID #	1.4.1.5 Suministro e instalación de imprimación con emulsión asfáltica
Descripción	Este trabajo consiste en el suministro, transporte, calentamiento eventual y aplicación uniforme de un ligante bituminoso sobre una superficie granular, previamente a la colocación de una capa asfáltica o un tratamiento superficial. El riego también podrá aplicarse a bermas construidas en material granular y a sus taludes. El trabajo puede incluir el suministro y la aplicación de un agregado pétreo fino para la protección de la superficie imprimada. https://www.idu.gov.co/web/content/7618/500-13.pdf
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	0,3
Responsable	Inspector de obra, Profesional SST, 1 oficial de obra, 2 ayudantes
Recursos	Herramienta menor, Emulsion asfaltica de rompimiento rapido, carro esparcidor de asfalto, soplador de aire electrico
Cuenta control #	1.4.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA
ID #	1.4.1.6 Construcción pavimento flexible en MD-12 primera capa
Descripción	La construcción de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando las supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. https://blog.vise.com.mx/qué-es-un-pavimento-flexible-y-cuándo-conviene-usarlo#:~:text=La%20construcción%20de%20pavimentos%20flexibles,restante%20a%20la%20ca%20pa%20inferior.
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,1
Responsable	Comision de topografía, laboratorista de suelos, Ingeniero Residente, Inspector de obra, Profesional SST, 2 oficiales de obra, 4 ayudantes de obra, Ing. Ambiental
Recursos	Terminadora de asfalto, Rodillo compactador, equipo sellador de llanta lisa, apisonar tipo canguro, herramienta menor, equipo de control temperatura.

Cuenta control #	1.4.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA
ID #	1.4.1.7 Suministro e instalación de riego de liga con emulsión asfáltica
Descripción	El material es transportado en un camión que cuenta con un equipo especializado para el almacenamiento y riego uniforme del material, a medida que el vehículo que lo transporta va avanzando a una velocidad moderada pero constante. https://es.icomworld.cn/pid18039003/product-detail.htm
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	0,3
Responsable	Inspector de obra, Profesional SST, 1 oficial de obra, 2 ayudantes, Ing Ambiental
Recursos	Herramienta menor, Emulsion asfaltica de rompimiento rapido, carro esparcidor de asfalto, soplador de aire electrico
Cuenta control #	1.4.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA
ID #	1.4.1.8 Construcción pavimento flexible en MD-12 segunda capa
Descripción	La construcción de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando las supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. https://blog.vise.com.mx/qué-es-un-pavimento-flexible-y-cuándo-conviene-usarlo#:~:text=La%20construcción%20de%20pavimentos%20flexibles,restante%20a%20la%20capa%20inferior.
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	1,1
Responsable	Comision de topografia, laboratorista de suelos, Ingeniero Residente, Inspector de obra, Profesional SST, 2 oficiales de obra, 4 ayudantes de obra, Ing. Ambiental
Recursos	Terminadora de asfalto, Rodillo compactador, equipo sellador de llanta lisa, apisonaror tipo canguro, herramienta menor, equipo de control temperatura.
Cuenta control #	1.4.2 CIERRE
ID #	1.4.2.1 Pruebas de hermeticidad
Descripción	La prueba más básica de hermeticidad consiste poner un poco de solución de agua mezclada con líquido jabonoso sobre el exterior de una conexión gasífera en uso, esto revelará un escape de gas en caso de existir, debido a que se forman burbujas de aire cuando existe una fuga. El problema con este procedimiento es que solamente funciona en tuberías a las que tienes acceso y que toma tiempo y esfuerzo. https://sepacomoinstalar.com.ar/prueba-de-hermeticidad-como-realizarla-de-forma-correcta/
Entregable	Ninguno
Duración (Días)	2,8
Responsable	Inspector de Obra, Residente de obra, tecnico especialista hidraulico, 1 ayudante, 1 oficial, profesional SST
Recursos	Balones D=1,0m, compresor de aire, manómetros y equipo menor
Cuenta control #	1.4.2 CIERRE
ID #	1.4.2.2 Recibo por niveles topográficos
Descripción	Informe detallado de cotas de nivel de redes y capa de mezcla asfáltica para el respectivo recibo a satisfcción de la entidad
Entregable	Planos récord, Solicitud de permisos y licencias, Acta de recibo final y liquidación de obra
Duración (Días)	1,8
Responsable	Comision de topografia
Recursos	Equipo de topografia, herramienta menor

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N. Diagrama de Gantt método constructivo Túnel Linner



Id	Modo de tarea	EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	
								2004 2014 2024
20		1.2.1.4	Suministro e Instalacion Tuberías GRP alcantarillado Dn1.10 y 1.20m, incluye	7 días	mar 12/01/21 11:24 a. m.	jue 21/01/21 11:24 a. m.	19	
21		1.2.1.5	Fin Red de Estructura	0 días	jue 21/01/21 11:24 a. m.	jue 21/01/21 11:24 a. m.	20	
22		1.2.2	CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	11,8 días	jue 21/01/21 11:24 a. m.	lun 8/02/21 9:48 a. m.	20	
23		1.2.2.1	Instalación Concreto Baja Resistencia 7-17	0,8 días	jue 21/01/21 11:24 a. m.	vie 22/01/21 9:48 a. m.	20FC-1,8 días	
24		1.2.2.2	Varillas Corrugadas tipo A 60	11,8 días	jue 21/01/21 11:24 a. m.	lun 8/02/21 9:48 a. m.	23FC-8 días	
25		1.2.2.3	Corte y doblado de refuerzo	4 días	jue 21/01/21 11:24 a. m.	mié 27/01/21 11:24 a. m.	23FC-8 días	
26		1.2.2.4	Instalación Concreto cajas o camaras concreto 4000 psi	2,3 días	lun 1/02/21 9:48 a. m.	mié 3/02/21 12:12 p. m.	24FC-5 días	
27		1.2.2.5	Suministro-instalación Sello polivinilo 0.15m	1,1 días	lun 1/02/21 12:12 p. m.	mar 2/02/21 1:00 p. m.	26FC-2 días	
28		1.2.2.6	Sikadur 32 Primer o similar	1,1 días	lun 1/02/21 12:12 p. m.	mar 2/02/21 1:00 p. m.	26FC-2 días	
29		1.2.2.7	Pasos escal gato varilla corr #6 mas ancla	4 días	lun 1/02/21 3:48 p. m.	vie 5/02/21 3:48 p. m.	26FC-1,8 días	
30		1.2.2.8	Instalación placa cubierta circular E=0.25m D1.70m cilíndrico	1,2 días	mié 3/02/21 12:12 p. m.	jue 4/02/21 3:48 p. m.	26	
31		1.2.2.9	Suministro e Instalación tapa de seguridad más marco D=0.68 m	1,2 días	jue 4/02/21 3:48 p. m.	vie 5/02/21 5:24 p. m.	30	
32		1.2.2.10	Fin Camaras conectoras de Concreto	0 días	jue 4/02/21 3:48 p. m.	jue 4/02/21 3:48 p. m.	30	
33		1.3	ESTRUCTURA DE VÍA	7,5 días	vie 5/02/21 5:24 p. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.	31	
34		1.3.1	CONSTRUCCIÓN DE VÍA	5,3 días	vie 5/02/21 5:24 p. m.	lun 15/02/21 9:48 a. m.	31	
35		1.3.1.1	Suministro e instalacion de geomalla	1,1 días	vie 5/02/21 5:24 p. m.	lun 8/02/21 6:12 p. m.	26	
36		1.3.1.2	Sub Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	3,2 días	vie 5/02/21 5:24 p. m.	mié 10/02/21 7:00 p. m.	35FC-3 días	
37		1.3.1.3	Construcción sardineles concreto 0.35 m	1,1 días	lun 8/02/21 5:24 p. m.	mar 9/02/21 6:12 p. m.	36CC+1 día	
38		1.3.1.4	Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	3,2 días	mar 9/02/21 6:12 p. m.	lun 15/02/21 9:48 a. m.	37	

Proyecto: Proyecto1 Fecha: vie 19/11/21 2:34 p. m.	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			

Id	Modo de tarea	EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	
39		1.3.1.5	Suministro e instalación de imprimación con emulsión asfáltica	1,1 días	lun 8/02/21 9:48 a. m.	mar 9/02/21 10:36 a. m.	38CC-1,8 días	2004 2014 2024
40		1.3.1.6	Construcción pavimento flexible en MD-12 primera capa	1,1 días	mar 9/02/21 10:36 a. m.	mié 10/02/21 11:24 a. m.	39	
41		1.3.1.7	Suministro e instalación de riego de liga con emulsión asfáltica	1,1 días	mar 9/02/21 10:36 a. m.	mié 10/02/21 11:24 a. m.	40CC	
42		1.3.1.8	Construcción pavimento flexible en MD-12 segunda capa	1,1 días	mar 9/02/21 10:36 a. m.	mié 10/02/21 11:24 a. m.	41CC	
43		1.3.1.9	Fin Construcción de Vía	0 días	mié 10/02/21 11:24 a. m.	mié 10/02/21 11:24 a. m.	42	10/02
44		1.3.2	CIERRE	5 días	mié 10/02/21 11:24 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.	42	17/02
45		1.3.2.1	Pruebas de hermeticidad	2,8 días	mié 10/02/21 11:24 a. m.	lun 15/02/21 9:48 a. m.	31	17/02
46		1.3.2.2	Recibo por niveles topográficos	2,2 días	lun 15/02/21 9:48 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.	45	17/02
47		1.3.2.2.1	Planos récord	2,2 días	lun 15/02/21 9:48 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.		
48		1.3.2.2.2	Solicitud de permisos y licencias	2,2 días	lun 15/02/21 9:48 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.		
49		1.3.2.2.3	Acta de recibo final y liquidación de obra	2,2 días	lun 15/02/21 9:48 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.		
50		1.3.2.2.4	Fin Cierre	0 días	mié 17/02/21 11:24 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.	49	17/02
51		1.3.3	Fin método constructivo Túnel Liner	0 días	mié 17/02/21 11:24 a. m.	mié 17/02/21 11:24 a. m.	49	17/02

Proyecto: Proyecto1 Fecha: vie 19/11/21 2:34 p. m.	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			

Página 3

Fuente: Elaboración propia.

Anexo O. Diagrama de Gantt método constructivo Zanja

Id	Modo de tarea	EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	2020													
								S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O
1		1	1. MÉTODO CONSTRUCTIVO DE EXCAVACIÓN POR ZANJA ABIERTA	116,9 días	jue 1/10/20 9:00 a. m.	vie 12/03/21 6:12 p. m.															
2		1.1	EXCAVACIONES, DEMOLICIONES, TALAS Y OTRAS	30,1 días	jue 1/10/20 9:00 a. m.	jue 12/11/20 9:48 a. m.															
3		1.1.1	CORTE DE PAVIMENTO	3,3 días	jue 1/10/20 9:00 a. m.	mar 6/10/20 11:24 a. m.															
4		1.1.1.1	Demolición pavimento asfált. E=variable	1,1 días	jue 1/10/20 9:00 a. m.	vie 2/10/20 9:48 a. m.															
5		1.1.1.2	Rotura sardineles concreto	1,1 días	vie 2/10/20 9:48 a. m.	lun 5/10/20 10:36 a. m.	4														
6		1.1.1.3	Retiro y disposic. Materiales sobrantes	1,1 días	lun 5/10/20 10:36 a. m.	mar 6/10/20 11:24 a. m.	5														
7		1.1.1.4	Fin Corte de pavimento	0 días	mar 6/10/20 11:24 a. m.	mar 6/10/20 11:24 a. m.	6														
8		1.1.2	EXCAVACIÓN PARA RED	15,3 días	mar 6/10/20 11:24 a. m.	mar 27/10/20 3:48 p. m.															
9		1.1.2.1	Excavación a estructuras incluye protección temporal	3 días	mar 6/10/20 11:24 a. m.	vie 9/10/20 11:24 a. m.	4;7														
10		1.1.2.2	Excavación mecánica para tuberías incluye protección H mayor 3m	5,5 días	vie 9/10/20 11:24 a. m.	vie 16/10/20 5:24 p. m.	9														
11		1.1.2.3	Demolición estructura concreto/otro material	1,1 días	vie 16/10/20 5:24 p. m.	lun 19/10/20 6:12 p. m.	10														
12		1.1.2.4	Demolición estructura concreto disco	1,1 días	lun 19/10/20 6:12 p. m.	mar 20/10/20 7:00 p. m.	11														
13		1.1.2.5	Retiro y disposición de material sobrante	3,5 días	mié 21/10/20 9:00 a. m.	lun 26/10/20 1:00 p. m.	12														
14		1.1.2.6	Rotura anden concreto/granito hasta	1,1 días	lun 26/10/20 3:00 p. m.	mar 27/10/20 3:48 p. m.	13														
15		1.1.2.7	Fin Excavación para red	0 días	mar 27/10/20 3:48 p. m.	mar 27/10/20 3:48 p. m.	14														
16		1.1.3	TRATAMIENTO INTEGRAL DE ÁRBOLES	11,5 días	mar 27/10/20 3:48 p. m.	jue 12/11/20 9:48 a. m.															

Proyecto: Proyecto zanja abierta Fecha: vie 19/11/21 1:16 a. m.	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			

Anexo P. Presupuesto método constructivo Túnel Linner

CC	Paquete de trabajo	ID Actividad	Costo por actividad	Reserva contingencia por actividad	Total Costos actividad	Costo por paquete de trabajo	Costo por cuenta de Control	Reserva contingencia por CC	Total costos por cuenta de control	Línea base de costos	Reserva de gestión	PRESUPUESTO
1.1	1.1.1 CORTE DE PAVIMENTO	1.1.1.1 Demolición pavimento asfált. E=variable	\$ 230.363	46.073	276.435	560.157	26.911.210	5.382.242	32.293.453	567.030.708	56.703.071	623.733.779
		1.1.1.2 Retiro y disposic. Materiales sobrantes de asfalto	\$ 236.435	47.287	283.722							
	1.1.2 EXCAVACIÓN	1.1.2.1 Excavación mecánica a estructuras incluye protección temporal para H mayor a 3 m	\$ 1.894.732	378.946	2.273.678	26.351.054						
		1.1.2.2 Excavación manual para tunel linner D=60"	\$ 5.084.466	1.016.893	6.101.359							
		1.1.2.3 Sistema de ventilacion	\$ 4.000.000	800.000	4.800.000							
		1.1.2.4 Sistema de Iluminacion	\$ 8.000.000	1.600.000	9.600.000							
		1.1.2.5 Demolición estructura concreto/otro material	\$ 44.956	8.991	53.947							
		1.1.2.6 Retiro y disposición materiales sobrantes de excavacion red alcantarillado	\$ 2.935.057	587.011	3.522.069							
1.2	1.2.1 RED DE ESTRUCTURA	1.2.1.1 Manejo aguas con bomba sumergible 6"	\$ 5.838.210	1.167.642	7.005.852	418.586.075	418.586.075	83.717.215	502.303.290	567.030.708	56.703.071	623.733.779
		1.2.1.2 Suministro e Instalacion chapas galvanizadas para tunel linner incluye pernos	\$ 234.240.000	46.848.000	281.088.000							
		1.2.1.3 Mortero de concreto para lleno de vacios										
		1.2.1.4 Suministro e Instalacion Tuberías GRP alcantarillado Dn1.10 y 1.20m, incluye acoples	\$ 108.743.519	21.748.704	130.492.223							
	1.2.2 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	1.2.2.1 Instalación Concreto Baja Resistencia 7-17.5MPa	\$ 979.053	195.811	1.174.863	37.311.139						
		1.2.2.2 Varillas Corrugadas tipo A 60	\$ 12.698.000	2.539.600	15.237.600							
		1.2.2.3 Corte y doblado de refuerzo	\$ 150.000	30.000	180.000							
		1.2.2.4 Instalación Concreto cajas o camaras concreto 4000 psi	\$ 13.256.167	2.651.233	15.907.400							
		1.2.2.5 Suministro-instalación Sello polivinilo 0.15m ancho	\$ 585.000	117.000	702.000							
		1.2.2.6 Sikadur 32 Primer o similar	\$ 630.000	126.000	756.000							
		1.2.2.7 Pasos escal gato varilla corr #6 mas ancla	\$ 1.020.000	204.000	1.224.000							
		1.2.2.8 Instalación placa cubierta circular E=0.25m D1.70m cilíndrico	\$ 80.000	16.000	96.000							
		1.2.2.9 Suministro e Instalación tapa de seguridad más marco D=0.68 m	\$ 1.694.396	338.879	2.033.275							
1.3	1.3.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA	1.3.1.1 Suministro e instalación de geomalla	\$ 744.576	148.915	893.491	13.828.305	27.028.305	5.405.661	32.433.966	567.030.708	56.703.071	623.733.779
		1.3.1.2 Sub Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	\$ 1.038.720	207.744	1.246.464							
		1.3.1.3 Construcción sardineles concreto 0.35 m	\$ 1.200.000	240.000	1.440.000							
		1.3.1.4 Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	\$ 1.200.000	240.000	1.440.000							
		1.3.1.5 Suministro e instalación de imprimación con emulsión asfáltica	\$ 80.000	16.000	96.000							
		1.3.1.6 Construcción pavimento flexible en MD-12 primera capa	\$ 3.582.946	716.589	4.299.535							
		1.3.1.7 Suministro e instalación de riego de liga con emulsión asfáltica	\$ 94.400	18.880	113.280							
		1.3.1.8 Construcción pavimento flexible en MD-12 segunda capa	\$ 3.582.946	716.589	4.299.535							
	1.3.2 CIERRE	1.3.2.1 Pruebas de hermeticidad	\$ 7.000.000	1.400.000	8.400.000	13.200.000						
		1.3.2.2 Recibo por niveles topográficos	\$ 4.000.000	800.000	4.800.000							
		1.3.2.2.1 Planos récord	\$ -	-	-							
		1.3.2.2.2 Solicitud de cierre de permisos y licencias	\$ -	-	-							
		1.3.2.2.3 Acta de recibo final y liquidación de obra	\$ -	-	-							
TOTALES			\$ 424.863.941	\$ 84.972.788	\$ 509.836.729	\$ 509.836.729	\$ 472.525.590	\$ 94.505.118	\$ 567.030.708	\$ 567.030.708	\$ 56.703.071	\$ 623.733.779

Fuente: Elaboración propia.

Anexo Q. Presupuesto método constructivo Zanja

CC	Paquete de trabajo	ID Actividad	Costo por actividad	Reserva contingencia por actividad	Total Costos actividad	Costo por paquete de trabajo	Costo por cuenta de Control	Reserva contingencia por CC	Total costos por cuenta de control	Línea base de costos	Reserva de gestión	PRESUPUESTO
1.1	1.1.1 CORTE DE PAVIMENTO	1.1.1.1 Demolición pavimento asfalto. E=variable	1.228.555	245.711	1.474.266	4.275.926						
		1.1.1.2 Rotura sardineles concreto	402.900	80.580	483.480							
		1.1.1.3 Retiro y disposic. Materiales sobrantes de asfalto	1.931.817	386.363	2.318.180							
	1.1.2 EXCAVACIÓN PARA RED	1.1.2.1 Excavación a estructuras incluye protección temporal para H mayor a 3 m	1.894.732	378.946	2.273.678	23.341.700	40.924.760	8.184.952	49.109.711			
		1.1.2.2 Excavación mecanica para tuberías incluye protección H>3m	5.971.357	1.194.271	7.165.628							
		1.1.2.3 Demolición estructura concreto/otro material	44.956	8.991	53.947							
		1.1.2.4 Demolición estructura concreto disco diamantado	380.000	76.000	456.000							
		1.1.2.5 Retiro y disposición materiales sobrantes de excavacion red alcantarillado	9.392.772	1.878.554	11.271.326							
		1.1.2.6 Rotura andén concreto/granito hasta e=0.12m	1.767.600	353.520	2.121.120							
	1.1.3 TRATAMIENTO INTEGRAL DE ÁRBOLES	1.1.3.1 Tratamiento integral de árboles de 5 a 10 m	1.620.000	324.000	1.944.000	13.307.134						
		1.1.3.2 Tratamiento integral de árboles de 10 a 15 m	3.760.000	752.000	4.512.000							
		1.1.3.3 Tala de árboles menores a 5 m de altura	2.329.278	465.856	2.795.134							
		1.1.3.4 Bloqueo y trasplante de árboles de 10 a 15 m de altura	3.380.000	676.000	4.056.000							
1.2	1.2.1 CONSTRUCCIÓN DE SUMIDEROS	1.2.1.1 Suministro e Instalación Tubería GRP para alcantarillado pluvial PS18psi,D12" (300 m) a sumideros	6.343.999	1.268.800	7.612.799	21.220.799						
		1.2.1.2 Construcción de Sumideros alcantarillado Pluvial	10.620.000	2.124.000	12.744.000							
		1.2.1.3 Suministro e instalación de rejilla reciclada 0.80 X 0.45 m para sumidero y tráfico vehicular pesado	720.000	144.000	864.000							
	1.2.2 RED	1.2.2.1 Arena Peña para cimentación tubería	2.557.488	511.498	3.068.986	212.402.016	233.622.814	46.724.563	280.347.377	619.018.048	61.901.805	680.919.853
		1.2.2.2 Suministro e Instalación Tuberías alcantarillado 8" a 24" PVC, incluye acoples	6.343.999	1.268.800	7.612.799							
		1.2.2.3 Suministro e Instalación Tuberías GRP alcantarillado Dn1.10 y 1.20m, incluye acoples	108.743.519	21.748.704	130.492.223							
		1.2.2.4 Laminado de unión cámara GRP de 1200 mm con tubería de 8 a 20", según norma OTEK-TEE Dn 1200 x 600 PN 1 SN 2500	10.500.000	2.100.000	12.600.000							
		1.2.2.5 Manejo aguas con bomba sumergible 6"	7.568.050	1.513.610	9.081.660							
		1.2.2.6 Relleno en Recebo	41.288.624	8.257.725	49.546.348							
		1.2.2.7 Suministro e Instalación Sello polivinilo 0.15m ancho	979.053	195.811	1.174.864							
1.3	1.3.1 CÁMARAS CONECTORAS CONCRETO	1.3.1.1 Instalación Concreto Baja Resistencia 7-17.5MPa	12.609.800	2.521.960	15.131.760	37.073.299	130.269.878	26.053.976	156.323.854			
		1.3.1.2 Vanillas Corrugadas tipo A 60	120.000	24.000	144.000							
		1.3.1.3 Corte y doblado de refuerzo	13.256.167	2.651.233	15.907.400							
		1.3.1.4 Instalación Concreto cajas o cámaras concreto 4000 psi	585.000	117.000	702.000							
		1.3.1.5 Suministro-Instalación Sello polivinilo 0.15m ancho	630.000	126.000	756.000							
		1.3.1.6 Sikadur 32 Primer o similar	1.020.000	204.000	1.224.000							
		1.3.1.7 Pasos escal gato varilla corr #6 mas ancla	1.694.396	338.879	2.033.275							
		1.3.1.8 Suministro e Instalación tapa de seguridad más marco D=0,68 m	76.413.000	15.282.600	91.695.600							
1.3.2 CÁMARAS CONECTORAS GRP	1.3.2.1 Cámara GRP para Alcantarillado, DN1=1000 X DN2=1000, Chimenea DN=1200. Incluye Acople GRP DN=1200 PN1, 2 Acople GRP DN=1000 PN1, Tubería GRP DN=1200 y Escalera.	306.000	61.200	367.200	93.196.579							
	1.3.2.2 Suministro e instalación de viga perimetral 30x30 cm cámara GRP L=2.3 m0	744.816	148.963	893.779								
	1.3.2.3 Placa circular cubierta pozo e=0.25m	200.000	40.000	240.000								
	1.3.2.4 Suministro e instalación tapa D=0,68m	8.143.800	1.628.760	9.772.560								
1.4	1.4.1 CONSTRUCCIÓN DE VÍA	1.4.1.1 Suministro e instalación de geomalla	11.361.000	2.272.200	13.633.200	97.830.921	111.030.921	22.206.184	133.237.105			
		1.4.1.2 Sub Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	7.800.000	1.560.000	9.360.000							
		1.4.1.3 Construcción sardineles concreto 0.35 m	13.125.000	2.625.000	15.750.000							
		1.4.1.4 Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	875.000	175.000	1.050.000							
		1.4.1.5 Suministro e instalación de imprimación con emulsión asfáltica	19.594.234	3.918.847	23.513.081							
		1.4.1.6 Construcción pavimento flexible en MD-12 primera capa	1.032.500	206.500	1.239.000							
		1.4.1.7 Suministro e instalación de riego de liga con emulsión asfáltica	19.594.234	3.918.847	23.513.081							
		1.4.1.8 Construcción pavimento flexible en MD-12 segunda capa	7.000.000	1.400.000	8.400.000							
1.4.2 CIERRE	1.4.2.1 Pruebas de hermeticidad	4.000.000	800.000	4.800.000	13.200.000							
	1.4.2.2 Recibo por niveles topográficos	-	-	-								
	1.4.2.2.1 Planos récord	-	-	-								
	1.4.2.2.2 Solicitud de cierre de permisos y licencias	-	-	-								
1.4.2.2.3 Acta de recibo final y liquidación de obra	-	-	-									
TOTALES			\$ 429.873.644	\$ 85.974.729	\$ 515.848.373	\$ 515.848.373	\$ 515.848.373	\$ 103.169.675	\$ 619.018.048	\$ 619.018.048	\$ 61.901.805	\$ 680.919.853

Fuente: Elaboración propia.