



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia  
Vigilada Mineducación

**PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO**

**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**

**NELSON FERNEY ESTRADA GONZALEZ**

**CRISTIAN LEONARDO FORERO FAJARDO**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE OBRAS**

**BOGOTÁ D.C., NOVIEMBRE 2018**



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:

Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas



### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Introducción</b>	<b>9</b>
<b>1 Generalidades</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Línea de Investigación</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Planteamiento del Problema</b>	<b>10</b>
1.2.1 Antecedentes del problema	11
1.2.2 Pregunta de investigación	13
<b>1.3 Justificación</b>	<b>13</b>
<b>1.4 Objetivos</b>	<b>13</b>
1.4.1 Objetivo general	13
1.4.2 Objetivos específicos	13
<b>2 Marcos de referencia</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Marco conceptual</b>	<b>14</b>
2.1.1 Gestión del tiempo del proyecto	14
2.1.2 Método tradicional para rehabilitación de tuberías a zanja abierta	14
2.1.3 Características de la renovación a zanja abierta	15
2.1.4 Métodos sin zanja para rehabilitación de tuberías	15
2.1.5 Método SPR sin zanja	19
<b>2.2 Marco jurídico</b>	<b>22</b>
2.2.1 Marco jurídico nacional	22
2.2.2 Otras normas	23
<b>2.3 Marco geográfico</b>	<b>24</b>
<b>2.4 Marco demográfico</b>	<b>25</b>
2.4.1 Estructura poblacional	25
2.4.2 Densidad poblacional	26
2.4.3 Envejecimiento	27
<b>3 Metodología</b>	<b>28</b>
<b>3.1 Fases del trabajo de grado</b>	<b>28</b>
3.1.1 Fase 1: Recopilación de información	28
3.1.2 Fase 2: Análisis de la gestión del tiempo para la rehabilitación de tuberías mediante los dos métodos de estudio	28
3.1.3 Fase 3: Comparación de las dos metodologías	29
<b>3.2 Instrumentos o herramientas utilizadas</b>	<b>29</b>
<b>3.3 Alcances y limitaciones</b>	<b>29</b>
3.3.1 Alcance	29
3.3.2 Limitaciones	29
<b>4 Productos a entregar</b>	<b>31</b>
<b>5 Gestión del tiempo para la rehabilitación de tuberías mediante los métodos convencional (con zanja) y SPR (Sin zanja)</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Planificar la gestión del cronograma (6.1-PMBOK®)</b>	<b>32</b>

5.1.1	Entradas (6.1-Planificar la gestión del cronograma)	32
5.1.2	Herramientas y técnicas (6.1-Planificar la gestión del cronograma)	37
5.1.3	Salidas (6.1-Planificar la gestión del cronograma)	39
<b>5.2</b>	<b>Definir las actividades (6.2-PMBOK®)</b>	<b>41</b>
5.2.1	Entradas (6.2-Definir las actividades)	41
5.2.2	Herramientas y técnicas (6.2-Definir las actividades)	41
5.2.3	Salidas (6.2-Definir las actividades)	48
<b>5.3</b>	<b>Secuenciar las actividades (6.3-PMBOK®)</b>	<b>51</b>
5.3.1	Entradas (6.3-Secuenciar las actividades)	51
5.3.2	Herramientas y técnicas (6.3-Secuenciar las actividades)	52
5.3.3	Salidas (6.3-Secuenciar las actividades)	53
<b>5.4</b>	<b>Estimar los recursos de las actividades (6.4-PMBOK®)</b>	<b>53</b>
5.4.1	Entradas (6.4- Estimar los recursos de las actividades)	53
5.4.2	Herramientas y técnicas (6.4- Estimar los recursos de las actividades)	54
5.4.3	Salidas (6.4- Estimar los recursos de las actividades)	57
<b>5.5</b>	<b>Estimar los duración de las actividades (6.5-PMBOK®)</b>	<b>58</b>
5.5.1	Entradas (6.5- Estimar la duración de las actividades)	59
5.5.2	Herramientas y técnicas (6.5- Estimar la duración de las actividades)	59
5.5.3	Salidas (6.5- Estimar la duración de las actividades)	60
<b>5.6</b>	<b>Desarrollar el cronograma (6.6-PMBOK®)</b>	<b>60</b>
5.6.1	Entradas (6.6-Desarrollar el cronograma)	61
5.6.2	Herramientas y técnicas (6.6-Desarrollar el cronograma)	64
5.6.3	Salidas (6.6-Desarrollar el cronograma)	64
<b>6</b>	<b>Entrega de Resultados Esperados e Impactos</b>	<b>66</b>
<b>6.1</b>	<b>Aporte de los resultados a la gerencia de obras</b>	<b>66</b>
<b>6.2</b>	<b>¿Cómo se responde a la pregunta de investigación con los resultados?</b>	<b>66</b>
<b>6.3</b>	<b>Estrategias de Comunicación y Divulgación</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>Nuevas áreas de estudio</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>69</b>
<b>9</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>72</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. INVERSIÓN REHABILITACIÓN COLECTOR LA VIEJA.....	12
FIGURA 2. ESQUEMA PIPE BURSTING .....	15
FIGURA 3. PASO A PASO TECNOLOGÍA PIPE BURSTING .....	16
FIGURA 4. TECNOLOGÍA RELINING .....	17
FIGURA 5. ESQUEMA APLICACIÓN TECNOLOGÍA RELINING.....	17
FIGURA 6. TECNOLOGÍA CIPP .....	19
FIGURA 7. DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS SPR.....	21
FIGURA 8. UBICACIÓN ZONA DE ESTUDIO EN LOCALIDAD DE CHAPINERO .....	24
FIGURA 9. CRECIMIENTO POBLACIONAL LOCALIDAD DE CHAPINERO (2005-2030).....	25
FIGURA 10. ESTRUCTURA DE POBLACIÓN LOCALIDAD DE CHAPINERO (2018).....	26
FIGURA 11. ÍNDICE DE ENVEJECIMIENTO BOGOTÁ Y CHAPINERO (2016) .....	27
FIGURA 12. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA GESTIÓN DEL TIEMPO DEL PROYECTO A REALIZAR .....	30
FIGURA 13. PLANIFICAR LA GESTIÓN DEL CRONOGRAMA: ENTRADAS, HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS, Y SALIDAS .....	32
FIGURA 14. EDT TRAMO 10, MÉTODO CONVENCIONAL.....	40
FIGURA 15. EDT TRAMO 10, MÉTODO SPR .....	40
FIGURA 16. DEFINIR LAS ACTIVIDADES: ENTRADAS, HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS, Y SALIDAS .....	41
FIGURA 17. ESQUEMA UBICACIÓN DE DURMIENTES.....	45
FIGURA 18. ESQUEMA APUNTALAMIENTO.....	46
FIGURA 19. SECUENCIAR LAS ACTIVIDADES: ENTRADAS, HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS, Y SALIDAS .....	51
FIGURA 20. ESTIMAR LOS RECURSOS DE LAS ACTIVIDADES: ENTRADAS, HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS, Y SALIDAS.....	53
FIGURA 21. DESGLOSE DE RECURSOS DE CADA ACTIVIDAD – EDT, MÉTODO SPR .....	55
FIGURA 22. DESGLOSE DE RECURSOS DE CADA ACTIVIDAD – EDT, MÉTODO CONVENCIONAL .....	56
FIGURA 23. ESTIMAR LA DURACIÓN DE LAS ACTIVIDADES: ENTRADAS, HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS, Y SALIDAS.....	58
FIGURA 24. SECUENCIAR LAS ACTIVIDADES: ENTRADAS, HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS, Y SALIDAS .....	60
FIGURA 25. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEL PERSONAL .....	61

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. PRESUPUESTO INVERSIÓN EAAB 2016-2025, PARA REHABILITACIÓN REDES ALCANTARILLADO Y AGUAS LLUVIA.....	10
TABLA 2. RELACIÓN PRODUCTOS A ENTREGAR.....	31
TABLA 3. FACTORES AMBIENTALES INTERNOS DE LA EMPRESA, MÉTODO CONVENCIONAL.....	33
TABLA 4. FACTORES AMBIENTALES EXTERNOS DE LA EMPRESA, MÉTODO CONVENCIONAL.....	33
TABLA 5. FACTORES AMBIENTALES INTERNOS DE LA EMPRESA, MÉTODO SPR.....	34
TABLA 6. FACTORES AMBIENTALES EXTERNOS DE LA EMPRESA, MÉTODO SPR.....	34
TABLA 7. FACTORES AMBIENTALES INTERNOS DE LA EMPRESA, COMPARACIÓN.....	35
TABLA 8. FACTORES AMBIENTALES EXTERNOS DE LA EMPRESA, COMPARACIÓN.....	35
TABLA 9. ACTIVOS DE LOS PROCESOS DE LA ORGANIZACIÓN, MÉTODO CONVENCIONAL.....	36
TABLA 10. ACTIVOS DE LOS PROCESOS DE LA ORGANIZACIÓN, MÉTODO SPR.....	36
TABLA 11. ACTIVOS DE LOS PROCESOS DE LA ORGANIZACIÓN, COMPARACIÓN.....	36
TABLA 12. ENCUESTA LABORAL REHABILITACIÓN CON ZANJA (A).....	37
TABLA 13. ENCUESTA LABORAL REHABILITACIÓN CON ZANJA (B).....	37
TABLA 14. ENCUESTA LABORAL REHABILITACIÓN CON ZANJA (C).....	37
TABLA 15. ENCUESTA LABORAL REHABILITACIÓN CON ZANJA (D).....	37
TABLA 16. ENCUESTA LABORAL REHABILITACIÓN CON ZANJA (A).....	38
TABLA 17. ENCUESTA LABORAL REHABILITACIÓN CON ZANJA (B).....	38
TABLA 18. ENCUESTA LABORAL REHABILITACIÓN CON ZANJA (C).....	38
TABLA 19. ENCUESTA LABORAL REHABILITACIÓN CON ZANJA (D).....	38
TABLA 20. ATRIBUTOS ACTIVIDADES TRAMO 1 – MÉTODO CONVENCIONAL.....	49
TABLA 21. ATRIBUTOS ACTIVIDADES TRAMO 1 – MÉTODO SPR.....	50
TABLA 22. LISTA DE HITOS.....	51
TABLA 23. RECURSOS REQUERIDOS- MÉTODO CONVENCIONAL.....	57
TABLA 24. RECURSOS REQUERIDOS- MÉTODO SPR.....	58
TABLA 25. ASIGNACIÓN TOTAL DE RECURSOS- MÉTODO CONVENCIONAL.....	62
TABLA 26. ASIGNACIÓN TOTAL DE RECURSOS- MÉTODO SPR.....	63
TABLA 27. DURACIÓN REHABILITACIÓN X TRAMOS.....	69
TABLA 28. TRAMOS DE REHABILITACIÓN Y RENDIMIENTO.....	70

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. PROCESO DE INFLADO Y CURADO - TECNOLOGÍA CIPP PARA REDES DE ALCANTARILLADO.....	18
FOTOGRAFÍA 2. PROCESO REVERSADO DEL LINER IMPREGNADO .....	18
FOTOGRAFÍA 3. ENROLLADO HELICOIDAL SPR .....	20
FOTOGRAFÍA 4. VISTA DE PERFIL HELICOIDAL INSTALADO .....	21
FOTOGRAFÍA 5. SEÑALIZACIÓN VIAL TEMPORAL DE OBRA.....	42
FOTOGRAFÍA 6. EXCAVACIÓN MECÁNICA PARA REDES .....	43
FOTOGRAFÍA 7. CCTV PARA INSPECCIÓN DE TUBERÍAS.....	44
FOTOGRAFÍA 8. ESPIRALADO SPR.....	46

## **LISTADO DE ANEXOS**

ANEXO 1. ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO

ANEXO 2. PLAN PARA LA DIRECCIÓN DEL PROYECTO

ANEXO 3. DIAGRAMA DE RED DEL PROYECTO – MÉTODO CONVENCIONAL

ANEXO 4. PROGRAMACIÓN DE OBRA (PROJECT) – MÉTODO CONVENCIONAL

ANEXO 5. DIAGRAMA DE RED DEL PROYECTO – MÉTODO SPR

ANEXO 6. PROGRAMACIÓN DE OBRA (PROJECT) – MÉTODO SPR

ANEXO 7. CONTRATOS DE OBRA E INTERVENTORÍA “REHABILITACIÓN DE LOS COLECTORES LA VIEJA Y LAS DELICIAS”



## INTRODUCCIÓN

En Colombia un alto porcentaje de las redes de alcantarillado han superado su vida útil, presentando sobrecostos e inconvenientes en su operación y mantenimiento, debido al desgaste y daños acelerados, que se pueden generar por esta operación con caudales y cargas mayores a los estimados durante sus diseños. Las afectaciones asociadas a estos daños repercuten en todo su entorno, es decir, estructuras de pavimentos, viviendas, alamedas, parques y la sociedad en general, llegando a afectar también la prestación de los servicios de suministro y alcantarillado y/o generando el incumplimiento de normas legales y ambientales.

Así las cosas, surge la necesidad para las empresas prestadoras de servicios de acueducto y alcantarillado de reemplazar o rehabilitar las redes existentes, para permitir la prestación de sus servicios adecuadamente y satisfacer las necesidades de los usuarios, atendiendo las responsabilidades sociales y ambientales que conlleva su labor, minimizando o evitando los impactos negativos sobre la sociedad a beneficiar.

Existen numerosas técnicas para reemplazar o rehabilitar redes existentes, el método tradicional a zanja abierta y nuevas tecnologías sin zanja (Trenchless Technologies), entre las cuales se destacan la fractura de tubería (Pipe Bursting), reentubado (Relining), revestimiento deslizante continuo (Slip-Lining), tubería curada en sitio (CIPP) y el enrollado helicoidal (SPR<sup>1</sup>), el cual será objeto de estudio en el presente trabajo de grado.

Cada vez es más frecuente que las organizaciones, independientemente de su naturaleza, pretendan lograr sus objetivos mediante la realización de actividades a través de proyectos y no con esfuerzos aislados y dispersos. Por tanto, la administración de proyectos constituye una herramienta muy poderosa en los negocios ya que permite focalizar las acciones y estrategias de las organizaciones contribuyendo a la maximización de sus beneficios optimizando sus recursos [1].

La Gestión del Tiempo, de acuerdo con la guía del PMI®, incluye los procesos requeridos para gestionar la terminación del proyecto en el plazo estimado [2], lo que la convierte en una herramienta fundamental para la gerencia del proyecto, ya que su correcta implementación permite incrementar las posibilidades de éxito durante la ejecución del mismo.

El desarrollo del presente trabajo de grado se realiza con el propósito de contribuir al mejoramiento de las prácticas gerenciales, mediante la gestión del tiempo bajo lineamientos del PMI® en un caso de estudio específico, que corresponde a la implementación de la tecnología SPR en la rehabilitación de tuberías pluviales y sanitarias del colector La Vieja, en los tramos comprendidos entre la Carrera 1 con calle 71 hasta la Carrera 5 con calle 68 en Bogotá – Colombia, el cual se comparará con el método tradicional para reemplazo de tuberías a zanja abierta, en lo respectivo al **Capítulo 6. GESTIÓN DEL TIEMPO DEL PROYECTO** del PMBOK® 5ta edición, **numerales 6.1 al 6.6**; No se desarrollará el **numeral 6.7 Controlar el Cronograma**, por cuanto el proyecto objeto de este estudio se encuentra aún en fase de planeación.

---

<sup>1</sup> SPR o Sekisui Pipe Renewal por sus siglas en inglés (Renovación de Tuberías Sekisui).

## 1 GENERALIDADES

### 1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Gestión integral y dinámica de las organizaciones empresariales.

#### Tipo de investigación:

Descriptiva: caracterización del evento de estudio dentro de un contexto particular.

### 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia cuenta actualmente con aproximadamente 49,8 millones de habitantes, de los cuales cerca del 77% se encuentra ubicado en zonas urbanas [3]. El crecimiento de la población en las zonas urbanas del país ha incrementado la demanda de servicios públicos, situación que se evidencia en el desarrollo de sus redes de infraestructura. Por ejemplo, las tres principales ciudades del país (Bogotá, Medellín y Cali) suman en conjunto unos 13.000km de redes de acueducto y cerca de unos 14.000km de redes de alcantarillado [4].

El crecimiento poblacional del país y la concentración de la población en las principales ciudades, así como el envejecimiento y/o final de la vida útil de los sistemas de tuberías que conforman las redes de alcantarillado y abastecimiento en estas ciudades genera la necesidad de rehabilitar o acondicionar las redes existentes para poder suplir las necesidades para las cuales fueron construidas.

Se estima que para la ciudad de Bogotá, el 78% de las redes de alcantarillado sanitario y pluvial superan los 50 años de uso y en su mayoría requieren de rehabilitación [5]; por lo que la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) dispuso un porcentaje importante de sus recursos en el plan decenal de inversión 2016-2025 solo para rehabilitación de redes de alcantarillado y aguas lluvias, como se muestra en Tabla 1; esto sin incluir los costos de rehabilitación de redes asociadas a ejes viales que sufrirán cambios en este mismo periodo, por construcción de obras como el Metro o las nuevas troncales de Transmilenio.

Tabla 1. Presupuesto inversión EAAB 2016-2025, para rehabilitación redes alcantarillado y aguas lluvia

DESCRIPCIÓN	VALOR
Rehabilitación Colector La Vieja	\$ 40.429.798.502
Rehabilitación Colector Las Delicias	\$ 36.682.866.010
Renovación Colectores San Miguel y Los Toches Fase I	\$ 22.289.491.105
Renovación del sistema troncal de alcantarillado de la Subcuenca CAN	\$ 42.140.000.000
Rehabilitación integral del sistema troncal de alcantarillado para la Subcuenca Norte Callejas	\$ 22.391.285.496
Renovación del alcantarillado sanitario del Barrio Ciudad Jardín – Fase I	\$ 46.314.305.049
Renovación de redes locales de alcantarillado sanitario Ciudad Montes Fase I	\$ 51.135.884.445
Renovación del sistema troncal de alcantarillado combinado en la Subcuenca Arzobispo - Galerías	\$ 15.419.542.378

Fuente: Elaboración propia

Así las cosas, la implementación de tecnologías sin zanja se convierte en una opción particularmente atractiva para la rehabilitación de redes de alcantarillado y aguas lluvia, ya que estas minimizan el impacto sobre el tráfico urbano (peatonal y vehicular), a diferencia del método convencional a zanja abierta que implica el corte de las capas superficiales como andenes o vías, además de las excavaciones necesarias, con todos los impactos sobre el tráfico y el medio ambiente que estas actividades de obra conllevan.

De allí surge la oportunidad de realizar una comparación objetiva de la **Gestión del Tiempo** para el método de rehabilitación de redes convencional a zanja abierta vs. El método SPR sin zanja, para el caso específico de estudio del presente proyecto, que cómo ya mencionó estará a cargo de la EAAB, entidad que en la actualidad implementa varios métodos de reemplazo y rehabilitación de tuberías sin zanja sus obras de rehabilitación de redes hidrosanitarias en la ciudad de Bogotá, permitiendo mostrar a la ciudadanía en general la aplicación de estas nuevas tecnologías.

### 1.2.1 Antecedentes del problema

En Latinoamérica las tecnologías sin zanja se introdujeron inicialmente a principios de los años noventa; con el método de perforación horizontal dirigida y el microtuneleo, su uso y foco yace en el auge de introducir las telecomunicaciones entre las principales ciudades del continente. Sin embargo, a pesar de que estos métodos ya habían sido probados en países desarrollados como Estados Unidos y parte de Europa, existió en un principio cierto escepticismo por parte de las empresas contratistas para decidir realizar el cambio entre los métodos convencionales a zanja abierta con los que venían trabajando y estas nuevas tecnologías. Hoy en día la mayoría de los métodos de tecnología sin zanja ya han sido empleados en Suramérica, pero su uso ha sido a escalas diferentes y no en todos los países [6].

En la actualidad se desarrollan procesos de rehabilitación de tuberías bajo varios métodos o tecnologías sin zanja en Colombia, especialmente en las ciudades principales (Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla), estos métodos son conocidos y aplicados a nivel mundial desde los años 60, desarrollados en Japón y Australia, lugares donde son muy populares. En España la primera rehabilitación piloto de este tipo se realizó en el año 2006, en aquel caso utilizando un perfil de PVC en un tramo de 49 metros de longitud y 800mm de diámetro.

Las técnicas de rehabilitación o reemplazo de tuberías sin zanja surgen ante la necesidad de minimizar el impacto negativo de paralizar el tráfico urbano (peatonal y vehicular), por cuanto la intervención por el método convencional a zanja abierta implica necesariamente la ruptura de las capas de pavimento o andenes, así como la afectación de la cobertura vegetal y a otras redes existentes, e interrupción en la prestación de servicios públicos básicos, como acueducto o alcantarillado; las excavaciones representan un riesgo para los transeúntes, afectaciones al tráfico, emisión de material particulado que genera problemas de salud y, adicionalmente, dependiendo de las condiciones del suelo o la profundidad pueden requerir medidas de seguridad del tipo de entibados, tendido de taludes y demás.

En Colombia existe desde el año 2009 una asociación sin ánimo lucro de carácter técnico, especializada en tecnologías sin zanja e infraestructura subterránea, vinculada a la **Sociedad Internacional de Tecnología Sin Zanja** (International Society for Trenchless Technology-ISTT), que fomenta y adelanta la capacitación, promoción, divulgación e investigación de estas tecnologías [7], la cual cuenta entre sus miembros platino La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y Empresas Públicas de Medellín -EPM, quienes han sido pioneros en la aplicación de estas tecnologías en la renovación de las redes hidrosanitarias a su cargo, siendo también las empresas públicas prestadoras de estos servicios en las dos ciudades más grandes del país.

El caso que se propone estudiar en el presente proyecto corresponde a la rehabilitación de un tramo del Colector de la Quebrada La Vieja en Bogotá, a cargo de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá-EAAB, con la implementación por primera vez en Colombia de la tecnología de enrollado helicoidal o SPR.



Figura 1. Inversión rehabilitación Colector La Vieja  
Fuente: Plan de Inversión decenal EAAB (2016-2025) [8]

La tecnología SPR para rehabilitar tuberías sin zanja es un método que utiliza materiales y equipos en labores de infraestructura subterránea, con la cual se repotencia tuberías existentes las cuales estructuralmente han cumplido su vida útil. Esta tecnología sin zanja, como ya mencionó, se considera nueva en Colombia, pero su implementación data desde los años 60 en países como Australia y Japón [6].

A pesar de ello, este tipo de métodos aún son muy desconocidos y escasamente utilizados en España. Sin embargo, en los últimos años la empresa matriz Sekisui SPR ha rehabilitado más de 400 kilómetros de canalizaciones en todo el mundo con estos sistemas, siendo hoy en día el líder mundial en rehabilitación con filiales nacionales en los cinco continentes. En el año 2014 inicia su implementación en España y Portugal, y con implantación en el mercado suramericano. Con el paso del tiempo tanto los perfiles disponibles como las máquinas de enrollamiento han ido evolucionando, hoy en día se dispone de perfiles en PVC y en polietileno, que pueden ser tanto machihembrados como soldados. Con esta combinación se puede ejecutar rehabilitaciones en tuberías desde 130mm hasta los 5,50 metros, tanto en horizontal como en pozos verticales, lo cual queda fuera del alcance de cualquier otro método de rehabilitación. [9]

Si bien la expresión Sin Zanja es relativamente nueva en nuestro medio, en Europa viene utilizándose desde mediados del siglo XIX, en esa época se utilizaron equipos de perforación rotatoria y de empuje equipados con taladros percutores y gatos hidráulicos para la construcción de redes de servicios públicos por debajo de ferrocarriles y carreteras de gran tamaño [10].

### **1.2.2 Pregunta de investigación**

¿La rehabilitación de tubería sin zanja es mejor que la rehabilitación de la tubería convencional evaluándolas desde la gestión del tiempo de la guía PMBOK®, 5ta edición?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El proyecto se enmarca en la comparación de la Gestión del Tiempo de la tecnología sin zanja SPR para rehabilitación de tuberías vs el método tradicional a zanja abierta, considerando que es necesario dar a conocer al público en general y especialmente a los profesionales y empresas encargadas de la prestación de servicios públicos la implementación de nuevas tecnologías que permitan la rehabilitación de tuberías minimizando los tiempos de ejecución y las afectaciones sobre la sociedad, vías y redes existentes, así como analizar las ventajas y debilidades de su implementación frente al método a zanja abierta usado normalmente.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 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 Bogotá-Colombia, implementando la tecnología SPR y el método tradicional de rehabilitación de tuberías a zanja abierta.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Analizar los lapsos de ejecución entre las actividades de rehabilitación de tuberías mediante la tecnología sin zanja SPR en el colector de La Quebrada La Vieja en Bogotá vs. el método tradicional de rehabilitación de tuberías a zanja abierta.
- Comparar el uso de recursos (materiales, equipos y mano de obra) de las actividades de rehabilitación de tuberías mediante la tecnología sin zanja SPR en el colector de La Quebrada La Vieja en Bogotá-Colombia vs el método tradicional de rehabilitación de tuberías a zanja abierta.
- Mostrar las ventajas y desventajas con base en la comparación de la Gestión del Tiempo acorde a la guía del PMBOK® (quinta edición) de la tecnología sin zanja SPR vs el método convencional a zanja abierta, de las actividades de rehabilitación del colector de La Quebrada La Vieja en Bogotá-Colombia.

## 2 MARCOS DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO CONCEPTUAL

#### 2.1.1 Gestión del tiempo del proyecto

La Gestión del Tiempo del Proyecto de acuerdo con el *Capítulo 6* del PMBOK® (quinta edición), incluye los procesos requeridos para gestionar la terminación en plazo del proyecto y para su gestión, esta se divide en las siguientes etapas generales [2]:

- 1. Planificar la Gestión del Cronograma:** Proceso por medio del cual se establecen las políticas, los procedimientos y la documentación para planificar, desarrollar, gestionar, ejecutar y controlar el cronograma del proyecto.
- 2. Definir las Actividades:** Proceso de identificar y documentar las acciones específicas que se deben realizar para generar los entregables del proyecto.
- 3. Secuenciar las Actividades:** Proceso de identificar y documentar las relaciones existentes entre las actividades del proyecto.
- 4. Estimar los Recursos de las Actividades:** Proceso de estimar el tipo y las cantidades de materiales, recursos humanos, equipos o suministros requeridos para ejecutar cada una de las actividades.
- 5. Estimar la Duración de las Actividades:** Proceso de estimar la cantidad de períodos de trabajo necesarios para finalizar las actividades individuales con los recursos estimados.
- 6. Desarrollar el Cronograma:** Proceso de analizar secuencias de actividades, duraciones, requisitos de recursos y restricciones del cronograma para crear el modelo de programación del proyecto.
- 7. Controlar el Cronograma:** Proceso de monitorear el estado de las actividades del proyecto para actualizar el avance del mismo y gestionar los cambios a la línea base del cronograma a fin de cumplir con el plan.

Se aclara que en desarrollo del presente proyecto solo se usarán los numeral **1 a 6 del Capítulo 6 del PMBOK®**, pues el caso de estudio (Rehabilitación colector La Vieja) se encuentra aún en fase planeación, es decir, sin iniciar la ejecución de las obras respectivas, por lo que no se tienen los elementos para la realizar el numeral **7. Controlar el Cronograma**.

#### 2.1.2 Método tradicional para rehabilitación de tuberías a zanja abierta

El método convencional a zanja abierta consiste en excavar una zanja hasta descubrir la tubería a reemplazar, procediendo a retirarla, reacondicionando su lecho “atraque” con diferentes tipos de materiales (grava, arena, etc.). Posteriormente se procede a instalar una tubería nueva. Acto seguido se realiza el relleno lateral a la nueva estructura cumpliendo de tal manera con los requerimientos emanados por el Diseñador Geotécnico, llegando así hasta la cota de la subrasante para reconstruir desde allí la estructura de pavimento.

En esta metodología se utilizan máquinas tales como retroexcavadoras a fin de abrir las respectivas zanjas en donde previa información de redes preexistentes así lo permitan sin causar daños a las instalaciones aéreas o subterráneas, árboles, otras redes de servicios públicos, estructuras, edificaciones existentes, etc.

Cuando la excavación a realizar es en zonas críticas donde las máquinas no pueden ingresar o maniobrar debido a las características propias del sitio o donde existen otras redes subterráneas de alto grado de vulnerabilidad, se hace necesario realizar a mano los trabajos de excavación y se deben tomar todas las precauciones para evitar daños colaterales que perjudiquen el desarrollo normal de la obra, además de las precauciones de seguridad necesarias, como entibados, donde las condiciones del suelo o empujes laterales así lo ameriten.

### 2.1.3 Características de la renovación a zanja abierta

A continuación, se enuncian las principales características de este método convencional en la recuperación en las redes de alcantarillado con zanja [11].

- Alto costo por la apertura de zanjas (sobre todo cuando hay nivel freático) y rotura de pavimentos.
- Hay un impacto ambiental considerable por material particulado y por ruido.
- El impacto de movilidad es notorio por el cierre de vías y andenes.
- Posible intervención en otra línea de servicio como gas, teléfono y luz.
- Aumento de costos por disposición de materiales excavados.
- Pérdidas económicas al sector comercial de la zona por reducción en ventas, reducción de clientes y mercancía afectada.
- Acabados no estéticos por reparaciones.
- Costo adicional en materiales y operaciones de relleno.

### 2.1.4 Métodos sin zanja para rehabilitación de tuberías

A continuación, se describen brevemente algunos métodos de rehabilitación de tuberías mediante técnicas sin zanja, excepto el SPR que se mostrará más en detalle en el **numeral 2.1.5**.

#### Pipe Bursting



Figura 2. Esquema Pipe Bursting

Fuente: <https://www.centrasas.com/pipe-bursting.html>

Este método para reemplazo de tuberías de acueducto y alcantarillado sin excavación de zanjas, es un sistema de conexión de barras el cual consiste en que una unidad de empuje hidráulica introduce barras por dentro de la tubería existente, y coloca en su lugar la nueva tubería, fracturando la antigua. El sistema de conexión de barras, es un diseño patentado de barras de conexión rápida, donde no se requiere roscar las barras, es el sistema más rápido, de mayor productividad, seguridad y eficiencia, de la industria.



Figura 3. Paso a paso tecnología Pipe Bursting

Fuente: <https://www.epm.com.co/site/home/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/epm-modernizara-el-sistema-de-acueducto-y-alcantarillado-en-bello> [12]

### **Reentubado (Relining)**

Este método consiste básicamente en la introducción de una nueva canalización en el interior de la tubería existente, es llamada también técnica de entubado simple; esta técnica se aplica en caso en que el objetivo sea reparar o sustituir tuberías deterioradas o antiguas, sin requerir ampliación del diámetro de la misma.

Es aplicable en secciones circulares y ovoides, en diámetros desde 100 hasta 2.000mm y permite trabajos de hasta 1Km de longitud, la tubería nueva se introduce mediante empuje o tiro en la tubería a reemplazar; aunque el diámetro resultante después de su implementación es menor que el de la tubería en condiciones iniciales, la disminución en la capacidad hidráulica se compensa con el mejoramiento de la superficie, que tiene ahora tendrá una rugosidad más baja.

Es necesario preparar la tubería existente con el fin de disminuir la fricción, mediante un proceso conocido como lechada química, el cual sella juntas y grietas pequeñas. La lechada química se inyecta a presión y debe realizarse justo antes de la aplicación del proceso de lechada; su implementación requiere desviar el flujo del segmento de tubería a tratar, pues se requiere el curado de la lechada y una vez deslizada la nueva tubería se debe rellenar con material alcalino aislante el espacio resultante entre las dos tuberías [13].





Figura 4. Tecnología Relining

Fuente: <https://www.aristequi.info/por-que-la-tecnica-de-relining-es-el-metodo-no-dig-de-sustitucion-de-tuberias-mas-extendido/>

### **Revestimiento deslizante continuo (Slip-Lining)**

Este método consiste en introducir una tubería de polietileno de alta densidad (PEAD), se utiliza para la rehabilitación de tuberías de 100 a 1.700mm de diámetro; se requiere realizar excavaciones en los puntos de origen y destino, además de retirar todas las válvulas y uniones, excavando también estas zonas y dejando expuestas antes de iniciar la instalación del revestimiento [13].

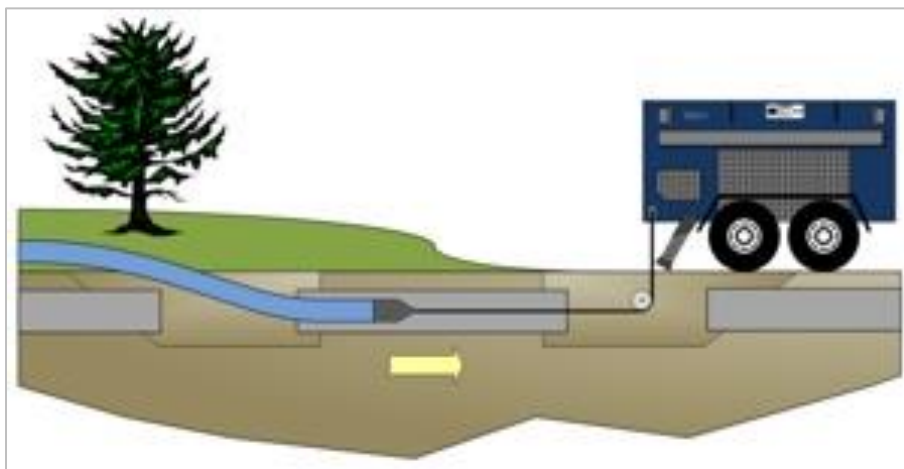


Figura 5. Esquema aplicación tecnología Relining

Fuente: <http://astgrupo.com/blog/sliplining-insercion-a-traccion/>

Las secciones de PEAD son soldadas en la superficie, lo que permite realizar rehabilitaciones de hasta 700m en una sola instalación, para este proceso se monta un cabezal de tracción y se impulsa el tubo de PEAD desde la excavación de entrada hasta la de salida, estabilizando el cabrestante en puntos fijos, como se muestra en la Figura 5.

### **CIPP (Cured In Place Pipe)**

Esta tecnología permite renovar y mejorar las redes de conducción de agua a través de la rehabilitación de tuberías defectuosas o deterioradas ya instaladas. Para ello se despliega a través de las acometidas una manga textil que posteriormente tras un proceso de curado a vapor o mediante luz ultravioleta se convertirá en la nueva tubería. La tubería resultante destaca además porque mejora la capacidad estructural de la anterior y gana en durabilidad, ya que los materiales con los que se fabrica tienen una vida útil superior a los 50 años.

Este revestimiento posee unos milímetros de espesor y aunque la pérdida sea despreciable, se compensa con la capacidad portante de la tubería gracias a la baja rugosidad del tubo reparado. El revestimiento es un tubo nuevo, continuo, sin juntas ni fisuras construido dentro de otro que habrá servido como molde. Está formado por una tubería flexible (llamada manga) que se invierte y se instala en el tubo a reparar. Quedará adherido y endurecido gracias al sistema de resinas epóxicas.



Fotografía 1. Proceso de inflado y curado - Tecnología CIPP para redes de alcantarillado  
Fuente: EPM con tecnología sin zanja interviene las redes del centro de Medellín [14]



Fotografía 2. Proceso reversado del liner impregnado  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=8Ggpz5oQmDM>

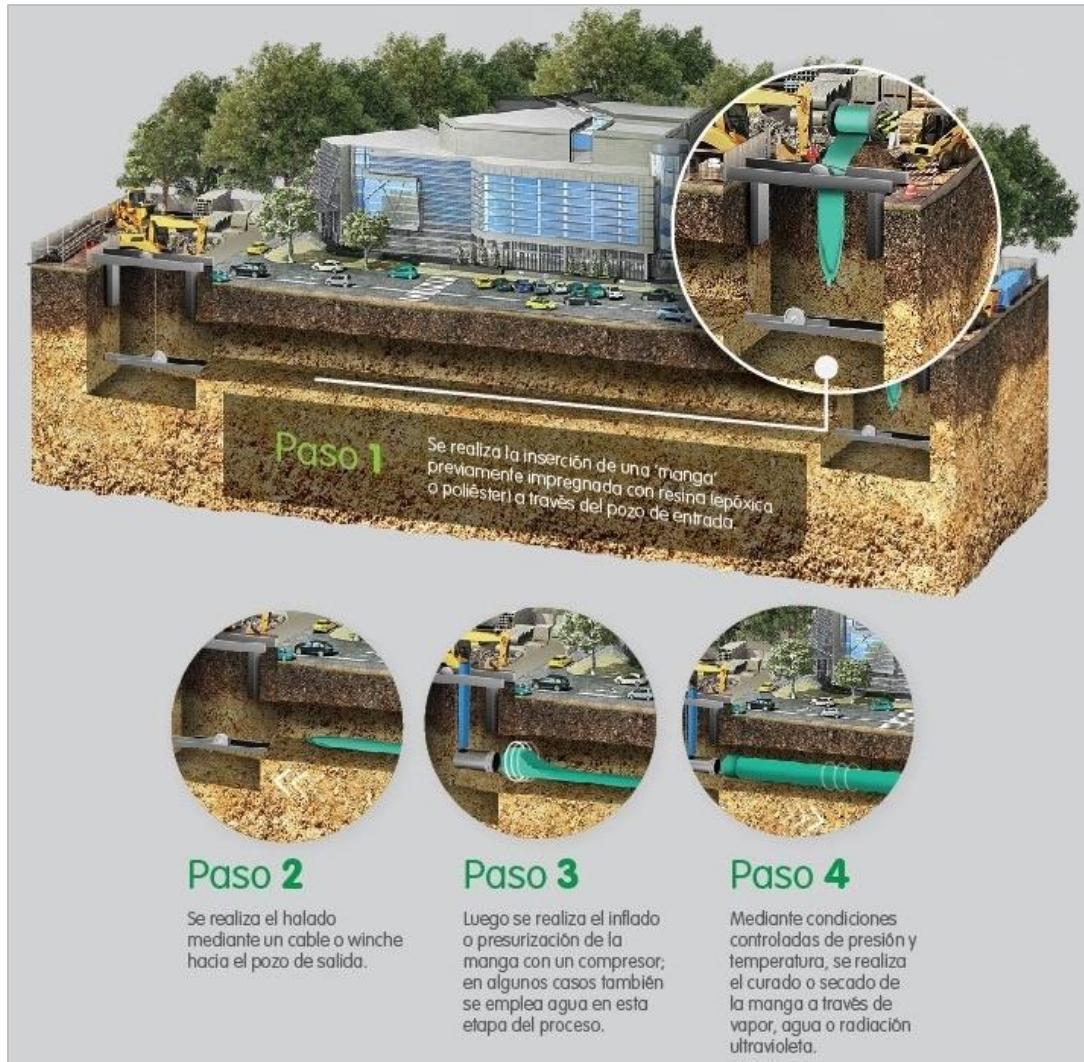


Figura 6. Tecnología CIPP

Fuente: <https://www.epm.com.co/site/home/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/epm-modernizara-el-sistema-de-acueducto-y-alcantarillado-en-bello> [12]

### 2.1.5 Método SPR sin zanja

La rehabilitación de tuberías de gran diámetro y funcionamiento por gravedad, mediante la tecnología Spiral Wound Lining PVC (SWL), que permite la formación de una nueva tubería de PVC conformada helicoidalmente en el interior del conducto a rehabilitar.

La rehabilitación mediante la técnica de entubado con tubos conformados helicoidalmente permite:

- Aumentar la capacidad estructural del conducto para soportar las cargas y las sobrecargas.
- Mejorar su capacidad hidráulica con un coeficiente de rugosidad más reducido.
- Elimina definitivamente la penetración de raíces y las infiltraciones y evitando los movimientos diferenciales de terreno.
- Ejecutar la rehabilitación con agua discurriendo por la canalización a rehabilitar (caudal de aguas bajas), por lo tanto, no es necesario realizar by-pass.

- No se requiere obra civil: en la rehabilitación de colectores de saneamiento las porciones de la máquina bobinadora se introducen en el pozo por la tapa de 600 mm de diámetro y la máquina se instala la máquina en su interior.
- El procedimiento carece de procesos que obliguen a su finalización, como, por ejemplo, el curado de materiales, por lo que es posible paralizar los trabajos de rehabilitación si por causas ajenas fuera necesario (incidentes en la vía pública, lluvias importantes).
- Reducida ocupación de espacio en superficie, permitiendo mantener la actividad.

### **Procedimiento constructivo**

En primer lugar, se realiza la limpieza del conducto. A continuación, se inspecciona, registrando las dimensiones e incidencias y determinando el diámetro de la nueva canalización. Para la ejecución de los trabajos de bobinado, se instalan la canasta bobinadora y la bomba de inyección de resina en el extremo del conducto a rehabilitar. En superficie se sitúan la central hidráulica y la bobina con el perfil. El perfil de PVC se enhebra en la canasta bobinadora para comenzar la formación del tubo, sin uniones, en el interior del conducto a renovar. Finalizada la instalación del nuevo conducto, se sellan sus extremos. A continuación, mediante un grouting realizado con cemento de árido fino, se rellena el espacio anular generado entre el perfil de PVC y la tubería anfitriona. Durante esta fase, en superficie se sitúa la máquina dosificadora e inyección del grout y el acopio del cemento de árido fino.

La inyección del grout, al objeto de reducir las tensiones hidrostáticas que se producen, se realiza en varias fases dependiendo del diámetro y se llena el interior del conducto con agua (obturando en los pozos de registro) contrarrestando así, la presión exterior del grout durante su fraguado. En cuanto a la duración de los trabajos de rehabilitación, una vez realizada la limpieza e inspección de la tubería, la instalación del SPR en el interior de una tubería de 1.000 mm de diámetro y 80 m de longitud se realiza en una jornada, incluyendo el sellado de las cabezas. El relleno del trasdós de la nueva tubería con grout se inyecta en 3 jornadas.



Fotografía 3. Enrollado helicoidal SPR

Fuente: <http://www.conteches.com/products/pipe/steel-reinforced-polyethylene-srpe/spr-pe>



Fotografía 4. Vista de perfil helicoidal instalado

Fuente: <https://www.unitracc.de/aktuelles/news/sewer-rehabilitation-with-spr-technology-in-poland-project-wound-to-perfect-close-1>





	SPR™ EX	SPR™ RO	SPR™ PE	SPR™
Perfil				
Rango	150-800	800-1800	900-3000	800-5500
Forma	Circular	Circular	Circular	Circular & otras formas de diámetro
Material	PVC-U Cloruro de polivinilo	PVC- U Cloruro de polivinilo	HDPE Polietileno alta densd.	PVC-U Cloruro de polivinilo
Enrollado	Fijo	Máquina en movimto.	Fijo	Máquina en movimto.
Inyección de mortero	Sin mortero → se ajusta directamente al caño averiado	Sin mortero → se ajusta directamente al caño averiado	Mortero inyectado en espacio anular	Mortero inyectado en espacio entre liner y caño averiado
Refuerzo	Perfil	Perfil	Perfil con refuerzo de acero	Perfil & mortero especial

Figura 7. Descripción de los diferentes sistemas SPR

Fuente: <http://ictis.org/images/docs/2017-09-25-no-dig-medellin-memorias/javier-sotomayor.pdf>

## 2.2 MARCO JURÍDICO

Mediante el marco normativo se establecen las políticas, leyes decretos y normas relacionadas con el presente trabajo, en temas como materiales para tuberías de alcantarillado, especificaciones de construcción de redes de alcantarillado y normatividad ambiental.

### 2.2.1 Marco jurídico nacional

- **Constitución política de Colombia. Artículo 366:** es una finalidad social del Estado velar por el bienestar y el mejoramiento de la calidad de vida de la población y será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades básicas insatisfechas en saneamiento básico y agua potable.
- **Ley 99 de 1993:** por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA y se dictan otras disposiciones; **Artículo 1:** Principios Generales Ambientales. Los estudios de impacto ambiental serán el instrumento básico para la toma de decisiones respecto a la construcción de obras y actividades que afecten significativamente el medio ambiente natural o artificial.
- **Decreto 357 de 1997 del Departamento Administrativo del Medio Ambiente-DAMA:** Manejo, transporte y disposición final de escombros y material de construcción; **Artículo 2:** está prohibido arrojar, ocupar, descargar o almacenar escombros y materiales de construcción en áreas de espacio público. Los generadores y transportadores de escombros o materiales de construcción serán responsables de su manejo, transporte y disposición final de acuerdo con lo establecido en el presente decreto; **Parágrafo 1:** cuando se requiera la utilización temporal del espacio público para el almacenamiento de escombros o materiales de construcción o para la adecuación, transformación o mantenimiento de obras, se deberá delimitar, señalizar y acordonar el área en forma que se facilite el paso peatonal o el tránsito vehicular. Los materiales de construcción deberán estar apilados y totalmente cubiertos.
- **NTC 1747 Primera revisión:** Plásticos, tubos de polietileno (PE) especificados por su diámetro interior. Establece definiciones, requisitos generales de los materiales, clasificación de las tuberías, requisitos de acabado, dimensiones y tolerancias, adhesión, densidad, presión sostenida y de rotura, métodos de ensayo y rotulado.
- **RAS.** Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (Resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio).
- **RESOLUCIÓN 1166 de junio del 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial:** “Por la cual se expide el Reglamento Técnico que señala los requisitos técnicos que deben cumplir los tubos de acueducto, alcantarillado, los de uso sanitario y los de aguas lluvias y sus accesorios, que adquieran las personas prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado”.
- **ACUEDUCTO DE BOGOTÁ, NS-019:** Excavaciones en zanja.
- **ACUEDUCTO DE BOGOTÁ, NS-020:** Desmonte, limpieza, demoliciones y traslado de estructuras.
- **ACUEDUCTO DE BOGOTÁ, NS-035:** Requerimientos para cimentación de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado.
- **ACUEDUCTO DE BOGOTÁ, NS-038:** Manual de manejo de impacto ambiental urbano.
- **ACUEDUCTO DE BOGOTÁ, NS-058:** Aspectos técnicos para inspección de redes y estructuras de alcantarillado.
- **ACUEDUCTO DE BOGOTÁ, NS-058:** Aspectos técnicos para rehabilitación de redes y estructuras de alcantarillado.

- **ACUEDUCTO DE BOGOTÁ, NS-072:** Entibados y tablestacados.
- **ACUEDUCTO DE BOGOTÁ, NS-079:** Criterios para la instalación de tuberías sin zanja para acueducto.
- **ACUEDUCTO DE BOGOTÁ, NS-090:** Protección de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado.
- **ACUEDUCTO DE BOGOTÁ, NS-0151:** Sondeo y limpieza de redes y estructuras de alcantarillado.
- **ACUEDUCTO DE BOGOTÁ, EG-113:** Tunnel Liner.
- **EPM, especificación técnica 201:** Excavaciones.

### 2.2.2 Otras normas

Se mencionan algunas normas nacionales y sus equivalentes en la normatividad internacional para instalación de tuberías.

- **NTC 1602/ ASTM D2122:** Dimensiones y tolerancias.
- **NTC 664/ ASTM D4218:** Contenido de humo negro.
- **NTC 3257/ ASTM D1598- 1599:** Presión de rotura.
- **NTC 1747/ AWWA C901:** Prueba de presión sostenida a elevada temperatura.
- **NTC 3578/ ASTM D1598:** Prueba de presión en tiempo corto.
- **ASTM D2290:** Esfuerzo de anillos a tensión.
- **ASTM D2839-1505:** Densidad.
- **ASTM D1238:** Índice de fusión.
- **AWWA C906-90:** Prueba de flexión.
- **NTC 1602:** Agrietamiento ambiental.
- **NTC 718:** Acondicionamiento.
- **NTC 3358/ ASTM D2122:** Determinación de las dimensiones.
- **NTC 3579:** Determinación de la presión de rotura.
- **NTC 1087:** Determinación aplastamiento transversal.
- **NTC 2983:** Calidad de extrusión.
- **NTC 1087:** Determinación de la absorción de agua.
- **NTC 1125/ ASTM D2444:** Determinación de la resistencia al impacto.
- **NTC 1087:** Determinación de la resistencia química.
- **NTC 718/ ASTM D618:** Aislamiento eléctrico.
- **NTC 539/ NSF Standard 14:** Atoxicidad.
- **NTC 3578:** Prueba de presión en tiempo corto.
- **NTC 3257/ ASTM D2837:** Prueba hidrostática.
- **AWWA C200:** Prueba hidrostática de tubo recto.
- **ASTM A370:** Propiedades físicas.
- **ASTM A751:** Propiedades químicas.
- **ASTM A53/ ASTM A106/ ASTM A120:** Resistencia mecánica y composición química
- **AWWA:** C208 Accesorios.
- **AWWA C219/ AWWA C227-07:** Uniones (juntas)
- **AWWA C207/ ANSI B16,5/ AISI 410/ ASTM A193/ ASTM A194:** Uniones (bridas).

## 2.3 MARCO GEOGRÁFICO

Bogotá está dentro de la zona de confluencia intertropical, produciendo dos épocas de lluvia; en la primera mitad del año en los meses de marzo, abril y mayo y en la segunda en los meses de septiembre, octubre y noviembre; La orientación general de la ciudad está determinada porque sus carreras son orientadas de sur a norte y sus calles de oriente a occidente. Su altura media está en los 2.625 metros sobre el nivel del mar. [15]

La ciudad está dividida administrativamente en 20 localidades, entre las cuales se encuentra la localidad de Chapinero, que es la localidad número 2, está se encuentra ubicada al nororiente de la ciudad, va de la calle 39 a la calle 100, desde la Avenida Caracas hasta los Cerros Orientales; limita con las localidades de Santa Fe, al sur; Teusaquillo y Barrios Unidos, al occidente; Usaquén, al norte, y con los municipios de Choachí y La Calera, al oriente, y está compuesta de tres grandes sectores urbanos: Chapinero propiamente dicho, El Lago y Chicó. Junto a Santa Fe, La Candelaria y Teusaquillo es una de las localidades tradicionales de la ciudad. [16]

La localidad de Chapinero también abarca una importante zona rural en los cerros orientales. Sus cursos fluviales más destacados son el río Arzobispo, que desemboca en el San Francisco, antes de que éste vierta sus aguas al río Bogotá, y la quebrada El Virrey, que forma parte del sistema del río El Salitre, desembocando en el Bogotá. [16]

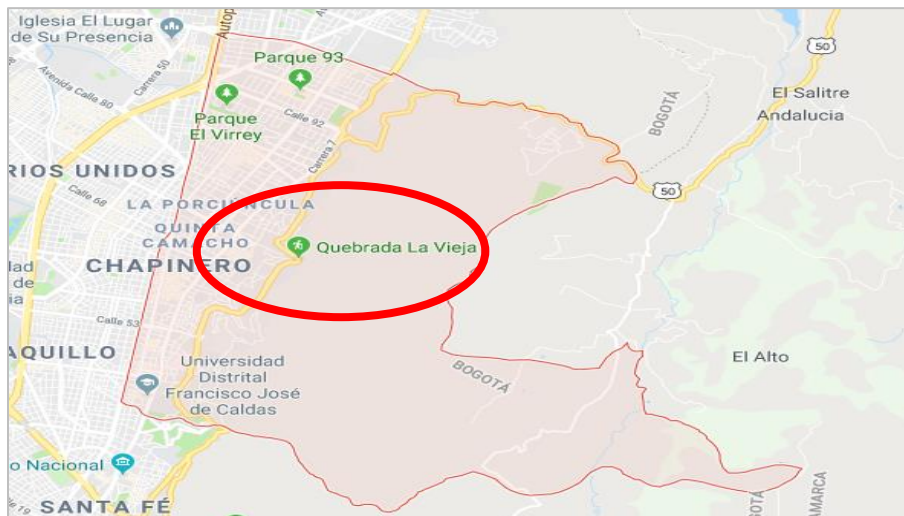


Figura 8. Ubicación zona de estudio en Localidad de Chapinero  
Fuente: Google Maps

El presente trabajo investigativo se desarrollará para el colector de la Quebrada La Vieja, respectivo a los tramos comprendidos en el barrio Los Rosales (Chapinero Alto) en Bogotá - Colombia, es decir, desde el tramo 1 MH 2753 ubicado en la Calle 71 con Carrera 2da hasta el tramo 18 MH 0458 ubicado en la Carrera 5ta con Calle 68.



## 2.4 MARCO DEMOGRÁFICO

Bogotá D.C. para el año 2018 cuenta con 8.181.047 habitantes, de los cuales 126.192 habitantes corresponden a la localidad de Chapinero, según datos de la Secretaria de Planeación de la ciudad<sup>2</sup>; en la Figura 9 se muestra el crecimiento poblacional de la ciudad desde el año 2005 y su proyección hasta el año 2030.

En la localidad de Chapinero predomina la clase alta con 45% de los predios de estrato 6, 11,7% estrato 5 y el 30,8% estrato 4. [17]

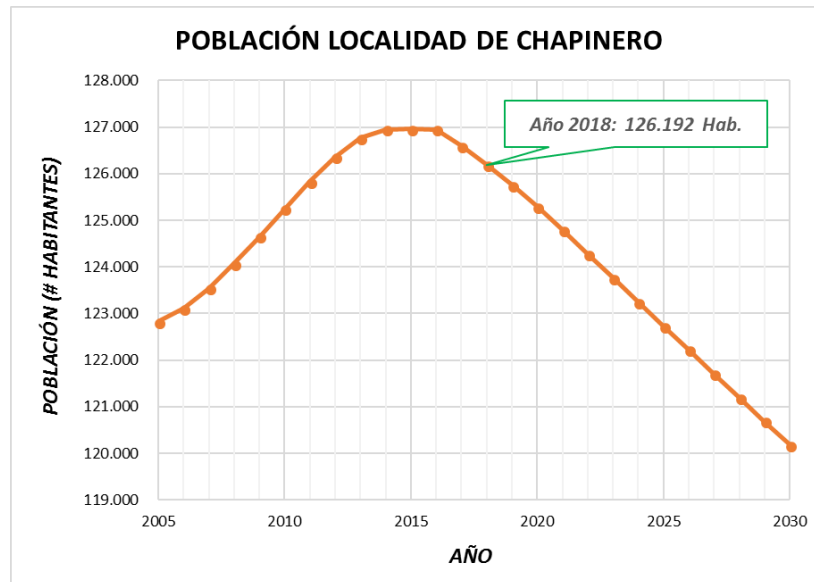


Figura 9. Crecimiento poblacional localidad de Chapinero (2005-2030)

Fuente: Elaboración propia, con base en datos de la Secretaria de Planeación Distrital [18]

### 2.4.1 Estructura poblacional

De acuerdo con la proyección poblacional de la Secretaría Distrital de Planeación a partir del censo poblacional del DANE para 2015, se evidencia que la población bogotana ha crecido de manera continua a una tasa anual cercana al 1,3 %, pasando de 7'571.345 habitantes en 2012 a 7'980.001 en 2016.

De acuerdo con estimaciones del Departamento de Economía y Asuntos Sociales de la ONU en su informe Revision of World Urbanization Prospects (2014), Bogotá tendrá una población cercana a los 12 millones de habitantes en el año 2030, convirtiéndose en una megaciudad [19].

El 51,6% de los habitantes de Bogotá son mujeres y 48,4 % hombres; en otras palabras, se estima que por cada 100 hombres hay 106 mujeres. El 30,6 % de la población se concentró en las localidades de Suba (15,7 %) y Kennedy (14,9 %), en contraste con las localidades de Sumapaz (0,1 %), La Candelaria (0,1 %), Los Mártires (0,1 %) y Santa Fe (0,1 %), las cuales presentan el menor número de habitantes [19].

<sup>2</sup> Proyecciones por localidades 2005 – 2030, Secretaria de Planeación, Alcaldía Mayor de Bogotá <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/ProyeccionPoblacion:Proyecciones%20de%20Poblaci%F3n>.

La pirámide poblacional para la Localidad de Chapinero, que representa el 1,5% de la población de la ciudad, según datos de la Secretaria de Planeación Distrital<sup>3</sup>, se presenta a continuación en la Figura 10.

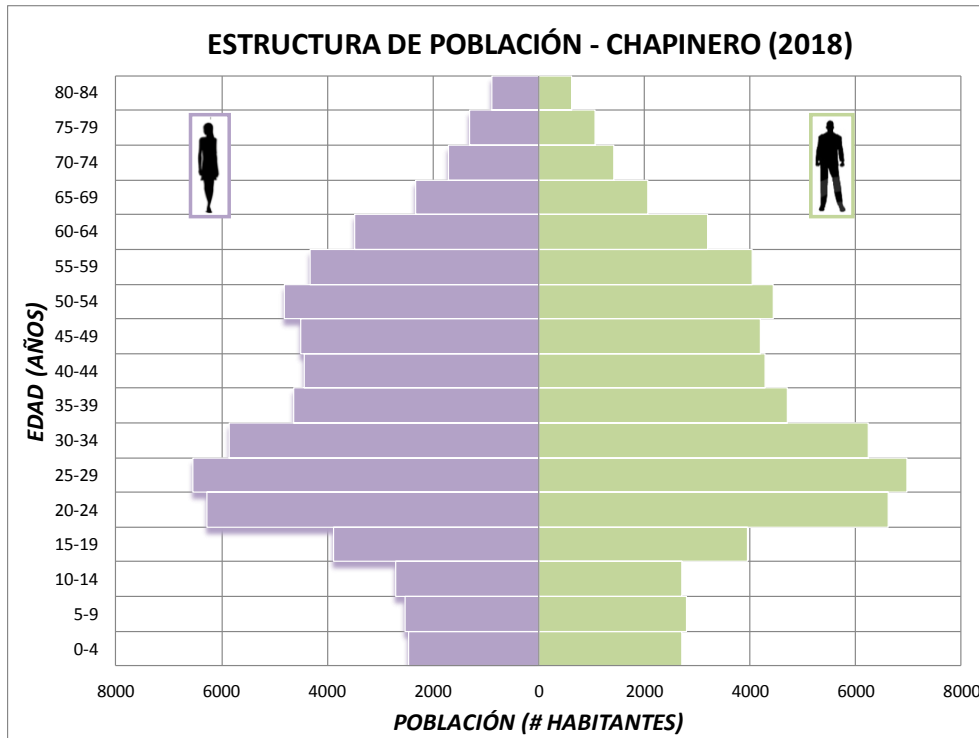


Figura 10. Estructura de población localidad de Chapinero (2018)

Fuente: Elaboración propia, con base en datos de la Secretaria de Planeación Distrital [18]

## 2.4.2 Densidad poblacional

La proporción de población que habita en Bogotá con relación a la superficie territorial, nos indica que para el año 2016 existían 4.876 personas por cada kilómetro cuadrado de la ciudad, siendo las localidades de Kennedy (30.768 Hab/Km<sup>2</sup>), Bosa (29.626 Hab/Km<sup>2</sup>), Rafael Uribe Uribe (25.572 Hab/Km<sup>2</sup>) las más densamente pobladas.

Por el contrario, la localidad de Sumapaz (9 Hab/Km<sup>2</sup>) es la localidad en donde se presenta la menor densidad, lo cual no es de extrañar dado a que esta localidad es principalmente rural, lo que explica la poca concentración de personas por kilómetro cuadrado; con respecto a la densidad poblacional en el área urbana, las localidades con mayor cantidad de habitantes por kilómetro cuadrado son Kennedy (30.768 Hab/Km<sup>2</sup>), Bosa (29.626 Hab/Km<sup>2</sup>) y Rafael Uribe con (26.275 Hab/Km<sup>2</sup>). Por el contrario, Teusaquillo (9.918 Hab/Km<sup>2</sup>) y Chapinero (9.647 Hab/Km<sup>2</sup>) poseen una menor densidad urbana [19].

<sup>3</sup> Proyecciones por localidades 2005 – 2030, Secretaria de Planeación, Alcaldía Mayor de Bogotá  
<http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/ProyeccionPoblacion:Proyecciones%20de%20Poblaci%F3n>.

### 2.4.3 Envejecimiento

El índice de envejecimiento de una población está dado por el porcentaje de personas mayores de 65 años sobre la población menor de 15 años y permite dimensionar la capacidad de renovación de la población para ajustar las ofertas sociales, en Bogotá fue del 34% durante 2016, lo cual indica que en promedio hay un adulto mayor de 65 años por cada 3 niños menores de 15 años. Las localidades que concentran la mayor proporción de población envejecida son Teusaquillo (101%) y Chapinero (93%), donde en promedio hay 1 adulto mayor por cada niño menor de 15 años. En contraste, con Usme (17%) y Ciudad Bolívar (18%) dentro de las cuales en promedio hay 1 adulto mayor por cada 6 niños menores de 15 años [19].

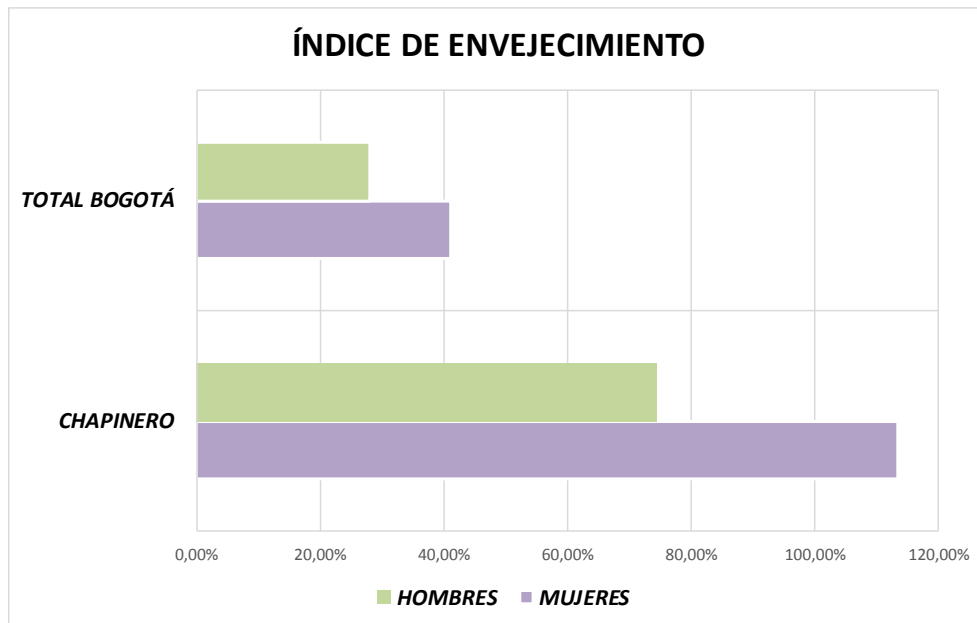


Figura 11. Índice de envejecimiento Bogotá y Chapinero (2016)  
Fuente: Adaptado de Informe de calidad de vida 2016, Bogotá como vamos [19]

### 3 METODOLOGÍA

Este trabajo se enmarca en el método de investigación descriptiva por cuanto consiste en conocer las situaciones predominantes a través de la descripción exacta de las actividades y procesos. Dicho método no se limita a la recolección de datos, sino a la correlación que existen entre los dos métodos de rehabilitación de tuberías descritos (convencional a zanja abierta vs SPR sin zanja). Así mismo, este método recoge los datos sobre la base de una hipótesis o teoría y resume la información de manera concreta a fin de analizar los resultados que contribuyan al conocimiento del lector.

#### 3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO

##### 3.1.1 Fase 1: Recopilación de información

La recopilación documental es un instrumento o técnica de investigación general cuya finalidad es obtener datos e información a partir de fuentes documentales con el fin de ser utilizados dentro de los límites de una investigación en concreto. Ninguna guía de recopilación puede suministrar una orientación detallada del material a recopilar indicando qué documentos son importantes y cuáles no lo son, ello depende de las habilidades del investigador, de su experiencia y capacidad para descubrir los indicios que permitan ubicarlos. En este aspecto, el autor depende exclusivamente de sus fuentes, que son el punto de partida y representan la experiencia que existe sobre el tema. La calidad de las mismas hará del trabajo especializado un éxito o un fracaso. Lo fundamental es tener siempre presente la finalidad de la investigación, pues ello permitirá juzgar lo que es apropiado o aprovechable en el tema específico que se esté investigando. Cuando se busca documentación se produce el proceso el cual se basa específicamente en que un documento remite a otro y así sucesivamente, con lo que se pueden encontrar pistas interesantes para el desarrollo de la investigación [20].

Dicha recopilación de información se hizo con respecto a los métodos sin zanja más utilizados para el reemplazo y/o rehabilitación de tuberías, que se muestra en el numeral **2.1.4**.

##### 3.1.2 Fase 2: Análisis de la gestión del tiempo para la rehabilitación de tuberías mediante los dos métodos de estudio

Se realizará el análisis de la Gestión del Tiempo de manera independiente para la rehabilitación de tuberías mediante los dos métodos de estudio, enmarcados en los lineamientos de la guía PMBOK® 5ta edición, que se relacionan a continuación [2]:

- 1. Planificar la gestión del cronograma:** Proceso por medio del cual se establecen las políticas, los procedimientos y la documentación para planificar, desarrollar, gestionar, ejecutar y controlar el cronograma del proyecto.
- 2. Definir las actividades:** Proceso de identificar y documentar las acciones específicas que se deben realizar para generar los entregables del proyecto.
- 3. Secuenciar las actividades:** Proceso de identificar y documentar las relaciones existentes entre las actividades del proyecto.
- 4. Estimar los recursos de las actividades:** Proceso de estimar el tipo y las cantidades de materiales, recursos humanos, equipos o suministros requeridos para ejecutar cada una de las actividades.

**5. Estimar la duración de las actividades:** Proceso de estimar la cantidad de períodos de trabajo necesarios para finalizar las actividades individuales con los recursos estimados.

**6. Desarrollar el cronograma:** Proceso de analizar secuencias de actividades, duraciones, requisitos de recursos y restricciones del cronograma para crear el modelo de programación del proyecto.

En la Figura 12 se presenta una descripción general de las actividades a desarrollar (**6.1 a 6.6 de la Guía PMBOK®, 5ta edición**).

### **3.1.3 Fase 3: Comparación de las dos metodologías**

Se realiza la comparación de los análisis realizados para las metodologías de rehabilitación de tuberías convencional (zanja abierta) y SPR (sin zanja), con base en el capítulo 6 de la Guía PMBOK® 5ta edición.

## **3.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS**

- 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.

## **3.3 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **3.3.1 Alcance**

El presente trabajo investigativo comprende única y exclusivamente la Gestión del Tiempo según la Guía del PMBOK® 5ta Edición, Capítulo 6, numerales 6.1 a 6.6, para el análisis de los 2 métodos de rehabilitación de tuberías (convencional vs SPR sin zanja), para el caso de estudio específico del Colector La Vieja, desde el tramo 1 MH 2753 ubicado en la Calle 71 con Carrera 2da hasta el tramo 18 MH 0458 ubicado en la Carrera 5ta con Calle 68, Barrio Los Rosales, Localidad Chapinero, Bogotá – Colombia.

### **3.3.2 Limitaciones**

El presente trabajo investigativo no incluye el numeral 6.7 “Controlar el Cronograma” de la Guía PMBOK® 5ta Edición, debido a que la rehabilitación de los tramos descritos en el Alcance, aún se encuentran en fase de Planeación y no de Ejecución. Así mismo, éste trabajo de Investigación no desarrollará ningún tema o aspecto Gerencial relacionado con costos o algún otro tema contentivo en la Guía PMBOK® 5ta Edición.

<b>6.1 Planificar la Gestión del Cronograma</b>	<b>6.2 Definir las Actividades</b>	<b>6.3 Secuenciar las Actividades</b>	<b>6.4 Estimar los Recursos de las Actividades</b>	<b>6.5 Estimar la Duración de las Actividades</b>	<b>6.6 Desarrollar el Cronograma</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Entradas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Plan para la dirección del proyecto</li> <li>.2 Acta de constitución del proyecto</li> <li>.3 Factores ambientales de la empresa</li> <li>.4 Activos de los procesos de la organización</li> </ul> </li> <li>.2 Herramientas y Técnicas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Juicio de expertos</li> <li>.2 Técnicas analíticas</li> <li>.3 Reuniones</li> </ul> </li> <li>.3 Salidas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Plan de gestión del cronograma</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Entradas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Plan de gestión del cronograma</li> <li>.2 Línea base del alcance</li> <li>.3 Factores ambientales de la empresa</li> <li>.4 Activos de los procesos de la organización</li> </ul> </li> <li>.2 Herramientas y Técnicas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Descomposición</li> <li>.2 Planificación gradual</li> <li>.3 Juicio de expertos</li> </ul> </li> <li>.3 Salidas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Lista de actividades</li> <li>.2 Atributos de las actividades</li> <li>.3 Lista de hitos</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Entradas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Plan de gestión del cronograma</li> <li>.2 Lista de actividades</li> <li>.3 Atributos de las actividades</li> <li>.4 Lista de hitos</li> <li>.5 Enunciado del alcance del proyecto</li> <li>.6 Factores ambientales de la empresa</li> <li>.7 Activos de los procesos de la organización</li> </ul> </li> <li>.2 Herramientas y Técnicas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Método de diagramación por precedencia (PDM)</li> <li>.2 Determinación de las dependencias</li> <li>.3 Adelantos y Retrasos</li> </ul> </li> <li>.3 Salidas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Diagramas de red del cronograma del proyecto</li> <li>.2 Actualizaciones a los documentos del proyecto</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Entradas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Plan de gestión del cronograma</li> <li>.2 Lista de actividades</li> <li>.3 Atributos de las actividades</li> <li>.4 Calendarios de recursos</li> <li>.5 Registro de riesgos</li> <li>.6 Estimación de costos de las actividades</li> <li>.7 Factores ambientales de la empresa</li> <li>.8 Activos de los procesos de la organización</li> </ul> </li> <li>.2 Herramientas y Técnicas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Juicio de expertos</li> <li>.2 Análisis de alternativas</li> <li>.3 Datos publicados de estimaciones</li> <li>.4 Estimación ascendente</li> <li>.5 Software de gestión de proyectos</li> </ul> </li> <li>.3 Salidas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Recursos requeridos para las actividades</li> <li>.2 Estructura de desglose de recursos</li> </ul> </li> <li>3. Actualizaciones a los documentos del proyecto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Entradas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Plan de gestión del cronograma</li> <li>.2 Lista de actividades</li> <li>.3 Atributos de las actividades</li> <li>.4 Recursos requeridos para las actividades</li> <li>.5 Calendarios de recursos</li> <li>.6 Enunciado del alcance del proyecto</li> <li>.7 Registro de riesgos</li> <li>.8 Estructura de desglose de recursos</li> <li>.9 Factores ambientales de la empresa</li> <li>.10 Activos de los procesos de la organización</li> </ul> </li> <li>.2 Herramientas y Técnicas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Juicio de expertos</li> <li>.2 Estimación análoga</li> <li>.3 Estimación paramétrica</li> <li>.4 Estimación por tres valores</li> <li>.5 Técnicas grupales de toma de decisiones</li> <li>.6 Análisis de reservas</li> </ul> </li> <li>.3 Salidas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Estimación de la duración de las actividades</li> <li>.2 Actualizaciones a los documentos del proyecto</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Entradas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Plan de gestión del cronograma</li> <li>.2 Lista de actividades</li> <li>.3 Atributos de las actividades</li> <li>.4 Diagramas de red del cronograma del proyecto</li> <li>.5 Recursos requeridos para las actividades</li> <li>.6 Calendarios de recursos</li> <li>.7 Estimación de la duración de las actividades</li> <li>.8 Enunciado del alcance del proyecto</li> <li>.9 Registro de riesgos</li> <li>.10 Asignaciones de personal al proyecto</li> <li>.11 Estructura de desglose de recursos</li> <li>.12 Factores ambientales de la empresa</li> <li>.13 Activos de los procesos de la organización</li> </ul> </li> <li>.2 Herramientas y Técnicas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Análisis de la red del cronograma</li> <li>.2 Método de la ruta crítica</li> <li>.3 Método de la cadena crítica</li> <li>.4 Técnicas de optimización de recursos</li> <li>.5 Técnicas de modelado</li> <li>.6 Adelantos y retrasos</li> <li>.7 Compresión del cronograma</li> <li>.8 Herramienta de programación</li> </ul> </li> <li>.3 Salidas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>.1 Línea base del cronograma</li> <li>.2 Cronograma del proyecto</li> <li>.3 Datos del cronograma</li> <li>.4 Calendarios del proyecto</li> <li>.5 Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto</li> <li>.6 Actualizaciones a los documentos del proyecto</li> </ul> </li> </ul>

Figura 12. Descripción general de la gestión del tiempo del proyecto a realizar  
 Fuente: Adaptado de la Guía PMBOK®, 5ª Edición [2]

#### 4 PRODUCTOS A ENTREGAR

En la Tabla 2 se presenta la relación de los productos a entregar y la sección del presente documento en la cual se desarrolla cada uno de estos productos.

*Tabla 2. Relación productos a entregar*

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Sección del documento</b>	<b>Fecha de Entrega</b>
<b>1</b>	Generalidades de los métodos sin zanja más utilizados para el reemplazo y/o rehabilitación de tuberías.	Numerales 2.1.4 y 2.1.5	Noviembre de 2018
<b>2</b>	Análisis de la Gestión del Tiempo para la Rehabilitación de tuberías mediante el método convencional a zanja abierta para el caso de estudio específico.	Capítulo 5	Noviembre de 2018
<b>3</b>	Análisis de la Gestión del Tiempo para la Rehabilitación de tuberías mediante el método SPR sin zanja para el caso de estudio específico.	Capítulo 5	Noviembre de 2018
<b>4</b>	Comparación de la Gestión del Tiempo para la Rehabilitación de tuberías de los dos métodos descritos.	Capítulo 5	Noviembre de 2018
<b>5</b>	Artículo en IEEE	<i>Documento Independiente</i>	Noviembre de 2018

*Fuente: Elaboración propia*

## 5 GESTIÓN DEL TIEMPO PARA LA REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS MEDIANTE LOS MÉTODOS CONVENCIONAL (CON ZANJA) Y SPR (SIN ZANJA)

Se presenta a continuación el desarrollo de cada uno de los numerales del **Capítulo 6. Gestión del Tiempo de la guía del PMBOK 5ta edición** para los dos métodos de rehabilitación de tubería objeto del presente estudio de manera independiente, con el fin de realizar una comparación objetiva entre estos dos métodos.

Así las cosas, de acuerdo con la metodología de la Guía PMBOK® 5ta Edición, se prepararon dos documentos de entrada generales para la Gestión del Tiempo del proyecto que son:

- Acta de constitución del proyecto, que se presenta en el ANEXO 1.
- Plan para la dirección del proyecto, que se presenta en el ANEXO 2.

### 5.1 PLANIFICAR LA GESTIÓN DEL CRONOGRAMA (6.1-**PMBOK®**)

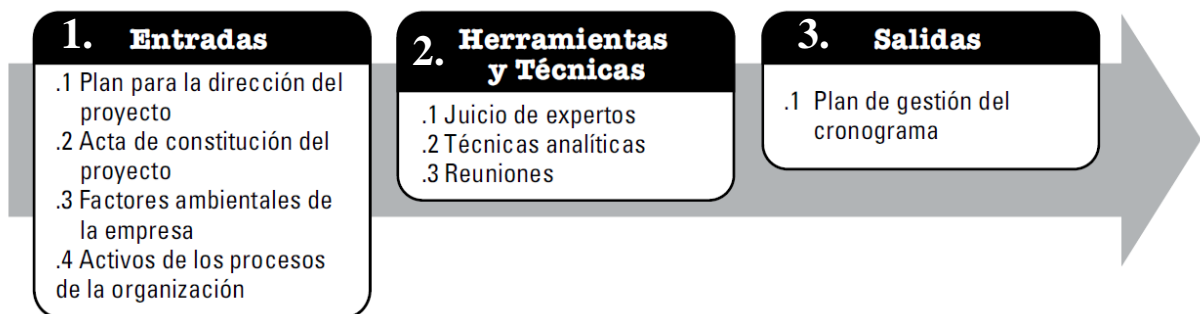


Figura 13. Planificar la gestión del cronograma: Entradas, herramientas y técnicas, y salidas  
Fuente: Adaptado de la Guía PMBOK®, 5ta Edición [2]

#### 5.1.1 Entradas (6.1-Planificar la gestión del cronograma)

##### 5.1.1.1 Plan para la dirección del proyecto

Se presenta en el ANEXO 2. PLAN PARA LA DIRECCIÓN DEL PROYECTO.

##### 5.1.1.2 Acta de constitución del proyecto

Se presenta en el ANEXO 1. ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO.



### 5.1.1.3 Factores ambientales de la empresa

#### Método convencional

Tabla 3. Factores ambientales internos de la empresa, Método Convencional

	DESCRIPCIÓN	CON ZANJA
Estructura Organizacional	Diseñada para procesos de producción industrial mas no para servicio.	APLICA
Tolerancia al riesgo	No existe tolerancia al riesgo por cuanto los manuales de procesos han sido perfeccionados durante más de 56 años direccionados a resultados por producción, pero no por servicio.	APLICA
Cultura Organizacional	Existe cierto grado de resistencia al cambio en procesos Gerenciales y Productivos dada la nueva tecnología y lo que implica la reformulación de los manuales de procesos.	NO APLICA
Sistemas de Información	Diseñados para control de inventarios al ser una empresa de producción industrial, no existen sistemas de control de proyectos en cuanto a avance de obras y control de contratos	APLICA
Recursos humanos	Al ser la tecnología con zanja la más antigua, existe conocimiento académicos y empíricos, por ello no es necesario contar con capacitaciones.	NO APLICA

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Factores ambientales externos de la empresa, Método Convencional

	DESCRIPCIÓN	CON ZANJA
Normas Gubernamentales	Las normas son netamente extranjeras en su origen, las cuales han sido adaptadas y homologadas a la normatividad Nacional, existiendo algún grado de desconocimiento en su aplicabilidad.	NO APLICA
Políticas Gubernamentales por elecciones	Al existir normas estatales que controlan las contrataciones en años electorales, se originan tiempos muertos en adjudicaciones que generan incertidumbre en los flujos de capacitaciones y compras internas a efectos de la ejecución del contrato.	APLICA
Clima Político	Al existir cambios a nivel Gubernamental por elecciones, se generan 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.	APLICA

Fuente: Elaboración propia

**Método SPR**

*Tabla 5. Factores ambientales internos de la empresa, Método SPR*

	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SIN ZANJA</b>
Estructura Organizacional	Diseñada para procesos de producción industrial mas no para servicio.	APLICA
Tolerancia al riesgo	No existe tolerancia al riesgo por cuanto los manuales de procesos han sido perfeccionados durante más de 56 años direccionados a resultados por producción, pero no por servicio.	APLICA
Cultura Organizacional	Existe cierto grado de resistencia al cambio en procesos Gerenciales y Productivos dada la nueva tecnología y lo que implica la reformulación de los manuales de procesos.	APLICA
Sistemas de Información	Diseñados para control de inventarios al ser una empresa de producción industrial, no existen sistemas de control de proyectos en cuanto a avance de obras y control de contratos	APLICA
Recursos humanos	Al ser el SPR una nueva tecnología en Colombia, no existe conocimiento ni académicos ni empíricos, por ello es indispensable contar con capacitaciones en el exterior a fin de dar cumplimiento a las normas establecidas para tal fin.	APLICA

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 6. Factores ambientales externos de la empresa, Método SPR*

	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SIN ZANJA</b>
Normas Gubernamentales	Las normas son netamente extranjeras en su origen, las cuales han sido adaptadas y homologadas a la normatividad Nacional, existiendo algún grado de desconocimiento en su aplicabilidad.	APLICA
Políticas Gubernamentales por elecciones	Al existir normas estatales que controlan las contrataciones en años electorales, se originan tiempos muertos en adjudicaciones que generan incertidumbre en los flujos de capacitaciones y compras internas a efectos de la ejecución del contrato.	APLICA
Clima Político	Al existir cambios a nivel Gubernamental por elecciones, se generan 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.	APLICA

*Fuente: Elaboración propia*

## Comparación

Tabla 7. Factores ambientales internos de la empresa, comparación

	DESCRIPCIÓN
Estructura Organizacional	Aplica para las dos tecnologías por cuanto la empresa está diseñada para procesos productivos, no de servicio.
Tolerancia al riesgo	Aplica para las dos tecnologías por cuanto los manuales de procesos han sido perfeccionados durante más de 56 años direccionados a resultados por producción, pero no por servicio.
Cultura Organizacional	Aplica solamente en la tecnología Sin Zanja por cuanto los procesos son muy específicos para tal tecnología, pero no aplica para la tecnología con zanja por cuanto la empresa no se dedica a ejecutar tal tecnología.
Sistemas de Información	Aplica para las dos tecnologías por cuanto los sistemas de información están firmemente diseñados para control de inventarios al ser una empresa de producción industrial, pero no existen sistemas de control de proyectos en cuanto a avance de obras y control de contratos.
Recursos humanos	Aplica para la tecnología Sin Zanja por ser nueva en Colombia, para ello se requiere capacitaciones en el exterior, no obstante, la tecnología Con Zanja por su amplia trayectoria en Colombia, no requiere capacitación alguna, es de ahí que no aplica este rubro para tal tecnología.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Factores ambientales externos de la empresa, comparación

	DESCRIPCIÓN
Normas Gubernamentales	Aplica para la tecnología Sin Zanja debido a que las normas son netamente extranjeras en su origen, las cuales han sido adaptadas y homologadas a la normatividad Nacional, existiendo algún grado de desconocimiento en su aplicabilidad.  Para la tecnología Con Zanja, las normas colombianas están plenamente establecidas.
Políticas Gubernamentales por elecciones	Aplica para las dos tecnologías al existir normas estatales que controlan las contrataciones en años electorales, se originan tiempos muertos en adjudicaciones que generan incertidumbre en los flujos de capacitaciones y compras internas para efectos de la ejecución del contrato.
Clima Político	Aplica para las dos tecnologías al existir cambios a nivel Gubernamental por elecciones, se generan a su vez cambios en la administración de las entidades estatales, lo que genera traumatismos en los enlaces de los procesos en ejecución, afectando directamente los procedimientos contractuales.

Fuente: Elaboración propia

#### 5.1.1.4 Activos de los procesos de la organización

##### Método convencional

Tabla 9. Activos de los procesos de la organización, Método Convencional

	DESCRIPCIÓN	CON ZANJA
Las herramientas de monitoreo e información que se van a utilizar	Se cuenta con formatos establecidos para tal fin tales como listas de chequeo, cronograma paso a paso de cada una de las actividades el cual se ARTICULA CON LA EDT, cronograma general elaborado el Microsoft Project adicional a la normativa establecida para las tareas de SPR.	NO APLICA
La información histórica	Se cuenta con el proceso tradicional que se desarrolló en Bogotá desde el año 1887 [21].	APLICA
Las herramientas de control del cronograma	Existen tablas de control de avance en %, listado de materiales, equipos y mano de obra tramo a tramo.	NO APLICA

Fuente: Elaboración propia

##### Método SPR

Tabla 10. Activos de los procesos de la organización, Método SPR

	DESCRIPCIÓN	SIN ZANJA
Las herramientas de monitoreo e información que se van a utilizar	Se cuenta con formatos establecidos para tal fin tales como listas de chequeo, cronograma paso a paso de cada una de las actividades el cual se ARTICULA CON LA EDT, cronograma general elaborado el Microsoft Project adicional a la normativa establecida para las tareas de SPR.	APLICA
La información histórica	Se cuenta con videos en la web perteneciente a rehabilitaciones SPR llevadas a cabo en Europa que dan cuenta de los procesos utilizados.	APLICA
Las herramientas de control del cronograma	Existen tablas de control de avance en %, listado de materiales, equipos y mano de obra tramo a tramo.	APLICA

Fuente: Elaboración propia

##### Comparación

Tabla 11. Activos de los procesos de la organización, comparación

	DESCRIPCIÓN
Las herramientas de monitoreo e información que se van a utilizar	Aplica para la tecnología Sin Zanja por cuanto ya están establecidos los formatos para tal fin tales como listas de chequeo, cronograma paso a paso de cada una de las actividades el cual se ARTICULA CON LA EDT, cronograma general elaborado el Microsoft Project adicional a la normativa establecida para las tareas de SPR. Para la tecnología Con Zanja no aplica por cuanto la empresa no tiene establecida esta tecnología como línea de negocio.
La información histórica	Aplica para las dos tecnologías dado que se cuenta con videos en la web perteneciente a rehabilitaciones con los dos métodos llevados a cabo en Europa y América Latina.
Las herramientas de control del cronograma	Aplica para la tecnología Sin Zanja debido a que existen tablas de control de avance en %, listado de materiales, equipos y mano de obra tramo a tramo. Para la tecnología Con Zanja no aplica por cuanto la empresa no tiene establecida esta tecnología como línea de negocio.

Fuente: Elaboración propia

## 5.1.2 Herramientas y técnicas (6.1-Planificar la gestión del cronograma)

### 5.1.2.1 Juicio de expertos

#### Encuesta Método convencional

Tabla 12. Encuesta laboral rehabilitación con Zanja (a)

Ítem	Preguntas	Excelente	Buena	Regular	Mala	Nunca	%
1.1	¿Cómo le parece la capacitación recibida por la compañía en rehabilitación Con Zanja?		4 (8,88%)	6 (13,33%)	5 (11,11%)		<b>33,32</b>
1.2	¿Cómo considera usted la tecnología Con Zanja para la rehabilitación de tuberías en el colector La Vieja en comparación con la tecnología SPR?			7 (15,56%)	8 (17,78%)		<b>33,34</b>
1.3	¿De qué calidad considera que es la tecnología Con Zanja en comparación al método SPR?			8 (17,78%)	7 (15,56%)		<b>33,34</b>
	<b>Total encuestados: 15</b>		<b>4 (8,88%)</b>	<b>21 (46,67%)</b>	<b>20 (44,45%)</b>		<b>100,00</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Encuesta laboral rehabilitación con Zanja (b)

Ítem	Preguntas	Respuesta
2.1	¿Recomendaría Usted la tecnología Con Zanja en otras compañías para rehabilitar tuberías? Y POR QUE	No. Porque se rompen las vías, genera congestión vehicular, es obsoleto, genera contaminación ambiental.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Encuesta laboral rehabilitación con Zanja (c)

Ítem	Preguntas	Optima	Buena	Regular	Mala	Muy Mala
3.1	¿Cuál es su evaluación con respecto al tiempo de ejecución la tecnología Con Zanja en comparación de una técnica de rehabilitación SPR?				15 (100,00%)	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Encuesta laboral rehabilitación con Zanja (d)

Ítem	Preguntas	Siempre	Casi siempre	Algunas veces	Casi nunca	Nunca
4.1	¿El departamento para el cual usted trabaja está completamente equipado para desarrollar la rehabilitación Con Zanja de forma correcta?			14 (23,33%)	1 (1,67%)	
4.2	¿Se identifica con la EDT programada de rehabilitación Con Zanja?		4 (6,67%)	10 (16,67%)	1 (1,67%)	
4.3	¿Son útiles las actividades programadas en la rehabilitación Con Zanja?		4 (6,67%)	11 (18,33%)		
4.4	¿Los tiempos programados en la rehabilitación Con Zanja son los adecuados respecto a las metas propuestas?				5 (8,33%)	10 (16,67%)
	<b>Total encuestados: 15</b>		<b>8 (13,34%)</b>	<b>35 (58,33%)</b>	<b>7 (11,67%)</b>	<b>10 (16,67%)</b>

Fuente: Elaboración propia

### Encuesta Método SPR

Tabla 16. Encuesta laboral rehabilitación con Zanja (a)

Ítem	Preguntas	Excelente	Buena	Regular	Mala	Nunca	%
1.1	¿Cómo le parece la capacitación recibida por la compañía en rehabilitación Con Zanja?	9 (20,00%)	6 (13,33%)				<b>33,33</b>
1.2	¿Cómo considera usted la tecnología Con Zanja para la rehabilitación de tuberías en el colector La Vieja en comparación con la tecnología SPR?	15 (33,33%)					<b>33,33</b>
1.3	¿De qué calidad considera que es la tecnología Con Zanja en comparación al método SPR?	8 (17,78%)	7 (15,56%)				<b>33,34</b>
	<b>Total encuestados: 15</b>	<b>32 (71,11%)</b>	<b>13 (28,89%)</b>				<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Encuesta laboral rehabilitación con Zanja (b)

Ítem	Preguntas	Respuesta
2.1	¿Recomendaría Usted la tecnología Con Zanja en otras compañías para rehabilitar tuberías? Y POR QUE	Si. Porque no se rompen las vías, no genera congestión vehicular, es novedoso, no genera contaminación ambiental.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Encuesta laboral rehabilitación con Zanja (c)

Ítem	Preguntas	Optima	Buena	Regular	Mala	Muy Mala
3.1	¿Cuál es su evaluación con respecto al tiempo de ejecución la tecnología Con Zanja en comparación de una técnica de rehabilitación SPR?	14 (93,33%)	1 (6,67%)			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Encuesta laboral rehabilitación con Zanja (d)

Ítem	Preguntas	Siempre	Casi siempre	Algunas veces	Casi nunca	Nunca
4.1	¿El departamento para el cual usted trabaja está completamente equipado para desarrollar la rehabilitación Con Zanja de forma correcta?	13 (21,66%)	2 (3,33%)			
4.2	¿Se identifica con la EDT programada de rehabilitación Con Zanja?	10 (16,67%)	4 (6,67%)	1 (1,67%)		
4.3	¿Son útiles las actividades programadas en la rehabilitación Con Zanja?	15 (25,00%)				
4.4	¿Los tiempos programados en la rehabilitación Con Zanja son los adecuados respecto a las metas propuestas?	13 (21,67%)	2 (3,33%)			
	<b>Total encuestados: 15</b>	<b>51 (85,00%)</b>	<b>8 (13,33%)</b>	<b>1 (1,67%)</b>		

Fuente: Elaboración propia

## **Comparación**

Es evidente que para los expertos encuestados, la tecnología Sin Zanja es más versátil en sus aplicaciones y ofrece mejores resultados en cuanto a técnicas de ejecución, capacitaciones, calidad, ambientalmente es menos perjudicial, la EDT es menos compleja, los tiempos de ejecución son menores a fin de obtener mejores resultados en cuanto a las metas propuestas se refiere.

### **5.1.2.2 Técnicas analíticas**

El cronograma de ejecución será diseñado bajo la modalidad de Ejecución rápida, realizando una compresión del cronograma mediante actividades en paralelo.

### **5.1.2.3 Reuniones**

Con el fin de desarrollar el cronograma se efectuará una (1) reunión semanal en pro de aprobar los lapsos y recursos de cada actividad. Dicha reunión será realizada entre los Ingenieros que desarrollan el presente trabajo de grado.

## **5.1.3 Salidas (6.1-Planificar la gestión del cronograma)**

### **5.1.3.1 Plan de gestión del cronograma**

- Se usará Microsoft Project para la elaboración del cronograma
- Acorde con la duración estimada del proyecto se usará “días” como unidad de medida para la duración de las actividades.
- Se propone verificar el avance diario durante la ejecución de las obras.
- El avance se medirá de acuerdo al porcentaje de avance de cada actividad con respecto al total de la misma, de acuerdo con su propia unidad de medida y cantidades establecidas.
- No es posible aplicar técnicas de evaluación gerencial como el Valor Ganado, pues el análisis de costos no está incluido en el alcance del presente documento.

A continuación, se presenta la EDT generada para cada los dos métodos de rehabilitación de tuberías objeto de estudio; cada tramo tiene la misma estructura de trabajo, por lo que se presenta solo una parte de la EDT, correspondiente al Tramo 10, desde el MH4342 hasta el MH4341 (DN 1500mm y 64,67m) al ser el de mayor longitud y por ende el de mayor duración.

**Método Convencional**



Figura 14. EDT tramo 10, Método Convencional  
Fuente: Elaboración propia

**Método SPR**



Figura 15. EDT tramo 10, Método SPR  
Fuente: Elaboración propia



## 5.2 DEFINIR LAS ACTIVIDADES (6.2-*PMBOK*®)

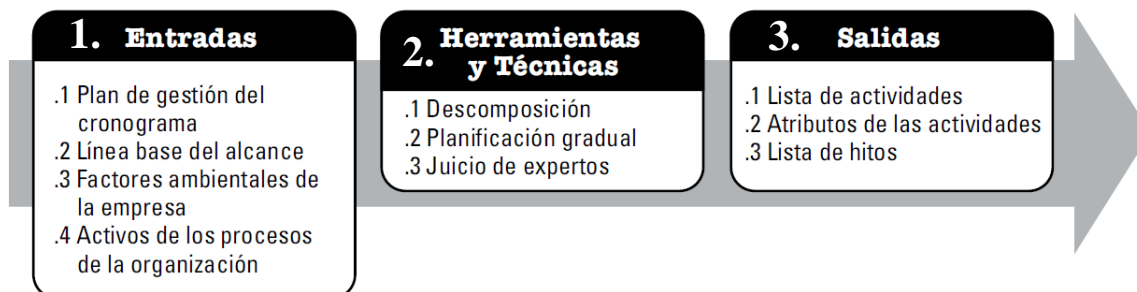


Figura 16. Definir las actividades: Entradas, herramientas y técnicas, y salidas  
Fuente: Adaptado de la Guía *PMBOK*®, 5ta Edición [2]

### 5.2.1 Entradas (6.2-Definir las actividades)

#### 5.2.1.1 *Plan de gestión del cronograma*

Ver numeral 5.1.3.1.

#### 5.2.1.2 *Línea base del alcance*

Ver numeral 5.1.3.1.

#### 5.2.1.3 *Factores ambientales de la empresa*

Ver numeral 5.1.1.3.

#### 5.2.1.4 *Activos de los procesos de la organización*

Ver numeral 5.1.1.4.

### 5.2.2 Herramientas y técnicas (6.2-Definir las actividades)

#### 5.2.2.1 *Descomposición*

##### *Método Convencional*

Teniendo en cuenta que las actividades que componen la rehabilitación de tuberías por este método son repetitivas en cada tramo, se describen las actividades necesarias para cada uno de estos tramos:

- **Levantamiento Topográfico:** es necesario definir las diferentes fases del proceso y, sobre todo, hay que tener en cuenta una serie de factores para que la red de alcantarillado se construya correctamente. El levantamiento topográfico de una rehabilitación con zanja se debe definir una poligonal principal, a partir de la cual se definen los puntos para el trazado de la construcción de los manholes (pozo inspección o alcantarilla) y también se recopilarán los detalles suficientes para realizar de forma exacta el dibujo de la planta. A partir de aquí, se deben tomar en cuenta diferentes factores en el levantamiento topográfico de una red de alcantarillado.

- Señalización e intervención del tráfico: Cuando se ejecutan trabajos de construcción, rehabilitación, mantenimiento o actividades relacionadas con servicios públicos en una determinada vía, o en zona adyacente a la misma, se presentan condiciones especiales que afectan la circulación de vehículos y personas. Dichas situaciones deberán ser atendidas especialmente, estableciendo normas y medidas técnicas apropiadas, que se incorporan al desarrollo del proyecto cualquiera sea su importancia o magnitud, con el objeto de reducir el riesgo de accidentes y hacer más ágil y expedito el tránsito de los usuarios, procurando reducir las molestias en su desplazamiento por la vía.



Fotografía 5. Señalización vial temporal de obra

Fuente: <https://agroredes.com.ar/senalizacion-en-via-publica-en-trabajos-de-construccion/>

- Movilización equipos: Los equipos llegarán al sitio de la obra con anticipación a fin de ser ubicados en el sitio adecuado, donde generen menor traumatismo al tráfico.
- Ruptura (corte y demolición) capa de rodadura con taladro neumático: Consiste en la ruptura de la capa de rodadura usando equipo neumático para tal fin. La capa de rodadura en los tramos a intervenir tiene en promedio 6cm de espesor, por lo cual los equipos apropiados para tal fin son aquellos tales como martillos compresores, dejando un ancho de ruptura de en promedio 3m y el largo dependerá de la distancia entre los pozos de inspección. Se abrirá el perímetro con los martillos neumáticos, procediendo de tal forma a levantar la capa de rodadura con la máquina retroexcavadora, disponiendo de inmediato de este material en las volquetas para su retiro y disposición final en los sitios autorizados.
- Excavación a máquina: La excavación es el movimiento de tierras realizado a cielo abierto y por medios manuales, utilizando pico y palas, o en forma mecánica con excavadoras, bulldozer y cuyo objeto consiste en alcanzar el nivel de subrasante que es el nivel de cimentación o soporte de cualquier obra o estructura civil a construir; Para realizar los trabajos se tendrán en cuenta los siguientes ítems: Características del terreno, tales como cohesión, densidad, nivel de compactación; los cuales son factores que influyen en el rendimiento de la maquinaria y el trabajo a realizar. Factores intrínsecos del terreno, tales como: asentamientos, niveles freáticos, zonas plásticas, que pueden incrementar el trabajo y los volúmenes de excavación tanto como en corte y relleno. Factores externos, tales como factores climáticos, tendidos aéreos o subterráneos, edificaciones vecinas, tráfico, que pueden hacer que se paralice la excavación, o se modifique su forma constructiva [22].



Fotografía 6. Excavación mecánica para redes

Fuente:[http://www.generadordeprecios.info/espacios\\_urbanos/Acondicionamiento\\_del\\_terreno/AC\\_Movimiento\\_de\\_tierras\\_en\\_obra/Excavaciones/ACE040\\_Excavacion\\_de\\_zanjas\\_con\\_medios\\_me\\_0\\_0\\_1\\_0\\_0\\_1.html](http://www.generadordeprecios.info/espacios_urbanos/Acondicionamiento_del_terreno/AC_Movimiento_de_tierras_en_obra/Excavaciones/ACE040_Excavacion_de_zanjas_con_medios_me_0_0_1_0_0_1.html)

- **Entibado:** Las excavaciones serán entibadas cuando sea necesario para prevenir el deslizamiento y desprendimiento del material de los taludes de la excavación, evitando daños a la obra, a las redes o a estructuras adyacentes. El entibado debe proporcionar condiciones seguras de trabajo y facilitar el avance del mismo. Deben entibarse todas las excavaciones de acuerdo con lo indicado en los planos, las ordenes de la interventoría y en profundidades mayores a 1,5m (Artículo 616 del Estatuto de Seguridad Industrial, resolución No 02400 de 1979). Si la Interventoría considera que en cualquier zona el entibado es insuficiente, podrá ordenar que se redefina el tipo de entibado a utilizar. Durante todo el tiempo, el Contratista deberá disponer de materiales suficientes y adecuados para entibar. El Contratista debe colocar el entibado simultáneamente con el avance del proceso de excavación y es responsable de la seguridad del frente de trabajo. Si el Contratista no ha recibido la orden de entibar cuando ello sea necesario, procederá a realizar esta operación justificándola posteriormente ante la misma Interventoría. En los casos en que se requiera colocar entibado se tendrá especial cuidado con la ubicación del material resultante de la excavación para evitar sobrecargas sobre éste. En general, el entibado será extraído a medida que se compacte el lleno, para evitar así el derrumbe de los taludes. Los vacíos dejados por la extracción del entibado, serán llenados cuidadosamente por apisonado o en la forma que indique la Interventoría. El Contratista tendrá la responsabilidad por todos los daños que puedan ocurrir por el retiro del entibado. Los elementos de un entibado en madera deben tener las dimensiones mínimas siguientes: 25 mm (1") de espesor para los tablones, los puntales o tacos estarán distanciados máximo 1,0 m. y tendrán una sección cuadrada de 100 mm x 100 mm (4" x 4") o sección circular de 100 mm (4") de diámetro [23].
- **Extracción de tubería pre existente:** El Colector La Vieja fue construido con ladrillos de forma trapezoidal a fin de dar la geometría circular a la estructura, de tal forma que al momento de su extracción mediante la tecnología con zanja, no hay posibilidad de izar la tubería existente tramo a tramo, por lo que se debe proceder a su destrucción/demolición y posterior retiro de los escombros generados, lo que hace más demorado la labor en referencia.

- Nivelación colchón de tubería: Consiste en las labores de nivelación del lecho de la nueva tubería acorde a la pendiente de diseño. Previamente las zanjas excavadas deberán estar refinadas y niveladas.
- Colocación Tubería nueva y Relleno compactado: Antes de que las tuberías sean bajadas a la zanja para su colocación, cada unidad será inspeccionada y limpiada, eliminándose cualquier elemento defectuoso que presente rajaduras o protuberancias. Debe efectuarse izando debidamente las tuberías a colocar de acuerdo al diámetro, longitud y peso de cada elemento y a la recomendación de los fabricantes. El relleno deberá seguir a la instalación de la tubería tan cerca como sea posible, los fines esenciales que deberán cumplir este relleno son proporcionar un lecho para la tubería, proporcionar por encima de la tubería, una capa de material escogido que sirva de amortiguador al impacto de las cargas exteriores.
- Rehabilitación de capa de rodadura: Las áreas que se van a intervenir serán las mismas que fueron retiradas para proceder a las labores de excavación. Deberán ser entonces cuadradas o rectangulares con lados paralelos a la vía. En el proceso de demarcación se verificará que no queden fisuras o grietas interrumpidas por el corte o reparación [24].
- Desmovilización equipos: Consiste en el retiro de los equipos del tramo rehabilitado hacia otro tramo a rehabilitar o a su sitio de resguardo temporal o final.

### **Método SPR**

Teniendo en cuenta que las actividades que componen la rehabilitación de tuberías por este método son repetitivas en cada tramo, se describen las actividades necesarias para cada uno de estos tramos:

- Inspección CCTV preliminar: Es la actividad inicial de la rehabilitación SPR, y consiste en evaluar las presentes condiciones del respectivo tramo a través de un equipo de circuito cerrado de televisión (CCTV) de última tecnología el cual es semi sumergible de carácter robótico; cuenta con un odómetro que registra la distancia a la cual se encuentran obstrucciones o penetraciones a la tubería a partir de un 0,00m de distancia. El trabajo será georreferenciado de acuerdo al sistema de coordenadas municipales. Se crearán planos con todos los detalles encontrados en el respectivo tramo.



Fotografía 7. CCTV para inspección de tuberías

Fuente: <http://astgrupo.com/blog/wp-content/uploads/2014/03/robot-ipek.jpg>

- Es necesario el desvío de las aguas que son transportadas actualmente por la tubería existente mediante el uso de bombas y tuberías, que permitan conformar un bypass para realizar las labores de limpieza, inspección y rehabilitación. La ejecución de los trabajos del bypass deberá garantizar el mínimo impacto sonoro de los equipos, generadores, bombas. Se debe establecer la captación y descarga del bypass, lo cual determinará la longitud del mismo. Se debe instalar el equipo de bombeo y las tuberías necesarias para desviar la totalidad de las aguas que es transportada por las tuberías.

Dependiendo de la capacidad del equipo, se deberá instalar uno o varios de estos con sus respectivas tuberías, en la longitud prevista para la conformación del Bypass. El Contratista proporcionará, instalará y operará todas las bombas de achique, drenes y canaletas necesarias; mangueras, tubos, válvulas de paso, y todo el equipo necesario para mantener las tuberías lo más secas posible; y deberá tener disponible para la obra, como reserva un equipo auxiliar de repuesto suficiente, para evitar interrupciones en el servicio de bombeo cuando éste sufra algún desperfecto, o durante los períodos de mantenimiento [25].

- Movilización equipos: Los equipos llegarán al sitio de la obra con anticipación a fin de ser ubicados en el sitio más adecuado, donde generen menor traumatismo al tráfico existente.
- Descenso de máquina: La máquina será bajada a la boca de la tubería a rehabilitar aguas arriba mediante la alcantarilla respectiva con la ayuda de un camión grúa el cual la izará bajo la supervisión del personal de seguridad capacitado para tal fin.
- Colocación de durmientes: Se deberán colocar tubos rectangulares de medida 2"x1" a fin de ayudar al deslizamiento del perfil toda vez éste sea ensamblado por la máquina y debidamente espiralado, cumpliendo a su vez con la norma que indica un recubrimiento de mínimo 1" al momento de verter el mortero que garantizará que la tubería nueva y la tubería vieja se comporten monolíticamente.

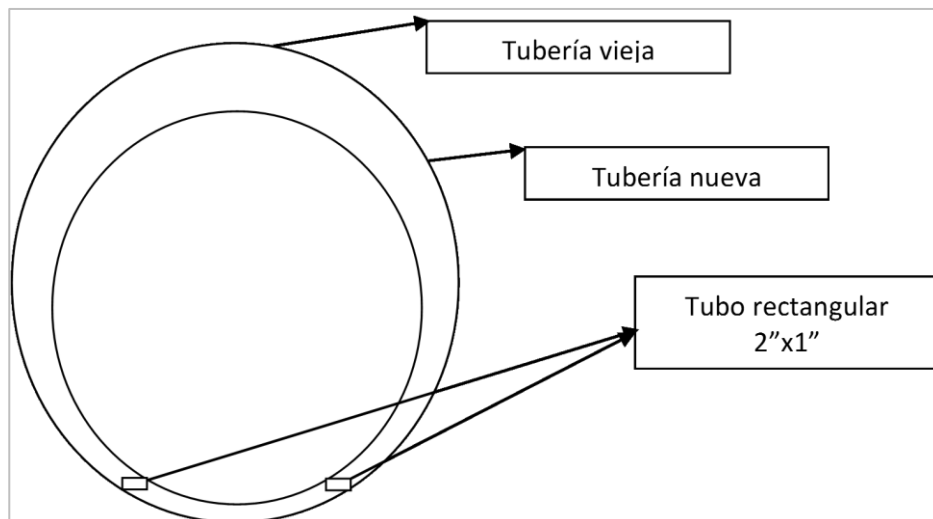
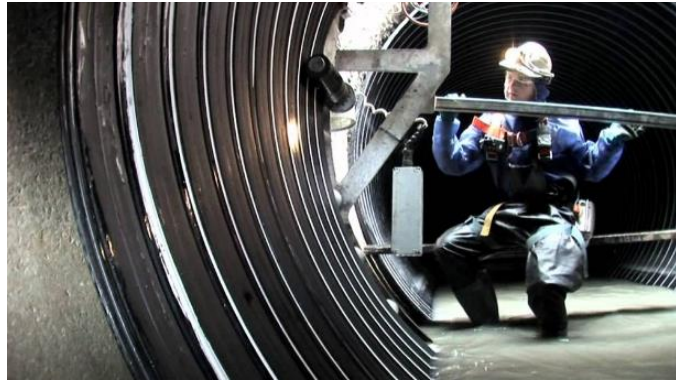


Figura 17. Esquema ubicación de durmientes  
Fuente: Elaboración propia

- Espiralado: Consiste en la fabricación de tuberías que son formadas en sitio mediante enrollado espiral, juntando tiras de perfiles prefabricados de material plástico que se usan para renovación de drenajes subterráneos sin presión y redes de alcantarillado.



Fotografía 8. Espiralado SPR

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=5aLPA1YzC9g>

- Instalación apuntalamiento: A fin de mantener las tuberías en la posición técnica al momento de verter el mortero que unirá las dos tuberías, es necesario apuntalar la tubería nueva mediante varas roscadas evitando de tal forma su flotabilidad y/o cualquier otro movimiento tal como desalineación del eje respectivo trazado topográficamente.

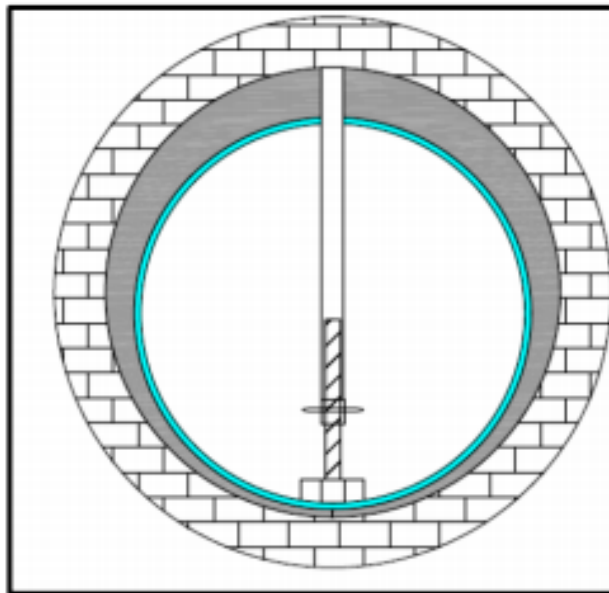


Figura 18. Esquema apuntalamiento

Fuente: Elaboración propia

- Aplicación Grout.
- Desinstalación apuntalamiento: Al día siguiente de la respectiva colocación del grouting que da rigidez a la nueva estructura, es necesario el retiro de los puntales que evitaron movimientos no deseados en la tubería.
- Desmovilización equipos: Consiste en el retiro de los equipos del tramo rehabilitado hacia otro tramo a rehabilitar o a su sitio de resguardo temporal o final.

- Inspección CCTV final: Se realiza al final para identificar el estado rehabilitado de la nueva tubería, donde la filmación debe realizarse mediante inspección televisada/robotizada con equipo que garantice el abscisado, niveles y registros en detalle del estado del interior de la tubería verificando que no existan pliegues por eventuales errores al momento del espiralado. El operador del equipo, en base a su experiencia propondrá el nivel de calidad de la tubería.

### **Comparación**

Se evidencia que al definir las actividades en cuanto a herramientas y técnicas, la tecnología Sin Zanja ofrece mejores herramientas de control y técnicas de ejecución, al ser más simplificados los procesos y procedimientos, tanto en obra como administrativamente, ofreciendo menor riesgo al momento de efectuar los trabajos dada la tecnología de punta que se maneja, minimizando los efectos al medio ambiente, disminuyendo los equipos requeridos, así como la mano de obra y los requerimientos de seguridad.

### **5.2.3 Salidas (6.2-Definir las actividades)**

#### **5.2.3.1 Lista de actividades**

Como se mencionó anteriormente, el proyecto incluye la ejecución de 18 tramos, que se harán de manera sucesiva en los dos métodos objeto de estudio, por lo que se muestra el listado de actividades para cada uno de estos tramos:

#### **Método Convencional**

##### **TRAMO 10 MH 4342 - MH 4341 - DN 1500 - 64,67m**

- Comienzo
- Levantamiento Topográfico
- Señalización e intervención del tráfico
- Movilización equipos
- Ruptura capa de rodadura con taladro neumático
- Excavación a máquina
- Entibado
- Extracción de tubería pre existente
- Nivelación colchón de tubería
- Colocación Tubería nueva y Relleno compactado
- Rehabilitación de capa de rodadura
- Desmovilización equipos
- Fin

#### **Método SPR**

##### **TRAMO 10 MH 4342 - MH 4341 - DN 1500 - 64,67m**

- Comienzo
- Inspección CCTV preliminar
- Lavado
- Movilización equipos
- Descenso de máquina
- Colocación de durmientes
- Espiralado
- Instalación apuntalamiento
- Aplicación Grout
- Desinstalación apuntalamiento
- Desmovilización equipos
- Inspección CCTV final
- Fin



### 5.2.3.2 Atributos de las actividades

#### Método Convencional

Se presenta en el ANEXO 4 la programación de obra completa, con las actividades de los 18 tramos; sin embargo, a manera de ejemplo, se muestra a continuación el listado de atributos para las actividades de uno de los estos tramos.

Tabla 20. Atributos actividades Tramo 1 – Método Convencional

Hito	Id	Nombre de tarea	Duración
No	1	<b>REHABILITACIÓN COLECTOR LA VIEJA - CON ZANJA</b>	<b>30,00 días</b>
Sí	2	Comienzo	0 días
No	3	<b>TRAMO 1 MH 2753 - MH 1100 - DN 1300 - 9,13m</b>	<b>8,64 días</b>
Sí	4	Comienzo	0 días
No	5	Levantamiento Topográfico	0,42 días
No	6	Señalización e intervención del tráfico	0,5 días
No	7	Movilización equipos	1 día
No	8	Ruptura capa de rodadura con taladro neumático	1 día
No	9	Excavación a máquina	1,5 días
No	10	Entibado	0,11 días
No	11	Extracción de tubería pre existente	0,2 días
No	12	Nivelación colchón de tubería	0,6 días
No	13	Colocación Tubería nueva y Relleno compactado	0,8 días
No	14	Rehabilitación de capa de rodadura	0,9 días
No	15	Desmovilización equipos	1 día
Sí	16	Fin	0 días
		...	
No	241	<b>TRAMO 18 MH 0458 - MH 2680 - DN 1600 - 27,03m</b>	<b>11,44 días</b>
Sí	255	Fin	0 días

Fuente: Elaboración propia

#### Método SPR

Se presenta en el ANEXO 6 la programación de obra completa, con las actividades de los 18 tramos; sin embargo, a manera de ejemplo, se muestra a continuación el listado de atributos para las actividades de uno de los estos tramos.

Tabla 21. Atributos actividades Tramo 1 – Método SPR

Hito	Id	Nombre de tarea	Duración
No	1	<b>REHABILITACIÓN COLECTOR LA VIEJA - SPR PE</b>	<b>13,44 días</b>
Sí	2	Comienzo	0 días
No	3	<b>TRAMO 1 MH 2753 - MH 1100 - DN 1300 - 9,13m</b>	<b>3,94 días</b>
Sí	4	Comienzo	0 días
No	5	Inspección CCTV preliminar	0,5 días
No	6	Lavado	0,1 días
No	7	Movilización equipos	1 día
No	8	Descenso de máquina	0,1 días
No	9	Colocación de durmientes	0,1 días
No	10	Espiralado	0,11 días
No	11	Instalación apuntalamiento	0,15 días
No	12	Aplicación Grout	0,23 días
No	13	Desinstalación apuntalamiento	0,15 días
No	14	Desmovilización equipos	1 día
No	15	Inspección CCTV final	0,5 días
Sí	16	Fin	0 días
		...	
No	241	<b>TRAMO 18 MH 0458 - MH 2680 - DN 1600 - 27,03m</b>	<b>5,62 días</b>
Sí	255	Fin	0 días

Fuente: Elaboración propia

### **Comparación**

Al momento de analizar los atributos de las actividades, evidenciamos que las actividades de la tecnología Con Zanja en su descripción son más extensas por cuanto algunas llegan a contener dos actividades en una como por ejemplo la Ruptura capa de rodadura con taladro neumático, que necesariamente incluye transporte y disposición final de escombros y la Excavación a máquina la cual también incluye el transporte y disposición final de sobrantes; por otro lado, la tecnología Sin Zanja ofrece actividades puntuales en su ejecución, siendo lineal su ejecución y por ende la concentración del equipo técnico es mayor al no tener multitareas.

#### **5.2.3.3 Lista de hitos**

Se presenta en el ANEXO 4. PROGRAMACIÓN DE OBRA (PROJECT) – MÉTODO CONVENCIONAL y en el ANEXO 6. PROGRAMACIÓN DE OBRA (PROJECT) – MÉTODO SPR la programación de obra completa, con los listados de hitos; sin embargo, a manera de ejemplo, se muestra a continuación la lista de hitos para uno (1) de los 18 tramos.

Tabla 22. Lista de hitos

Hito	Id	Nombre de tarea	Duración
No	1	REHABILITACIÓN COLECTOR LA VIEJA - SPR PE	13,44 días
Sí	2	Comienzo	0 días
No	3	TRAMO 1 MH 2753 - MH 1100 - DN 1300 - 9,13m	3,94 días
Sí	4	Comienzo	0 días
Sí	16	Fin	0 días
		...	
No	241	TRAMO 18 MH 0458 - MH 2680 - DN 1600 - 27,03m	5,62 días
Sí	242	Comienzo	0 días
Sí	254	Fin	0 días
Sí	255	Fin	0 días

Fuente: Elaboración propia

### 5.3 SECUENCIAR LAS ACTIVIDADES (6.3-PMBOK®)

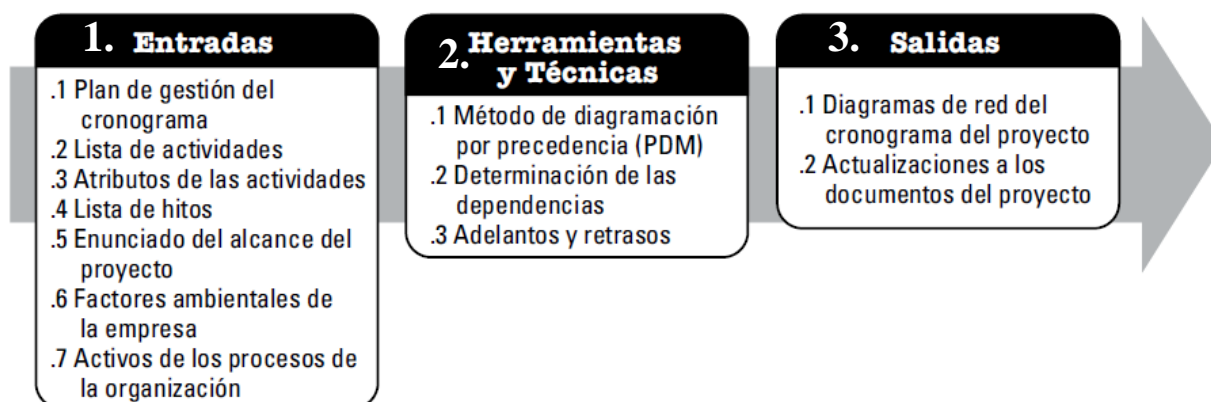


Figura 19. Secuenciar las actividades: Entradas, herramientas y técnicas, y salidas

Fuente: Adaptado de la Guía PMBOK®, 5ta Edición [2]

#### 5.3.1 Entradas (6.3-Secuenciar las actividades)

##### 5.3.1.1 Plan de gestión del cronograma

Ver numeral 5.1.3.1.

##### 5.3.1.2 Lista de actividades

Ver numeral 5.2.3.1.

##### 5.3.1.3 Atributos de las actividades

Ver numeral 5.2.3.2.

##### 5.3.1.4 Lista de hitos

Ver numeral 5.2.3.3.

### **5.3.1.5 Enunciado del alcance del proyecto**

El presente trabajo investigativo comprende única y exclusivamente la Gestión del Tiempo según la Guía del PMBOK® 5ta Edición, Capítulo 6, numerales 6.1 a 6.6, para el análisis de dos (2) métodos de rehabilitación de tuberías (convencional vs. SPR sin zanja), para el caso de estudio específico del Colector La Vieja, desde el tramo 1 (MH 2753) ubicado en la Calle 71 con Carrera 2da hasta el tramo 18 (MH 0458) ubicado en la Carrera 5ta con Calle 68, Barrio Los Rosales, Localidad Chapinero, Bogotá – Colombia.

### **5.3.1.6 Factores ambientales de la empresa**

Ver numeral 5.1.1.3.

### **5.3.1.7 Activos de los procesos de la organización**

Ver numeral 5.1.1.4.

## **5.3.2 Herramientas y técnicas (6.3-Secuenciar las actividades)**

### **5.3.2.1 Método de diagramación por precedencia (PDM)**

El presente trabajo investigativo está desarrollado mediante el método de diagramación por precedencia (PDM), técnica utilizada para construir un modelo de programación en el cual las actividades que se representan mediante nodos se vinculan gráficamente a través de una o más relaciones lógicas para indicar la secuencia en que deben ser ejecutadas; en este caso, solo se incluye un tipo de dependencia o relación lógica a saber:

- Final comienzo (FC). Se trata de una relación lógica en la cual la actividad sucesora no puede comenzar hasta que haya concluido una actividad predecesora. Ejemplo: **La aplicación de grouting (sucesora) no puede dar comienzo hasta que el apuntalamiento no esté culminado.**

### **5.3.2.2 Determinación de las dependencias**

En el presente trabajo de investigación, la dependencia tiene un solo atributo: dependencia obligatoria.

- Las dependencias obligatorias son las requeridas legal o contractualmente o las inherentes a la naturaleza del trabajo. Las dependencias obligatorias a menudo implican limitaciones físicas, como en un proyecto de construcción, en que es imposible erigir la superestructura hasta que no se hayan construido los cimientos; o en un proyecto de electrónica, en que es necesario haber construido el prototipo para poder probarlo. En ocasiones se utilizan las expresiones “lógica dura” o “dependencias duras” para referirse a las dependencias obligatorias. Las dependencias de tipo técnico no son necesariamente obligatorias. El equipo del proyecto, durante el proceso de secuenciación de las actividades, determina qué dependencias son obligatorias. No se deben confundir las dependencias obligatorias con la asignación de restricciones de cronograma en la herramienta de programación [2].

Se presenta en el ANEXO 4. PROGRAMACIÓN DE OBRA (PROJECT) – MÉTODO CONVENCIONAL y en el ANEXO 6. PROGRAMACIÓN DE OBRA (PROJECT) – MÉTODO SPR la programación de obra completa, con las precedencias definidas para cada actividad.

### 5.3.2.3 Adelantos y retrasos

En atención al numeral **5.3.2.1 Método de diagramación por precedencia (PDM)**, los adelantos en la programación del presente trabajo investigativo están bajo la modalidad “Final comienzo (FC)” lo que convierte automáticamente a la programación en altamente crítica en la actividad de “Espiralado” ya que todas las actividades dependen en su continuidad de tal labor.

### 5.3.3 Salidas (6.3-Secuenciar las actividades)

#### 5.3.3.1 Diagramas de red del cronograma del proyecto

Se presenta en el ANEXO 3. DIAGRAMA DE RED DEL PROYECTO – MÉTODO CONVENCIONAL y en el ANEXO 5. DIAGRAMA DE RED DEL PROYECTO – MÉTODO SPR.

### 5.4 ESTIMAR LOS RECURSOS DE LAS ACTIVIDADES (6.4-**PMBOK®**)

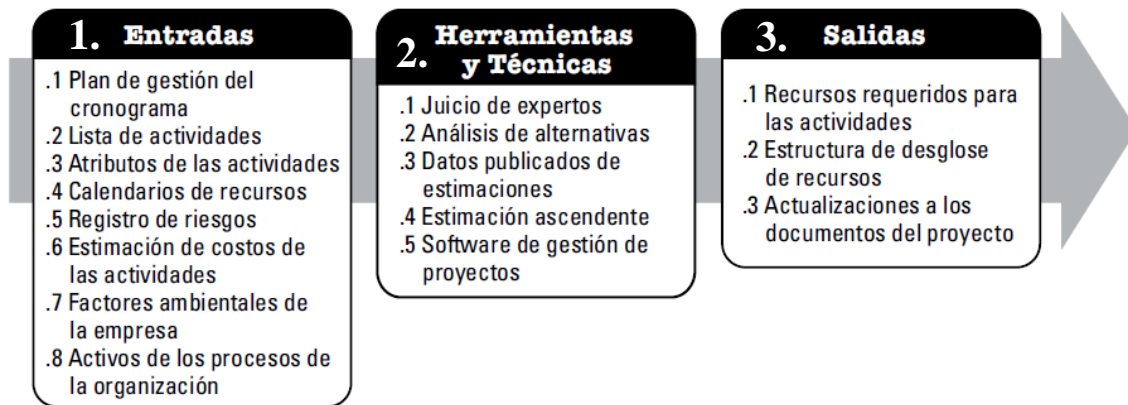


Figura 20. Estimar los recursos de las actividades: Entradas, herramientas y técnicas, y salidas  
Fuente: Adaptado de la Guía PMBOK®, 5ta Edición [2]

#### 5.4.1 Entradas (6.4- Estimar los recursos de las actividades)

##### 5.4.1.1 Plan de gestión del cronograma

Ver numeral 5.1.3.1.

##### 5.4.1.2 Lista de actividades

Ver numeral 5.2.3.1.

##### 5.4.1.3 Atributos de las actividades

Ver numeral 5.2.3.2.

##### 5.4.1.4 Calendario de recursos

Se asumió el calendario estándar para todos los recursos; esto basados en la realización de las actividades de obra en horario laboral diurno únicamente, pues en la zona de intervención se tiene conocimiento de las quejas e impedimentos de la comunidad ante los trabajos nocturnos, que disminuyen un poco las ventajas del método sin zanja, pues el sistema permitiría ejecutar estas actividades durante las 24 horas.

#### **5.4.1.5 Registro de riesgos**

La evaluación de riesgos no está incluida en el alcance del presente documento; sin embargo, se da una corta descripción de las actividades con más riesgos potenciales o que generarían un mayor impacto al proyecto.

#### **Método Convencional**

La ruta crítica atraviesa por las labores de excavación, actividad que concentra la mayor parte del trabajo (horas hombre y horas maquina), que se puede ver afectada por fallas de la maquinaria, condiciones climáticas, interferencia con otras redes existentes, daño en las tuberías que se conectan al tramo en rehabilitación, espacio de maniobrabilidad, etc., lo que eleva el riesgo y por ende las demoras causadas se transmiten al plazo general de ejecución, afectando el balance financiero del contrato.

#### **Método SPR**

En el evento de producirse una falla en la máquina de espiralado, siendo esta actividad parte de la ruta crítica, se pueden producir demoras en la culminación del tramo que generaría un impacto directo de retraso en el plazo general de culminación de obra, lo que causaría sobrecostos para el constructor. Dicho riesgo puede producirse por alguna mala praxis de los operarios en la máquina o bien, por no cumplir el mantenimiento preventivo estipulado en el respectivo manual de operatividad.

#### **5.4.1.6 Estimación de costos de las actividades**

Como se mencionó en los numerales 3.3.1y 3.3.2 donde se definieron el Alcance y las Limitaciones del presente trabajo investigativo, no se analizarán costos de ningún tipo.

#### **5.4.1.7 Factores ambientales de la empresa**

Ver numeral 5.1.1.3.

#### **5.4.1.8 Activos de los procesos de la organización**

Ver numeral 5.1.1.4.

### **5.4.2 Herramientas y técnicas (6.4- Estimar los recursos de las actividades)**

#### **5.4.2.1 Juicio de expertos**

Ver numeral 5.1.2.1.

#### **5.4.2.2 Análisis de alternativas**

Este análisis hace parte de la gestión de adquisiciones, que no fue incluido en el alcance del presente documento.

#### **5.4.2.3 Datos de estimaciones publicados**

No existen datos públicos sobre el rendimiento de la rehabilitación de tuberías por el método SPR, sin zanja.

#### 5.4.2.4 Estimación ascendente

Se realiza el análisis de recursos necesarios para la ejecución de cada actividad, que a su vez componen la ejecución de un tramo de rehabilitación de tubería; se presenta a continuación el desglose de recursos para las actividades contempladas en la EDT para los dos métodos de rehabilitación de tuberías objeto de estudio; se aclara que se realiza este desglose para uno de los 18 tramos, ya que se repiten las mismas actividades en todos estos.

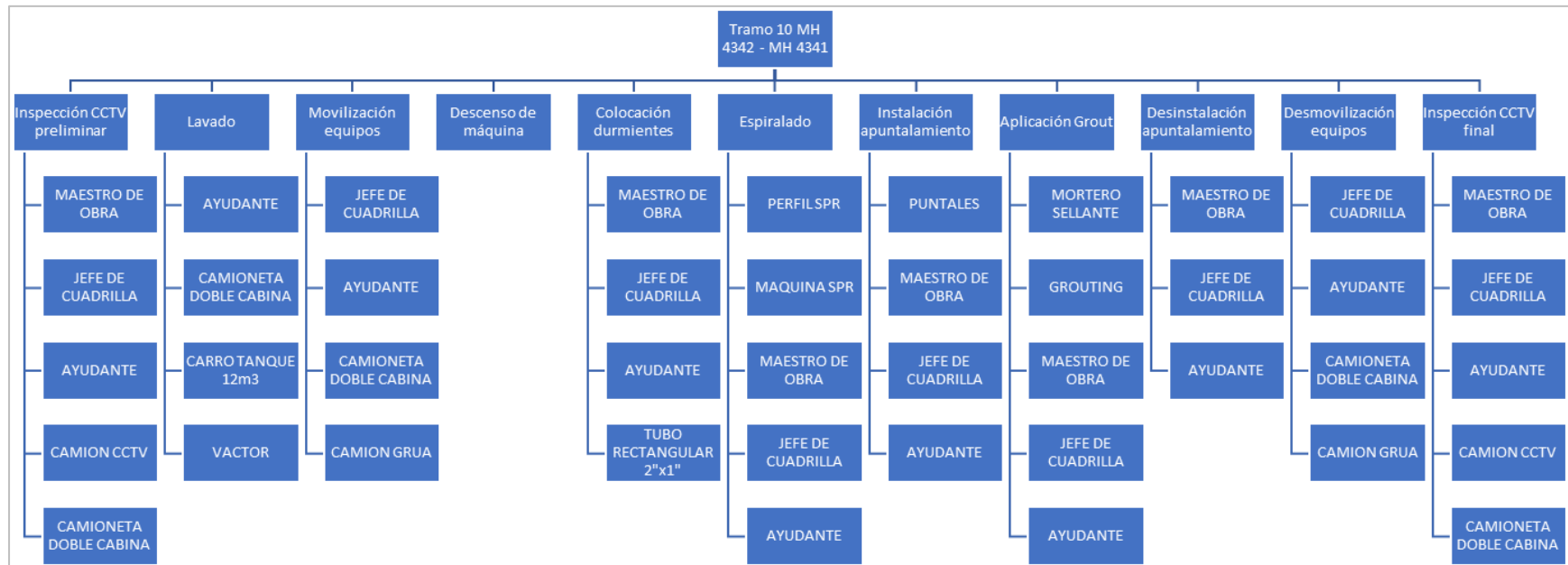


Figura 21. Desglose de recursos de cada actividad – EDT, Método SPR  
Fuente: Elaboración propia

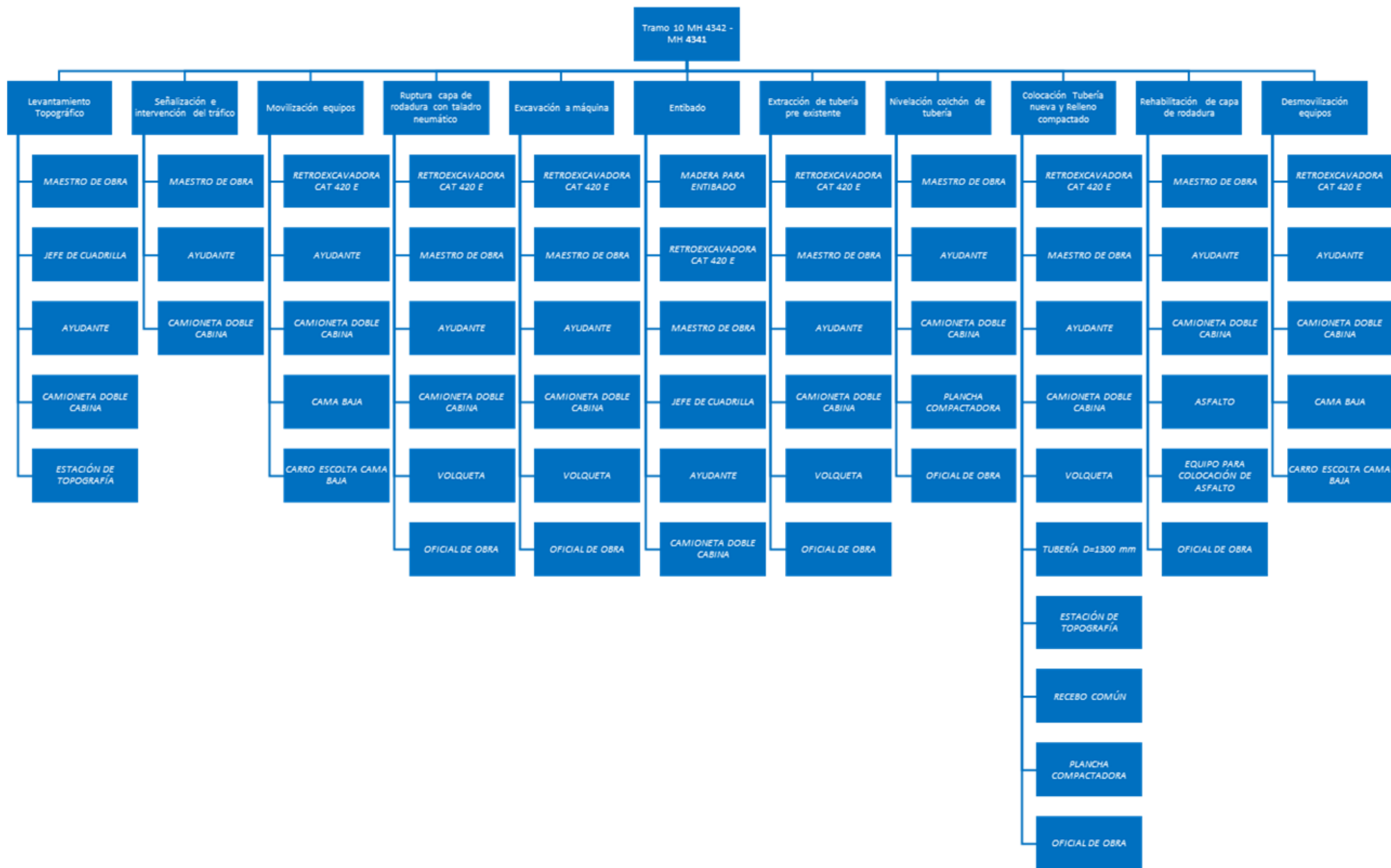


Figura 22. Desglose de recursos de cada actividad – EDT, Método Convencional  
Fuente: Elaboración propia



#### 5.4.2.5 Software de gestión de proyectos

La programación del proyecto se desarrolla bajo el programa de Microsoft Project y se desarrolla bajo la técnica analítica descrita en las herramientas y técnicas descritas en la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK®) — Quinta edición.

#### 5.4.3 Salidas (6.4- Estimar los recursos de las actividades)

##### 5.4.3.1 Recursos requeridos para las actividades

##### Método convencional

Tabla 23. Recursos requeridos- Método convencional

Nombre del recurso	Cantidad	Unidad
MADERA PARA ENTIBADO	2.902,45	M2
RETROEXCAVADORA CAT 420 E	936,40	Hr
MAESTRO DE OBRA	220,12	Hr
JEFE DE CUADRILLA	130,00	Hr
AYUDANTE	11.557,60	Hr
CAMIONETA DOBLE CABINA	1.826,80	Hr
VOLQUETA	576,00	Hr
TUBERÍA D=1300 mm	224,79	M
TUBERÍA D=1500 mm	209,30	M
TUBERÍA D=1550 mm	69,05	M
TUBERÍA D=1600 mm	77,36	M
ESTACIÓN DE TOPOGRAFÍA	445,6	Hr
CAMA BAJA	288,00	Hr
CARRO ESCOLTA CAMA BAJA	28,00	Hr
RECEBO COMÚN	2.131,61	M3
PLANCHA COMPACTADORA	672,00	Hr
ASFALTO	87,06	M3
EQUIPO PARA COLOCACIÓN DE ASFALTO	462,40	Hr
OFICIAL DE OBRA	1.336,80	Hr

Fuente: Elaboración propia

**Método SPR**

Tabla 24. Recursos requeridos- Método SPR

Sin Zanja		
Nombre del Recurso	Cantidad	Unidad
PUNTALES	596,00	Und
GROUTING	173,60	M3
PERFIL SPR	21.259,76	M
MAQUINA SPR	1,00	Und
MAESTRO DE OBRA	487,52	Hr
JEFE DE CUADRILLA	775,52	Hr
AYUDANTE	1.401,83	Hr
CAMIÓN CCTV	144,00	Hr
CAMIONETA DOBLE CABINA	500,80	Hr
CARRO TANQUE 12m3	68,80	Hr
VACTOR	68,80	Hr
CAMIÓN GRÚA	288,00	Hr
TUBO RECTANGULAR 2"x1"	210,00	Und

Fuente: Elaboración propia

**5.4.3.2 Estructura de desglose de recursos**

Los recursos se separaron en dos categorías, de acuerdo con la nomenclatura que se debe usar en el software, que son:

- Trabajo: corresponde a maquinaria, equipos, transporte y personal
- Materiales.

**5.5 ESTIMAR LOS DURACIÓN DE LAS ACTIVIDADES (6.5-PMBOK®)**

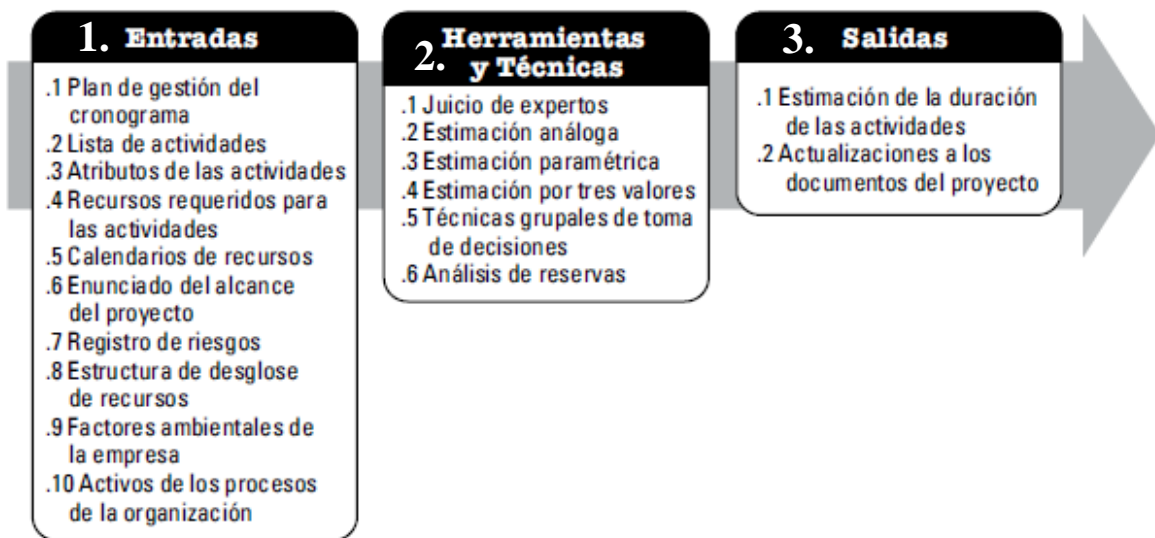


Figura 23. Estimar la duración de las actividades: Entradas, herramientas y técnicas, y salidas  
Fuente: Adaptado de la Guía PMBOK®, 5ta Edición [2]

### **5.5.1 Entradas (6.5- Estimar la duración de las actividades)**

#### **5.5.1.1 Plan de gestión del cronograma**

Ver numeral 5.1.3.1.

#### **5.5.1.2 Lista de actividades**

Ver numeral 5.2.3.1.

#### **5.5.1.3 Atributos de las actividades**

Ver numeral 5.2.3.2.

#### **5.5.1.4 Recursos requeridos para las actividades**

Ver numeral 5.4.3.1.

#### **5.5.1.5 Calendario de recursos**

Ver numeral 5.4.1.4.

#### **5.5.1.6 Enunciado del alcance del proyecto**

Ver numeral 5.3.1.5.

#### **5.5.1.7 Registro de riesgos**

Ver numeral 5.4.1.5.

#### **5.5.1.8 Estructura de desglose de recursos**

Ver numeral 5.4.3.2.

#### **5.5.1.9 Factores ambientales de la empresa**

Ver numeral 5.1.1.3.

#### **5.5.1.10 Activos de los procesos de la organización**

Ver numeral 5.1.1.4.

### **5.5.2 Herramientas y técnicas (6.5- Estimar la duración de las actividades)**

#### **5.5.2.1 Juicio de expertos**

Ver numeral 5.1.2.1.

#### **5.5.2.2 Estimación análoga**

No existen proyectos similares de rehabilitación de tubería por el método SPR sin zanja, pues es un método nuevo en el país.

#### **5.5.2.3 Estimación paramétrica**

No se tiene datos de referencia en el país para la rehabilitación de tubería por el método SPR sin zanja.

#### 5.5.2.4 Estimación por tres valores

Considerando la incertidumbre y el riesgo que se puede presentar en cada tecnología, mediante la herramienta ofimática Project, se realizaron cada una de las programaciones respectivas a cada una de ellas, revisando y evaluando técnicamente la correlación entre las actividades se puede concluir que mediante el método PERT el cual utiliza tres estimaciones para definir un rango aproximado de duración de una actividad, la más apropiada para éste tipo de actividades en la industria de la construcción es la “Más probable”, la cual se basa en la duración de la actividad, en función de los recursos que probablemente le sean asignados, de su productividad, de las expectativas realistas de disponibilidad para la actividad, de las dependencias de otros participantes y de las interrupciones.

#### 5.5.2.5 Técnicas grupales de toma de decisiones

La toma de decisiones fue realizada mediante la participación en el proceso de estimación de los investigadores basándose en la amplia experiencia adquirida tanto académica como laboralmente, adicional a los juicios de los expertos quienes se involucraron en el proceso de estimación incrementando su compromiso con la consecución de los resultados estimados. Es importante destacar que la estimación de los recursos y duraciones, fue a través de los métodos Gantt y PERT.

### 5.5.3 Salidas (6.5- Estimar la duración de las actividades)

#### 5.5.3.1 Estimación de la duración de las actividades

Se presenta en el ANEXO 4. PROGRAMACIÓN DE OBRA (PROJECT) – MÉTODO CONVENCIONAL y en el ANEXO 6. PROGRAMACIÓN DE OBRA (PROJECT) – MÉTODO SPR la programación de obra completa, con la duración asignada a cada actividad.

### 5.6 DESARROLLAR EL CRONOGRAMA (6.6-PMBOK®)



Figura 24. Secuenciar las actividades: Entradas, herramientas y técnicas, y salidas  
Fuente: Adaptado de la Guía PMBOK®, 5ta Edición [2]

### 5.6.1 Entradas (6.6-Desarrollar el cronograma)

#### 5.6.1.1 Plan de gestión del cronograma

Ver numeral 5.1.3.1.

#### 5.6.1.2 Lista de actividades

Ver numeral 5.2.3.1.

#### 5.6.1.3 Atributos de las actividades

Ver numeral 5.2.3.2.

#### 5.6.1.4 Diagramas de red del cronograma del proyecto

Ver numeral 5.3.3.1.

#### 5.6.1.5 Recursos requeridos para las actividades

Ver numeral 5.4.3.1.

#### 5.6.1.6 Calendario de recursos

Ver numeral 5.4.1.4.

#### 5.6.1.7 Estimación de la duración de las actividades

Ver numeral 5.5.3.1.

#### 5.6.1.8 Enunciado del alcance del proyecto

Ver numeral 5.3.1.5.

#### 5.6.1.9 Registro de riesgos

Ver numeral 5.4.1.5.

#### 5.6.1.10 Asignaciones de personal al proyecto

Se muestra en la Figura 25 la estructura propuesta para la organización del personal de obra, para las dos metodologías.

En la Tabla 25 se muestra la asignación total del personal y demás recursos para el método de rehabilitación de tuberías con zanja y en la Tabla 26 se muestra la asignación total del personal y demás recursos para el método SPR sin zanja.

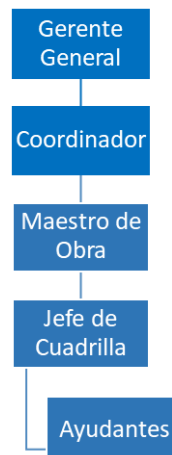


Figura 25. Estructura organizacional del personal  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Asignación total de recursos- Método Convencional

Id	Nombre del recurso	Trabajo	Detalles	D-3	D2	D6	D10	D14	D18	D22	D26	D30	D34
1	▷ HH	4.224,9 horas	Trabajo	18,67h	319,68h	593,12h	689,43h	901,37h	542,8h	487,2h	298,72h	301,92h	72h
2	▷ MADERA PARA ENTIBADO	2.902,45	Trabajo			1.060,05	959,09	748,16		135,15			
3	▷ RETROEXCAVADORA CAT 420 E	936,4 horas	Trabajo		43,28h	183,12h	159,68h	246,4h	79,83h	148,08h	28,23h	15,77h	32h
4	▷ MAESTRO DE OBRA	219,45 horas	Trabajo	3,53h	39,28h	36,75h	34,45h	38,6h	21,6h	21,7h	11,4h	12,13h	
5	▷ JEFE DE CUADRILLA	129,33 horas	Trabajo	3,33h	34,8h	38,32h	29,03h	17,12h		6,72h			
6	▷ AYUDANTE	1.556,93 horas	Trabajo	15,33h	462,8h	1.399,12h	1.985,77h	2.650,8h	1.713,83h	1.447,37h	868,32h	912,48h	101,12h
7	▷ CAMIONETA DOBLE CABINA	1.826,13 horas	Trabajo	5,33h	113,2h	264h	311,52h	395,77h	238,72h	214,23h	123,12h	134,97h	25,28h
8	▷ VOLQUETA	576 horas	Trabajo		5,6h	86h	147,2h	140h	70,4h	98,8h	19,2h	8,8h	
9	▷ TUBERÍA D=1300 mm	224,79	Trabajo			9,72	111,41	101,77	1,89				
10	▷ TUBERÍA D=1500 mm	209,3	Trabajo					57,9	87,43	60,17	3,79		
11	▷ TUBERÍA D=1550 mm	69,05	Trabajo					1,14	16,71	44,52	6,68		
12	▷ TUBERÍA D=1600 mm	77,36	Trabajo							30,97	33,46	12,93	
13	▷ ESTACIÓN DE TOPOGRAFÍA	444,93 horas	Trabajo	3,33h	34,8h	24h	91,43h	102,17h	67,2h	94h	19,2h	8,8h	
14	▷ CAMA BAJA	288 horas	Trabajo		48h	51,28h	33,92h	50,8h	22,8h	33,2h	9,03h	13,68h	25,28h
15	▷ CARRO ESCOLTA CAMA BAJA	288 horas	Trabajo		48h	51,28h	33,92h	50,8h	22,8h	33,2h	9,03h	13,68h	25,28h
16	▷ RECEBO COMÚN	2.131,61	Trabajo			35,7	408,96	590,44	389,42	498,27	161,35	47,48	
17	▷ PLANCHA COMPACTADORA	672 horas	Trabajo			60,23h	153,28h	198,88h	120,8h	96,4h	33,6h	8,8h	
18	▷ ASFALTO	87,06	Trabajo			1,37	5,03	14,87	17,41	12,23	15,06	21,08	
19	▷ EQUIPO PARA COLOCACIÓN DE ASFALTO	462,4 horas	Trabajo			7,2h	26,63h	78,57h	91,92h	65,12h	80,48h	112,48h	
20	▷ OFICIAL DE OBRA	1.336,8 horas	Trabajo		5,6h	146,63h	243,12h	319,83h	215,92h	170,32h	114,08h	121,28h	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Asignación total de recursos- Método SPR

Id	Id	Nombre del recurso	Trabajo	Detalles	D-1	D2	D4	D6	D8	D10	D12	D14	D16
		Sin asignar	0 horas	Trabajo									
1	1	HH	1.824,97 horas	Trabajo	49,6h	267,2h	373,12h	214,57h	357,12h	301,28h	108,48h	134,4h	19,2h
2	2	PUNTALES	596	Trabajo		38,31	158,38	53,64	169,79	147,88	28		
3	3	MORTERO SELLANTE	1	Trabajo		0,04	0,23	0,07	0,22	0,23	0,14	0,08	
4	4	GROUTING	173,6	Trabajo		1,79	25,96	11,52	40,25	49,64	32,86	11,58	
5	5	PERFIL SPR	21.259,76	Trabajo		2.465,49	5.435,99	3.045,85	6.139,73	3.118,79	1.053,9		
6	6	MAQUINA SPR	18	Trabajo		3,35	5,79	1,56	3,98	2,32	1		
7	7	MAESTRO DE OBRA	487,52 horas	Trabajo	14,57h	42,32h	100h	60,88h	99,43h	91,28h	43,2h	28h	7,83h
8	8	JEFE DE CUADRILLA	775,52 horas	Trabajo	15,43h	96,08h	160,48h	94,4h	155,6h	136,23h	50,23h	59,2h	7,83h
9	9	AYUDANTE	1.401,83 horas	Trabajo	26,17h	144,8h	248,48h	191,52h	250,4h	263,77h	93,6h	159,6h	23,52h
10	10	CAMION CCTV	144 horas	Trabajo	14,57h	23,92h	17,52h	26,17h	19,28h	14,57h	12h	8,17h	7,83h
11	11	CAMIONETA DOBLE CABINA	500,8 horas	Trabajo	20,8h	103,77h	91,52h	67,2h	87,77h	63,52h	19,03h	39,37h	7,83h
12	12	CARRO TANQUE 12m3	68,8 horas	Trabajo	5,92h	26,88h	12,8h	9,37h	9,83h	4h			
13	13	VACTOR	68,8 horas	Trabajo	5,37h	26,08h	13,52h	7,52h	12,32h	4h			
14	14	CAMION GRUA	288 horas	Trabajo	0,88h	53,77h	60,48h	33,52h	56,17h	44,97h	7,03h	31,2h	
15	15	TUBO RECTANGULAR 2"x1"	210	Trabajo		32	74	12	60	30	2		

Fuente: Elaboración propia

#### **5.6.1.11 Estructura de desglose de recursos**

Ver numeral 5.4.3.2.

#### **5.6.1.12 Factores ambientales de la empresa**

Ver numeral 5.1.1.3.

#### **5.6.1.13 Activos de los procesos de la organización**

Ver numeral 5.1.1.4.

### **5.6.2 Herramientas y técnicas (6.6-Desarrollar el cronograma)**

#### **5.6.2.1 Análisis de la red del cronograma**

Ver numeral Ver numeral 5.3.3.1.

#### **5.6.2.2 Método de la ruta crítica**

El cronograma de obra fue diseñado planeando la ejecución de la rehabilitación de los 18 tramos en secuencia, es decir, con el fin de minimizar los impactos sobre el tráfico y la comunidad en general y minimizando el personal y equipos a utilizar, pues los tramos analizados corresponden aproximadamente a 580m de longitud de colector con diámetros desde 1300mm hasta 1600mm.

Por esta razón todo el cronograma de las dos metodologías corresponde a su respectiva ruta crítica desde el inicio hasta el fin de la obra.

#### **5.6.2.3 Adelantos y retrasos**

Ver numeral 5.3.2.3.

#### **5.6.2.4 Compresión del cronograma**

No es posible realizar compresión a los cronogramas planteados, sin incluir frentes de obra adicionales, es decir, ejecutando más tramos a la vez, lo que representaría aumentar el personal y maquinaria asignados, que no consideramos representativo en proyecto como este, de corta duración.

#### **5.6.2.5 Herramienta de programación**

Se usó Microsoft Project

### **5.6.3 Salidas (6.6-Desarrollar el cronograma)**

#### **5.6.3.1 Línea base del cronograma**

Se presenta en el ANEXO 4. PROGRAMACIÓN DE OBRA (PROJECT) – MÉTODO CONVENCIONAL y en el ANEXO 6. PROGRAMACIÓN DE OBRA (PROJECT) – MÉTODO SPR la programación de obra completa, donde se estableció la línea base para los dos métodos de rehabilitación de tuberías objeto de estudio.



### **5.6.3.2 Cronograma del proyecto**

Se presenta en el ANEXO 4. PROGRAMACIÓN DE OBRA (PROJECT) – MÉTODO CONVENCIONAL y en el ANEXO 6. PROGRAMACIÓN DE OBRA (PROJECT) – MÉTODO SPR las programaciones o cronogramas de obra completos.

### **5.6.3.3 Datos del cronograma**

El modelo de programación de las dos tecnologías a fin de describir y controlar el cronograma, se incluyeron en debida forma los hitos (comienzo y fin), actividades, atributos (Lo antes posible, no comenzar antes de, no comenzar despues de, debe comenzar el) y restricciones. De la misma forma, se presentan cuadros resumen de recursos por período de tiempo, cronograma más probable con fechas obligatorias, ruta critica para evitar contingencias.

### **5.6.3.4 Calendarios del proyecto**

Para la programación de las dos tecnologías, en igual medida se contemplaron todos y cada uno de los días festivos, dejando como días de ejecución solo los días hábiles, tomando en consideración de igual forma 8 hr/día efectivas. Para tales efectos, los sábados y domingos se dejan como días de descanso, pero estos mismos pudiesen ser utilizados como días laborales en el eventual caso de planes de contingencia a causa de cualquier falla que afecte directamente la ruta crítica.

## 6 ENTREGA DE RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTOS

### 6.1 APORTE DE LOS RESULTADOS A LA GERENCIA DE OBRAS

Al aplicar la metodología propuesta por la guía PMBOK® 5ta edición, en lo referente al **Capítulo 6. Gestión del Tiempo**, para la evaluación del método de rehabilitación de tubería convencional (a zanja abierta) y el método SPR (sin zanja), se evidenció que siguiendo el paso a paso de la guía se obtiene un cronograma de obra más preciso, lo que representa una mejor planeación en todos los ámbitos gerenciales de proyectos.

La ejecución de los procesos asociados a la creación de la EDT, desglose de recursos, estimación ascendente, entre otros, incluidos en la metodología del PMBOK® 5ta edición para la Gestión del Tiempo, minimizan el riesgo de que se presenten ítems no previstos durante la ejecución del proyecto y representan un insumo más confiable para los procesos de Gestión de Costos, Gestión de Riesgos y Gestión de Adquisiciones, que aumentan la probabilidad de obtener proyectos exitosos.

### 6.2 ¿CÓMO SE RESPONDE A LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN CON LOS RESULTADOS?

*¿La rehabilitación de tubería sin zanja es mejor que la rehabilitación de la tubería convencional evaluándolas desde la gestión del tiempo de la guía PMBOK®, 5ta edición?*

Desde el punto de vista de la Gestión del Tiempo de la Guía PMBOK®, 5ta edición, la rehabilitación de tubería sin zanja, específicamente el método SPR aplicado en la rehabilitación del Colector La Vieja en los 18 tramos comprendidos entre la Calle 71 con Carrera 2 y la Carrera 5 con Calle 68 (Barrio Los Rosales, Bogotá – Colombia), es mejor que la rehabilitación de tuberías por el método tradicional a zanja abierta, por los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología que se mencionan a continuación:

- Actividades propias de movimiento de tierras del método convencional para rehabilitación de tuberías, como excavaciones y rellenos, tienen un mayor grado de incertidumbre en cuanto a la estimación de la duración de las mismas, pues su correcta ejecución está limitada a condiciones climáticas secas.
- A pesar de requerir equipo y materiales especializados el método SPR para rehabilitación de tuberías sin zanja, representa una estructura de trabajo más simple que el método tradicional/convencional a zanja abierta, pues cuenta con actividades bien definidas y una posibilidad mínima de requerir la posterior inclusión de actividades no previstas.
- Al evaluar la duración de las actividades de rehabilitación de tubería para los dos métodos de estudio, en el tramo más largo de la zona de estudio y por ende el más crítico (**Tramo 10**) se obtuvo una duración de 8,29 días para el método SPR y 21,51 días para el método tradicional, es decir, 260% aproximadamente de aumento en la duración de la obra solo en este tramo, lo que genera mayores requerimientos de recursos como mano de obra y equipos, además de todos los materiales adicionales que se requieren al realizar un reemplazo y no una rehabilitación como tal de la tubería existente.

### **6.3 ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN Y DIVULGACIÓN**

Se hace entrega a la Universidad Católica de Colombia del presente documento, con sus respectivos anexos, el cual se acompaña de un artículo IEEE, como resumen del presente trabajo de grado.

Adicionalmente, el día 01 de diciembre de 2018 se sustentarán los avances alcanzados con el apoyo de una presentación en PowerPoint, como lo establece el programa de Especialización en Gerencia de Obras.

## 7 NUEVAS ÁREAS DE ESTUDIO

En el alcance del presente trabajo de grado se descartó realizar un análisis económico o financiero que permitiera comparar desde este criterio gerencial las ventajas y deficiencias para cada una de las metodologías de rehabilitación de tubería estudiadas, por lo que se hace entrega como anexo de los contratos de obra e interventoría adjudicados por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, cuyo objeto es *“OBRAS DE REHABILITACIÓN DE LOS COLECTORES LA VIEJA Y LAS DELICIAS”*, como insumo para una futura investigación, pues dicho contrato corresponde a la primera vez que se implementa en el país la tecnología de rehabilitación de tuberías usando el método SPR sin zanja.

Adicionalmente, en el desarrollo de la metodología se evalúan superficialmente los beneficios en términos ambientales de los métodos de rehabilitación de tubería sin zanja frente al método convencional a zanja abierta, por lo que se considera que sería un tema de estudio interesante para evaluar más a fondo, ya que disminuye significativamente la generación de residuos/escombros, no se requiere reemplazo de materiales de relleno, no se genera material particulado por cortes o demoliciones, no se afecta la estructura vial existente, etc.; criterios que pudiesen ser decisivos en la elección de uno u otro método para la rehabilitación de tuberías, incluso como criterio de mayor preponderancia que los costos asociados a su implementación.

## 8 CONCLUSIONES

- Se aplicó la metodología para la Gestión del Tiempo de la Guía PMBOK®, 5ta edición, en la rehabilitación de tuberías, para el método SPR sin zanja y el método convencional a zanja abierta, en un caso de estudio específico que corresponde a los 18 tramos del Colector La Vieja comprendidos entre la Calle 71 con Carrera 2 y la Carrera 5 con Calle 68 (Barrio Los Rosales, Bogotá – Colombia).
- Desde el punto de vista de la Gestión del Tiempo, es claro que el método SPR sin zanja, para rehabilitación de tuberías, representa una estructura de trabajo mucho más simple y con menor grado de incertidumbre que el método convencional, por los motivos que fueron detallados en el numeral **6.2 ¿Cómo se responde a la pregunta de investigación con los resultados?**.
- En la Tabla 27 se muestran las duraciones obtenidas para cada Tramo objeto de estudio, aplicando los dos métodos para la rehabilitación de tuberías, donde se muestra que la rehabilitación de tuberías por el método convencional representa casi un 230% del tiempo necesario para rehabilitar el mismo tramo de tubería aplicando el método SPR sin zanja.

Tabla 27. Duración rehabilitación x tramos

	Inicio	Fin	Diámetro nominal (mm)	Longitud (m)	Duración SPR (días)	Duración Con Zanja (días)	Con Zanja vs. SPR
Tramo 1	MH 2753	MH 1100	1.300	9,13	3,94	8,64	219,29%
Tramo 2	MH 1100	MH 1635	1.300	34,49	6,13	16,43	268,03%
Tramo 3	MH 1635	MH 2747	1.300	22,33	5,28	10,88	206,06%
Tramo 4	MH 2747	MH 2186	1.300	21,08	5,19	11,46	220,81%
Tramo 5	MH 2186	MH 3827	1.300	20,18	5,13	10,05	195,91%
Tramo 6	MH 3827	MH 4365	1.300	12,98	4,62	7,71	166,88%
Tramo 7	MH 4365	MH 2182	1.300	36,48	6,29	16,06	255,33%
Tramo 8	MH 2182	MH 3824	1.300	26,71	5,60	13,13	234,46%
Tramo 9	MH 3824	MH 4342	1.300	41,41	6,64	15,72	236,75%
Tramo 10	MH 4342	MH 4341	1.500	64,67	8,29	21,51	259,47%
Tramo 11	MH 4341	MH4341A	1.500	34,33	6,13	13,53	220,72%
Tramo 12	MH4341A	MH 2725	1.500	44,27	6,84	18,55	271,20%
Tramo 13	MH 2725	MH 2682	1.500	59,63	7,92	23,65	298,61%
Tramo 14	MH 2682	MH 0460	1.500	6,4	4,16	5,88	141,35%
Tramo 15	MH 0460	MH 3765	1.550	57,88	7,79	22,82	292,94%
Tramo 16	MH 3765	MH 1580	1.550	11,17	4,50	6,71	149,11%
Tramo 17	MH 1580	MH 0458	1.600	50,33	7,27	19,43	267,26%
Tramo 18	MH 0458	MH 2680	1.600	27,03	5,62	11,44	203,56%
<b>TOTAL</b>				<b>580,5</b>	<b>PROMEDIO % AUMENTO EN DURACIÓN CON ZANJA</b>		<b>228,21%</b>

Fuente: Elaboración propia

- En la Tabla 28 se presentan los rendimientos proyectados para la rehabilitación del Colector tramo por tramo; es importante aclarar que el rendimiento del proyecto en general es mayor (43m/día para el método SPR y 19m/día para el método convencional), ya que se traslapan actividades de obra entre tramos adyacentes.

Tabla 28. Tramos de rehabilitación y rendimiento

	Inicio	Fin	Diámetro nominal (mm)	Longitud (m)	Duración SPR (días)	Duración Con Zanja (días)	Rendimiento SPR (m/día)	Con Zanja vs. SPR
Tramo 1	MH 2753	MH 1100	1.300	9,13	3,94	8,64	2,32	1,06
Tramo 2	MH 1100	MH 1635	1.300	34,49	6,13	16,43	5,63	2,10
Tramo 3	MH 1635	MH 2747	1.300	22,33	5,28	10,88	4,23	2,05
Tramo 4	MH 2747	MH 2186	1.300	21,08	5,19	11,46	4,06	1,84
Tramo 5	MH 2186	MH 3827	1.300	20,18	5,13	10,05	3,93	2,01
Tramo 6	MH 3827	MH 4365	1.300	12,98	4,62	7,71	2,81	1,68
Tramo 7	MH 4365	MH 2182	1.300	36,48	6,29	16,06	5,80	2,27
Tramo 8	MH 2182	MH 3824	1.300	26,71	5,60	13,13	4,77	2,03
Tramo 9	MH 3824	MH 4342	1.300	41,41	6,64	15,72	6,24	2,63
Tramo 10	MH 4342	MH 4341	1.500	64,67	8,29	21,51	7,80	3,01
Tramo 11	MH 4341	MH4341A	1.500	34,33	6,13	13,53	5,60	2,54
Tramo 12	MH4341A	MH 2725	1.500	44,27	6,84	18,55	6,47	2,39
Tramo 13	MH 2725	MH 2682	1.500	59,63	7,92	23,65	7,53	2,52
Tramo 14	MH 2682	MH 0460	1.500	6,4	4,16	5,88	1,54	1,09
Tramo 15	MH 0460	MH 3765	1.550	57,88	7,79	22,82	7,43	2,54
Tramo 16	MH 3765	MH 1580	1.550	11,17	4,50	6,71	2,48	1,66
Tramo 17	MH 1580	MH 0458	1.600	50,33	7,27	19,43	6,92	2,59
Tramo 18	MH 0458	MH 2680	1.600	27,03	5,62	11,44	4,81	2,36
<b>PROMEDIO RENDIMIENTO (m/día)</b>							<b>5,02</b>	<b>2,13</b>

Fuente: Elaboración propia

- En el método SPR sin zanja se obtuvo un rendimiento programado diario de 5,02m/día (promedio) y en el método Convencional, con zanja, se obtuvo un rendimiento programado diario de 2,13m/día (promedio).
- En la tecnología Sin Zanja se obtuvo un total de 1824,97 horas efectivas acumuladas de ejecución, entre personal, herramientas y equipos, lo que guarda relación directa con carga laboral y depreciación, representando un total de 135,79hr/día de ejecución acumulada.

- En la tecnología Con Zanja se obtuvo un total de 4224,90 horas efectivas acumuladas de ejecución entre personal, herramientas y equipos, lo que guarda relación directa con carga laboral y depreciación, representando un total de 140,83hr/día de ejecución acumulada.
- Se evidenció que el método SPR sin Zanja utiliza menos recursos y es más rápida en su ejecución que el método convencional para rehabilitación de tuberías, lo que significa menores costos operativos.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Valenzuela Reynaga, M. Y. Chávez Rivera, Y. Landazuri Aguilera y B. R. Ochoa Jaime, «La planeación de tiempos y costos como estrategia en la administración de proyectos,» Instituto Tecnológico de Sonora, Sonora, Mexico, 2015.
- [2] Project Management Institute, Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®), quinta edición, Pensilvania, USA: Project Management Institute, Inc., 2013.
- [3] DANE, «www.dane.gov.co,» DANE, 22 04 2018. [En línea]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>.
- [4] L. A. Jaramillo, «Rehabilitación de redes de infraestructura subterránea,» de *Rehabilitación de infraestructura*, Bogotá, Colombia, 2010.
- [5] J. C. Penagos, «Metodología para la elaboración de planes de rehabilitación de redes de alcantarillado,» ICTIS, Bogotá, Colombia, 2010.
- [6] J. A. Pinzón Abaunza, «Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá,» Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2011.
- [7] Instituto Colombiano de Tecnologías de Infraestructura Subterránea, «ICTIS,» ASOCIACIÓN ICTIS - CISTT ASOCIATION, 2018. [En línea]. Available: <http://ictis.org/es/tecnologia-sin-zanja>. [Último acceso: Abril 2018].
- [8] Acueducto de Bogotá, «Plan de inversión Año 2025,» de *14° Congreso Nacional de la Infraestructura*, Cartagena de Indias, Colombia, 2017.
- [9] Obras Urbanas, «Obras Urbanas,» Roperio Editores SL, 11 Agosto 2016. [En línea]. Available: <https://www.obrasurbanas.es/rehabilitacion-sin-zanja-helicoidal/>. [Último acceso: Abril 2018].
- [10] Y. B. Leguizamón Galicia, Metodología para realizar perforación dirigida en la modalidad de Pipe Ramming y Tunnel Linner, Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2015.
- [11] S. E. Hernandez Niño y J. L. López Cárdenas, «Nuevos procedimientos en la recuperación de redes de alcantarillado,» Universidad La Salle, Facultad de Ingeniería., Bogotá, Colombia, 2009.



- [12] Empresas Públicas de Medellín-EPM, «EPM,» 9 Marzo 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: Abril 2018].
- [13] F. Minguez Santiago, «Métodos de excavación sin zanjas,» Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, España, 2015.
- [14] H. L. López Arenas, «EPM con tecnología sin zanja interviene redes de acueducto de Medellín,» ICTIS, Medellín, Colombia, 2017.
- [15] Alcaldía Mayor de Bogotá, 2017. [En línea]. Available: <http://bogota.gov.co/ciudad/ubicacion>.
- [16] Alcaldía Local de Chapinero, «Alcaldía Local de Chapinero,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.chapinero.gov.co/mi-localidad/conociendo-mi-localidad/historia>. [Último acceso: Abril 2018].
- [17] «Perfil económico y empresarial - Localidad de Chapinero,» Camara de Comercio de Bogotá, Bogotá, Colombia, 2016.
- [18] Secretaría de Planeación, Alcaldía Mayor de Bogotá, «Secretaría de Planeación,» Alcaldía Mayor de Bogotá, [En línea]. Available: <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/ProyeccionPoblacion:Proyecciones%20de%20Poblaci%F3n>. [Último acceso: Abril 2018].
- [19] Alcaldía Mayor de Bogotá, Bogotá como vamos - Informe de calidad de vida 2016, Bogotá, Colombia: Alcaldía Mayor de Bogotá, 2017.
- [20] T. Carlos, «dani14238551.blogspot.com.co,» Marzo 2009. [En línea]. Available: <http://dani14238551.blogspot.com.co>.
- [21] Red Cultural del Banco de la República en Colombia, «Acueducto de Bogotá, 1887-1914: Entre público y privado,» Marzo 2012. [En línea]. Available: <http://www.banrepultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-267/acueducto-de-bogota-1887-1914-entre-publico-y-privado>. [Último acceso: 31 Agosto 2018].
- [22] Construvicol S.A., «Procedimiento de excavación general,» Construvicol S.A., Floridablanca, Santander, 2014.

- [23] EPM, «NORMAS Y ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN (ESP-202),» EPM, Medellín, Colombia, 2012.
- [24] IDU, «Sección 570-11, Parcheo y Bacheo,» IDU, Bogotá, Colombia, 2011.
- [25] Compras Públicas, Gobierno de Ecuador, «Especificaciones técnicas para la rehabilitación mediante tecnología sin zanja del Colector Parson sur - Tramo 1, a lo largo de la Calle 6 de Marzo,» Gobierno de Ecuador, 2015.
- [26] J. C. Penagos, «Infraestructura subterránea: Hacia un modelo de gestión de activos,» ICTIS, Bogotá, Colombia, 2011.
- [27] C. A. Pupo Gonzalez, «Metodología para selección de obras de ingeniería para la rehabilitación de redes troncales de alcantarillado,» Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia, 2014.
- [28] F. E. Viana Vidal, «Técnicas de construcción fundamentadas en la tecnología sin zanjas,» Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala, 2004.
- [29] G. A. Barbosa Hortua, «Estudio de aplicación de tecnologías trenchless en Bogotá,» Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia, 2013.
- [30] M. Fernández Valdés, «Obras Urbanas,» 08 11 2016. [En línea]. Available: <https://www.obrasurbanas.es/rehabilitacion-sin-zanja-helicoidal/>.
- [31] C. S.A.S., «Central S.A.S.,» Central S.A.S., 2018. [En línea]. Available: <https://www.centrasas.com/pipe-bursting.html>.
- [32] P. Alberdi, «Prefabricados Alberdi,» KOMUNICADOS, 2012. [En línea]. Available: <http://www.prefabricadosalberdi.com/alberdi/de/tubos-de-hormigon-hinca.asp?nombre=2403&cod=2403&sesion=1>. [Último acceso: Abril 2018].
- [33] Instituto Distrital de la Participación y Acción Comunal (IDIPAC), «Chapinero participa,» Alcaldía mayor de Bogotá, Bogotá, Colombia, 2007.
- [34] Secretaria Distrital de Planeación, «Conociendo la localidad de Chapinero: Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos,» Alcaldía mayor de Bogotá, Bogotá, Colombia, 2009.

## ANEXOS

## *ANEXO 1. ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO*

## *ANEXO 2. PLAN PARA LA DIRECCIÓN DEL PROYECTO*

## *ANEXO 3. DIAGRAMA DE RED DEL PROYECTO – MÉTODO CONVENCIONAL*

## *ANEXO 4. PROGRAMACIÓN DE OBRA (PROJECT) – MÉTODO CONVENCIONAL*

## *ANEXO 5. DIAGRAMA DE RED DEL PROYECTO – MÉTODO SPR*



## *ANEXO 6. PROGRAMACIÓN DE OBRA (PROJECT) – MÉTODO SPR*

*ANEXO 7. CONTRATOS DE OBRA E INTERVENTORÍA  
“REHABILITACIÓN DE LOS COLECTORES LA VIEJA Y LAS DELICIAS”*